



BUKU AJAR
Pengantar Teknik
Tenaga Listrik

PENULIS

Jamaaluddin
Izza Anshory
Indah Sulistiyowati
Ahmad Ahfas



BUKU AJAR PENGANTAR TEKNIK TENAGA LISTRIK

Oleh

**Jamaaluddin
Izza Anshory
Indah Sulistiyowati
Ahmad Ahfas**

Diterbitkan oleh



Diterbitkan oleh

UMSIDA PRESS

Jl. Mojopahit 666 B Sidoarjo

ISBN: 978-623-464-054-0

Copyright©2022. Authors

All rights reserved

BUKU AJAR

Pengantar Teknik Tenaga Listrik

Penulis:

Jamaaluddin

Izza Anshory

Indah Sulistiyowati

Ahmad Ahfas

ISBN :

978-623-464-054-0

Editor:

M.Tanzil Multazam,S.H.,M.Kn

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, M.Pd.

Copy Editor:

Wiwit Wahyu Wijayanti,S.H

Design Sampul dan Tata Letak:

Wiwit Wahyu Wijayanti,S.H

Penerbit:

UMSIDA Press

Redaksi

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Jl. Mojopahit No 666B

Sidoarjo, Jawa Timur

Cetakan Pertama, September 2022

©Hak Cipta dilindungi undang undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dengan sengaja, tanpa ijin tertulis dari penerbit.

PRAKATA

Bismillaahirrohmaanirroohiim...

Dengan ijin Allah SWT, penulis mengajukan proposal penulisan Buku ajar dengan judul Pengantar Teknik Tenaga Listrik. Buku ajar Teknik Tenaga Listrik ini perlu ditulis untuk membekali mahasiswa dalam mempelajari ilmu keteknikan Tenaga Listrik. Buku ini secara umum akan memberikan gambaran kepada Mahasiswa tentang dasar pembangkitan energi listrik, Teknik Pengubahan tegangan, Teknik Transmisi, Teknik Distribusi, Teknik Proteksi Tenaga Listrik, Sistem Pentanahan Tenaga Listrik dan Panel Tenaga Listrik(1).

Penyampaian materi pada buku ajar ini sangat berkaitan dengan materi pada perkuliahan Perguruan Tinggi. Buku ajar ini memiliki kelebihan dari buku ajar yang sudah ada dikarenakan pembahasannya dilakukan secara Global menyeluruh sebagai bekal awal pada mahasiswa untuk terjun pada dunia industri. Masing – masing penjelasan secara Global menyeluruh itu dapat diperdalam dalam analisa dengan mempelajari buku yang sudah banyak dipasaran pada masing – masing bidang. Disamping itu juga dengan pembahasan yang sederhana akan lebih mudah dimengerti dan dipahami oleh para pembaca.

Buku Pengantar Teknik Tenaga listrik ini sangat cocok untuk mahasiswa dan praktisi pemula. Penjelasan dan pokok pikiran buku ini memberikan gambaran secara menyeluruh sistem Tenaga Listrik yang sering dihadapi pada dunia industri. Begitu pula untuk praktisi pemula buku ini dapat dijadikan pegangan awal dalam dunia kerja yang sedang digeluti. Karena buku ini memberikan gambaran praktis tentang sistem Tenaga Listrik yang dihadapinya.

Untuk mempelajari dan mendalami buku ini memerlukan pra syarat pemahaman mengenai Medan Elektromagnet sebagai pemahaman awal proses Pembangkitan Tenaga Listrik. Pemahaman tentang ilmu Rangkaian Listrik Dasar akan semakin mempermudah pemahaman tentang jaringan transmisis, dan distribusi.

Sistematika penulisan buku ajar Pengantar Teknik Tenaga Listrik ini adalah memberikan penjelasan awal dasar untuk pembangkitan energy listrik, sesudahnya dilakukan pembahasan mengenai sistem transformator, lalu sistem transmisi, distribusi, proteksi, penangkal petir sistem dan grounding sistem. Disamping itu juga diberikan pengetahuan mengenai Panel ATS AMF Gennset untuk menambahi pengetahuan dibidang pelaksanaan maintenance genset dan trouble shooting Diesle Genset.

Untuk para pengampu matakuliah Teknik Tenaga Listrik dapat melengkapi penjelasan pada buku ini dengan tambahan lain dari buu Teknik Tenaga Listrik, Sistem Medan Elektromagnet, dan buku lain terkait pokok pembahasan buku ini. Pelaksanaan praktikum Teknik Tenaga Listrik akan juga emberikan gambaran yang lebih jelas atas penyampaian pada buku ini.

Demikian kami sampaikan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada semua pihak yang telah membantu secara moril dan materiil atas selesainya Proposal buku Penganatar Teknik Tenaaga Listrik ini. Kami haraapkan adanya kritik dan asaran yang membangun demi kesempurnaan proposal buu ini. Semoga Ailllah SWT memberikan balasan yang banyak kepada Bapak dan Ibu.

Makkah, 24 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

BAB I. Sistem Tenaga Listrik	1
1. Pinsip Kerja Generator	2
2. Pembangkit Listrik	3
3. Sistem Transmisi	4
4. Gardu Induk	5
5. Sistem Distribusi	6
6. Sistem Instalasi	7
7. Sistem Penangkal Petir	7
8. Pentanahan Sistem Tenaga Listrik	8
9. Sistem Diesel Genset	8
Tugas	9
BAB II. Dasar Elektromagnetik	10
1. Medan Elektromagnetik	11
2. Elektromagnet Pada Belitan Kawat	12
3. Kaidah Tangan Kanan	13
4. Prinsip Kerja Motor	14
5. Motor Listrik AC	16
6. Motor Listrik DC	18
7. Prinsip Kerja Generator	22
8. Macam Macam Generator	24
Tugas	26
BAB III. Daya 3 Fasa dan Daya 1 Fasa	27
1. Daya Listrik	27
2. Macam- Macam Daya Listrik	28
3. Perbaikan Daya Listrik	31
4. Daya 3 Fasa	32
Tugas	35
BAB IV. Pinsip Kerja Generator	36
1. Prinsip Dasar Generator	36
2. Generator AC	38
3. Sinkronisasi Generator	38
4. Salient Type	40
5. Cylinder Type	40
6. Eksitasi Permanen Dan Eksitasi Listrik	41
7. Sistem Kelistrikan AC dan DC	41
Tugas	46

BAB V Transformator	47
1. Transformator dan Prkembangannya	48
2. Macam – Macam Transsformator	49
3. Karakteristik Trafo 1 Fasa	54
4. Karakteristik Trafo 3 Fasa	55
5. Bagian-Bagian Pada Transformator	57
Tugas	61
BAB VI Mesin Arus Searah	62
1. Motor Arus Searah	62
2. Generator Arus Searah	65
3. Karakteristik Mesin Arus Searah	68
4. Pemanfaatan Mesin Arus Searah	72
Tugas	72
BAB VII Mesin Arus Bolak Balik	73
1. Motor Arus Bolak Balik	80
2. Generator Arus Bolak Balik	85
Tugas	87
BAB VIII. Energi Primer dan Pembangkit Listrik	88
1. Energi Primer	89
2. Macam-Macam Energi Primer	96
3. Macam – Macam Pembangkit Listrik	97
Tugas	100
BAB IX Sistem Transmisi	101
1. Transmisi Daya Listrik	101
2. Karateristik Saluran Udara Tegangan Tinggi	102
3. Saluran Transmisi Menengah	104
4. Saluran Transmisi Panjang	105
5. Gelombang Tegangan	121
6. Impedansi Surja	123
7. Arus Daya Langsung Saluran Transmisi	124
8. Efek Ferranti	125
Tugas	125
BAB X Gardu Induk	126
1. Definisi Gardu Induk	127
2. Perangkat dan Komponen Dalam Gardu Induk	130
3. Macam – Macam Gardu Induk	134
4. Permasalahan Gardu Induk saat ini	138
Tugas	138
BAB XI Sistem Distrbusi	139
1. Definisi Sistem Tenaga	139
2. Distribusi Primer	140

3. Distribusi Sekunder	141
4. Alasan Untuk Interkoneksi	144
5. Karakteristik Beban	145
6. Ada tiga tipe dasar desain sistem distribusi : Radial, Loop, atau jaringan	145
7. Permasalahan Sistem Distribusi Saat Ini	147
Tugas	148
BAB XII Sistem Instalasi	149
1. Penyebab Kerusakan / Kecelakaan / Kebakaran Listrik	149
2. Perawatan dan Pengujian	150
3. Perbaikan	152
4. Standart Operating Procedure (SOP)	153
5. Macam-Macam Sistem Instalasi	153
6. Perangkat dan Komponen Dalam Sistem Instalasi	155
7. Macam-Macam Alat Untuk Instalasi	156
8. Bahan Instalasi Listrik	161
9. Cara Melakukan Instalasi Listrik di Rumah	161
Tugas	162
BAB XIII Sistem Penangkal Petir	163
1. Penangkal Petir	164
2. Sistem Pentanahan Tenaga Listrik	165
3. Hubungan Sistem Penangkal Petir dengan Sistem Pentanahan Tenaga Listrik	166
4. Penangkal Petir	167
5. Kelengkapan Sistem Penangkal Petir	168
6. Macam-Macam Penangkal Petir	170
7. Karakteristik Penangkal Petir	172
8. Komponen Penangkal Petir	174
9. Kawat Catenary	176
10. Komponen Alami	178
Tugas	178
BAB XIV Pentanahan Sistem Tenaga Listrik	179
1. Resistansi Tanah	180
2. Pentanahan Sistem Tenaga Listrik	185
3. Kelengkapan Pentanahan Sistem Tenaga Listrik	187
4. Macam-Macam Pentanahan Sistem Tenaga Listrik	189
5. Bagaimana Cara Menggunakan Grounding Tester	192
Tugas	193
BAB XV Sistem Diesel Genset	194
1. Sistem Diesel Genset	198
2. Perangkat dan Komponen Genset Diesel	203
3. Panel ATS / AMF	210

4. Panel Sinkron	211
Tugas	212
BAB XVI Sistem Tenaga Listrik Negara Maju	213
1. Energi Alternatif Masa Depan	213
2. Sistem DC	216
3. Sistem AC	216
Tugas	219

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Daftar Gambar

Gambar 1.1 Sistem Tenaga Listrik	1
Gambar 1.2 Prinsip Kerja Generator	2
Gambar 1.3 Bentuk Real Generator	3
Gambar 1.4 Blok Diagram PLTU	4
Gambar 1.10 Diesel Genset	9
Gambar 2.1 Gelombang Elektromagnet	10
Gambar 2.2 Prinsip Elektromagnetik	12
Gambar 2.3 Medan Elektromagnet Pada Kawat Melingkar	13
Gambar 2.4 Belitan Kawat yang Membentuk Kutub Magnet	13
Gambar 2.5 Hukum Tangan Kanan	14
Gambar 2.6 Konstruksi Motor AC	14
Gambar 2.7 Cara Kerja Motor	15
Gambar 2.8 Motor Asinkron / Induksi	17
Gambar 2.9 Motor Sinkron	17
Gambar 2.10 Motor DC	18
Gambar 2.11 Perbedaan AC dan DC Generator	19
Gambar 2.12. Rangkaian Pengganti Mesin DC Seri	19
Gambar 2.13. Rangkaian Pengganti DC Shunt	20
Gambar 2.14. Rangkaian Pengganti DC Kompon Panjang	21
Gambar 2.15 Rangkaian DC Kompon Pendek	21
Gambar 2.16 Konsep Generator AC	23
Gambar 2.17 Output Generator AC	23
Gambar 2.18. Generator Magnet Permanen	24
Gambar 2.19 Generator Magnet Buatan	26
Gambar 3.1. Segitiga Daya	28
Gambar 3.2. Gelombang Daya Pada Beban Resistansi	29
Gambar 3.3. Ilustrasi Daya Reaktif	30
Gambar 3.2. Nilai Tegangan Sinusoidal	31
Gambar 3.5 Hubungan Y	32
Gambar 3.6 Hubungan Delta	34
Gambar 4.1. Generator Yang Dikopel Dengan Diesel Engine	36
Gambar 4.2. Generator DC	37
Gambar 4.3. Perbedaan Prinsip Kerja Generator DC Dan Generator AC	38
Gambar 4.4.. Rangkaian Sinkronisasi Dua Generator Secara Paralel	39
Gambar 4.5. Rotor Kutub Sepatu Buat Generator Sinkron Kecepatan Rendah	40
Gambar 4.6. Rotor Type Silinder Buat Generator Sinkron 3.000 Rpm	40
Gambar 4.7. Grafik Arus AC dan DC	42
Gambar 4.8. Arus AC dan DC	43
Gambar 4.9. Inverter	43

Gambar 4.10. Adaptor	44
Gambar 4.11. Elektrokimia	45
Gambar 4.12. Termoelemen	45
Gambar 4.13 Solar Cell	46
Gambar 5.1 Induksi Lilitan Trafo Didalam Inti Besi	47
Gambar 5.2 Simbol Transformator 1 phase	49
Gambar 5.3 Simbol Transformator 3 phase	49
Gambar 5.4. Transformator Arus	50
Gambar 5.5. Transformator Step Up	50
Gambar 5.6. Transformator Step Down	51
Gambar 5.7. Transformator dengan Centre Tap	51
Gambar 5.8. Transformator isolasi	52
Gambar 5.9. Transformator Daya	52
Gambar 5.10. Transformator Distribusi	53
Gambar 5.11 Skema Tranformator 1 fasa	54
Gambar 5.12. Prinsip Kerja Transformator 1 Fasa	55
Gambar 5.13. Transformator tipe inti	56
Gambar 5.14. Transformator tipe cangkang	56
Gambar 5.15 Transformator tiga phasa hubung bintang	59
Gambar 5.16. Transformator Hubungan Segitiga	60
Gambar 5.17 Transformator Hubungan Zig Zag	61
Gambar 6.1. Motor Arus Searah	62
Gambar 6.2. Motor BLDC	64
Gambar 6.3	65
Gambar 6.4	66
Gambar 6.5 Generator DC	67
Gambar 6.6	70
Gambar 6.7	71
Gambar 6.8	71
Gambar 7.1. Prinsip Kerja Arus Balik Balik	73
Gambar 7.2. Perbedaan Arus Bolak Balik dan Arus Searah	73
Gambar 7.3. istilah Istilah pada Arus Bolak Balik	74
Gambar 7.4. Pengaturan Sudut Fasa Arus Bolak Balik	75
Gambar 7.5. Rangkaian Arus Bolak Balik Resistif Murni	76
Gambar 7.6. Gelombang Arus dan Tegangan Arus Bolak Balik Resistif Murni	76
Gambar 7.7. Rangkaian Arus Bolak Balik Induktif Murni	77
Gambar 7.8. Sudut Fasor Antara Arus Dan Tegangan Arus Bolak Balik Induktif Murni	78
Gambar 7.9. Rangkaian Arus Bolak Balik Kapasitif Murni	79
Gambar 7.10. Sudut Fasor Antara Arus Dan Tegangan Arus Bolak Balik Kapasitif Murni	79
Gambar 7.11. Konstruksi Motor Arus Bolak Balik	80
Gambar 7.12. Rotor Sangkar	81

Gambar 7.13. Skematik Diagram Macam Motor Arus Bolak Balik	82
Gambar 7.14. Motor AC Sinkron	82
Gambar 7.15 Motor AC Induksi	83
Gambar 7.16. Penampang dari Rotor Sangkar	84
Gambar 7.17 Penampang Rotor Belit	84
Gambar 7.18 Generator Sinkton	86
Gambar 8.1. Energy Primer	88
Gambar 8.2	89
Gambar 8.3	91
Gambar 8.4	91
Gambar 8.5 Total Konsumsi Energi Primer Didunia	92
Gambar 8.6. Pemakaian Energi Primer Dunia 2008-2018	93
Gambar 8.7. Jumlah Pemakaian Energi Primer Dunia menurut bagian 2008-2018	93
Gambar 8.8. Total Konsumsi Energi Primer Dunia Berdasarkan Wilayah Tahun 2008 dan 2018	94
Gambar 8.9. Evolusi Permintaan Energi Primer di ASEAN	95
Gambar 9.1. Penyaluran Sistem Tenaga	101
Gambar 9.2. Model Saluran Pendek	103
Gambar 9.3. Diagram Fasor	103
Gambar 9.4. Saluran Panjang Menengah, Nominal Representasi π	105
Gambar 9.5. Skematik Diagram dari Saluran Transmisi Panjang Dengan Parameter Distribusi	106
Gambar 9.6.. Persamaan π Model Untuk Saluran Transmisi Panjang	109
Gambar 9.7. rangkaian Impedansi	110
Gambar 10.1. Lokasi Gardu Induk	126
Gambar 10.2. Tower Lattice SUTT	128
Gambar 10.3. Tower Lattice SUTET	129
Gambar 10.4. Tower Tiang Pole	129
Gambar 10.5. Design Tower Lattice SUTET	130
Gambar 10.6. Lightning Arrester	131
Gambar 10.7 Current Transformator	131
Gambar 10.8. Potensial Transformer	132
Gambar 10.9. Transformator Daya	132
Gambar 10.10. Saklar Pemutus	133
Gambar 10.11. Busbar Pada Gardu Induk	133
Gambar 10.12. Gardu Induk (GI) tegangan tinggi untuk konversi energi listrik dengan tegangan nominal 150 kv dan 70 kv.	134
Gambar 10.13. Mobil Gardu Induk	135
Gambar 10.14. Bus Bar Gardu Induk	136
Gambar 10.15. Diagram Sistem Single Busbar Gardu Induk	137
Gambar 10.15. Diagram Sistem Busbar Ganda Gardu Induk	137
Gambar 10.16. Gardu Induk System Busbar Satu Setengah	138

Gambar 11.1 Jaringan Distribusi	139
Gambar 11.2. Trafo Distribusi	141
Gambar 11.3. Sistem Tenaga Listrik	142
Gambar 11.4. Sistem Tenaga Listrik Dengan Trafo Daya	143
Gambar 11.5. Sistem Interkoneksi	144
Gambar. 11.6. Tipe Sistem Distribusi	144
Gambar 11.7. Jaringan Distrbusi Sistem Radial	146
Gambar. 11.8. Jairngan Distribusi Sistem Loop	146
Gambar 11.9. Jaringan Distribusi Interlocking Loop System	147
Gambar 12.1 Instalasi Listrik Rumah	149
Gambar 12.2. Kebakaran Akibat Listrik	150
Gambar 12.3	151
Gambar 12.4. Pengecekan Instalasi Listrik	152
Gambar 12.5. Kereta Api Listrik.	154
Gambar 12.6. Instalasi Penerangan Jalan Umum.	155
Gambar 12.7. Tang Kombinasi	156
Gambar 12.8 Obeng	157
Gambar 12.9. Obeng Mines	157
Gambar 12.10. Tespen	158
Gambar 12.11. Solder	158
Gambar 12.11. Timah	159
Gambar 12.13. Multi Tester	159
Gambar 12.14. Palu	160
Gambar 12.15. Palu Plastik	160
Gambar 12.16. Gergaji	160
Gambar 12.17. Bor Listrik	161
Gambar 13.1. Design Penangkal Petir	163
Gambar 13.2. Alat Penangkal Petir	164
Gambar 13.3. Sistem Pentanahan	166
Gambar 13.4. Pemasangan Penangkal Petir Dengan Grounding (Sistem Pentanahan)	166
Gambar 13.5. Instalasi Penangkal Petir Pada Gedung Bertingkat	167
Gambar 13.6. Alat Penangkal Petir	168
Gambar 13.7. Sistem Penangkal Petir	169
Gambar 13.8. Prinsip Kerja Penangkal Petir	170
Gambar 13.9. Penangkal petir kawat catenary	170
Gambar 13.10. Penangkal Petir Sangkar Konduktor	171
Gambar 13.11. Penangkal Petir Franklin	171
Gambar 13.12. Pemasangan Penangkal Petir Pada Rumah	173
Gambar 13.13. Proses Penangkal Petir	173
Gambar 13.14.. Komponen Utama Penangkal Petir	174
Gambar 13.15. Air Terminal	174
Gambar 13.16. Konduktor Penangkal Petir	175

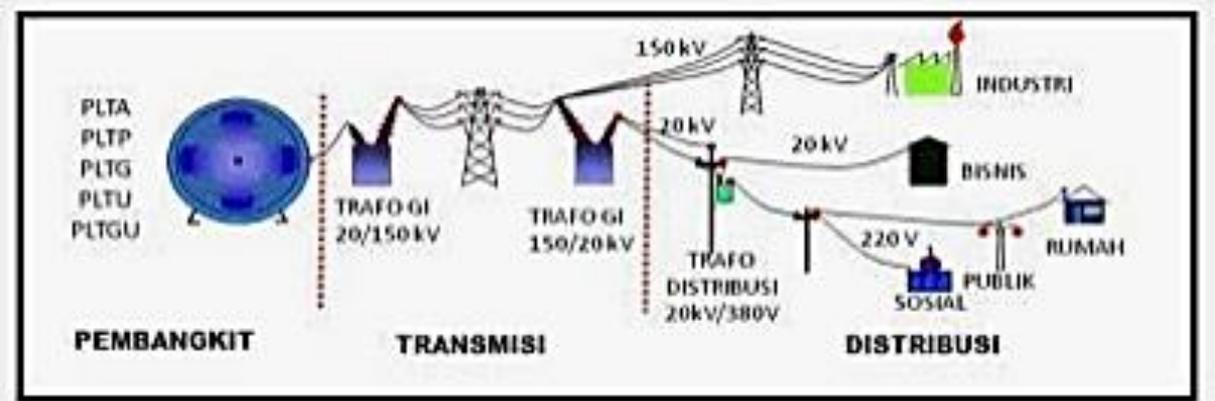
Gambar 13.17. Grounding	175
Gambar 13.18. Kawat Catenery	176
Gambar 13.19.. Sistem Farady	176
Gambar 13.20. Penangkal Petir Franklin	177
Gambar 13.21. Komponen Alami	178
Gambar 14.1 Design Pentanahan Sistem Tenaga	179
Gambar 14.2. Resistansi Tanah	181
Gambar 14.3 Cu Rod Untuk Pentanahan Sistem Tenaga	182
Gambar 14.4. Driven Ground Rods	183
Gambar 14.5	184
Gambar 14.6	185
Gambar. 14.7. Elektroda Batang (<i>Copper Rod</i>).	188
Gambar. 14.8. Bak Kontrol	188
Gambar. 14.9. Kabel BC	189
Gambar. 14.10. Busbar Tembaga	189
Gambar 14.11. Pentanahan Tenaga Listrik Sistem TT	190
Gambar 14.12. Pentanahan Tenaga Listrik Sistem TN	190
Gambar 14.13. Pentanahan Tenaga Listrik Sistem IT	191
Tabel 14.1 Nilai Rata-Rata Resistansi Jenis Tanah	182
Tabel 14.2 Nilai Rata-Rata Dari Resistansi Pembumian Untuk Elektrode Bumi	182
Tabel 14.3 Luas Penampang Minimum Elektroda Pembumian	186
Tabel 14.4 Ukuran Penampang Penghantar Sistem Pembumian	186
Gambar 15.1 Diesel Genset	
Gambar 15.2. Panel ATS / AMF	195
Gambar 15.3. Lambang Tekanan dan Level Olie	196
Gambar 15.4. Indikator Temperatur Air	196
Gambar 15.5. Alarm Over Crank Dapat Dilihat Pada Modul Panel ATS/AMF	197
Gambar 15.6. Fuel System Engine	198
Gambar 15.7. Lube Oil System	199
Gambar 15.8 Battery Engine / Accu engine	200
Gambar 15.9. Battery Charger	200
Gambar 15.10. Air Intake System	201
Gambar 15.11. Exhaust Pipe System	201
Gambar 15.12. Exhaust Cilencer System	202
Gambar 15.13 Exhaust Ducting System	203
Gambar 15.14 Radiator	204
Gambar 15.15 Water Pump	204
Gambar 15.16. Dinamo Starter	205
Gambar 15.17. Dinamo Ampere	205
Gambar 15.18. Turbo Charger	206

Gambar 15.19. Fuel Injection Pump	206
Gambar 15.20. Panel Kontrol Engine	207
Gambar 15.21. Filter Udara	207
Gambar 15.22. Filter Solar	208
Gambar 15.23. Filter Olie	208
Gambar 15.24. Prelubrication Pump	209
Gambar 15.25. Oil Water Separator	209
Gambar 15.26. Skema Antar Panel	210
Gambar 15.27.	211
Gambar 15.28. Skematik Diagram Panel Sinkron	212
Gambar 16.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap	213
Gambar 16.2. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu	214
Gambar 16.3 Angin darat dan Laut	214
Gambar 16.2. Desain Pembangkit Listrik Tenaga Angin	215
Gambar 16.3. sistem DC	216
Gambar 16.4. Pulsa Arus Bolak Balik dan Arus Searah	217
Gambar 16.5. Arus Bolak Balik dan Arus Searah	218

Bab 1

Sistem Tenaga Listrik

Manusia saat ini banyak bergantung kepada listrik. Semua aspek kehidupannya banyak menggunakan peralatan listrik. Sehingga pengelolaan energi listrik pun harus dilakukan dengan baik. Pengelolaan energy listrik ini bermula dari sistem pembangkitan energi listrik, Grdu induk, system transmisi, sistem distribusi, system instalasi yang di dalamnya juga ada perangkat pelengkap seperti sistem proteksi tenaga Isutrik penangkap petir dan sistem pentanahan tenaga listrik. Secara lengkap dapat dilihat pada diagram sebagaimana pada gambar 1.1.



Gambar 1.1. Sistem Tenaga Listrik

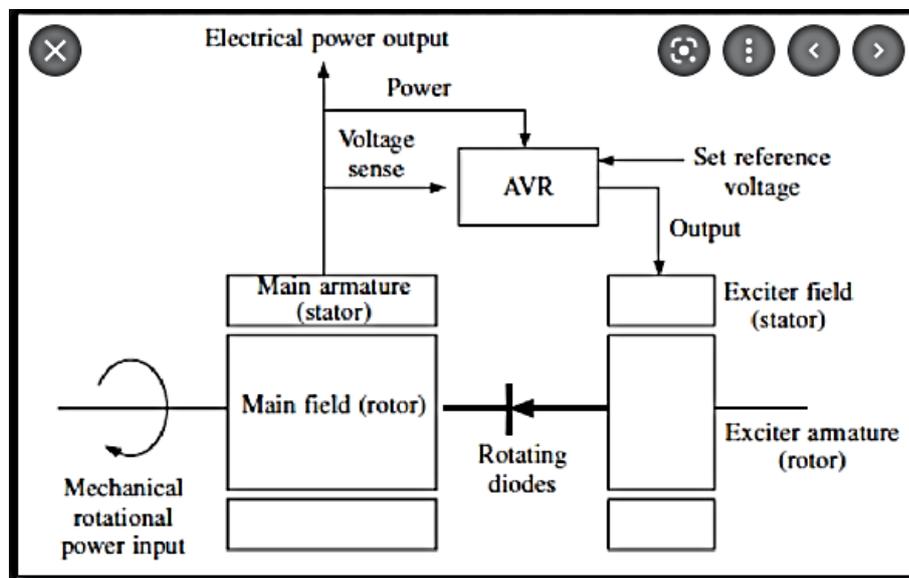
Pada gambar 1.1. terlihat bagian kiri adalah system pembangkit tenaga listrik. Pembangkit tenaga listrik. Dari listrik yang dibangkitkan maka akan dinaikkan tegangannya. Tegangan pada sisi pembangkit tidak tinggi biasanya berkisar antara 24-50 kV(Kadir, 1996)(Prasetijo et al., 2012). Sehingga ketika akan disalurkan kepada konsumen harus dinaikkan. Untuk menaikkan tegangan ini digunakan trafo yang berda di gardu induk untuk menaikkan tegangan.

Sesudah tegangan dinaikkan maka tegangan sistem masuk ke dalam transmisi. Transmisi yang digunakan dapat menggunakan tegangan Tinggi atau menggunakan tegangan ekstra tinggi. Tegangan tinggi memiliki nilai tegangan sebsar 150 kV sedangkan tegangan ekstra tinggi memiliki nilai tegangan sebesar 500 kV. Pada Negara Negara maju banyak menggunakan tegangan ekstra tinggi 500 kV.

Sesudah melalui sistem transmisi maka tegangan akan diturunkan lagi dengan menggunakan gardu induk. Gardu induk ini terdapat pada masing masing kota tujuan dimana beban berada. Pada Gardu induk ini dilakukan penurunan tegangan dari tegangan ekstra tinggi atau tngangan tinggi menjadi tegangan menengah dan nantinya melalui transformator distribusi akan diturunkan llagi menjadi tegangan 220 / 380 V.

1.1. Pinsip Kerja Generator

Secara sederhana untuk melakukan pembangktn listrik dengan menggunakan generator. Generator adaah suatu sistem yang mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.2.



Gambar 1.2. Prinsip Kerja Generator

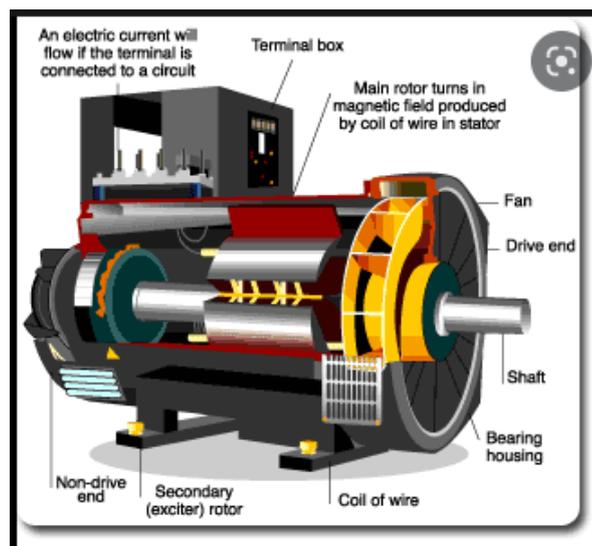
Pada Gambar 1.2. di dapatkan penjelasan bahwa sistem digerakkan oleh penggerak mekanik sehingga sistem akan ikut berputar pada poros rotor. Kumparan medan yang ada di rotor akan ikut berputar juga. Pada sisi belakang terdapat kumparan penguat jangkar yang juga berputar mengikuti gerakan rotor. Dari kumparan medan yang ada pada stator dengan adanya perputaran kumparan jangkar pada rotor maka menimbulkan tegangan. Tegangan tersebut masuk kepada AVR sistem. AVR sistem adaah Automatic

Voltage Regulator. AVR ini memberikan input tegangan pada penguat jangkar yang ada di rotor. Ada AVR juga dapat dilakukan penyetingan untuk batasan tegangan yang diinginkan.

Dengan demikian maka Generator akan mengeluarkan tegangan sebagaimana diinginkan. Generator akan dapat berfungsi dengan sempurna jika penggerak yang dikopel dengan generator sesuai dengan kapasitas terpasang generator. Contohnya, jika digunakan engine dengan kemampuan 1 pk maka akan dapat dikopel dan dijadikan penggerak generator dengan kekuatan dibawah 700 watt.

Bentuk real dari Generator dapat dilihat sebagaimana pada gambar 1.3. Pada gambar 1.3 dapat dilihat dengan sposisi body terbelah. Sehingga nampak bagian bagian didalamnya. Bagian dalam tersebut menunjukkan bagaimana kondisi real generator.

Sistem kerja generator banyak yang menggunakan sistem mesin sinkron. Dimana mesin sinkron ini akan bekerja dengan baik jika kumparan medan yang berada pada rotor memiliki putaran yang sama dengan kumparan jangkar yang berada pada stator.

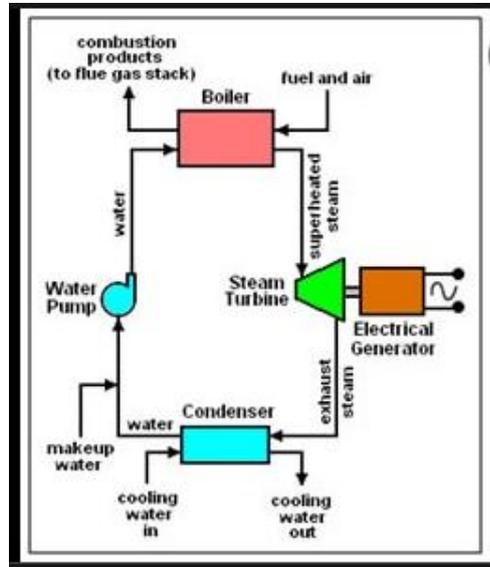


Gambar 1.3. Bentuk Real Generator

1.2. Pembangkit Listrik

Pembangkit Listrik adalah suatu sistem yang memiliki kemampuan untuk melakukan pembangkitan energi listrik. Di dalamnya tidak hanya berisi generator saja tetapi juga berisi sistem dan perangkat pendukungnya. Termasuk perangkat kontrol, perangkat penggerak mekanik dan sumber energi penggeraknya. Penggerak rotor dari suatu pembangkit listrik dapat bermacam macam. Dapat berupa Uap, engine, air laut, angin dan lain sebagainya.

Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap dapat diperoleh tenaga uapnya dari pembakaran batu bara, gas, atau kombinasi antara batu bara dan gas. Masing – masing sistem ini memiliki karakteristik masing – masing. Berikut akan dibahas prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap sebagaimana pada gambar 1.4.



Gambar 1.4. Blok Diagram PLTU

Pada gambar 1.4. nampak PLTU ini digerakkan oleh turbin uap, dimana turbin uap ini mendapatkan daya uap dari boiler. Boiler ini mendapatkan energi pembakaran dari batu bara yang dihembuskan atau gas atau ombinasi antara batubara dan gas. Permasalahan yang cuup rumit pada sistem ini adalah bagaimana memproses air yang ada dapat dilakukan pemanasan awal, menengah sampai masuk ke dalam boiler dan berubah menjadi uap. Setelah menjadi uap maka uap inilah yang menggerakkan turbin. Dengan turbin yang berputar dikarenakan ada uap tersebut, maka turbin menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik.

Uap yang telah memutar turbin itu diarahkan kebawah yaitu masuk ke dalla kondenser, dimana kondenser ini berfungsi untuk mengubah uap menjadi air lagi. Sesudah menjadi air lagi maka dilakukan pemompaan air ini untuk diubah menjadi uap lagi dan melakukana proses pemutaran turbin.

Secara garis besar prinsip kerja suatu pembangkit adalah sebagaimana di contohkan diatas. Hal ini dapat diaplikasikan pada bentuk pembangkit yang lain.

1.3. Sistem Transmisi

Kebutuhan tenaga listrik di Indonesia dari tahun ke tahun makin bertambah dikarenakan energi listrik sangat dibutuhkan oleh seluruh masyarakat dalam kehidupan sehari – hari dan energi listrik sendiri sangat membantu meringankan pekerjaan orang di seluruh dunia sehingga jumlah suplai atau penyediaan energi listrik juga harus ditingkatkan, oleh karena

itu perlu melakukan pembangunan untuk menambah pusat – pusat pembangkit tenaga listrik. Dengan perkembangan jumlah pusat – pusat pembangkit, tentu memerlukan sarana atau infrastruktur pendukung yaitu jaringan transmisi, gardu induk dan jaringan distribusi sebagai penyalur energi listrik sehingga dapat juga meningkatkan kualitas serta keandalan pelayanan energi listrik pada konsumen. Saluran Udara Tegangan Tinggi merupakan saluran tenaga listrik yang digunakan untuk transmisi energi listrik antar wilayah dengan tegangan paling rendah 70kV dan paling tinggi sampai 150kV.

Gambaran secara real saluran transmisi sebagaimana pada gambar 1.5. Gambar 1.5 menunjukkan saluran transmisi tegangan ekstra tinggi (SUTET 500 kV).



Gambar 1.6. Transisi Tegangan Tinggi

1.4. Gardu Induk

Semakin berkembangnya sebuah teknologi membuat konsumsi energi semakin meningkat, terutama energi listrik. Banyaknya rumah huni dan perusahaan serta semakin bertambahnya penduduk, konsumsi listrikpun semakin meningkat. Oleh karena itu hal tersebut tentunya dibarengi dengan pembangunan pembangkit listrik baru, maupun sistem transmisi listrik baru, yang berupa Gardu induk dan saluran lainnya. Gardu Induk merupakan perangkat transmisi (kesatuan) Sebagai sarana pendistribusian listrik. (GI) Gardu Induk adalah perangkat penting dalam penyaluran dan pendistribusian listrik. Perangkat tersebut memiliki saluran transmisi serta distribusi, transformator dan peralatan hubung dan pembagi, perangkat pengaman, dan perangkat sistem kontrol



Gambar 1.7. Gardu Induk

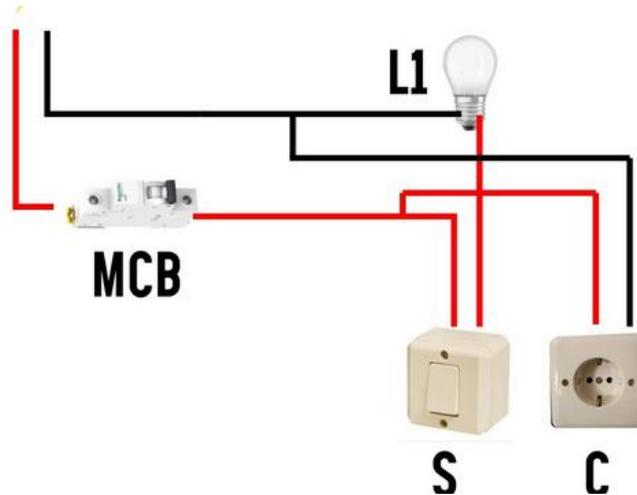
1.5. Sistem Distribusi

Bagian terakhir dari sistem tenaga listrik adalah sistem distribusi. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (Bulk Power Source) sampai ke konsumen, Sehingga dapat disimpulkan bahwa Sistem distribusi adalah:

- 1) Pembagian atau penyaliran pada bagian akhir yaitu ke pelanggan.
- 2) Pelayanan sistem tenaga listrik yang terakhir yang berada pada pelayanan pelanggan. Pelayanan ini dengan menggunakan jaringan distribusi

Sistem distribusi ini merupakan penurunan dari jaringan tegangan menengah 70 KV melalui transformator distribusi. Sedangkan saluran tegangan menengah yang mempunyai tegangan 70 KV tersebut disalurkan dari Gardu induk melalui penyulang penyulang yang mengarah ke pusat beban. Sedangkan Gardu Induk yang menyalurkan penyulang tersebut mendapatkan suplai tegangan dari Saluran Tegangan Tinggi 150 KV atau saluran tegangan extra tinggi dengan tegangan 500 kv.

1.6. Sistem Instalasi



Gambar 1.8. Instalasi Listrik

Instalasi listrik merupakan suatu rangkaian yang berguna dalam menyalurkan energi listrik sebagai kebutuhan mesin atau manusia pada umumnya. Sistem instalasi listrik ini merupakan bagian terkecil suatu sistem Distribusi tenaga listrik. Sistem instalasi tenaga listrik ini merupakan sistem yang berada pada sisi pelanggan. Walaupun proses pengerjaan instalasi sistem tenaga listriknya dilakukan oleh pelanggan sendiri, namun tetap mendapatkan supervisi dan pengawasan dari PLN.

Sistem instalasi ini terdiri dari 2 bagian yaitu instalasi penerangan dan instalasi tenaga listrik. Instalasi penerangan merupakan instalasi yang berisikan beban-beban lampu penerangan yang tersebar pada satu rumah atau suatu kantor. Sedangkan instalasi daya berkaitan dengan pemasangan beban-beban listrik yang sifatnya adalah beban induktif yang memiliki kapasitas beroperasi dengan daya yang besar.

1.7. Sistem Penangkal Petir

Petir yang seperti yang kita ketahui adalah salah satu fenomena alam yang terjadinya loncatan atau pelepasan muatan listrik akibat terjadinya adanya beda potensial antara awan dan bumi. Dengan situasi negara kita termasuk daerah katulistiwa dengan iklim tropis dan kelembapan yang tinggi yang potensi terjadinya fenomena alam yaitu sambaran petir sering terjadi. (Suhartanto & Syakur, n.d.)

Maka dari itu untuk melindungi dan mengurangi dampak kerusakan akibat sambaran petir maka munculah inovasi grounding system untuk sistem pengamanan. Grounding merupakan salah satu sistem pengawatan ke bumi dalam proses instalasi listrik. Pentanahan dapat juga disebut pembumian aliran listrik. Seperti yang kita ketahui pada saat grounding pentanahan berkaitan dengan pembumian aliran listrik.

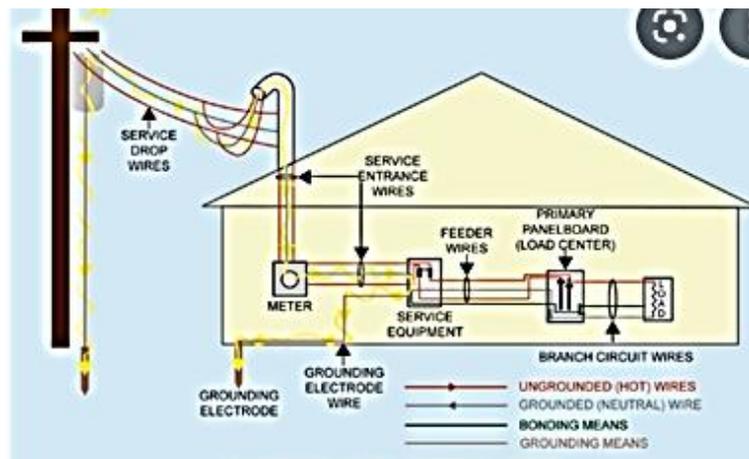
Adanya sistem pembumian ini, diharapkan bagian gedung diharapkan permukaan tanah mempunyai tegangan yang merata. Karena supaya tidak membahayakan orang yang berada

di sekitar tempat dimana ada grounding system (Petir, 2019). Kehidupan saat ini sangat mengandalkan listrik sebagai kebutuhan pokok bagi manusia. Karena hal itu tidak asing lagi bagi kita untuk mengetahui apa itu listrik, bagaimana sistemnya dan apa saja yang dapat mengubah listrik atau hal-hal lain yang bersangkutan dengan kelistrikan.

Pada kelistrikan terdapat sistem tenaga listrik yakni sekumpulan pusat listrik dengan beban yang satu sama lainnya dihubungkan oleh jaringan serta distribusi, sehingga menjadi sebuah kesatuan interkoneksi.

Penggunaan listrik di Indonesia pun tidak sedikit, hampir semua manusia membutuhkan bantuan listrik dalam kehidupan sehari-hari. Namun, disaat hujan turun dengan disertai petir maka disitulah terkadang suatu keadaan menjadi terganggu. Karena petir bisa saja mengakibatkan peralatan listrik dan elektronik rumah tangga rusak. Penyebab kerusakan tersebut yaitu adanya gelombang berjalan dengan amplitudo transien arus dan tegangan yang tinggi dari sambaran petir.

1.8. Pentanahan Sistem Tenaga Listrik



Gambar 1.9. Aliran Listrik Dan Pentanahan Listrik

Pentanahan sistem tenaga listrik ini merupakan suatu kesatuan dengan sistem penangkal petir. Karena fungsi dari sistem pentanahan tenaga listrik ini adalah melakukan penyaliran tegangan kejutan yang muncul akibat petir. Jika terjadi petir, maka petir akan masuk ke spliten / rangkaian penangkal petir lalu disalurkan melalui down konduktor yang ditarik dari spliten ke busbar yang terus disalurkan ke dalam tanah melalui sistem pentanahan tenaga listrik.

1.9. Sistem Diesel Genset



Gambar 1.10. Diesel Genset

Diesel genset adalah genartor set yang dikopel dengan diesel yang berfungsi sebagai penggerak generator. Generator merupakan mesin sinkron yang dapat menghasilkan daya listrik. Sedangkan penggeraknya yang sering dijumpai adalah dengan menggunakan engine / diesel. Untuk kapasitas diatas 5 KVA bisanya menggunakan mesin diesel, sedangkan utuk kapasitas dibawah 5 kva ada juga yang menggunakan mesin bensin.

Genset ini sering dijumpai pada perkantoran, sekolah, rumah sakit, tempat ibadah dll. Dimana fungsi kegunaannya adalah untuk mengganti ketersediaan daya listrik yang putus akibat PLN putus.

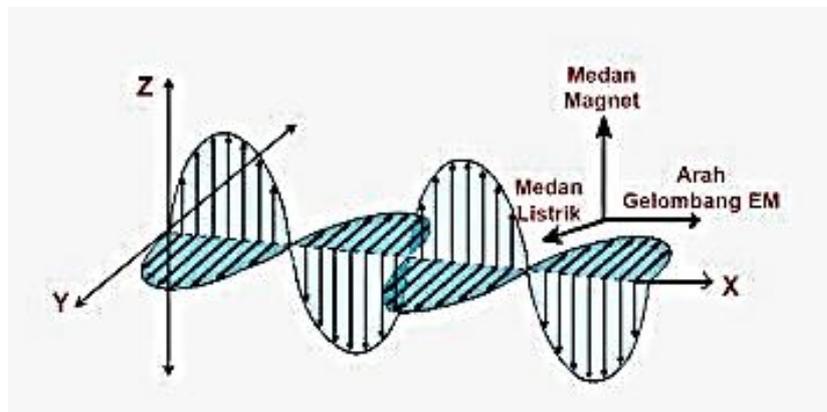
1.10.Tugas

1. Jelaskan secara singkat Sistem Tenaga Listrik dibangkitkan dan dinikmati oleh pelanggan.
2. Pada sistem Tenaga Listrik Terdapat macam saluran untuk mengalirkan daya listrik, sebutkan macam saluran daya listrik dengan berdasarkan maca tegangannya?

Bab 2

Dasar Elektromagnetik

Saat ini listrik menjadi salah satu energi yang cukup penting dan hampir semua orang tidak bisa terlepas dari Energi listrik. Pemanfaatan energi banyak digunakan untuk keperluan sehari-hari oleh masyarakat maupun oleh industri (Syahputra et al., 2016). Dikehidupan sehari-hari, masyarakat biasanya menggunakan listrik untuk beberapa keperluan seperti memasak, mencuci, mengambil air dan lain sebagainya. Sedangkan di industri, listrik digunakan untuk kelancaran proses produksi ataupun kegiatan lainnya yang berhubungan dengan aktivitas suatu industri itu sendiri. Salah satu contoh bentuk gelombang elektromagnet sebagaimana pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Gelombang Elektromagnet

Perkembangan ilmu pengetahuan seperti sekarang ini, ternyata juga mempengaruhi kebutuhan listrik. Masyarakat diberi tanggung jawab untuk dapat menghemat penggunaan energi listrik. Disisi lain, penyedia energi listrik berlomba untuk memproduksi listrik dengan berbagai macam cara. Seperti mengembangkan energi bersih lingkungan, terbarukan, dan lain sebagainya. Sehingga banyak pembangkit listrik atau generator muncul dari berbagai sumber energi, seperti air, uap, matahari, angin, nuklir, dan masih banyak sumber energi lainnya (Istiawan et al., 2017). Hal tersebut tidak lain dan tidak bukan adalah untuk menambah cadangan energi listrik dan dapat memenuhi kebutuhan listrik di masyarakat..

Saat ini telah banyak energi terbarukan yang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Namun tidak banyak yang mengetahui bagaimana energi listrik dapat dibangkitkan. Secara konsep generator dapat dijadikan sebagai motor. Motor merupakan kebalikan dari generator. Dimana motor membutuhkan sejumlah energi listrik untuk dapat beroperasi. Berbeda halnya dengan Generator yang ketika beroperasi menghasilkan energi listrik.

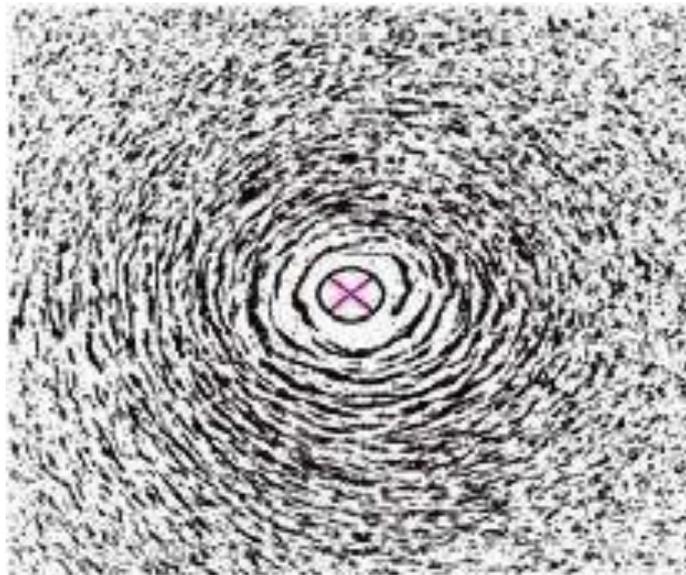
2.1. Medan Elektromagnet

Didalam kehidupan ini kita tidak pernah lepas dari alat-alat motor listrik dalam mempermudah pekerjaan baik di lingkungan sosial baik di keluarga, industrial maupun di tempat lainnya. Apalagi di era kemajuan teknologi saat ini motor listrik sangat penting sekali untuk membantu manusia dalam kegiatan sehari-hari baik di buat untuk hal kecil maupun dalam hal besar.

Penggunaan motor listrik di dalam kehidupan ini sangat banyak sekali, hampir semua manusia tidak lepas dari penggunaan motor listrik ini. Dalam motor listrik pasti kita membutuhkan energi listrik, untuk menjalankan atau menyalakan motor listrik tersebut baik motor listrik tegangan AC (Alternating Current) maupun tegangan DC (Direct Current) dalam hal ini motor listrik dapat menimbulkan medan magnetik atau elektro magnetik.

Karena hal ini, komponen di dalam motor listrik memiliki perbedaan masing-masing baik dari motor listrik AC (Alternating Current) maupun motor listrik DC (Direct Current). Didalam hal ini komponen apa saja yang terdapat pada motor listrik yang dapat menimbulkan medan magnetik.

Elektromagnet ialah prinsip untuk membangkitkan medan magnet dengan menggunakan arus listrik. Untuk aplikasinya kita dapat melihat dan menemukan pada motor listrik (kipas angin, pompa air dan lain-lainnya), speaker, kontaktor, relay dan seterusnya. Sebatang kawat yang di berikan aliran listrik DC arahnya meninggalkan kita (pada tanda X) maka disekeliling kawat timbul garis gaya medan magnet melingkar. Gaya magnet dapat dilihat dari serbuk besi yang ditaburkan di sekeliling kawat yang di aliri arus listrik dapat dilihat pada gambar 2.2.

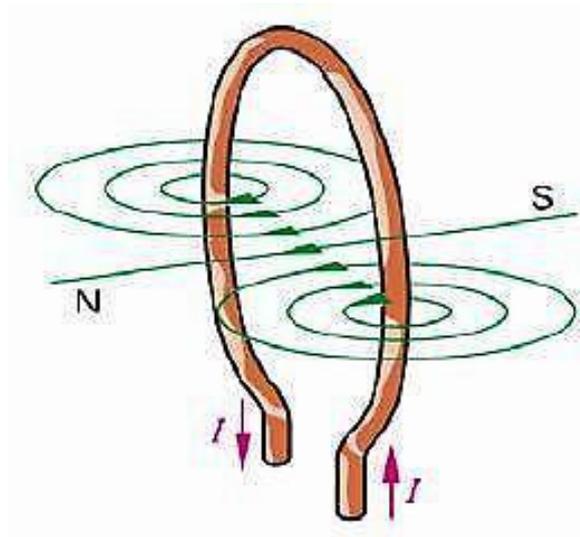


Gambar 2.2. Prinsip Elektromagnetik

Gambar 2.2. menunjukkan bahwa jika ada arus yang arahnya masuk ke dalam kertas (Hal ini ditunjukkan oleh tanda panah masuk kedalam kertas, maka akan muncul medan elektromagnet yang mengelilingi arus tersebut.

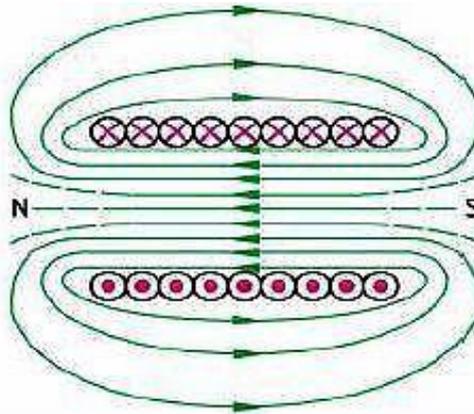
2.2. Elektromagnet Pada Belitan Kawat

Untuk mempelajari bagaimana medan elektromagnetik mengalir ke dalam kawat yang berbentuk melingkar, maka dapat dilakukan membuat kawat penghantar dan dibentuk sebagaimana pada gambar.2.3. Jika kawat dibentuk sebagaimana terdapat pada gambar, maka akan muncul medan elektromagnet sebagaimana garis gaya yang muncul pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Medan Elektromagnet pada Kawat Melingkar.

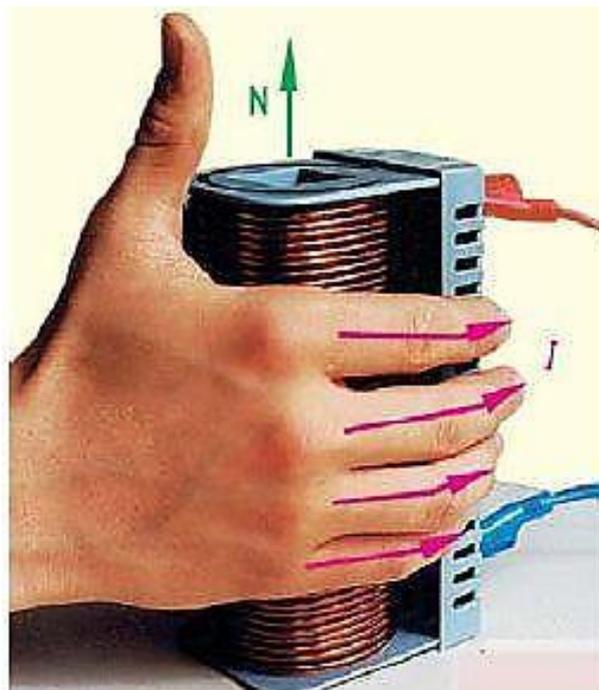
Apabila kawat dililitkan membentuk suatu kumparan atau lilitan, kemudian itu dipotong secara tegak lurus maka arus listrik ada dua kutub yaitu kutub utara dan selatan atau sebaliknya. Kawat yang bertanda (x) bagian atas akan menjauh dari kita dan kawat bertanda (O) mendekati kita. Lebih jelas dapat dilihat sebagaimana gambar 2.4.



Gambar. 2.4. Belitan Kawat Yang Membentuk Kutub Magnet

2.3 Kaidah Tangan Kanan

Kaidah tangan kanan ini menjelaskan tentang garis gaya elektromagnet pada sebuah kumparan atau coil. Maka arah arus dapat di simbolkan dengan tangan kanan. Dan kutub magnet yang merupakan outputnya ditunjukkan dengan ibu jari untuk arah kutub utaranya untuk kutub selatan sebaliknya, bisa dilihat pada gambar 2.5..



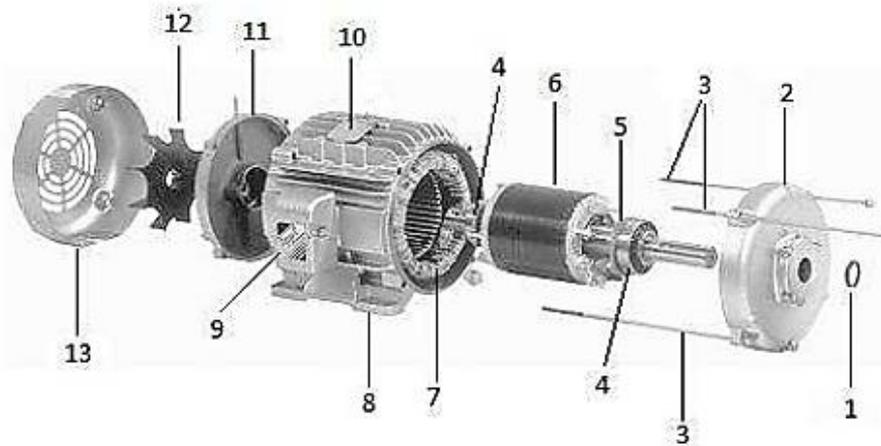
Gambar 2.5. Hukum Tangan Kanan

Pada gambar 2.5. nampak tangan kanan jika di bentuk setengah melingkar berlawanan arah jarum jam akan menimbulkan gaya serah dengan jari jempol (Ke atas) dan sebaliknya jika jari tangan kita yang empat itu membentuk formasi searah dengan jarum jam, maka akan menimbulkan gaya dengan arah ke bawah.

2.4. Prinsip Kerja Motor

Motor AC yang dominan di bidang Drive industri. Mereka banyak digunakan karena efisiensinya, lebih sedikit perawatan, konstruksi yang lebih sederhana (Awasthi et al., 2017). Adapun prinsip kerjanya adalah Ketika suplai ac satu fasa diberikan ke belitan stator motor induksi satu fasa, arus bolak-balik biasanya beroperasi melalui stator. Arus bolak-balik ini memproduksi fluks bolak-balik yang disebut fluks utama. Pada Fluks utama akan memotong konduktor rotor. Sesuai dengan hukum induksi elektromagnetik yang dikemukakan oleh Michael Faraday, ggl diinduksi di rotor.

Saat rangkaian rotor tertutup, satu arus tenang mulai beroperasi di rotor yang biasanya diidentifikasi sebagai arus dari rotor. Arus rotor ini memproduksi fluks sendiri yang disebut fluks rotor. Karena fluks ini dihasilkan diakibatkan adanya kaidaj induksi, maka motor yang diketahui bekerja berdasarkan kaidah ini mendapat namanya sebagai motor induksi. Saat ini diketahui terdapat 2 Fluks dimana satu berfungsi sebagai fluks utama dan yang lainnya adalah fluks rotor. Kedua fluks ini menghasilkan torsi yang diinginkan yang dibutuhkan oleh motor untuk berputar. Adapun bagian-bagian dari motor AC tersebut adalah sebagaimana gambar 2.6.



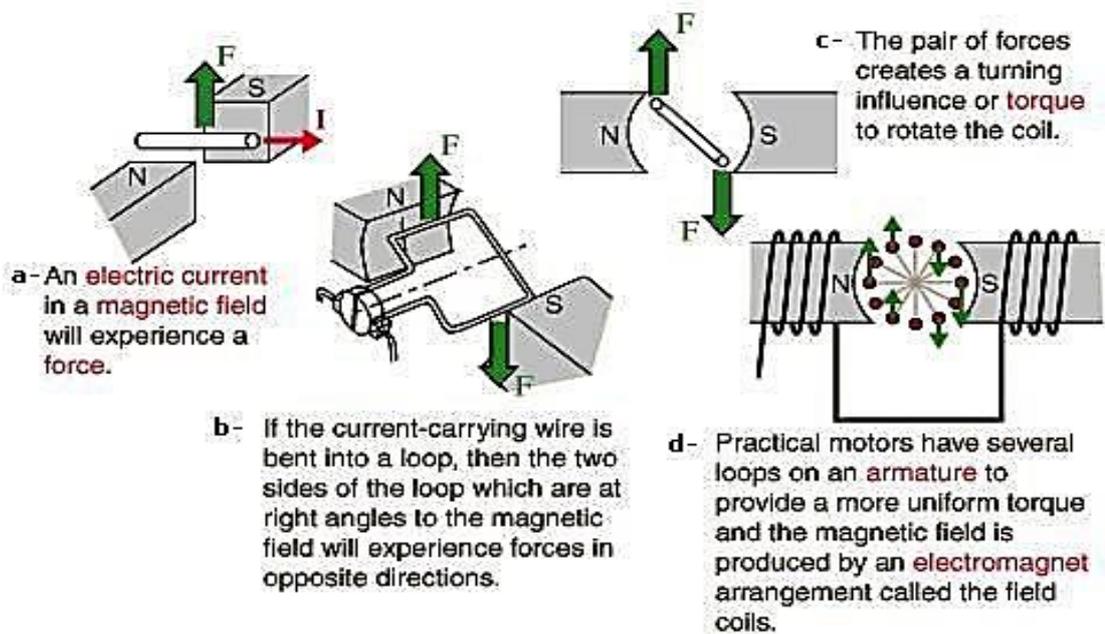
Gambar 2.6 Konstruksi Motor AC

Item	Description	Item	Description	Item	Description
1	Shaft sealing ring	6	Rotor, complete	10	Rating plate
2	End shield	7	Stator, complete	11	End shield
3	Assembly screws	8	Housing foot	12	Cooling fan
4	Rolling-contact bearing	9	Terminal box, complete	13	Cooling fan cover
5	Spring washer				

Motor listrik ialah perangkat elektromagnetik yang melakukan perubahan energi listrik menjadi energi gerak, Energi gerak ini dipergunakan untuk memutar impeller, pompa,

blower dan lain-lainnya. Cara kerja motor listrik pada dasarnya tidak memiliki perbedaan jauh dari jenis motor secara umum hal ini dapat dilihat sebagaimana pada gambar 2.7.

1. Gaya Gerak dihasilkan Arus listrik yang berada pada medan magnet.
2. Kumparan kawat akan menghasilkan sebuah loop, maka kedua sisi loop pada sudut kanan medan magnet akan mendapatkan gaya yang arahnya berlawanan.
3. Gaya yang menjadi output dari loop akan menghasilkan tenaga putaran atau torque untuk memutar kumparan.
4. Kumparan medan ialah medan magnet yang dihasilkan oleh susunan elektromagnetik saat motor listrik dialiri listrik dan terbentuknya loop.



Gambar 2.7. Cara Kerja Motor

2.4.1. Stator

Inti stator biasanya terbuat dari tumpukan laminasi baja tipis berbentuk donat dengan slot berinsulasi. Slot dibuka ke diameter dalam yang menahan gulungan stator (belitan) dan disatukan dengan cara yang sesuai. Setiap laminasi inti dipisahkan dari yang lain. Gigi memisahkan slot dan membawa fluks magnet dari belitan stator ke rotor melalui celah udara (Toliat & Kliman, 2004).

Gulungan stator terbuat dari kabel tembaga terisolasi yang tertanam di slot. Sejumlah susunan kumparan seragam yang identik dipelintir di sekitar setiap gigi stator. Kumparan dihubungkan bersama untuk membentuk belitan tiga fasa, disirkulasikan di sekitar stator, dan terletak secara simetris terhadap satu sama lain (Toliat & Kliman, 2004). Arus dalam belitan stator dianggap memiliki amplitudo yang sama tetapi berbeda fase dengan sepertiga siklus ($2\pi/3$) membentuk set tiga fase yang seimbang. Saat arus mengalir melalui kumparan pada gigi pertama, ia menciptakan medan magnet polaritas yang

menentang polaritas gigi yang berlawanan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8(b) (Bonnett & Albers, 2000).

2.4.2. Rotor

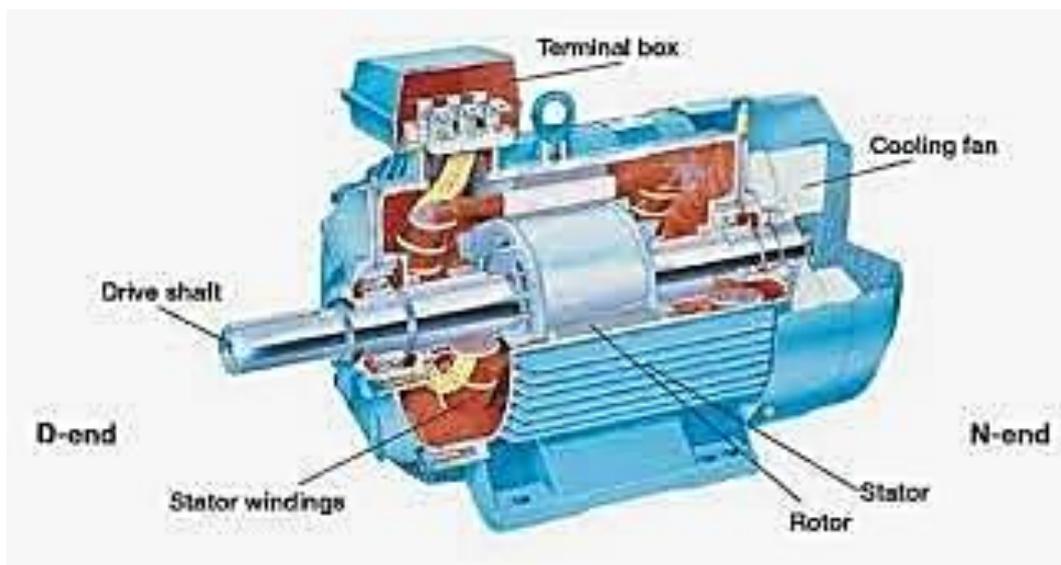
Rotor dibangun dari poros dan konduktor sangkar. Poros rotor terbuat dari inti besi cor silinder. Belitan rotor dengan tipe sangkar tupai memiliki bagian-bagian yang didalamnya terdapat batang tembaga yang kokoh, lurus dan tertanam, yang disirkulasikan secara teratur di sekelilingnya, dan dihubungkan pada kedua ujungnya oleh cincin ujung. Slot mengakomodasi konduktor rotor; dan dimiringkan untuk meminimalkan pulsasi torsi. Blade dipasang pada cincin ujung untuk berfungsi sebagai kipas pendingin (Bonnett & Albers, 2000)

2.5. Motor Listrik AC

Motor listrik AC pada dasarnya berkerja pada arus listrik tegangan AC atau arus bolak balik. Yang membedakan dengan motor listrik lainnya ialah terdiri dua bagian utama yaitu rotor ialah komponen yang berfungsi untuk penggeraknya dan berbentuk jangkar dan stator ialah komponen yang tidak dapat berputar, yang memiliki tiga gulungan. Keuntungan dari motor listrik AC memakan biaya yang lebih rendah. Namun untuk mengendalikan putaran motor AC sangat memerlukan biaya yang mahal.

2.5.1. Motor Listrik Induksi

Cara kerja motor listrik induksi memiliki prinsip bernama asinkron, yang memiliki dua tipe yakni satu fasa dan tiga fasa. Dalam hal ini untuk mengoperasikan motor ini mengurangi gesekan dikarenakan tidak membutuhkan sikat arang. Desain rotor motor induksi ada dua yang pertama berbentuk sangkar tupai dan berbentuk slip ring, dalam hal ini rotor motor induksi berbentuk itu untuk mengurangi gesekan yang menimbulkan suara yang bisung. Bentuk motor induksi sebagaimana pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Motor Asinkron / Induksi

2.5.2. Motor Listrik Sinkron

Cara kerja motor listrik sinkron ini menggunakan magnet permanen yang akan disinkronkan pada medan magnet berputar, putaran motor listrik sesuai frekuensi arus yang di berikan pada motor itu sendiri yang dapat diatur oleh pins yang sudah di tetapkan. Motor listrik ini bergantung pada arus yang induksi pada saat berkerja.

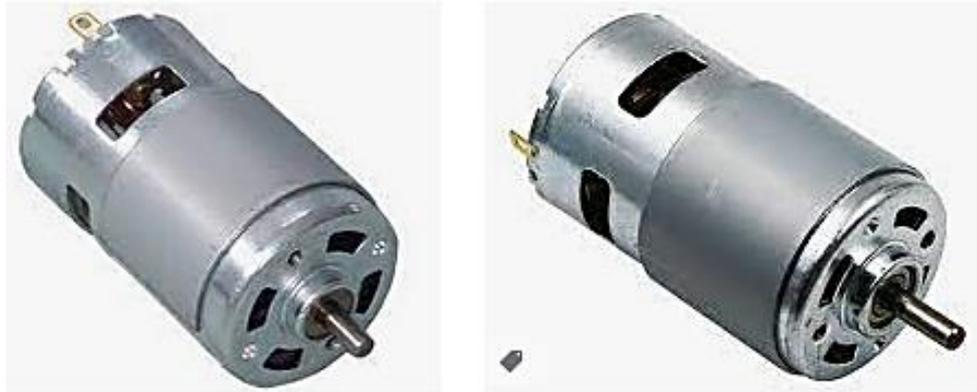
Motor listrik akan berkerja pada suplai tegangan tiga phasa pada belitan stator, oleh karena itu medan magnet akan berputar menjadi sinkron, mekanisme kecepatan yang sinkron merupakan sebuah elektromagnet pada medan magnet yang berputar dan secara magnetis yang telah dikunci. Bentuk motor sinkron sebagaimana pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Motor Sinkron

2.6. Motor Listrik DC

Motor listrik DC pada dasarnya berkerja pada arus listrik tegangan DC atau arus searah. Motor DC terdapat komponen utama seperti pada motor AC yaitu komponen rotor dan stator. Cara kerja motor listrik DC dalam hal ini arus listrik mengalir pada kumpuran sampai menuju magnet kutub utara. Sementara itu kutub selatan akan menghadap arah sebaliknya, apabila kutub ini saling berhadapan dapat menimbulkan gaya tarik menarik yang sangat kuat. Motor DC dapat dilihat sebagaimana pada gambar 2.10.



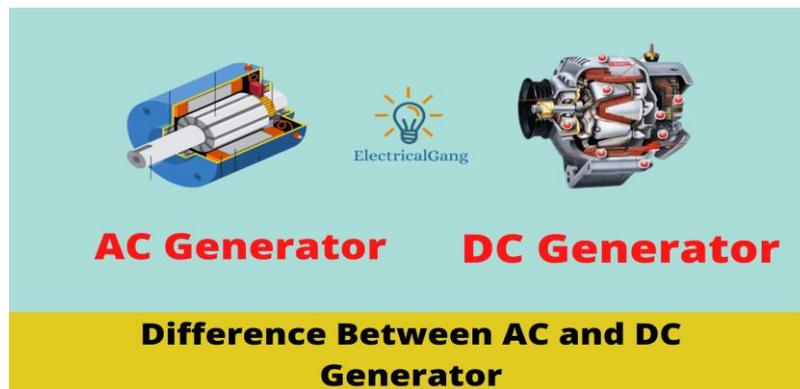
Gambar 2.10. Motor DC

2.6.1. Motor DC Sumber Daya Yang Terpisah

Motor DC tidak dipergunakan pada kapasitas yang besar. Hal ini dikarenakan volume lilitan pada kumparan medan dan jangkarnya sangat tidak efisien. Sehingga hal ini akan berakibat pada Motor DC jenis ini menjadi lebih mahal sehingga dan jarang digunakan. Motor DC ini umumnya digunakan di laboratorium untuk penelitian dan peralatan-peralatan khusus.

2.6.2. Motor DC Sumber Daya Individual

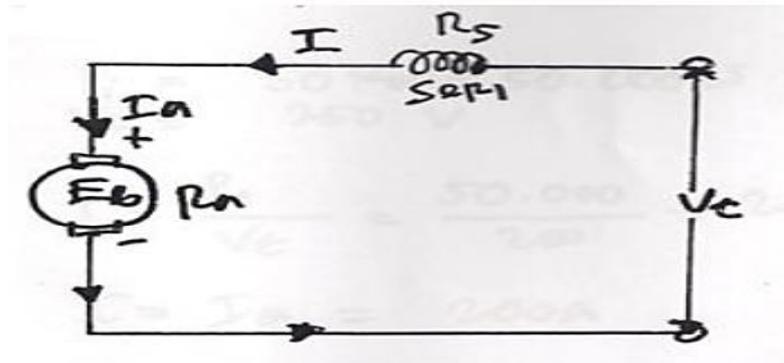
Pada Motor DC jenis Sumber Daya Individual ini adalah kumparan medan yang dihubungkan secara seri, paralel ataupun kombinasi seri-paralel dengan kumparan angker/ jangkar. Motor DC Sumber Daya Sendiri ini terbagi lagi menjadi 3 jenis Motor DC yaitu Shunt, Series dan Compound. Secara garis besar perbedaan antara AC generator dan DC Generator dapat dilihat sebagaimana gambar 2.11



Gambar 2.11. Perbedaan AC dan DC Generator

2.6.2.1. Mesin DC Penguatan Sendiri Seri

Mesin DC berpenguatan sendiri Seri mempunyai makna bahwa antara kumparan medan yang ada pada stator dan kumparan jangkar yang berada pada rotor akan bersambungan dengan hubungan seri. Adapun rangkaian penggantinya adalah sebagaimana gambar 2.12.



Gambar 2.12. Rangkaian Pengganti Mesin DC Seri

Dari gambar 2.12 maka akan menghasilkan hubungan antara arus, tegangan, daya dan tahanan adalah berdasarkan rangkaian ekivalen pada gambar 2.12. adalah sebagai berikut:

$$V_t = E_b + I_a R_a + I R_s + \Delta V_{si}$$

$$I = I_a$$

$$I = \frac{P_{input}}{V_t}$$

Keterangan persamaan :

V_t = Tegangan terminal motor dalam Volt

E_b = EMF (GGL) lawan dari jangkar dalam volt

I_a = Arus jangkar dalam amper

I_{sh} = Arus medan shunt dalam amper

I = Arus dari jala – jala dalam amper

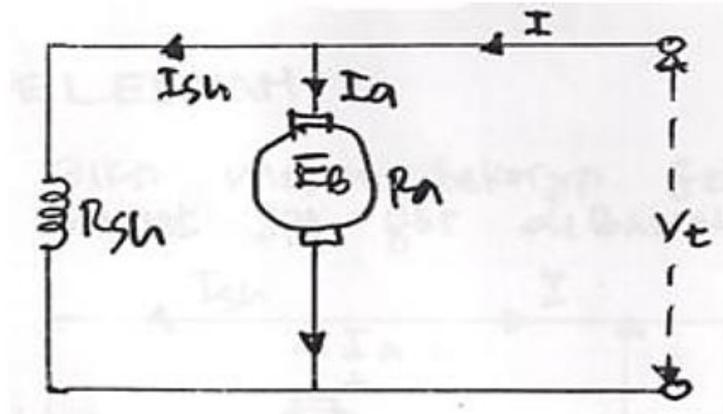
R_a = Tahanan kumparan jangkar dalam ohm

R_s = Tahanan kumparan seri dalam ohm

ΔV_{si} = Rugi tegangan pada sikat

2.6.2.2. Mesin DC Penguatan Sendiri Shunt

Mesin DC berpenguatan sendiri Shunt mempunyai makna bahwa antara kumparan medan yang ada pada stator dan kumparan jangkar yang berapa pada rotor akan bersambungan dengan hubungan seri. Dengan rangkaian pengganti sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Rangkaian Pengganti DC Shunt

Dari rangkaian motor DC shunt tersebut sebagaimana gambar 2.13, memiliki suatu persamaan yang menyatakan hubungan antara tegangan, arus, daya dan tahanan adalah :

$$V_t = E_b + I_a R_a + \Delta V_{si}$$

$$I_{sh} = I_f = \frac{V_t}{R_{sh}}$$

$$I = I_a + I_{sh}$$

$$I = \frac{\text{Daya Input}}{V_t}$$

Dengan :

V_t = Tegangan terminal dalam Volt

E_b = EMF (GGL) lawan dalam volt

I_a = Arus jangkar dalam amper

I_{sh} = Arus medan shunt dalam amper

I = Arus jala – jala dalam amper

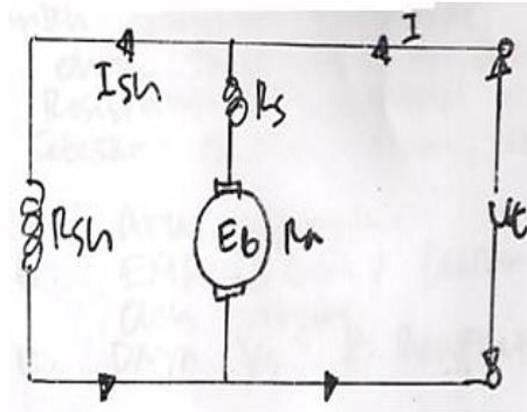
P_t = Daya input $\rightarrow V_t \times I$ dalam watt.

R_a = Tahanan jangkar dalam ohm

ΔV_{si} = Rugi tegangan dalam sikat

2.6.2.3. Mesin DC Penguatan Sendiri Kompon Panjang

Mesin DC berpenguatan sendiri kompon panjang mempunyai makna bahwa antara kumpasan medan yang ada pada stator dan kumparan jangkar yang berada pada rotor akan bersambungan dengan hubungan seri dan paralel dengan rangkaian sebagaimana pada gambar 2.14.



Gabar 2.14. Rangkaian Pengganti DC Kompon Panjang

Pada rangkaian diatas didapatkan persamaan arus, tegangan, daya dan tahanan akan mengikuti persamaan sebagai berikut:

$$V_t = E_b + I_a R_a + I_a R_s + \Delta V_{si}$$

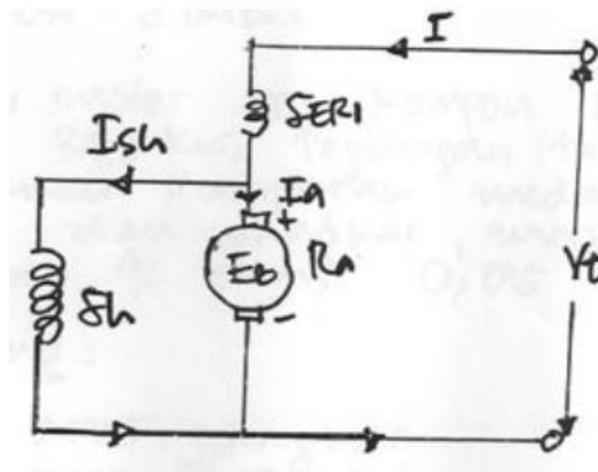
$$I_a = I - I_{sh}$$

$$I = \frac{\text{Daya Input}}{V_t}$$

$$I_{sh} = \frac{V_t}{R_{sh}}$$

2.6.2.4. Mesin DC Penguatan Sendiri Kompon Pendek

Mesin DC berpenguatan sendiri Kompon Pendek mempunyai makna bahwa antara kumpasan medan yang ada pada stator dan kumparan jangkar yang berada pada rotor akan bersambungan dengan hubungan kompon pendek dengan gambar rangkaian sebagaimana pada gambar 2.15..



Gambar 2.15 Rangkaian DC Kompon Pendek

Dari rangkaian diatas, maka didapatkan persamaan yang menyatakan hubungan arus, tegangan, daya dan tahanan sebagai berikut:

$$V_t = E_b + I_a R_a + I R_s + \Delta V_{si}$$

$$I_{sh} = \frac{V_t - I R_s}{R_{sh}}$$

$$I = I_a - I_{sh}$$

$$I = \frac{\text{Daya Input}}{V_t}$$

Dengan :

V_t = Tegangan terminal motor dalam Volt

E_b = EMF (GGL) lawan dari jangkar dalam volt

I_a = Arus jangkar dalam amper

I_{sh} = Arus medan shunt dalam amper

R_a = Tahanan kuparan jangkar dalam ohm

R_s = Tahanan kumparan seri dalam ohm

R_{sh} = Tahanan Kumparan medan shunt dalam ohm

ΔV_{si} = Rugi tegangan dalam sikat

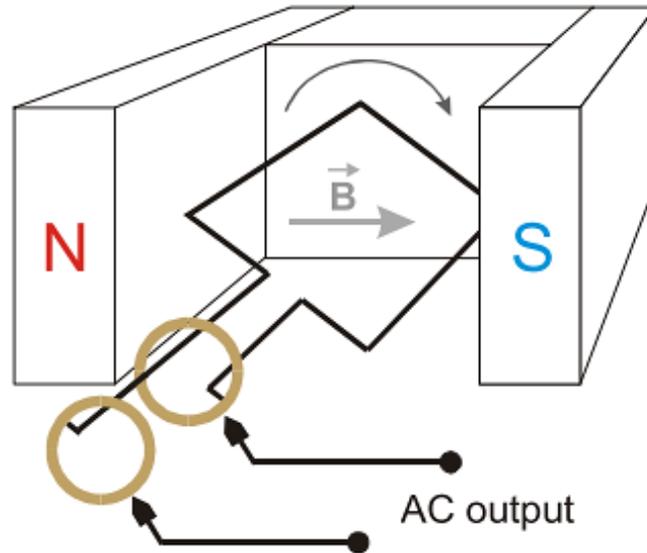
$P_{input} = V_t \times I$ dalam watt.

2.7. Prinsip Kerja Generator

Generator didefinisikan sebagai alat yang memiliki prinsip kerja dengan didasarkan pada konsep induksi elektromagnetik (Kadir, 1996). Michael Faraday pertama kali menemukan generator. Generator merupakan salah satu alat dengan memanfaatkan energi kinetik yang dikonversi sedemikian rupa menjadi energi listrik. Energi kinetik sendiri yang terjadi pada generator bisa diperoleh dari berbagai cara. Salah satunya adalah dari air terjun, angin, dan lain-lain. Dalam pengkategorian generator, generator dikategorikan dalam 2 jenis, Generator bolak balik serta generator searah. Generator bolak-balik ditandai dengan arus yang berbentuk bolak-balik, sedangkan generator DC menghasilkan arus satu arah (Istiawan et al., 2017).

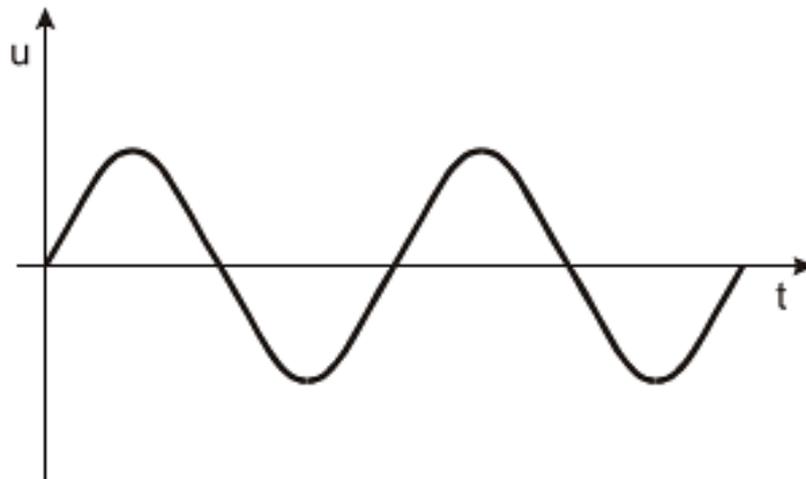
Perhatikan Gambar 2.16, pada gambar 2.16 diilustrasikan konsep operasi dari generator bolak-balik. Disana seolah olah terdapat suatu loop yang berputar dalam konsep medan magnet yang dihasilkan oleh magnet. Secara konsep, berubahnya polaritas tegangan dalam satuan waktu ditimbulkan oleh perubahan posisi kumparan relatif pada kutub magnet. Besar tegangan dipengaruhi oleh kuat dari magnet yang menciptakan medan magnet dan juga berbanding lurus dengan kecepatan putar (Chapman, 1960). Jika terjadi keseragaman medan magnet dan

kecepatan putaran secara konstan, maka tegangan induksi antara terminal loop adalah sinusoidal dengan nilai rata-rata nol (Lihat Gambar 2). Frekuensinya sama dengan jumlah putaran per detik yang dilakukan oleh loop.



Gambar 2.16 Konsep Generator AC

Untuk posisi terminal loop terhubung ke cincin logam. Artinya terjadi hubungan secara konduksi dengan cincin dibuat dengan sikat tetap. Jika sikat dihubungkan ke beban listrik, arus bolak-balik akan dibuat di sirkuit. Jika generator AC dioperasikan, maka generator AC akan memiliki output sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Output Generator AC

Untuk Generator memiliki bagian penting, yaitu:

a. Rotor

Bagian generator adalah rotor yang didefinisikan sebagai komponen dalam generator yang memiliki energi mekanik. Komponen tersebut memiliki bagian seperti poros, inti, kumparan, cincin geser, dan sikat. Selain itu juga memiliki bagian umum:

- 1) Kutub inti. Adapun fungsinya adalah sebagai jalur atau lintasan fluks magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan.
- 2) Koil medan. Adapun fungsinya adalah media untuk arus penggerak dan bagian yang terisolasi. Penahan konduktor pada bagian harus sangat bagus untuk keperluan mekanik, ketahanan terhadap suhu tinggi, dan ketahanan terhadap sentrifugal yang akan terjadi.

b. Stator

Bagian lain dari generator yaitu yang merupakan bagian komponen non-mekanik. Artinya stator tidak bergerak sama sekali dan memiliki bagian yaitu rangka stator. Stator ini merupakan bagian hal yang sangat penting karena pusat dari generator, kutub pendukung dan belitannya dan bantalan poros. bagian stasioner terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

- 1) Pada stator, Inti Stator berbentuk beberapa cincin berlapis yang diikat sekencang mungkin untuk menghindari rugi-rugi arus eddy. Pada inti stator terdapat slot untuk menempatkan konduktor dan untuk mengatur arah medan magnet.
- 2) Bagian Belitan Stator merupakan komponen yang terdiri dari batang penghantar yang terdapat pada slot dan ujung kumparan. Setiap slot dihubungkan untuk mendapatkan tegangan induksi.
- 3) Bagian Aliran Stator Alur fungsinya adalah tempat diletakkannya belitan stator.
- 4) Bagian Rumah Stator biasanya terdapat pada belakang rumah stator dan memiliki sirip sebagai alat bantu dalam proses pendinginan.

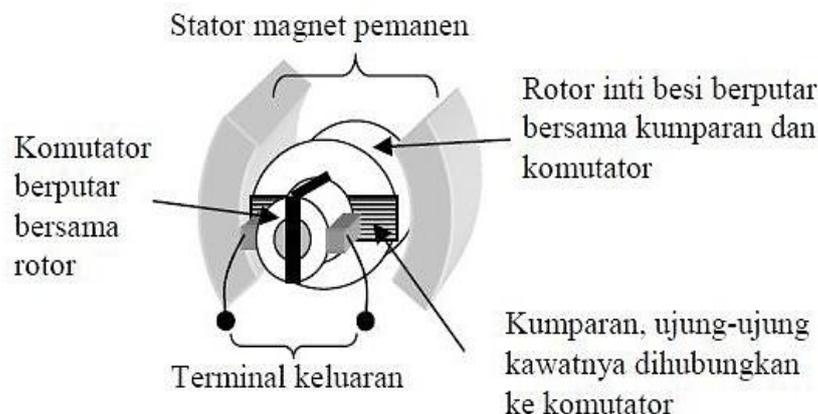
2.8 Macam Generator

2.8.1. Generator Dengan Magnet Permanen.

Generator yang menggunakan magnet permanen mempunyai Keutamaan :

- Desain yang simple.
- Life Time generator lebih lama.
- Tidak membutuhkan sumber arus listrik DC dari luar yang diguanakn sebagai pembangkitan medan magnet.

Secara sederhana Generator dengan Maget permanen dapat dilihat sebagaimana pada gambar 2.18.



Gambar 2.18. Generator Magnet Permanen

Sedangkan kekurangan dari Generator magnet permanen ini adalah sebagai berikut :

- Tidak efisien jika dipergunakan magnet permanen dalam proses pemunculan fluks magnet rendah.
- Pembangkitan daya listriknya menjadi terbatas sebagaimana kemampuan magnet dalam proses pembentukan medan magnet, sehingga kurang sesuai untuk dipergunakan pada skala besar.

2.8.2. Generator Dengan Magnet Buatan.

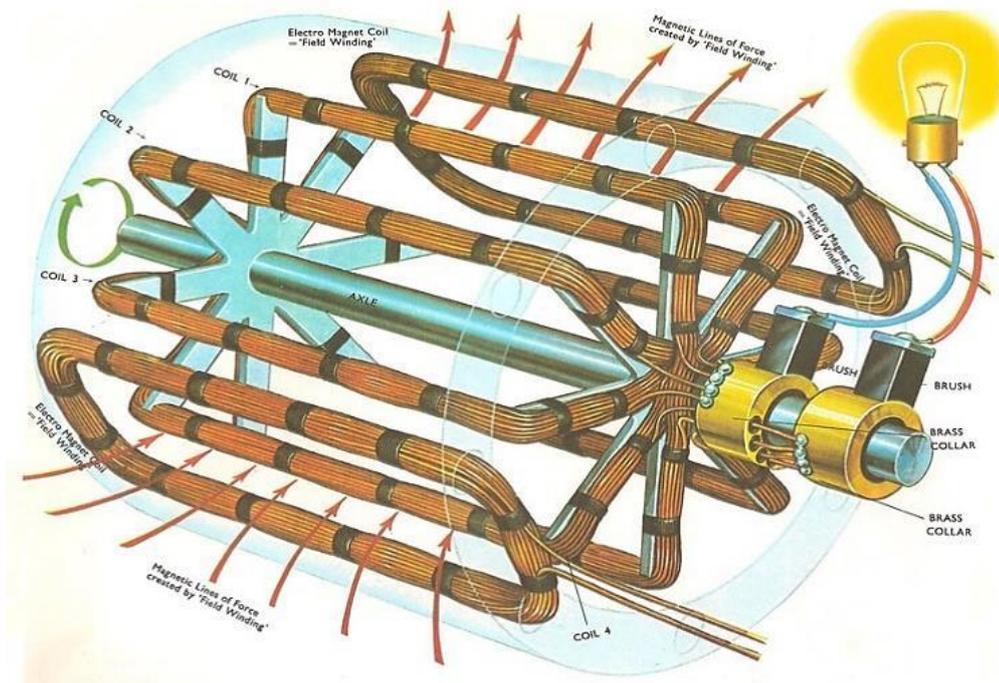
Untuk jenis generator dengan menggunakan magnet buatan memiliki Kelebihan:

- Dijumpai pembangkitan medan magnet pada fluksnya yang besar sehingga lebih efisien jika dipergunakan pada power yang besar.
- Nilai fluks medan magnet dapat diatur sesuai kebutuhan.

Sedangkan kekurangannya adalah :

- Desainnya agak rumit jika dibandingkan dengan generator yang menggunakan generator dengan magnet permanen.
- Hal ini tergantung pada supply arus DC yang berasal dari luar untuk memunculkan medan magnet, jika sumber arus gagal memasok arus DC maka generator tidak akan berfungsi (Fauzi, 2019).

Secara lebih jelas generator magnet buatan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 Generator Magnet Buatan

2.8. Tugas

1. Jelaskan karakteristik dan fungsi motor dan generator?
2. Pada sistem mesin sinkron banyak digunakan pada industri apa ?

Bab 3

Daya 3 Fasa dan Daya 1 Fasa



Pada sistem kelistrikan terdapat 2 sistem yang diketahui, yaitu sistem arus searah (Direct Current) dan sistem arus bolak balik (Alternating Current). Pada umumnya banyak negara mempergunakan arus bolak balik. Hal ini dikarenakan mudah pembangkitannya, dan murah juga sistem kelengkapan dan sistem proteksinya. Untuk sistem arus searah mempunyai satu sisi kebaikan, yaitu mempunyai nilai jatuh tegangan yang sangat kecil. Sedangkan untuk sistem bolak balik, terdapat nilai jatuh tegangan yang cukup tinggi bahkan dapat melebihi 10%.

Jika tegangan jatuh cukup tinggi berarti sistem mengalami kerugian biaya yang cukup tinggi pada sisi operasional. Begitu pula saat pemasangan trafo distribusi 70 KV akan memiliki nilai jatuh tegangan yang cukup besar untuk area yang jauh dari trafo. Sehingga trafo harus di tap pada tegangan output yang lebih tinggi, sehingga pada titik terjauh masih memiliki nilai yang cukup memenuhi syarat untuk beroperasinya aliran listrik.

3.1. Daya Listrik

Daya memiliki definisi besarnya energi yang dibutuhkan dalam melakukan suatu usaha menurut meier alexander, 2006 daya diartikan sebagai besarnya energi per satuan waktu. Didalam suatu sistem tenaga listrik memiliki satuan daya adalah Watt. Daya ini ditulis dengan notasi P . Dalam fisika nilai daya berbanding lurus dengan usaha dan juga waktu.

$$P = W . t$$

Daya listrik (electrical power) adalah besaran energi listrik pada sebuah rangkaian yang digunakan untuk melakukan usaha atau menghidupkan perangkat elektronik. Satuan dari daya listrik adalah Watt atau horsepower (HP), 1HP setara dengan 746 Watt. Dalam kelistrikan daya listrik dinyatakan

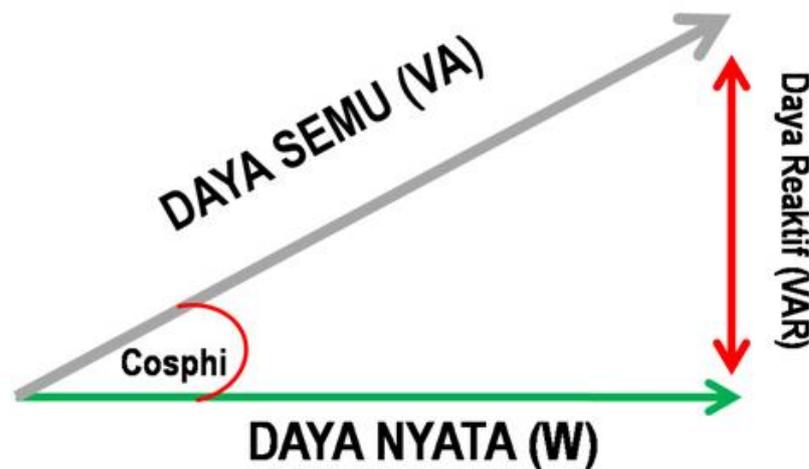
$$P = V \cdot I$$

Dimana P= Daya
V = Tegangan
I= Arus

3.2. Macam- Macam Daya Listrik

Berbeda dengan listrik 1 phase perlu kita ketahui bahwasanya dalam instalasi listrik 3 phase daya listrik memiliki 3 macam yaitu daya semu, daya nyata, dan daya reaktif. Hal ini dikarenakan dalam listrik 3 phase banyak faktor yang mempengaruhi rugi-rugi daya.

Daya listrik yang mengalir dari sebuah rangkaian ke komponen listrik disebut daya bernilai positif. Sedangkan daya listrik yang mengalir dari komponen menuju ke rangkaian disebut daya bernilai negatif.



Gambar 3.1. Segitiga Daya

A. Daya nyata

Daya aktif adalah daya yang benar-benar dikonsumsi atau digunakan dalam Rangkaian AC disebut Daya Sejati atau Daya Aktif atau daya nyata. Ini diukur dalam kilowatt (kW) atau MW. Ini adalah hasil aktual dari sistem kelistrikan yang menjalankan sirkuit atau beban listrik.

Daya aktif, P, juga biasa disebut sebagai daya rata-rata, daya nyata, atau daya sejati. Ini mewakili daya berguna yang dikeluarkan oleh beban untuk melakukan pekerjaan nyata,

yaitu mengubah energi listrik menjadi bentuk energi lain. Usaha nyata yang dilakukan oleh bola lampu pijar adalah mengubah energi listrik menjadi cahaya dan panas. Dalam tenaga listrik, kerja nyata dilakukan untuk bagian arus yang sefasa dengan tegangan. Tidak ada kerja nyata yang akan dihasilkan, dari bagian di mana arus tidak sefasa dengan tegangan. Usaha nyata yang dilakukan oleh bola lampu pijar adalah mengubah energi listrik menjadi cahaya dan panas. Dalam tenaga listrik, kerja nyata dilakukan untuk bagian arus yang sefasa dengan tegangan. Tidak ada kerja nyata yang akan dihasilkan, dari bagian di mana arus tidak sefasa dengan tegangan. Daya aktif adalah tingkat di mana energi dikeluarkan, dihamburkan atau dikonsumsi oleh beban, dan diukur dalam satuan watt (W). P dapat dihitung dengan rata-rata produk dari tegangan dan arus sesaat, yaitu, Contoh dari daya nyata atau aktif ini adalah energi panas, energi mekanik, cahaya dan lain sebagainya. Satuan dari daya aktif adalah Watt, dalam listrik DC perumusanya

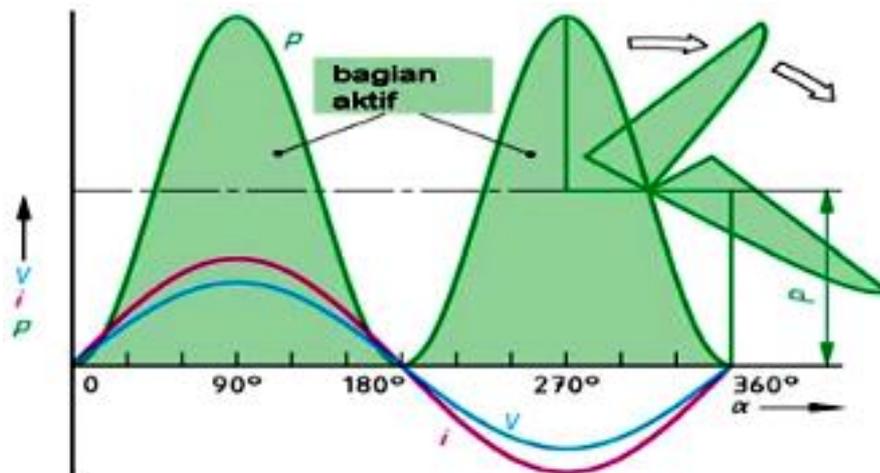
$$P = V \times I$$

Namun dalam listrik AC berbeda karena ada pengaruh faktor daya ($\cos \phi$)

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

Sedangkan untuk listrik 3 fasa

$$P = V \times I \times \cos \phi \times \sqrt{3}$$



Gambar 3.2. Gelombang Daya Pada Beban Resistansi

Gambar 3.2. menunjukkan bentuk gelombang pada beban resistansi. Terdapat gelombang sinusoidal yaitu tegangan yang berwarna biru, dan gelombang sinusoidal yang berwarna merah untuk arus dan berwarna hijau untuk Daya.

B. Daya reaktif

Daya reaktif (Q) adalah istilah untuk daya imajiner (tidak nyata) dari beban induktif seperti motor atau beban kapasitif (kurang umum). Biasanya diukur dalam satuan VAR (volt-amp reaktif). Terkadang daya reaktif dilaporkan dalam satuan watt; ini tidak sepenuhnya benar, tetapi tidak semua perangkat atau perangkat lunak menawarkan unit VAR. Jika daya reaktif dilaporkan dalam watt, konversi dari watt ke VAR adalah satu-ke-

satu. Daya reaktif TIDAK termasuk dalam pengukuran daya dan energi nyata atau aktif dari meter WattNode. WattNode meter yang melaporkan daya reaktif mengukur "daya reaktif mendasar", yang tidak termasuk harmonik reaktif.

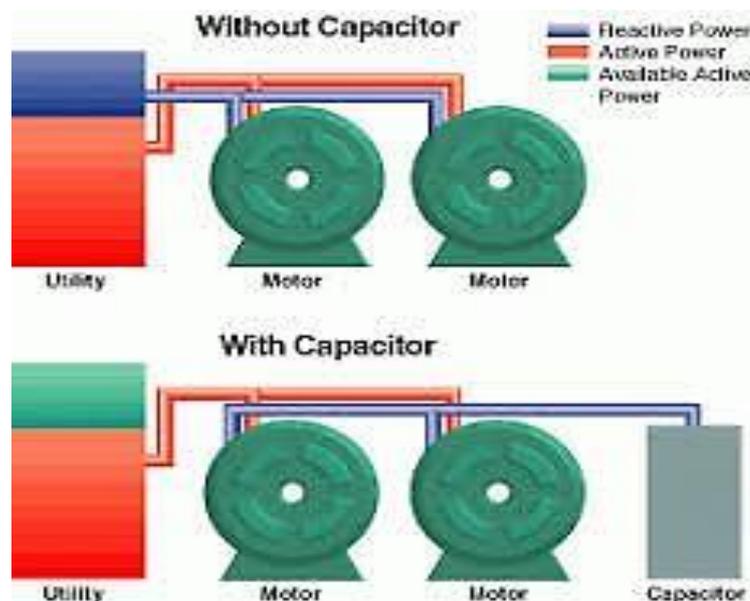
Daya reaktif positif disebabkan oleh beban induktif seperti motor dan transformator (terutama pada beban rendah).

Daya reaktif negatif disebabkan oleh beban kapasitif. Ini dapat mencakup ballast penerangan, penggerak kecepatan variabel untuk motor, peralatan komputer, dan inverter (terutama saat idle). Daya reaktif dirumuskan dengan:

$$Q = V \times I \times \sin \phi$$

Untuk listrik 3 fasa

$$Q = V \times I \times \sin \phi \times \sqrt{3}$$



Gambar 1.3. Ilustrasi Daya Reaktif

Pada gambar 3.3. nampak penentuan daya reaktif yang muncul akan direduksi dengan pemasangan kapasitor. Jika digunakan kapasitor maka daya reaktif yang dimunculkan oleh beban induktif akan dikurangi dengan beban kapasitif, sehingga didapatkan nilai cos phi yang semakin sempurna.

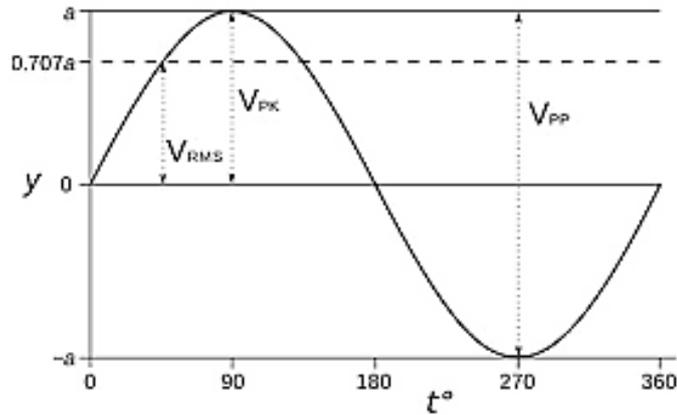
C. Daya semu

Daya semu (apparent power) adalah keseluruhan kapasitas daya yang belum terpakai. Daya semu juga merupakan hasil dari total daya nyata dan daya reaktif. Daya semu juga bisa dikatakan sebagai daya yang dikeluarkan sumber alternation current (AC) atau daya yang diserap oleh suatu beban listrik. Satuan dari daya semu sendiri adalah volt ampere (VA). Daya semu dirumuskan dengan

$$S = V \times I$$

Untuk listrik 3 fasa

$$S = V \times I \times \sqrt{3}$$



Gambar3.2. Nilai Tegangan Sinusoidal

3.3. Perbaikan Daya Listrik

Penerapan Daya 1 Phase dan Daya 3 Phase memiliki perbedaan. Baik dari fungsi, efisiensi, keuntungan, dan kerugian. Berikut penjelasannya.

Cara Mengukur Daya 1 Phase :

Perhitungan Daya Instalasi Listrik 1 Phase

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

$P = \text{Daya (Watt)}$

$V = \text{Voltage (Volt)}$

$I = \text{Arus (Ampere)}$

$\cos \phi = 1$

DiKarekan $\cos \phi$ pada ssystem 1 Phase adalah satu, maka rumus yang biasa digunakan maka rumus menjadi :

$$P = V \times I$$

Contoh:

Perhitungan Daya listrik 1 fasa:

Terdapat rangkaian Instalasi listrik 1 Phase menggunakan tegangan 220 V, dan dialiri arus sebesar 4 Ampere, maka hitunglah daya pada rangkaian tersebut adalah :

$$P = V \times I$$

$$P = 220 \times 4$$

$$P = 880 \text{ VA} = 880 \text{ Watt}$$

b. Daya 3 Phase

Untuk membantu menjelaskan konsep dengan lebih mudah, mari kita gunakan tampilan jam dan katakan bahwa garis satu berada di posisi jam dua belas. Elektron pada baris 1 akan mengalir menuju kutub utara magnet. Apa yang terjadi ketika magnet sekarang berayun 90 derajat?

Seperti yang kita lihat dalam video arus bolak-balik, karena magnet tegak lurus terhadap garis 1, elektron pada garis satu akan berhenti bergerak. Kemudian saat magnet berayun, lebih dari 90 derajat dan kutub selatan magnet mendekati garis satu, dan elektron akan mundur yang berarti arah arus akan terbalik. Itu dijelaskan secara rinci dalam video arus bolak-balik. Jika Anda mengklik video ini tanpa pemahaman yang mendalam tentang arus bolak-balik, silakan lihat video itu terlebih dahulu.

Melihat grafik, Anda dapat melihat mengapa dipilih tampilan jam analog. Sebuah lingkaran adalah 360 derajat dan jam membagi lingkaran menjadi 12 bagian sehingga setiap jam mencakup 30 derajat lingkaran. Dari 12 ke 3 adalah 90 derajat dan dari 12 ke 4 adalah 120 derajat.

Saat menghasilkan daya 3 fasa, jalur tembaga terletak terpisah 120 derajat. Jadi ketika Anda berada di posisi jam empat dalam contoh kita di sini, itu 120 derajat dari garis satu. Dan pada posisi jam delapan berjarak 120 derajat dari posisi jam 4 dan 12. 3 garis berjarak sama mengelilingi lingkaran.

Jika kutub utara lebih dekat ke salah satu dari 3 kabel, maka elektron bergerak ke arah itu. Semakin dekat kutub selatan ke setiap kawat, semakin banyak elektron menjauh dari kutub selatan. Di masing-masing tiga garis ini, ketika elektron bergerak maju mundur, mereka tidak selalu bergerak dalam arah atau kecepatan yang sama dengan dua garis lainnya.

Mari kita lihat lagi contohnya. Ketika magnet berputar, ketika kutub utara berada pada posisi jam 1 menjadi tegak lurus dengan garis 2 jadi tentu saja elektron berhenti bergerak di garis 2. Tetapi mereka masih bergerak di garis 1 tertarik oleh kutub utara yang lebih dekat dan mereka bergerak pada jalur 3 ditolak oleh kutub selatan. Ketika kutub utara magnet menghadap ke arah jam 2, maka Jalur 1 dan [Jalur] 2 dipengaruhi oleh kutub utara tetapi kutub selatan berhadapan langsung

dengan Jalur 3 sehingga sekarang berada pada arus puncak. Pada jam 3, magnet tegak lurus terhadap Garis 1 sehingga elektron berhenti bergerak, tetapi Garis 2 dipengaruhi oleh kutub utara dan Garis 3 dipengaruhi oleh kutub selatan sehingga arus mengalir pada garis 2 dan 3.

Mudah-mudahan, contoh ini menunjukkan kepada Anda bagaimana setiap saat arus selalu mengalir di setidaknya 2 baris. Ini juga menunjukkan hubungan antara 3 garis saat magnet berputar dalam lingkaran. Saat magnet berputar pada permukaan jam, masing-masing dari 3 garis akan dipengaruhi oleh kutub utara atau selatan, kecuali jika magnet tegak lurus terhadap sebuah garis.

Mari kita fokus pada jalur 1. Ini pada arus puncaknya ketika kutub utara menunjuk ke posisi jam 12 dan 6. Arusnya nol ketika kutub utara menunjuk ke jam 3 dan 9. Hanya 1 dari 3 jalur yang pernah berada di puncak, tetapi karena ada 3 jalur, ada 3 posisi puncak positif dan 3 puncak negatif untuk setiap siklus. Pada 6 posisi berbeda pada tampilan jam, salah satu garis berada di puncak. Posisi 12 dan 6 adalah puncak bolak-balik Jalur 1, posisi 2 dan 8 adalah puncak bolak-balik Jalur 3, dan 4 dan 10 adalah puncak bolak-balik Jalur 2.

Sekarang mari kita jelaskan bentuk gelombang yang membingungkan yang sering digunakan untuk menggambarkan 3 fase. Jika Anda melihat contoh bentuk gelombang, Anda dapat melihat garis pertama berwarna biru, dan itu dimulai dari nol. Yang berarti magnet tegak lurus terhadap garis tersebut. Saat magnet bergerak, Anda dapat melihat arus mencapai puncaknya. Kemudian saat kutub positif berputar melewati kawat itu, arus mulai melemah hingga magnet tegak lurus kembali yang menghasilkan arus nol. Saat kutub negatif mulai mendekat, arus berbalik dan bergerak ke arah lain menuju puncak lain sebelum kembali ke arus nol. Ini melengkapi 1 siklus penuh untuk baris itu.

Agar grafik 2 dimensi menunjukkan hubungan antara garis, sekarang menunjukkan celah yang menandakan lamanya waktu yang dibutuhkan magnet untuk berputar 120 derajat. Ini adalah saat garis merah berada pada arus nol. Saat magnet terus berputar, garis merah akan bergerak menuju arus positif puncaknya, kemudian kembali ke nol setelah itu arus akan berubah arah. Grafik juga menunjukkan bahwa baris ketiga akan mulai dari nol saat ini 120 derajat setelah baris ke-2. Jadi jika Anda melihat 3 baris ini, Anda dapat melihat bahwa ketika satu jalur berada di puncaknya, 2 jalur lainnya masih menghasilkan arus, tetapi mereka tidak dalam kekuatan penuh, artinya mereka tidak berada di puncak. Jadi saat elektron mengalir dari puncak positif ke negatif, arus ditampilkan mengalir dari nilai positif ke negatif. Ingatlah bahwa hal positif dan negatif tidak membatalkan satu sama lain. Konotasi positif dan negatif hanya digunakan untuk menggambarkan bagaimana arus bergantian.

Dalam rangkaian 3 fasa, biasanya mengambil salah satu dari 3 saluran pembawa arus dan menghubungkannya ke yang lain

Hubungan bintang (“Y” atau star)

Hubungan bintang ini memiliki huruf alphabet Y terbalik. Rangkaian bintang/star ini memiliki titik tengah (dalam hal ini = x), yang biasanya dihubungkan dengan penghantar Netral.

Bila didapatkan tegangan sebesar 380VAC, maka dapat diartikan bahwa:

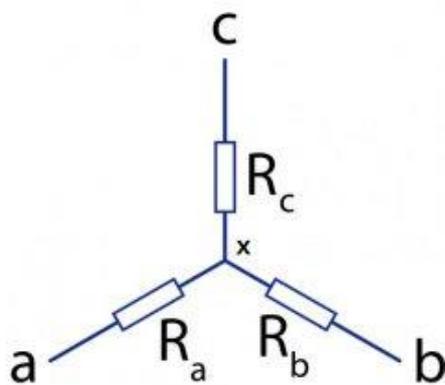
Bila tegangan kerja 380VAC, maka dapat diartikan bahwa:

Tegangan Phase to phase

- Titik a – c: 380VAC
- Titik a – b: 380VAC
- Titik c – b: 380VAC

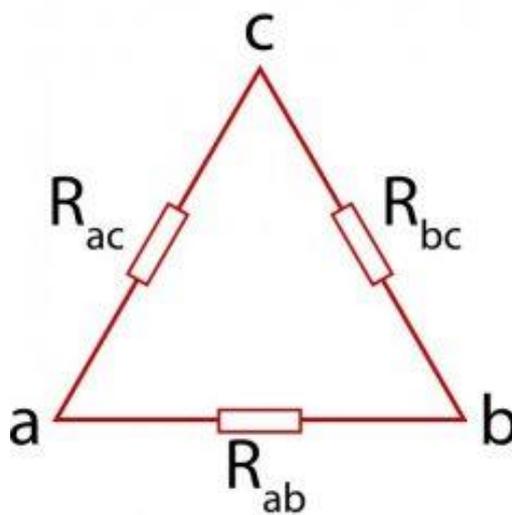
Tegangan Phase to netral

- Titik a – x: 220VAC
- Titik b – x: 220VAC
- Titik c – x: 220VAC



Gambar 3.5 Hubungan Y

Hubungan Delta



Gambar 3.6 Hubungan Delta

- Titik a – c: 380VAC
- Titik a – b: 380VAC
- Titik c – b: 380VAC

3.4. Tugas

1. Secara design apakah bedanya hubungan 3 fasa bintang dan delta?
2. Berapakah tegangan fasa dan tegangan line saluran 3 fasa yang menggunakan hubungan delta?

Bab 4

Pinsip Kerja Generator

Generator (listrik) adalah mesin yang dapat menghasilkan energi listrik dari energi mekanik. Kebanyakan generator memiliki desain yang sangat mirip dengan motor listrik tertentu, dan banyak mesin listrik sebenarnya dapat digunakan sebagai motor atau generator.

Istilah generator sering digunakan secara lebih luas sebagai perangkat teknis yang mengubah energi mekanik, kimia, termal atau elektromagnetik secara langsung menjadi energi listrik. Misalnya, generator termoelektrik dapat menghasilkan energi listrik langsung dari panas. Sel fotovoltaik juga merupakan generator dalam pengertian ini. Namun, sisa artikel ini berlaku untuk generator elektromekanis. Pada gambar 4.1. dapat dilihat generator yang dikopel dengan diesel engine yang banyak dipakai masyarakat.



Gambar 4.1. Generator Yang Dikopel Dengan Diesel Engine

4.1. PRINSIP DASAR GENERATOR

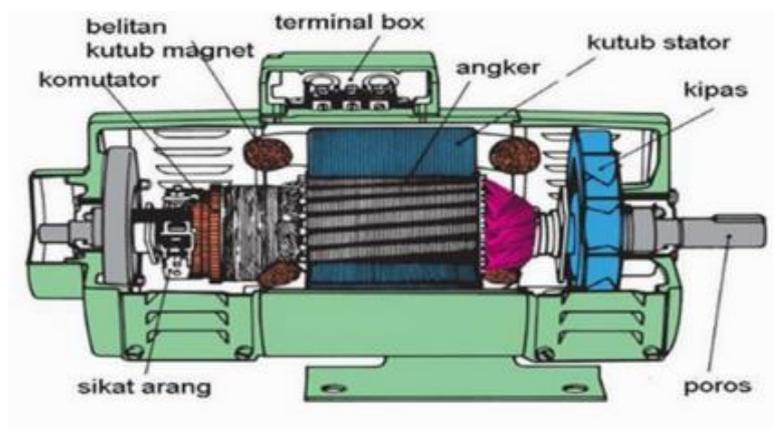
Prinsip fisik dasar generator adalah induksi listrik: tegangan diinduksi dalam kumparan konduktif listrik ketika fluks magnet melalui kumparan berubah. Hal ini dicapai dengan menggerakkan magnet melawan kumparan. Ada dua cara berbeda untuk melakukan ini (selain dari prinsip generator linier yang kurang umum), keduanya umum digunakan:

Dengan generator kutub eksternal, medan magnet dihasilkan di stator (bagian generator yang tidak bergerak) dan energi listrik dihasilkan oleh induksi di rotor. Ditransmisikan ke luar melalui kontak geser dengan sikat, yang bermasalah pada tingkat daya tinggi.

Dengan generator kutub dalam, medan magnet dibangkitkan di rotor dan induksi terjadi di stator. Dalam kasus eksitasi listrik (lihat di bawah), energi listrik sering harus ditransmisikan melalui sikat, tetapi pada tingkat yang jauh lebih rendah, karena energi yang dibutuhkan untuk eksitasi hanya sebagian kecil dari daya generator. Sebagai alternatif, mesin exciter kutub luar tambahan kecil juga dapat diimplementasikan untuk memenuhi kebutuhan rotor saat ini tanpa sikat.

4.1.1. Generator DC

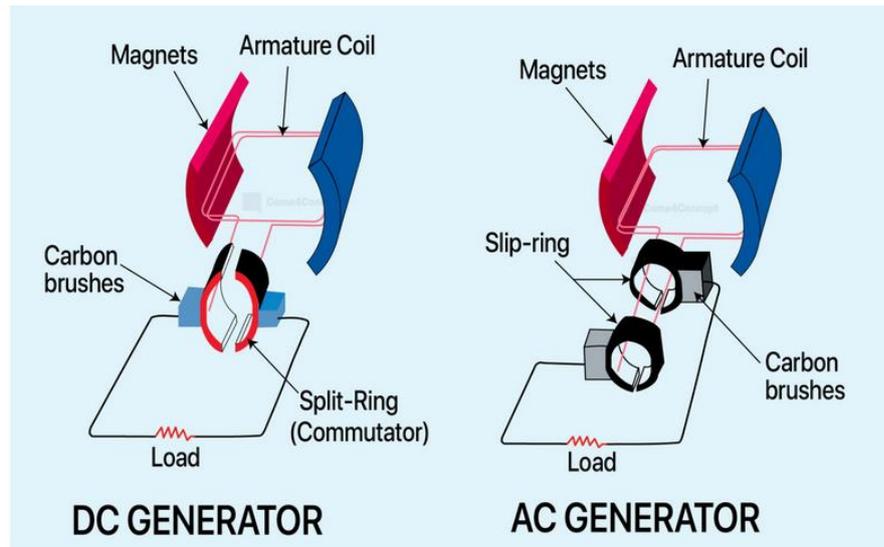
Generator DC sangat banyak dijumpai disekitar kita, dinamo DC ini dikopel dengan penggerak untuk menghasilkan listrik arus searah atau DC. Generator DC juga sering disebut dengan dinamo DC. Secara sistem generator DC memiliki kumparan medan pada stator dan kumparan jangkar pada Rotor. Jumlah kumparan yang ada pada rotor akan mempengaruhi besar kapasitas pembangkitan. Untuk sistem penguatannya dipergunakan penguatan sendiri dan penguatan terpisah.



Gambar 4.2. Generator DC

Pada generator DC nampak bagian yang berputar dan bagian yang tidak berputar. Bagian yang berputar antara lain : Angker, poros, komutator, kipas, sedangkan bagian yang tidak berputar antara lain : belitan kutub magnet, kutub stator, dan Sikat arang.

Secara sederhana perbedaan konsep antara generator DC dan generator AC dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Perbedaan Prinsip Kerja Generator DC Dan Generator AC

Perbedaan utama dari Generator DC dan Generator AC terletak pada hubungan antara kumparan angker dengan beban. Generator DC menggunakan sikat arang dan komutator untuk menyalurkan arus, sedangkan generator AC menggunakan slip ring yang berbeda antar fasa dan menggunakan sikat arang tanpa komutator.

4.1.2. Generator AC

4.1.2.1. Generator Sinkron Dan Asinkron

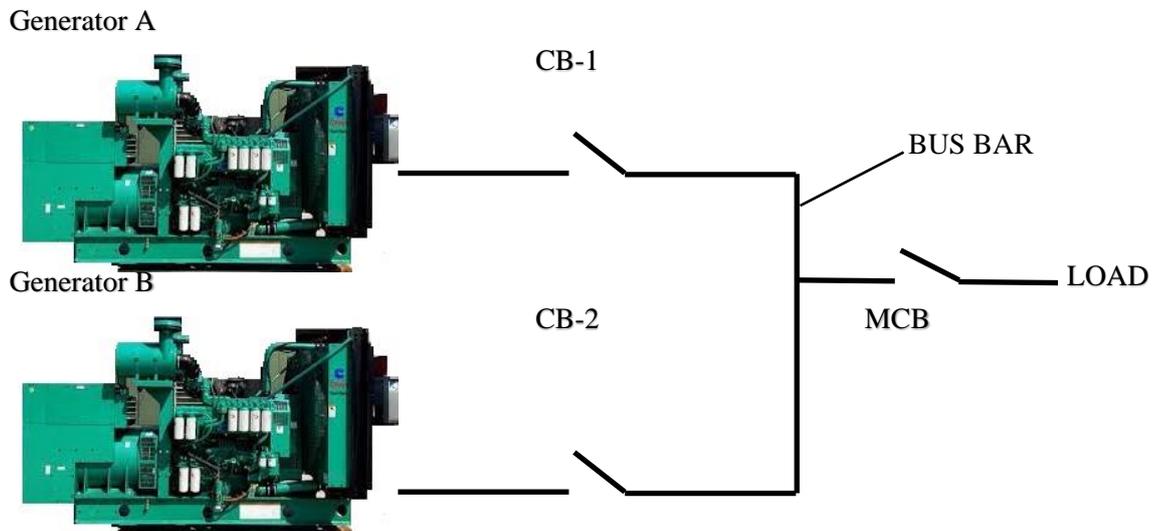
Beberapa alternator dan alternator bekerja secara serempak. kecepatan mereka ditentukan oleh frekuensi jaringan listrik tempat mereka memberi makan. Generator sinkron semacam itu digunakan hampir secara eksklusif untuk daya tinggi. Namun, generator yang lebih kecil sering beroperasi sebagai generator asinkron, di mana ada beberapa slip kecepatan: mereka berputar sedikit lebih cepat, terutama ketika berjalan dengan daya tinggi. Hal ini menyebabkan hilangnya efisiensi energi, terutama dengan generator yang lebih kecil. Kerugian lain dari generator asinkron adalah persyaratan arus reaktif tertentu. Tapi sangat mudah untuk membangun dan kuat. Generator sinkron sering dirancang sedemikian rupa sehingga daya reaktif yang dapat disesuaikan dapat dihasilkan.

4.2. Sinkronisasi Generator

Sinkronisasi Generator yaitu suatu cara untuk menghubungkan lebih dari dua Generator. Pada sinkronisasi Generator adapun syarat-syaratnya:

1. Urutan fasa generator tidak boleh beda
2. Sudut fasa generator tidak boleh beda
3. Tegangan pada generator harus sefase
4. Frekuensi generator tidak boleh beda

jika pada operasi dua generator sudah sesuai dengan persyaratannya maka dikatakan proses sinkronisasi sukses (Generac, 2006) di gambar 4.4.



Gambar 4.4.. Rangkaian Sinkronisasi Dua Generator Secara Paralel

Untuk mencari nilai tegangan, maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = A \cos (\omega + \Theta)$$

Jika Diketahui :

$$\text{Generator A} = A_1 \cos (\omega_1 t + \Theta_1)$$

$$\text{Generator B} = A_2 \cos (\omega_2 t + \Theta_2)$$

Maka paralel terhadap generator A dan generator B dalam satu jalur. Pada komponen generator A dan generator B tegangannya tidak boleh beda sesuai dengan yang disebutkan dalam syarat-syarat diatas, yang bahwasanya: (Reimert, Donald, 2006)

$$A_1 \cos (\omega_1 t + \Theta_1) \text{ sama dengan } A_2 \cos (\omega_2 t + \Theta_2)$$

Dinyatakan $A_1 = A_2$ Amplitude

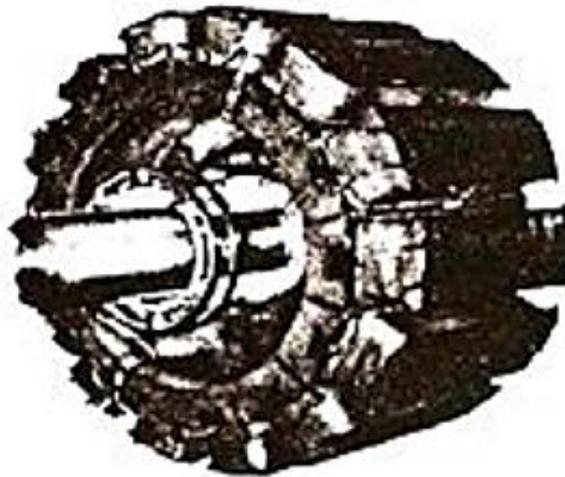
$$\omega_1 = \omega_2 \quad f_1 = f_2 \text{ Frekuensi}$$

$$\Theta_1 = \Theta_2 \quad \text{Phase}$$

Dalam sebuah mesin Generator AC medan listrik dapat di timbulkan oleh dua buah komponen, yaitu komponen rotor yang terletak ditengah mesin Generator atau pada bagian yang berputar dan stator yang berupa sebuah lilitan jangkar dibagian yang diam dari mesin Generator. Dan ada dua macam jenis berbeda dari struktur-struktur medan listrik Generator sinkron yaitu sebagai berikut: (Listen, 1993)

4.3. Salient Type / Kutub Sepatu

Pada Rotor type ini kecepatan putaran yang dapat dihasilkan yaitu kecepatan putaran yang rendah, yang ditunjukkan oleh gambar 4.5 (Listen, 1993).



Gambar 4.5. Rotor Kutub Sepatu Buat Generator Sinkron Kecepatan Rendah

4.4. Cylinder Type

Rotor Cylinder Type pada mesin Generator kecepatan tinggi yang dapat dilihat pada Gambar 1. Dan Rotor yang pada Gambar 3 yang dirakit untuk beroperasi pada kecepatan 3.000 rpm. Bahan pada Cylinder Type yang biasanya dipakai sebagai mesin yang berkecepatan tinggi, karena pada Salient Type sebagai mesin penahan tekan yang berkecepatan tinggi. (Listen, 1993).



Gambar 4.6. Rotor Type Silinder Buat Generator Sinkron 3.000 Rpm

4.5. Eksitasi Permanen Dan Eksitasi Listrik

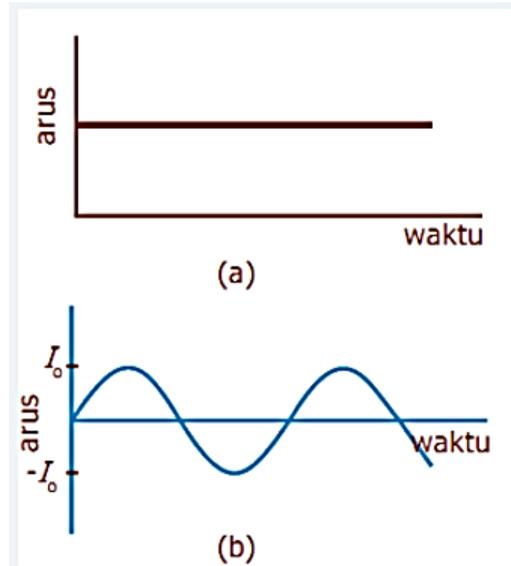
Dengan AC dan generator tiga fase (seperti halnya dengan motor) ada hubungan yang kurang lebih tetap antara kecepatan dan frekuensi listrik, yang, bagaimanapun, juga tergantung pada jumlah kutub ($= 2 \cdot$ jumlah pasangan kutub): Kecepatan medan magnet (kecepatan medan putar), yang sesuai dengan kecepatan rotor pada mesin sinkron, adalah frekuensi utama dibagi dengan jumlah pasangan kutub.

Misalnya, untuk jumlah minimum pasangan kutub 1 yang mungkin pada frekuensi listrik 50 Hz, ini menghasilkan kecepatan medan putar $50 / s = 3000 /$ menit, i. H. 3000 putaran per menit. Dengan dua pasang kutub, kecepatan turun menjadi 1500 putaran per menit, sedangkan z. B. 2000 rpm tidak dapat dicapai. Generator yang berjalan lambat, mis. B. pada pembangkit listrik tenaga air dan turbin angin gearless, harus memiliki jumlah kutub yang tinggi. Sebaliknya, generator turbo yang digerakkan langsung oleh turbin biasanya memiliki dua kutub atau terkadang empat kutub.

Di sebagian besar pembangkit listrik, energi listrik dihasilkan dari energi mekanik di satu atau lebih generator. Secara khusus, ini berlaku untuk pembangkit listrik tenaga air, turbin angin dan semua jenis pembangkit listrik termal, terlepas dari apakah panas dihasilkan dari pembakaran bahan bakar atau dalam reaktor nuklir. Dalam hal pembangkit listrik termal, generator turbo praktis selalu digunakan.

4.6. Sistem Kelistrikan AC dan DC

Arus bolak-balik (AC/alternating current) merupakan suatu sistem yang memiliki nilai arus dan tegangan yang berbentuk sinusoidal. Dimana besar dan arah sudutnya berubah ubah sesuai dengan satuan waktu. Sedangkan arus searah (Direct Current) merupakan besaran yang memiliki nilai arus dan tegangan berupa garis lurus, dimana besar dan arah sudut fasanya adalah tetap. Adapun Grafik arus persatuan waktunya dapat dilihat sebagaimana gambar 4.7.



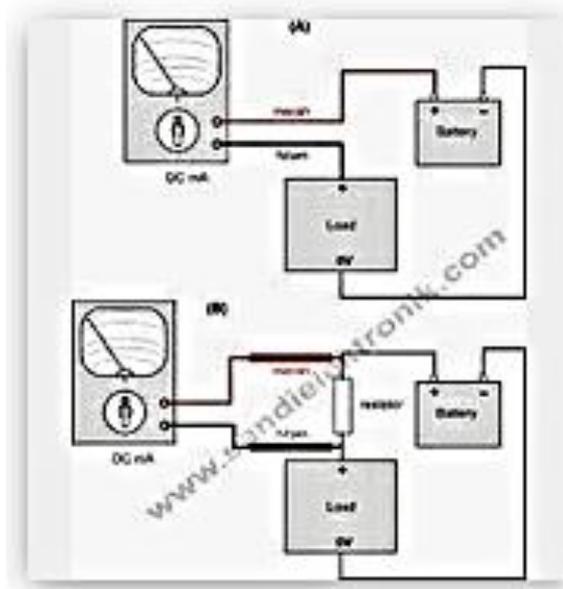
Gambar 4.7. Grafik Arus AC dan DC

A. Pemanfaatan Arus AC dan DC

Pada kehidupan sehari-hari penggunaan arus searah dan arus bolak-balik adalah sebagai berikut:

Arus bolak-balik (Alternating current):

1. Pompa air.
2. Lemari es
3. Exhaust Fan
4. Penerangan.
5. Kompor listrik
6. Radio
7. Televisi
8. dll



Gambar 4.8. Arus AC dan DC

Sedangkan contoh penggunaan arus searah (Direct Current):

1. Lampu DC.
2. Charging HP.
3. Komputer
4. Laptop
5. dll

B. Mengubah Arus Bolak Balik Menjadi Arus Searah

Pengubahan arus searah menjadi arus bolak balik yaitu dengan menggunakan inverter, sedangkan alat yang digunakan untuk mengubah arus AC menjadi Dc disebut dengan adaptor



Gaambar 4.9. Inverter



Gambar 4.10. Adaptor

C. Sumber-Sumber Listrik Arus Searah

Semua sumber listrik yang dapat menimbulkan arus listrik tetap terhadap waktu dan arah tertentu disebut sumber-sumber listrik arus searah. Sumber listrik arus searah dibagi menjadi empat macam, yaitu:

1. Elemen Elektrokimia.

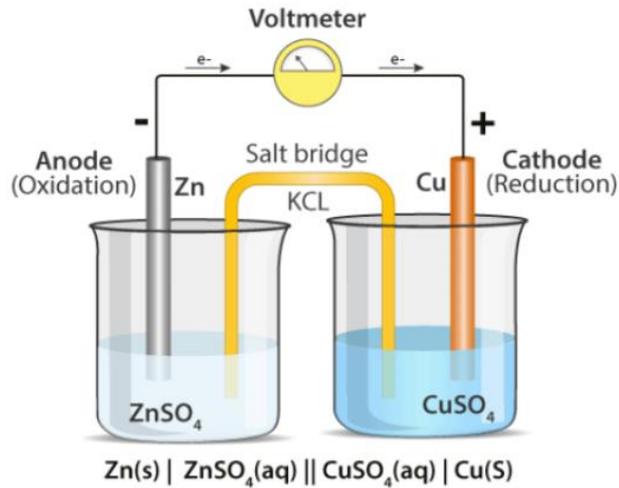
Elemen elektrokimia adalah arus listrik yang dihasilkan dari sumber kimia. Dalam elemen elektrokimia ini terdapat perubahan energi kimia menjadi energi listrik. Elektrokimia dapat dilihat pada gambar 4.11.

2. Elemen Primer.

Elemen primer sedikit berbeda dengan elemen elektrokimia, maka elemen primer ini memerlukan penggantian komponen setelah dipakai. Contohnya adalah baterai.

3. Elemen Sekunder

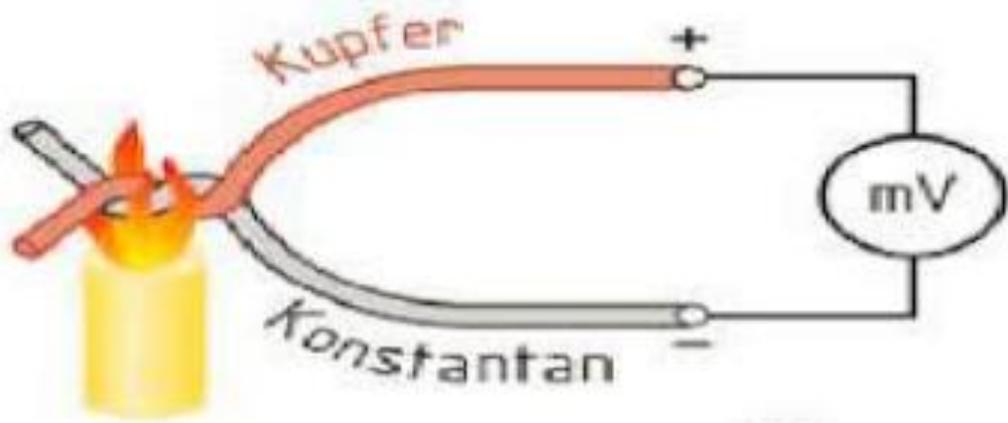
Elemen sekunder adalah sumber arus listrik yang tidak memerlukan penggantian bahan pereaksi (elemen) setelah sumber arus habis digunakan.



Gambar 4.11. Elektrokimia

2. Termoelemen

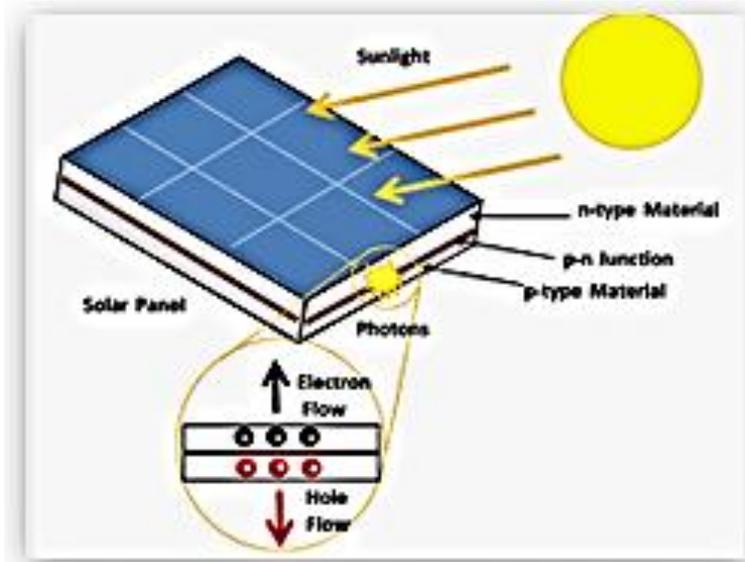
Termoelemen merupakan sumber listrik yang uncul dikarenakan ada perbedaan suhu. Peristiwa ini ditemukan oleh Thomas John Seebach pada tahun 1826. Termo elemen ini dapat dilihat sebagaimana gambar 4.12.



Gambar 4.12. Termoelemen

3. Sel Surya (Solar Cell)

Prinsip kerja dari solar cell ini hampir sama sebagaimana semi konduktor. Alat ini jika terkena sinar matahari, maka akan menghasilkan beda tegangan dan akhirnya mengalir arus listrik. Solar cell dapat dilihat sebagaimana gambar 4.13.



Gambar 4.13 Solar Cell

D. Sifat Khas Generator Listrik.

Output listrik antara kurang dari satu watt dan secara signifikan lebih dari satu gigawatt dimungkinkan. Terutama generator besar (misalnya di pembangkit listrik dengan output ratusan megawatt) mencapai efisiensi yang sangat tinggi lebih dari 98% dalam beberapa kasus. Tingkat efisiensi yang tinggi dimungkinkan pada berbagai keluaran, yaitu juga dalam operasi beban parsial. Tegangan listrik bisa mencapai puluhan kilovolt (walaupun masih jauh di bawah saluran listrik tegangan tinggi), dan arus listrik dalam puluhan kiloampere adalah hal biasa.

Tergantung pada desainnya, generator menghasilkan arus searah, arus bolak-balik atau arus tiga fase, dan dapat digerakkan pada kecepatan konstan atau variabel.

Banyak generator juga dapat dioperasikan sebagai motor listrik. Orang sering berbicara lebih umum tentang mesin listrik.

Masa pakai generator biasanya sangat lama (seringkali beberapa dekade) selama kondisi operasi tertentu yang bermasalah (misalnya kelebihan beban yang parah, kecepatan yang berlebihan atau kegagalan sistem pendingin) dapat dihindari.

4.7. Tugas

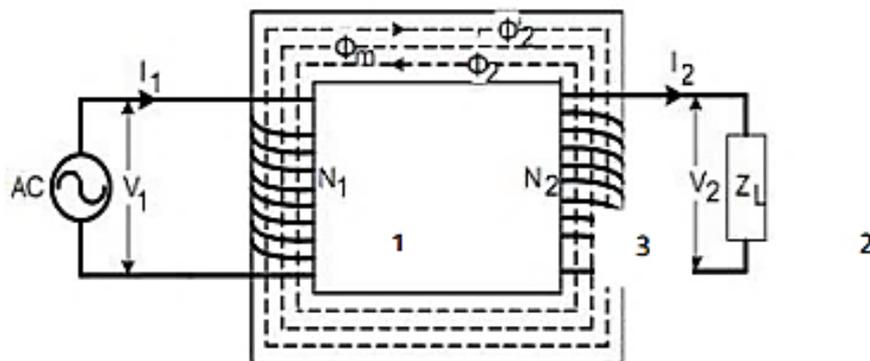
1. Sebutkan perbedaan antara termoelement dan solar cell
2. Jelaskan cara kerja generator Listrik

Bab 5

Transformator

Transformator secara sederhana dapat digambarkan sebagai sesuatu yang menaikkan atau menurunkan tegangan. Pada trafo step-up tegangan keluaran dinaikkan dan pada trafo step-down tegangan keluaran diturunkan. Transformator step-up akan menurunkan arus keluaran dan transformator step-down akan meningkatkan arus keluaran untuk menjaga daya masukan dan keluaran sistem tetap sama.

Trafo pada dasarnya adalah suatu alat pengatur tegangan yang digunakan secara luas dalam pendistribusian dan transmisi daya arus bolak-balik. Ide transformator pertama kali dibahas oleh Michael Faraday pada tahun 1831 dan dibawa ke depan oleh banyak sarjana ilmiah terkemuka lainnya. Namun, tujuan umum penggunaan transformator adalah untuk menjaga keseimbangan antara listrik yang dihasilkan pada tegangan sangat tinggi dan konsumsi yang dilakukan pada tegangan sangat rendah.. Dengan 2 kumparan yaitu primer dan sekunder. Transformator terdapat dua jenis menurut konstruksinya, yaitu tipe inti dan tipe cangkang. Pada tipe inti terdapat dua kaki dan masing masing kaki dililit oleh sebuah kumparan. Sedangkan tipe cangkang mempunyai tiga buah kaki, dan hanya kaki yang berada ditengah dililit oleh kedua kumparan. Secara umum transformator terdiri dari 3 bagian utama, yaitu:



Gambar 5.1 Induksi Lilitan Trafo Didalam Inti Besi

1. Kumparan primer merupakan kumparan input atau kumparan yang terhubung ke penyuplai tegangan.
2. Kumparan sekunder merupakan kumparan output atau kumparan yang terhubung ke beban
3. Inti besi merupakan tempat dililitnya dua buah kumparaanyang nantinya akan mempermudah aliran fluksi .Fluks dihasilkan oleh arus listrik yang melewati kumparan.(Luis & Moncayo, n.d.)

Kata transformator merupakan asal dari kata transformasi yang memiliki arti perubahan.(Gunawan & Jamaaluddin, 2020)

Transformator adalah perangkat listrik yang menggunakan prinsip induksi elektromagnetik untuk mentransfer energi dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya. Ini dirancang untuk menambah atau mengurangi tegangan AC antara sirkuit sambil mempertahankan frekuensi arus. Transformer melakukan ini tanpa koneksi konduktif antara dua sirkuit. Hal ini dimungkinkan melalui penerapan Hukum Faraday Induksi yang menjelaskan bagaimana medan magnet akan berinteraksi dengan rangkaian listrik untuk menghasilkan gaya gerak listrik (EMF).

Transformator dasar terdiri dari tiga bagian: inti magnet, belitan primer, dan belitan sekunder. Gulungan primer terhubung ke sumber listrik AC. Ini menghasilkan medan magnet bolak-balik yang mengelilingi belitan. Ini menginduksi EMF pada belitan sekunder. Jika rangkaian belitan sekunder ditutup, maka arus AC akan mengalir melaluinya. Gulungan ini berbagi inti magnet, yang biasanya terbuat dari lembaran baja laminasi dan menyediakan jalur reluktansi rendah untuk medan magnet. Perbandingan antara tegangan keluaran dan tegangan masukan sama dengan perbandingan jumlah lilitan antara kedua belitan. Pada transformator step-down, belitan sekunder akan memiliki lebih sedikit lilitan daripada primer, dan pada transformator step-up, lilitannya akan lebih banyak.

5.1. Transformator dan Perkembangannya

Prinsip dasar suatu transformator adalah induksi antara dua rangkaian yang dihubungkan oleh sebuah fluks magnet. Transformator terdapat dua kumparan induksi yang terpisah secara kelistrikannya tetapi secara magnetnya terhubung oleh path yang rendah relaktansinya. Ketika kumparan dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, timbullah fluks bolak-balik di dalam inti besi yang dihubungkan dengan kumparan lain yang akan menyebabkan ggl (gaya gerak listrik) induksi dari hukum faraday, Bila arus bolak balik mengalir pada induktor, maka akan timbul gaya gerak listrik (ggl). (Arismunandar, Artono M.A, 2004).

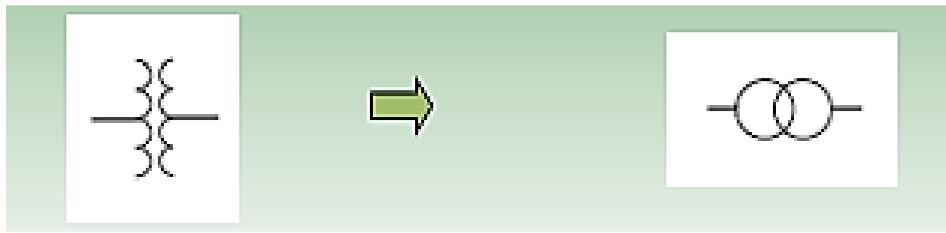
a. Sejarah perkembangan transformator

- Perkembangan pertama pada tahun 1831, menemukan sebuah koil dapat menghasilkan tegangan dari koil lain. Dengan rangkaian listrik yang sangat dapat menghasilkan gerak listrik. Peristiwa ini saat ini disebut dengan induksi elektromagnetik. Kemudian beliau merumuskan sebuah persamaan sebagai hukum dasar yang untuk elektromagnetik untuk memprediksi gejala induksi.
- Kedua pada tahun 1832, Joseph Henry telah mendapatkan menemukan sebuah perubahan fluks yang cepat dapat mengubah tegangan koil yang cepat dan menghasilkan tegangan yang tinggi
- Ketiga pada tahun 1836, Nicholas Callan melakukan perbaikan penemuan Henry pada dua koil tersebut.
- Ke empat pada tahun 1850 - 1884, masuk pada generator AC dan penggunaan listrik AC.

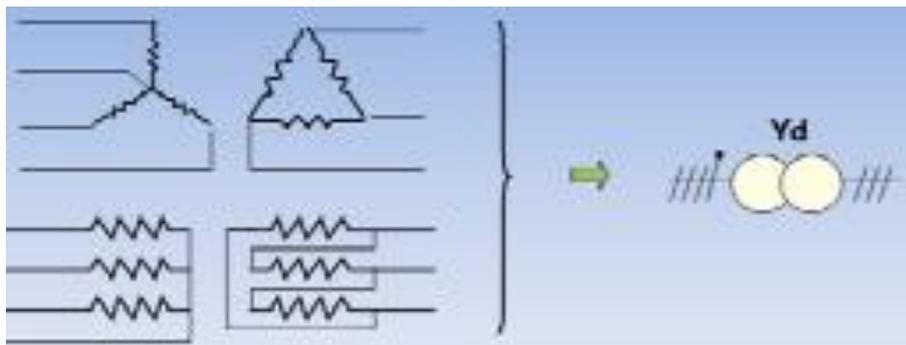
- Ke lima pada tahun 1885, Georges Westinghouse & William Stanley dilakukan pengembangan transformator dan arus AC.
- Ke enam 1889, Mikhail Dolivo - Dobrovolski mengembangkan transformator 3 fasa yang pertama.

b. Simbol Transformator

Transformator sendiri memiliki 2 sumber tegangan,yakni transformator 1 phase dan transformator 3 phase:



Gambar 5.2 Simbol Transformator 1 phase



Gambar 5.3 Simbol Transformator 3 phase

5.2.Macam – Macam Transformator

Transformator ada beberapa macam yaitu

a. Transformator arus

Transformator arus in digunakan untuk memberikan transformasi arus besar menjadi ecil dengan nilai perbandingan. Biasanya digunakan sebagai pelengkap ampere meter. Dimana ampere eter mempunyai kapasitas terbatas untuk pemasangan arus sehingga arus yag sesungguhnya harus di transformas, juga utuk relay proteksi.



Gambar 5.4. Transformator Arus

b. Transformator Step-Up

Transformator Step up ialah sebuah trafo penaik tegangan dari tegangan AC Yang rendah hingga menjadi tegangan lebih tinggi. Dimana kumparan primer dan sekunder dapat dibalik sesuai dengan keinginan menjadi trafo penaik atau penurun tegangan Untuk pembangkit tenaga listrik, trafo jenis ini sangat banyak digunakan sebagai penghubung trafo generator ke jaringan.



Gambar 5.5. Transformator Step Up

c. Transformator Step Down

Transformator Step Down pada prinsipnya adalah sama sebagaimana trafo step up, namun dibalik untuk menurunkan tegangan yang lebih tinggi ke tegangan yang lebih rendah. Di rumah tangga, kita sering menggunakan untuk menurunkan tegangan listrik yang berasal dari PLN (220V) menjadi tegangan yang sesuai dengan peralatan elektronik yang digunakan.



Gambar 5.6. Transformator Step Down

d. Transformator CT

Current transformer ialah sebuah alat listrik perubah arus, yang dapat juga mengubah besaran arus dari besar menjadi kecil dan sebaliknya sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 5.7. Transformator dengan Centre Tap

e. Trafo Isolasi

Transformator isolasi memiliki dua kumparan yang jumlah kumparannya sama, dengan tegangan yang sama. Trafo ini digunakan untuk mengisolasi tegangan tanpa menaikkan ataupun menurunkan suatu tegangan. Sesuai dengan namanya, fungsi trafo isolasi yaitu berfungsi untuk melakukan isolasi tegangan input dan tegangan output.



Gambar 5.8. Transformator isolasi

f. Trafo Daya

Transformator daya ini juga sering kita jumpai di stasiun pembangkit listrik maupun gardu transmisi isolasinya sangat tinggi unntuk keamanan. dayanya cukup besar hingga mencapai 33 kilo volt.



Gambar 5.9. Transformator Daya

g. Trafo Distribusi

Transformator distribusi adalah sebuah trafo di mana fungsi trafo tersebut adalah untuk mendistribusikan energi listrik dari pembangkit listrik pada perumahan , desa maupun ke lokasi industry contohnya pabrik.



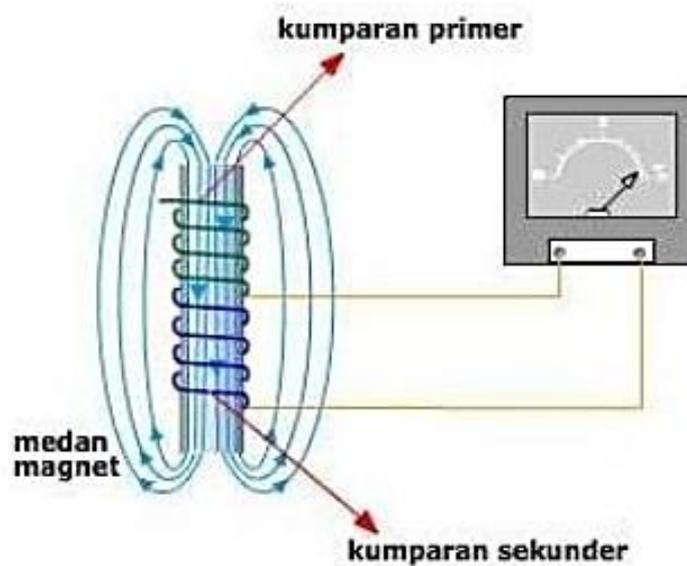
Gambar 5.10. Transformator Distribusi

- h. **Trafo PLN**
Transformator pln ialah seatu komponen trafo sangat diperlukan oleh penyedia listrik terbesar di Indonesia. Trafo ini sangat penting digunakan untuk menurunkan daya dan menaikkan daya listrik dan masih banyak fungsi transformator pln ini.
- i. **Trafo Unit Bergerak**
Transformator ini mudah dipindah-pindah tempat ,trafo ini digunakan jika ada pemeliharaan gardu distribusi tanpa harus memadamkannya.(Antoro & Syakur, 2020).
- j. **Trafo satu phasa**
Trafo satu phasa adalah trafo yang menggunakan sumber listrik satu phasa sebagai input dan outputnya.
- k. **Trafo tiga phasa**
Trafo tiga phasa adalah trafo yang menggunakan sumber listrik tiga phasa sebagai input dan outputnya.
- l. **Trafo minyak**
Merupakan transformator yang menggunakan minyak transformator sebagai media pendinginan.
- m. **Trafo kering**
Merupakan transformator yang menggunakan udara sebagai media pendinginan.(Arismunandar, Artono M.A, 2004)

5.3.Karakteristik Trafo 1 Fasa

Dalam kehidupan sehari-hari tentu kita membutuhkan energi Listrik sebagai penopang kehidupan sehari-hari, tapi seiring berjalannya waktu tentu pasokan akan energi Listrik ini semakin berkurang karena minimnya pasokan sumber daya yang ada. Oleh karena itu dibutuhkan penghematan dan pemanfaatan yang sebaik-baiknya agar tidak terjadi kelangkaan sumber daya.

Dalam penggunaan energi tentunya di perlukan peralatan pendukung, salah satunya adalah transformator. Keberadaan transformator merupakan sebuah terobosan besar yang sangat penting dalam kemajuan tenaga listrikan.

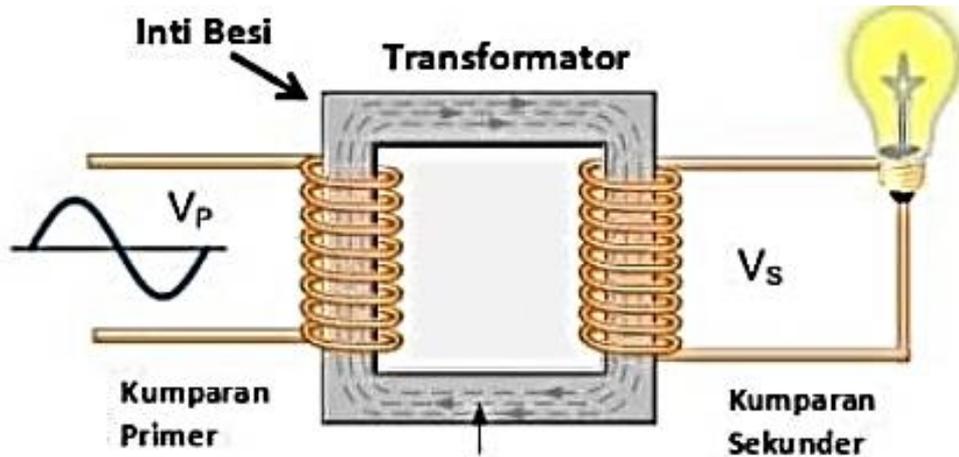


Gambar 5.11 Skema Tranformator 1 fasa

Pada gambar transformator di atas, saat arus listrik yang berasal dari sumber tegangan mengalir kumparan primer maka akan berbalik arah (berubah polaritasnya) yang akan menghasilkan medan magnet dengan arah berubah sehingga arus listrik yang dihasilkan pada kumparan sekunder akan berubah polaritasnya.

Bagian sederhana dari Transformator adalah:

1. Kumpara trafo yaitu Kumparan Primer kumparan ini dikoneksikan dg sumber tegangan
2. Kumparan Sekunder yaitu kumparan yang dikoneksikan dengan beban.
3. Plat dynamo yang di gunakan sebagai inti.



Gambar5.12. Prinsip Kerja Transformator 1 Fasa

Transformator memiliki fungsi umum yaitu mengubah suatu besaran listrik pada suatu rangkaian, untuk besaran utama yang di ubah adalah tegangan sebuah rangkaiantersebut. Fungsi lain transformator adalah menaikkan atau menurunkan tegangan listrik. Transformator (Trafo step up berfungsi untuk menaikkann tegangan Listrik).

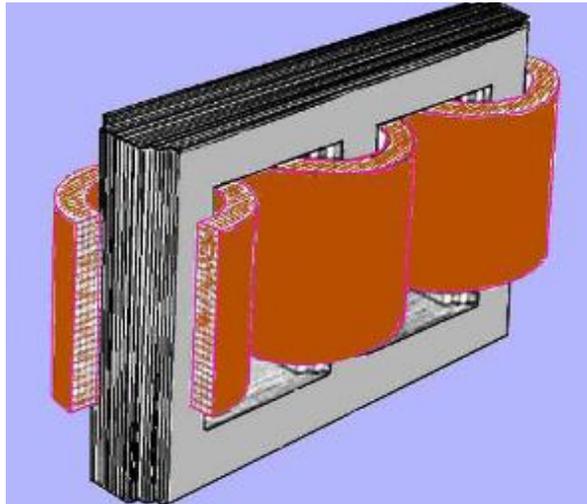
5.4.Karakteristik Trafo 3 Fasa

a. Konstruksi transformator tiga phasa

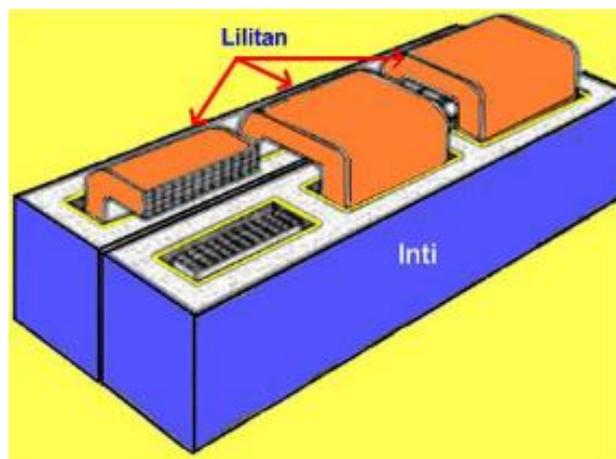
Konstruksi transformator 3 phasa hampir sama dengan trafo lainnya, perbedaan transformator 3 phasa dengan transformator terletak pada alat bantu dan sistem pengaman,letak pemasangan, sistem pendingin, pengoperasian, fungsi dan penggunaanya. Sedangkan bagian utamanya adalah, alat bantu, dan sistem pengaman (Supriyadi, 2017)

- Inti Transformator

Inti transformator difungsikan untuk mengalirkan fluks bolak balik dari kumparan primer ke kumparan sekunder (Siburian, 2019)



Gambar 5.13. Transformator tipe inti



Gambar 5.14. Transformator tipe cangkang

Inti transformator terdiri dari laminasi tipis baja silikon berorientasi butir canai dingin (CRGOS), umumnya dikenal sebagai baja inti. Baja inti dibuat dengan paduan silikon dengan baja kandungan karbon rendah. Inti trafo yang terbuat dari CRGOS memiliki permeabilitas yang tinggi. Permeabilitas tinggi selanjutnya mengurangi arus magnetisasi dan rugi-rugi inti. Selain itu, baja silikon memiliki efek penuaan dibandingkan dengan baja non-silikon.

Selain di atas, inti CRGOS diproduksi dengan penggulangan dingin yang mengubah orientasi butir ke arah penggulangan. Aliran fluks magnet searah dengan orientasi butir akan mengurangi rugi-rugi fluks di teras, sehingga mengurangi rugi-rugi besi. Masalah dengan pengerolan dingin adalah ketika aliran fluks berlawanan dengan arah orientasi butir, akan mengakibatkan peningkatan kehilangan inti. Selain itu, tegangan mekanis, sambungan tungkai, dan lubang baut juga mempengaruhi rugi-rugi inti (Siburian, 2019)

- Kumparan Transformator

Kumparan listrik, atau kumparan elektromagnetik, adalah konduktor listrik yang berisi serangkaian kabel konduktif yang melilit inti feromagnetik yang berbentuk silinder, toroidal, atau seperti cakram. Kumparan listrik adalah salah satu bentuk paling sederhana dari komponen elektronik dan memberikan induktansi dalam rangkaian listrik, karakteristik listrik yang menentang aliran arus.

Ada berbagai macam kumparan listrik yang bervariasi sesuai dengan ukuran kabelnya, diameter kumparan, panjang kawat, jumlah loop, dan jenis bahan inti, yang dapat berupa udara, besi, baja, bahan keramik, atau berbahan dasar besi. pita tak berbentuk. Bahan yang digunakan untuk inti kumparan listrik ditentukan oleh permeabilitas bahan, yaitu kemampuan inti untuk membentuk medan magnet..(Siburian, 2019)

- Minyak Transformator

Minyak trafo atau minyak isolasi adalah minyak yang stabil pada suhu tinggi dan memiliki sifat isolasi listrik yang sangat baik. Ini digunakan dalam transformator berisi minyak (trafo basah),[1] beberapa jenis kapasitor tegangan tinggi, ballast lampu neon, dan beberapa jenis sakelar tegangan tinggi dan pemutus sirkuit. Fungsinya untuk menyekat, menekan pelepasan korona dan busur api, serta berfungsi sebagai pendingin.

Minyak transformator paling sering didasarkan pada minyak mineral, tetapi formulasi alternatif dengan teknik yang berbeda atau sifat lingkungan semakin populer(Siburian, 2019)(Supriyadi, 2017)

Trafo (Transformator) adalah alat yang digunakan sebagai pengubah tegangan (Step Down / Step Up) melalui induksi elektromagnetik dengan tidak sedikitpun merubah frekuensinya. Jenisnya pun sangat beragam, bisa berdasarkan dari tegangan dan fasa yang digunakan, ataupun dari tujuan digunakannya transformator tersebut. Secara spesifik, makalah ini menjelaskan tentang karakteristik transformator tiga fasa, transformator yang paling sering digunakan pada gardu induk sebagai penurun dan pendistribusi tegangan.

Secara prinsip, transformator tiga fasa memiliki kesamaan dengan transformator satu fasa. Perbedaan paling menonjol, terdapat pada banyak fasa yang digunakan. Selain itu, alasan mengapa transformator tiga fasa lebih sering digunakan pada gardu induk ketimbang menggabungkan tiga transformator satu fasa dengan daya yang sama adalah, karena pertimbangan dana yang digunakan, besar dimensi ukuran transformator, juga bisa dari berat transformator tersebut.

Secara umum, bagian pada transformator dibagi menjadi dua bagian, yaitu inti dan kumparan. Kumparan sendiri dapat dibedakan menjadi dua bagian pula, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder.

5.5. Bagian – Bagian Pada Transformator

Pada Transformator terdapat beberapa bagian yang memiliki fungsi sebagai berikut :

1. Inti Besi Transformator

Pada Transformator, bagian ini berfungsi sebagai tempat untuk mempermudah mengalirnya fluks elektromagnetik yang melalui kumparan primer menuju ke kumparan sekunder. Terbuat dari lempengan atau plat tipis dari campuran besi khusus yang terisolasi, untuk mengurangi panas akibat “Eddy Current”, dan dijepit secara kuat agar tidak terjadi getaran.

2. Kumparan Transformator

Terdiri dari lilitan kawat yang membentuk kumparan, terbuat dari kawat tembaga yang diisolasi dengan baik, terhadap inti besi maupun terhadap kumparan yang lainnya dengan isolasi padat. Kumparan tersebut dilapisi isolasi agar tidak terjadi hubungan singkat. Secara umum, pada trafo terdapat kumparan primer dan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan atau arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul fluks yang menginduksikan tegangan, bila pada rangkaian sekunder yang diberi beban, maka arus akan mengalir pada kumparan sebagai alat transformasi.

3. Minyak Transformator

Pada sebagian besar transformator daya, kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak transformator, terutama pada transformator daya berkapasitas besar. Hal itu dikarenakan minyak transformator mempunyai sifat sebagai media pendingin kumparan dan inti besi juga sebagai isolasi (daya tegangan tembus tinggi). Karena hal tersebut, minyak transformator harus memenuhi kualifikasi sebagai berikut :

- ✓ Mempunyai kekuatan isolasi yang tinggi
- ✓ Penyalur panas yang baik dengan berat jenis yang kecil, sehingga partikel – partikel dapat mengendap dengan cepat
- ✓ Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi sehingga kemampuan pendingin menjadi lebih baik.
- ✓ Memiliki titik nyala tinggi atau tidak mudah menguap sehingga tidak membahayakan
- ✓ Tidak merusak bahan isolasi yang padat
- ✓ Memiliki sifat kimia yang stabil
- ✓ Tidak bereaksi secara kimiawi terhadap benda logam maupun bahan isolasi

4. Bushing Transformator

Bushing transformator adalah sebuah konduktor yang diberi selubung isolasi untuk menghubungkan kumparan transformator dengan jaringan luar. Fungsi lain dari bushing, juga dapat menjadi penyekat antara konduktor dengan tangki transformator.

5. Tangki Transformator

Tempat ini merupakan tempat penampungan sekaligus menjadi pelindung minyak transformator yang merendam bagian-bagian dari transformator (seperti kumparan dan inti besi).

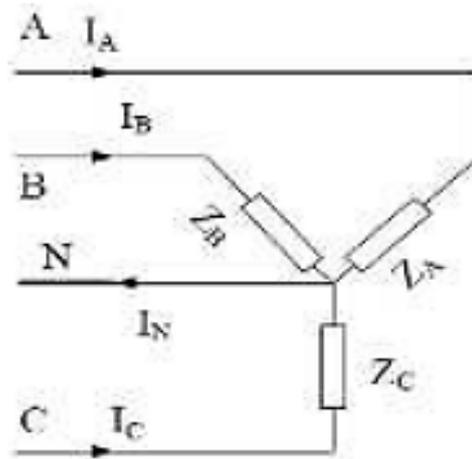
6. Konservator Transformator

Alat ini merupakan bagian yang tak terpisahkan dari tangki minyak transformator, berupa sebuah tabung yang berfungsi untuk menjaga ekspansi atau meluapnya minyak akibat pemanasan. Terletak pada bagian atas tangki transformator, konservator juga dapat menjadi saluran pengisian minyak transformator. Konservator terisi cadangan minyak, agar dapat menjamin tangki terisi minyak secara penuh.

Hubungan transformator tiga fasa

Terdapat tiga cara untuk merangkai kumparan pada transformator tiga fasa, yakni: hubungan bintang, hubungan delta, dan hubungan zig zag.

- Transformator Hubungan Bintang (Y)
Transformator jenis ini semua ujung pada masing masing terminal akan dihubung secara bintang. Titik netral dijadikan menjadi satu. (Merangin et al., 2018)



Gambar 5.15 Transformator tiga fasa hubung bintang

Dari gambar 5.5 diperoleh bahwa:

$$I_A = I_B = I_C = I_L$$

$$I_L = I_{ph}$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_L - L$$

$$V_L - L = \sqrt{3} \text{ ph}$$

Dimana :

$$V_L - L = \text{baris ke baris}$$

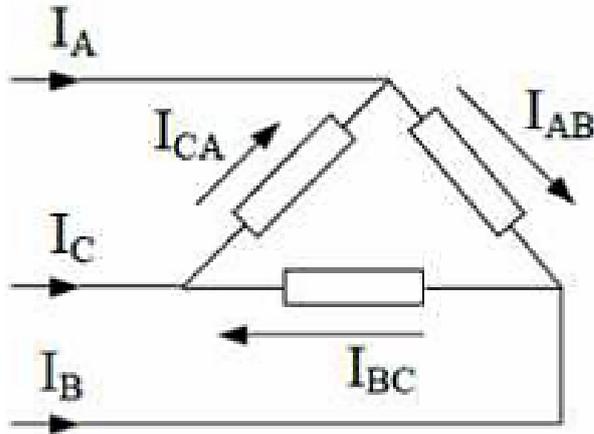
V_{ph} = tegangan fasa

I_L = arus line

I_{ph} = arus fasa

- Transformator Hubungan Segitiga (Δ)

Ujung ujung terminal dari Transformator dihubungkan dengan ujung yang lain sehingga muncul hubungan segitiga. Tegangan transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan segitiga yaitu; V_A , V_B , V_C masing-masing berbeda 120° . (Merangin et al., 2018)



Gambar 5.16. Transformator Hubungan Segitiga

Dari gambar 5.6 diperoleh bahwa

$$I_A = I_B = I_C = I_L$$

$$I_L = \sqrt{3} I_{ph}$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L}$$

$$V_{L-L} = V_{ph}$$

Dimana

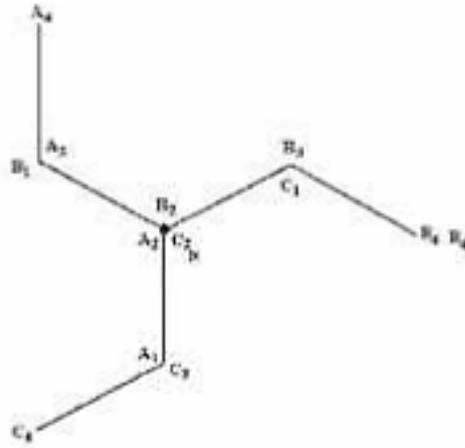
V_{L-L} = tegangan line to line

V_{ph} = tegangan phasa

I_L = arus line

I_{ph} = arus phasa

- Hubungan Zigzag
Transformator zig-zag merupakan transformator dengan tujuan khusus. Transformator ini digunakan sebagai penyedia titik netral untuk sistem listrik yang tidak mempunyai titik netral. Pada transformator zig-zag setiap lilitan tiga fasa dibagi dua bagian yang terhubung pada kaki-kaki yang berlainan. (Merangin et al., 2018).



Gambar 5.17 Transformator Hubungan Zig Zag

Berikut adalah perbandingan Rugi untuk tiap kumparan yang terhubung

Y, Δ, Zig-zag yaitu :

$$(I^2R)_Y = (1.0 X)^2 X pX 1.0 X$$

$$(I^2R)_\Delta = (0.577 X)^2 X pX 1.732 X$$

$$(I^2R)_Z = (1.0 X)^2 X pX 1.155 X$$

Dimana :

i_y = arus pada kumparan

p = hambatan jenis tembaga

L_Y = panjang kumparan yang terhubung Y

A_Y = luas penampang kumparan yang terhubung Y

A_Δ = luas penampang kumparan yang terhubung Δ

5.6. Tugas

1. Pada proses koneksi trafo, sebutkan koneksi apa saja yang dilakukan ?
2. Gambarkan koneksi trafo dengan hubungan Y
3. Gambarkan koneksi trafo dengan hubungan D

Bab 6

Mesin Arus Searah

mesin berputar listrik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik DC (generator), atau sebaliknya (motor). Ini reversibel—yaitu, mesin yang sama dapat beroperasi baik sebagai generator maupun sebagai motor. Misalnya, motor traksi dari rolling stock dan servomotor dari penggerak listrik DC daya tinggi beroperasi dengan cara ini.

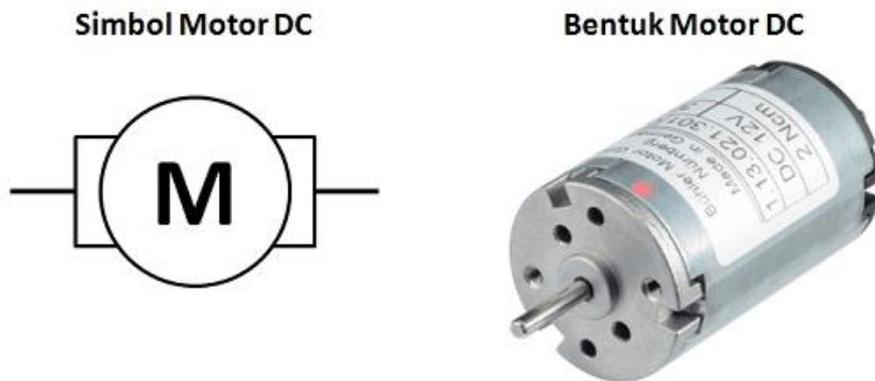
Pengoperasian generator didasarkan pada fenomena induksi elektromagnetik. Jika sebuah kumparan yang terbuat dari bahan konduktor diputar dalam medan magnet konstan (Gambar 1), gaya gerak listrik bolak-balik (ggl) akan muncul dalam kumparan. GGL memiliki frekuensi $f = P\Omega/2\pi$, di mana adalah jumlah pasang kutub dalam sistem elektromagnetik dan adalah kecepatan sudut. Sebuah komutator berputar digunakan untuk mengubah arus bolak-balik

ggl menjadi tegangan searah. Ujung-ujung kumparan dihubungkan ke segmen-segmen komutator. Sebuah mesin yang sebenarnya memiliki banyak kumparan dan segmen komutator. Sambungan ke sirkuit eksternal dibuat melalui sikat karbon atau grafit yang bersentuhan dengan segmen komutator.

Pengoperasian motor didasarkan pada interaksi antara konduktor pembawa arus dan medan magnet. Interaksi ini menimbulkan torsi elektromagnetik.

6.1. Motor Arus Searah

Motor DC atau motor arus searah adalah mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan menciptakan medan magnet yang ditenagai oleh arus searah. Ketika motor DC diberi daya, medan magnet dibuat di statornya. Medan menarik dan menolak magnet pada rotor; ini menyebabkan rotor berputar. Untuk menjaga agar rotor terus berputar, komutator yang terpasang pada sikat dihubungkan dengan sumber arus listrik ke belitan kawat motor.



Gambar 6.1. Motor Arus Searah

Motor arus searah atau DC (Direct Current) memiliki dua kutub terminal yaitu positif (+) dan negatif (-) yang membutuhkan suplai sumber tegangan yang searah pada kumparan medan dan stator untuk diubah menjadi energi mekanik atau menggerakkan motor agar dapat berputar. Pada motor arus searah kumparan medan yang dinamakan stator adalah bagian yang tidak bergerak dan kumparan jangkar yang biasa disebut rotor merupakan bagian motor yang berputar. Motor arus searah sering digunakan sebagai penggerak pintu otomatis, digunakan pada mainan mobil remot control, rangkaian robot sederhana, banyak juga terdapat pada perangkat elektronik seperti vibrator telepon genggam, kipas angin DC, mesin bor listrik DC, bahkan saat ini pada mobil listrik dan sepeda motor listrik telah banyak menggunakan motor listrik arus searah atau DC sebagai mesin penggerak.

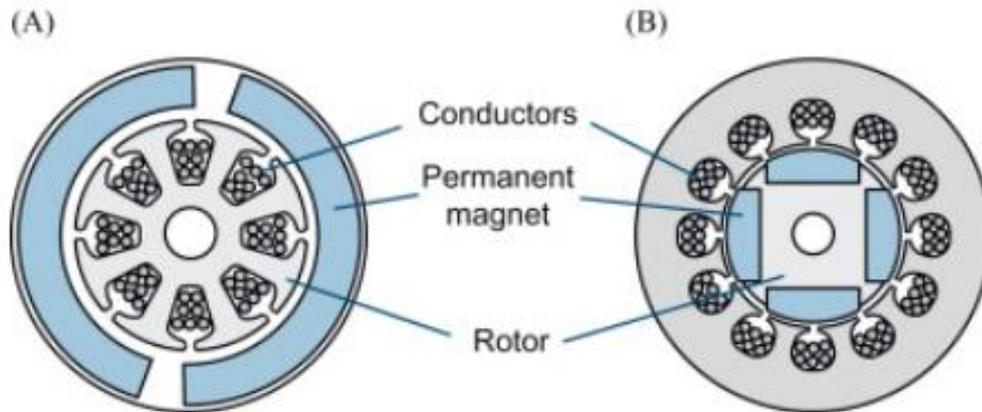
Motor listrik arus searah atau motor DC tersebut menghasilkan sejumlah putaran permenit atau biasa dikenal RPM (Round Per Minutes). Motor listrik DC dapat berputar searah jarum jam ataupun arah berlawanan jarum jam apabila kedua kutub terminal positif (+) dan kutub terminal negatif (-) dibalikkan.

Motor listrik arus searah atau arus DC ini terdapat berbagai macam ukuran dan bentuk. Mulai dari kecepatan putaran 3000RPM hingga 8000RPM yang dioperasikan dengan tegangan mulai dari 1,5V hingga 24V. Apabila sumber tegangan yang menyuplai motor listrik berada dibawah 100% maka kecepatan putaran motor akan melambat, jika tegangan hingga berada dibawah 50% maka motor listrik tidak dapat berputar sama sekali. Dan sebaliknya apabila sumber tegangan yang menyuplai motor listrik berada diatas atau lebih tinggi dari kapasitas motor listrik maka motor listrik akan mudah panas dan yang lebih parahnya lagi dapat menyebabkan motor listrik terbakar.

Perbandingan Antara Motor Arus Langsung Tanpa Sikat dan Motor Arus Langsung

Motor BLDC tidak memiliki kelemahan krusial dari motor DC karena fungsi sikat dan komutator diganti dengan sakelar semikonduktor yang beroperasi berdasarkan informasi dari posisi rotor. Akibat penggantian ini, konfigurasi motor BLDC menjadi berbeda dengan motor DC, tetapi mirip dengan konfigurasi motor sinkron magnet permanen

(PMSM). Seperti ditunjukkan pada Gambar 10.2B, motor BLDC memiliki konfigurasi di mana belitan ditempatkan pada sisi stator dan magnet pada sisi rotor. Ini menghasilkan konfigurasi terbalik dari motor DC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.2A. Sebaliknya, konfigurasinya menyerupai PMSM, ditunjukkan pada Gambar. 6.2.b.

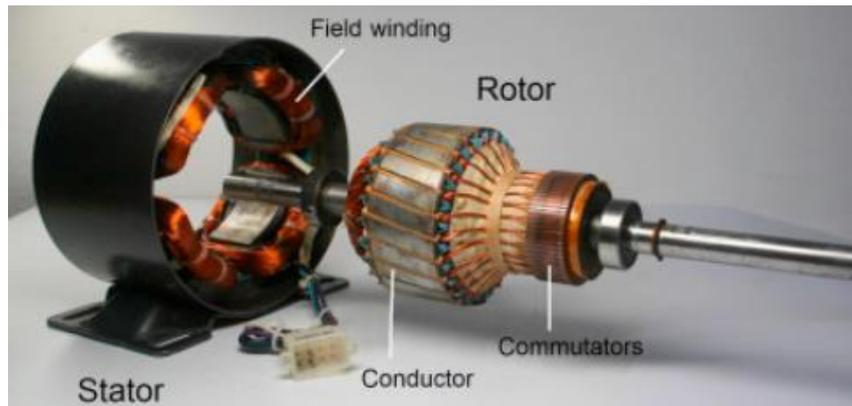


Gambar 6.2. Motor BLDC

Namun, mirip dengan arus yang mengalir pada belitan jangkar motor DC, arus yang mengalir pada belitan motor BLDC adalah bentuk gelombang kuasi-persegi.

Konfigurasi motor BLDC seperti ini memiliki kelebihan dibandingkan motor DC. Dibandingkan dengan rotor berat motor DC yang terdiri dari banyak konduktor, motor BLDC memiliki rotor inersia yang rendah. Dengan demikian motor BLDC dapat memberikan respon kecepatan yang cepat. Selain itu, belitan yang ditempatkan di sisi stator dapat dengan mudah menghilangkan panas, memungkinkan motor BLDC memiliki kemampuan torsi puncak yang lebih baik dibandingkan dengan motor DC yang arus maksimumnya dibatasi untuk menghindari demagnetisasi magnet. Selain itu, motor BLDC dapat beroperasi pada kecepatan yang lebih tinggi karena perangkat pergantian nonmekanis.

Motor DC memiliki dua belitan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Satu ditemukan di stator dan menghasilkan fluks medan. Belitan ini disebut belitan medan. Yang lainnya berada di rotor dan disebut belitan jangkar. Arus jangkar berinteraksi dengan fluks medan stator untuk menghasilkan torsi pada poros rotor. Motor DC kecil biasanya memiliki magnet permanen sebagai pengganti gulungan medan untuk menghasilkan fluks stator. Motor DC juga memiliki perangkat pergantian mekanis yang terdiri dari sikat dan komutator, yang mengubah arus DC yang diberikan dari satu daya DC menjadi arus AC pada belitan jangkar.



Gambar 6.3

6.2. Generator Arus Searah

Generator adalah mesin listrik yang pekerjaannya dimulai ketika daya listrik dari jaringan lokal padam. Di sinilah generator mulai bekerja untuk menyediakan listrik. Mesin listrik ini berfungsi sebagai sumber untuk memasok daya listrik untuk banyak fasilitas bisnis, bangunan industri, dan bahkan rumah ketika aliran listrik terputus. Generator dikategorikan menjadi dua jenis yaitu generator AC dan DC. Kami di sini untuk menjelaskan pertanyaan “apa prinsip kerja generator DC?” dan membahas DC secara rinci. Linqip telah mengumpulkan informasi paling to-the-point dan tepat tentang topik ini untuk Anda baca.

Sebelum kita membahas topik utama artikel ini, kita harus mengetahui tentang struktur dan fungsi utama DC. Mari kita lihat secara singkat konstruksi, fungsi, dan bagian serta komponen generator DC.

Pada platform Linqip, Anda akan menemukan semua informasi yang Anda butuhkan mengenai peralatan dan perangkat generator DC. Pakar Linqip tersedia untuk membantu dengan pertanyaan apa pun yang mungkin Anda miliki tentang Generator DC. Luangkan waktu sejenak untuk membaca artikel Linqip, “Apa itu Generator DC?”. Daftar sebagai Ahli Linqip untuk mendapatkan akses ke semua fitur yang tersedia.

Tahukah Anda bahwa Anda dapat menulis Posting Tamu di Linqip? Ya, tamu dapat mengirimkan postingan di Linqip.

Apa itu generator DC?

Seperti disebutkan sebelumnya, ada dua jenis generator berdasarkan output: generator AC dan DC. Fungsi utama generator arus searah adalah mengubah energi mekanik menjadi listrik. Ada banyak sumber yang menyediakan energi mekanik untuk generator DC seperti mesin dengan pembakaran internal, turbin air, gas, dan uap, dan bahkan engkol tangan. Ada fungsi terbalik yang ditentukan untuk generator DC: pekerjaan terbalik ini dapat dilakukan dengan menggunakan motor listrik.

Motor DC mengubah daya listrik menjadi energi mekanik. Generator DC menghasilkan daya listrik berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik hukum Faraday. Berdasarkan hukum ini, ketika sebuah konduktor bergerak dalam medan magnet, garis-garis gaya magnet dipotong. Hal ini menyebabkan induksi gaya elektromagnetik dalam konduktor.

Untuk mendapatkan jawaban yang lebih jelas atas pertanyaan “apa prinsip kerja generator DC?”, mari kita jelaskan secara singkat bagian-bagian dan komponen-komponennya. Pada bagian berikut, kami akan memberi tahu Anda secara singkat tentang bagian-bagian utama generator DC dan cara kerjanya. terus membaca.



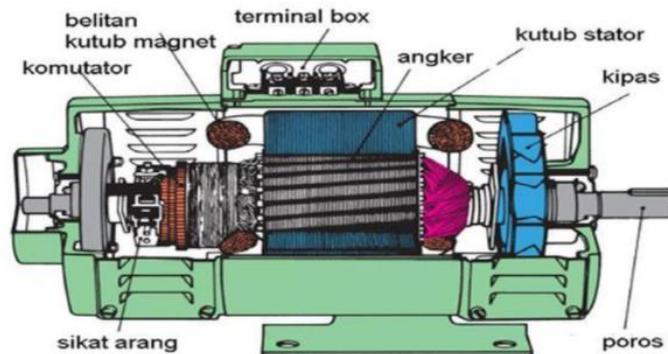
Gambar 6.4

Konstruksi generator DC

Pada bagian sebelumnya, kami menjelaskan apa itu generator DC dengan sangat singkat. Sekarang kami ingin Anda lebih mengenal konstruksinya. Ada banyak komponen dalam generator DC tunggal yang membantu seluruh mesin berfungsi sebagaimana mestinya. Dalam berbagai artikel, disebutkan lebih dari sepuluh bagian untuk generator DC.

Kami tidak akan menguraikan semua komponen ini karena penjelasan fungsi bagian-bagian ini berada di luar cakupan artikel ini dan akan membawa kami keluar dari topik

utama diskusi kami. Pada bagian berikut, Anda akan membaca tentang empat komponen terpenting generator DC yang membantu Anda mengukir jawaban atas pertanyaan “apa prinsip kerja generator DC?”



Gambar 6.5 Generator DC

Generator arus searah atau generator DC adalah sebuah alat atau perangkat mesin listrik yang berfungsi sebagai pengubah energi mekanik menjadi energy listrik. Generator arus searah atau generator DC dapat menghasilkan energy atau arus listrik searah. Terdapat 3 jenis generator arus searah yaitu :

1. Generator compon

Generator compon adalah gabungan dari generator shunt dan seri. Biasanya kumparan seri dihubungkan sedemikian bentuknya sehingga kumparan seri dapat membantu kumparan shunt.

2. Generator Shunt

Generator shunt adalah kumparan medan yang dipasang secara paralel terhadap kumparan jangkar.

Generator jenis ini akan gagal membangkitkan tegangan apabila terjadi hal hal seperti berikut :

- a. Sisa magnetic tidak ada
- b. Hubungan medan terbalik
- c. Tahanan rangkaian penguat terlalu besar

3. Generator penguat arus terpisah

Generator jenis ini merupakan merupakan generator yang mengalirkan arus listrik melalui kumparan medan Rf yang diambil dari output generator.

4. Generator Seri

Generator seri selalu dikopel dengan beban arusnya, jika tidak dikopel maka yang terjadi adalah tegangan terminal tidak akan keluar.

Generator arus searah memiliki dua bagian, sama seperti motor arus searah yaitu terdapat bagian stator dan bagian rotor. Yang dinamakan stator adalah bagian generator listrik yang diam atau tidak bergerak, sedangkan yang dinamakan rotor adalah bagian dari generator listrik yang bergerak atau berputar.

Pada bagian stator dan bagian rotor juga terdapat beberapa komponen penting didalamnya. Pada bagian stator terdiri dari kerangka motor, belitan stator, carbon brush atau sikat arang, bearing dan kotak terminal. Sedangkan pada bagian rotor terdiri dari belitan rotor, komutator, baling baling rotor, dan poros.

Untuk perawatan yang harus diperhatikan secara berkala adalah bagian carbon brush atau sikat arang yang mana carbon brush tersebut lama kelamaan akan memendek dan habis karena akibat terjadinya gesekan. Biasanya tanda-tanda ketika carbon brush atau sikat arang itu mulai habis adalah generator atau motor tidak bias berputar. Maka dari itu, ketika terjadi gejala tersebut segera ganti carbon brush dengan yang masih baru agar generator atau motor dapat berputar kembali. Pada bagian komutator juga harus dibersihkan ketika penggantian carbon brush karena terdapat sisa-sisa serbuk carbon brush yang menempel pada celah-celah komutator, untuk membersihkan komutator dari sisa-sisa serbuk carbon brush dapat menggunakan sikat atau bisa juga menggunakan amplas halus.

6.3. Karakteristik Mesin Arus Searah

Umumnya, tiga kurva karakteristik dianggap penting untuk motor DC yaitu, (i) Torsi vs arus jangkar, (ii) Kecepatan vs arus jangkar dan (iii) Kecepatan vs torsi. Berikut ini dijelaskan untuk masing-masing jenis motor DC. Karakteristik ini ditentukan dengan mengingat dua hubungan berikut.

$$T_a = I_a \text{ dan } N = \frac{E_b}{\phi}$$

Persamaan di atas dapat dipelajari pada persamaan ggl dan torsi mesin dc. Untuk motor DC, besarnya ggl balik diberikan oleh persamaan ggl yang sama dari generator dc yaitu:

$$E_b = \frac{P\phi NZ}{60A}$$

Untuk sebuah mesin, P, Z dan A adalah konstan, oleh karena itu,

$$N = \frac{E_b}{\phi}$$

Karakteristik motor seri DC

Torsi vs arus jangkar (Ta-Ia)

Karakteristik ini juga dikenal sebagai karakteristik listrik. Kita tahu bahwa torsi berbanding lurus dengan hasil kali arus jangkar dan fluks medan, $T_a \propto I_a$. Pada motor seri DC, belitan medan dihubungkan secara seri dengan jangkar, yaitu $I_a = I_f$. Oleh karena itu, sebelum medan magnet saturasi, fluks berbanding lurus dengan I_a . Oleh karena itu, sebelum saturasi magnetik $T_a \propto I_a^2$. Oleh karena itu, kurva T_a - I_a berbentuk parabola untuk nilai I_a yang lebih kecil.

Setelah saturasi magnet dari kutub medan, fluks tidak tergantung pada arus jangkar I_a . Oleh karena itu, torsi bervariasi secara proporsional terhadap I_a saja, $T \propto I_a$. Oleh karena itu, setelah saturasi magnetik, kurva T_a - I_a menjadi garis lurus.

Torsi poros (T_{sh}) lebih kecil dari torsi jangkar (T_a) karena rugi-rugi nyasar. Oleh karena itu, kurva T_{sh} vs I_a terletak sedikit lebih rendah.

Pada motor seri DC, torsi (sebelum saturasi magnetik) meningkat seiring kuadrat arus jangkar, motor ini digunakan di mana torsi awal yang tinggi diperlukan.

Kecepatan vs. arus jangkar (N- I_a)

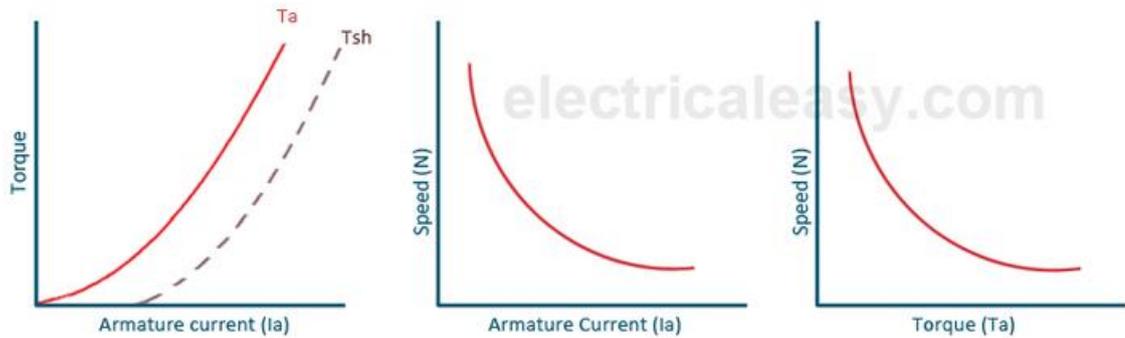
hubungannya, $N \propto E_b/\phi$

Untuk arus beban kecil (dan karenanya untuk arus jangkar kecil) perubahan ggl balik E_b kecil dan dapat diabaikan. Oleh karena itu, untuk arus kecil kecepatan berbanding terbalik dengan ϕ . Seperti yang kita ketahui, fluks berbanding lurus dengan I_a , kecepatan berbanding terbalik dengan I_a . Oleh karena itu, ketika arus jangkar sangat kecil, kecepatan menjadi sangat tinggi. Itulah sebabnya motor seri tidak boleh distarter tanpa beban mekanis.

Namun, pada beban berat, arus jangkar I_a besar. Dan karenanya, kecepatan rendah yang menghasilkan penurunan ggl balik E_b . Karena penurunan E_b , lebih banyak arus jangkar diperbolehkan.

Kecepatan vs torsi (N- T_a)

Sifat ini disebut juga sifat mekanik. Dari kedua karakteristik motor seri DC di atas dapat diketahui bahwa pada saat kecepatan tinggi, torsi rendah dan sebaliknya.



Characteristics of DC series motor

Gambar 6.6

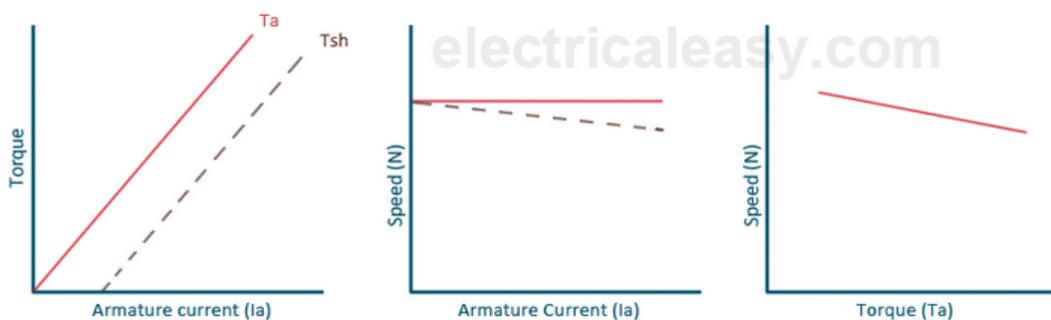
Torsi vs arus jangkar (Ta-Ia)

Dalam kasus motor DC shunt, kita dapat mengasumsikan fluks medan konstan. Meskipun pada beban berat, berkurang dalam jumlah kecil karena meningkatnya reaksi jangkar. Karena kita mengabaikan perubahan fluks, kita dapat mengatakan bahwa torsi sebanding dengan arus jangkar. Oleh karena itu, karakteristik Ta-Ia untuk motor shunt dc akan menjadi garis lurus melalui titik asal. Karena beban start yang berat membutuhkan arus start yang besar, motor shunt tidak boleh distart pada beban yang berat.

Kecepatan vs. arus jangkar (N-Ia)

Karena fluks diasumsikan konstan, kita dapat mengatakan $N \propto E_b$. Tetapi, karena ggl balik juga hampir konstan, kecepatannya harus tetap konstan. Tetapi secara praktis, dan E_b berkurang dengan bertambahnya beban. GGL balik E_b berkurang sedikit lebih besar dari, oleh karena itu, kecepatannya sedikit berkurang. Umumnya, kecepatan hanya berkurang 5 hingga 15% dari kecepatan beban penuh. Oleh karena itu, motor shunt dapat diasumsikan sebagai motor dengan kecepatan konstan. Dalam karakteristik kecepatan vs arus jangkar pada gambar berikut, garis horizontal lurus mewakili karakteristik ideal dan karakteristik 70actual ditunjukkan oleh garis putus-putus.

Karakteristik motor dc shunt



Characteristics of DC shunt motor

Gambar 6.7

Karakteristik motor kompon DC

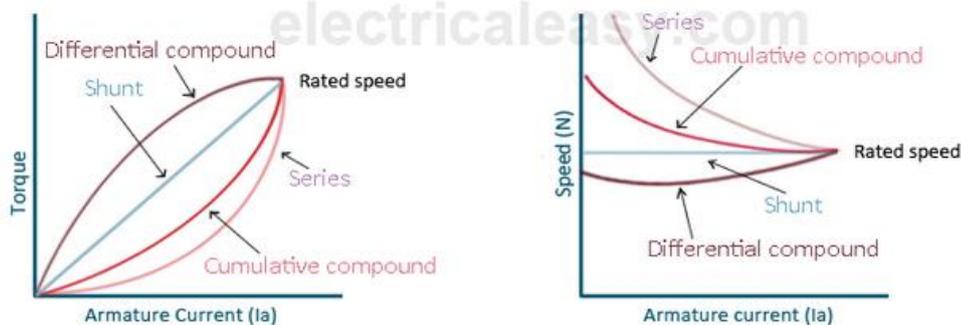
Motor kompon DC memiliki belitan seri dan shunt. Pada motor kompon, jika belitan seri dan shunt dihubungkan sedemikian rupa sehingga fluks seri searah dengan fluks shunt, maka motor dikatakan kompon secara kumulatif. Dan jika fluks seri berlawanan dengan arah fluks shunt, maka motor dikatakan kompon diferensial. Karakteristik kedua motor kompon tersebut dijelaskan di bawah ini.

(a) Motor kompon kumulatif

Motor kompon kumulatif digunakan di mana karakteristik seri diperlukan tetapi beban kemungkinan besar akan dihilangkan sepenuhnya. Belitan seri menangani beban berat, sedangkan belitan shunt mencegah motor berjalan pada kecepatan tinggi yang berbahaya ketika beban tiba-tiba dilepas. Motor ini umumnya menggunakan roda gila, di mana beban mendadak dan sementara diterapkan seperti di rolling mill.

(b) Motor kompon diferensial

Karena pada motor medan diferensial, fluks seri melawan fluks shunt, fluks total berkurang dengan bertambahnya beban. Karena itu, kecepatan tetap hampir konstan atau bahkan mungkin sedikit meningkat dengan peningkatan beban ($N \propto E_b/\phi$). Motor kompon diferensial tidak umum digunakan, tetapi mereka menemukan aplikasi terbatas dalam pekerjaan eksperimental dan penelitian.



Characteristics of DC compound motor

Gambar 6.8

a. Karakteristik beban nol (0)

Karakteristik beban nol ini menunjukkan pembangkitan GGL tidak ada beban dalam jangkar dan arus medan pada kecepatan konstan.

b. Karakteristik dalam

Karakteristik ini menunjukkan hubungan antara GGL yang diinduksikan secara nyata dalam jangkar dan pada arus jangkar.

c. Karakteristik luar

Sedangkan karakteristik luar memperlihatkan hubungan antara voltase terminal dan arus beban.

Adapun 2 Resistansi Kritis Generator, yaitu :

Resistansi Kritis Generator Seri

Pada kurva karakteristik generator arus searah ini, dapat dibuat garis resistansi batas terendah tegangan dan arus generator pada saat pembangkitan tegangan. Resistansi kritis generator seri biasa dipengaruhi oleh tahanan pada posisi beban. Dapat menentukan garis resistansi kritis dengan membandingkan beban tahanan dengan tegangan dan arus pada generator.

Resistansi Kritis Generator Shunt

Resistansi ini dipengaruhi oleh resistansi kumparan medan. Kita bisa membuat garis resistansi kritis dengan cara membandingkan tahanan kumparan medan dengan tegangan dan arus pada generator.

6.4. Pemanfaatan Mesin Arus Searah

Motor listrik arus searah biasa ditemukan pada aplikasi yang bermacam macam antara lain:

1. industri,
2. kipas blower,
3. pompa air,
4. peralatan mesin,
5. peralatan rumah tangga,
6. alat-alat listrik,
7. peralatan komputer.
8. Dll

Motor listrik terbesar digunakan untuk penggerak kendaraan air seperti:

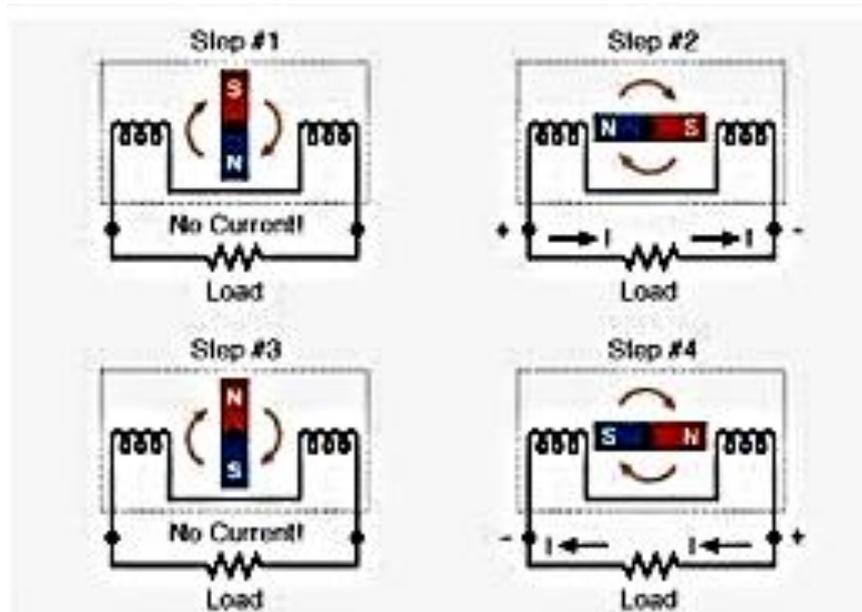
1. kapal,
2. kompresor pipa,
3. pompa air.

6.5. Tugas

1. Sebutkan apakah perbedaan motor dan generator ?
2. Bagaimana jika kumparan jangkar pada motor mengalami short circuit?
3. Bagaimana solusinya jika terdapat masalah sebagaimana no 2 diatas?

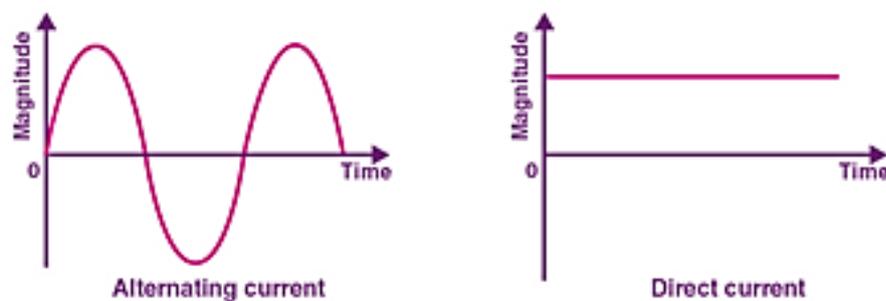
Bab 7

Mesin Arus Bolak Balik



Gambar 7.1. Prinsip Kerja Arus Balik Balik

Arus bolak-balik (AC) adalah jenis arus listrik yang dihasilkan oleh sebagian besar pembangkit listrik dan digunakan oleh sebagian besar sistem distribusi daya. Arus bolak-balik lebih murah untuk dihasilkan dan memiliki kerugian energi lebih sedikit daripada arus searah saat mentransmisikan listrik jarak jauh. Meskipun untuk jarak yang sangat jauh (lebih dari 1000 km), arus searah seringkali lebih baik. Berbeda dengan arus searah, arah dan arus bolak-balik berubah beberapa kali dalam satu detik. seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.2..



Gambar 7.2. Perbedaan Arus Bolak Balik dan Arus Searah

Dari grafik dapat dilihat bagaimana pergerakan arus dan tegangannya. Grafik tegangan maupun arus memiliki bentuk sinusoidal, dimana pada suatu saat berada pada titik nol,

pada saat yang lainnya berada pada posisi + dan disaat lainnya berada pada posisi negatif. Demikian siklus tersebut berjalan setia saat berulang ulang dengan ecepatan 50 siklus tiap detik pada sistem 50 Hz. Dan bergerak berulang 60 kai tiap detik pada sistem 60 Hz.

Arus Bolak Balik ini dihasilkan oleh alternator arus bolak balik. Kebanyakan alternator arus bolak balik ini menggunakna sistem sinkron. Secara sederhana pembuatan arus bolak balik tidaklah terlalu sulit. Cukup menggunakan 2 buah magnet yang dipotongkan sehingga menghasilkan tegangan. Dimana tegangannya juga merupakan tegangan bolak balik. Suatu cara paling biasa dijumpai di lapangan adalah dengan menggunakan generator arus bolak balik dengan menggunakna koil tunggal yang berisi magnet dua kutub dan satu lingkaran kawat berbentuk empat persegi panjang.

Proses pembuatan arus bolak balik ini, generator arus bolak balik adalah sama persis menggunakan prinsip hukum faraday. Hukum Faraday adalah mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Sementara itu, arus bolak balik disuplai ke peralatan dengan mempergunakan 3 kabel. 3 Kabel dimaksud adalah :

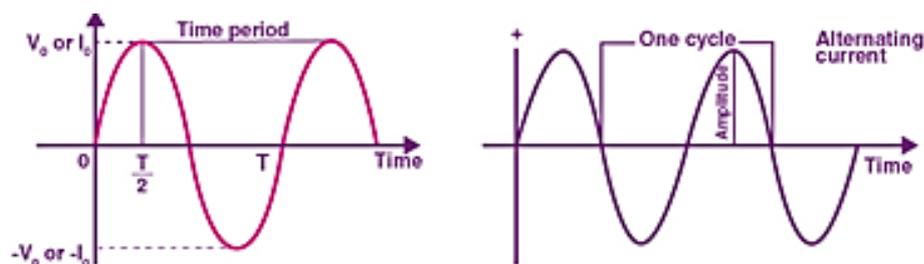
1. Daya ditransmisikan.
2. Kabel netral untuk arus baliknya.
3. Kabel ketiga yang juga juga digunakan untuk grounding.

Banyak sekali peralatan elektronik yang ada di lapangan baik dirumah, kantor atau dimanapun yang menggunakna arus bolak balik. Hal ini dikarenakan arus bolak balik memilikim banyak keuntungan dibandingkan dengan arus searah. Apalagi jika dilakukan suatu transmisi jarak jauh. Maka lebih baik menggunakna arus bolak balik.

Arus bolak balik banyak digunakan dikarenakan juga pembangkitan dan sistem penyaluran aarus bolak balik lebih mudah dan murah. Dengan menggunakna arus bolak balik, maka akan dapat dilakukan penghantaran arus menuju daerah yang jauh. Hal yang d apat dilakukan untuk penghantaran menuju ke lokasi yang jauh adalah melakukan perubahan tegangan menjadi tegangan tinggi lalu diubah emnjadi tegangan rendah kembali.

Ada beberapa hal yang harus diketahui dalam proses pengoperasionalan arus bolak balik, yaitu:. Sebagaimana pada gambar 7.3.

1. Selisih waktu dua siklus berturut-turut adalah periode.
2. Jumlah siklus per detik adalah frekuensi.
3. Nilai maksimum di kedua arah adalah amplitudo.



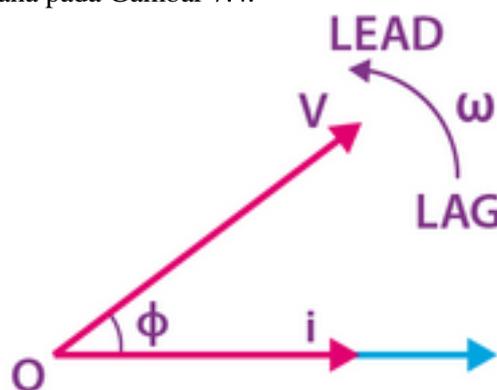
Gambar 7.3. istilah Istilah pada Arus Bolak Balik

Rata-rata dari semua nilai sesaat dari tegangan dan arus bolak-balik selama satu siklus lengkap disebut Nilai Rata-rata. Jika kita mempertimbangkan gelombang simetris seperti bentuk gelombang arus atau tegangan sinusoidal, setengah siklus positif akan sama persis dengan setengah siklus negatif. Oleh karena itu, nilai rata-rata selama satu siklus lengkap akan menjadi nol. Usaha dilakukan oleh keduanya, siklus positif dan negatif dan karenanya nilai rata-rata ditentukan tanpa mempertimbangkan tanda-tandanya. Jadi, satu-satunya setengah siklus positif dianggap untuk menentukan nilai rata-rata kuantitas bolak-balik gelombang sinusoidal. Mari kita ambil contoh untuk memahaminya.

Nilai rata-rata diberikan definisi rata-rata nilai sesaat dari arus bolak-balik pada satu siklus lengkap. Nilai rata-rata besaran bolak-balik gelombang sinusoidal dapat dipertimbangkan dengan mengambil siklus positif saja.

Arus tetap yang, ketika mengalir melalui resistor yang resistansinya diketahui untuk periode waktu tertentu daripada sebagai akibatnya jumlah panas yang sama dihasilkan oleh arus bolak-balik ketika mengalir melalui resistor yang sama untuk periode waktu yang sama disebut R.M.S atau nilai efektif arus bolak-balik. Dengan kata lain, nilai R.M.S didefinisikan sebagai akar kuadrat dari rata-rata kuadrat dari nilai sesaat. Biarkan I menjadi arus bolak-balik yang mengalir melalui resistor R selama t detik, yang menghasilkan jumlah panas yang sama seperti yang dihasilkan oleh arus searah (I_{eff}). Basis satu alterasi dibagi menjadi n bagian yang sama sehingga setiap interval t/n detik.

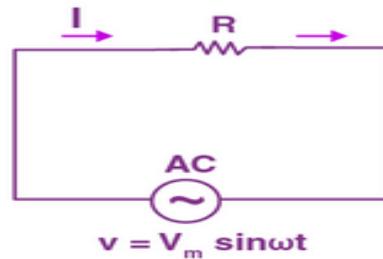
Nilai RMS didefinisikan sebagai akar kuadrat dari rata-rata kuadrat dari nilai-nilai sesaat.. Di sini, kami menggunakan istilah "lead", "lag" dan juga "in-phase", "out-of-phase" untuk menunjukkan hubungan antara satu bentuk gelombang dengan yang lain. Diagram fasor dapat dilihat sebagaimana pada Gambar 7.4.



Gambar 7.4. Pengaturan Sudut Fasa Arus Bolak Balik

1. Rangkaian Arus Bolak Balik Resistif Murni

Rangkaian arus bolak balik resistif murni berisi resistansi murni yaitu ditulis dengan notasi R ohm. Tidak memiliki dampak induktansi dan kapasitansi pada rangkaian ini. Secara lebih jelas dapat dilihat pada gambar 7.5.



Gambar 7.5. Rangkaian Arus Bolak Balik Resistif Murni

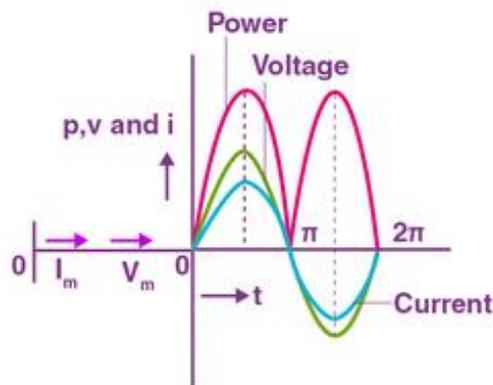
Biarkan tegangan suplai menjadi,
 $v = V_m \sin \omega t \dots\dots(1)$

Nilai sesaat arus yang mengalir melalui rangkaian yang diberikan adalah,
 $i = v / R = V_m / R \sin \omega t \dots\dots(2)$

Dari persamaan (2), nilai arus maksimum pada $t = 90^\circ$, jadi $\sin t = 1$

Maka nilai arus sesaat adalah
 $i = I_m \sin \omega t \dots\dots(3)$

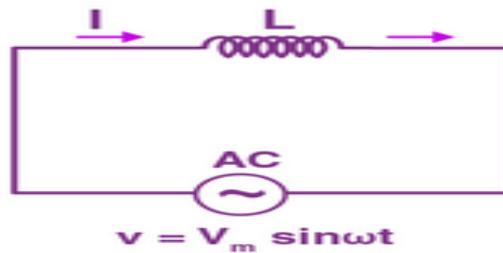
Jadi, dengan mengamati persamaan (1) dan (3), jelas bahwa tidak ada perbedaan fasa antara tegangan yang diberikan dan arus yang mengalir melalui rangkaian. Artinya, sudut fasa antara tegangan dan arus adalah nol. Oleh karena itu, dalam rangkaian ac resistif murni, arus sefasa dengan tegangan. Hal ini dapat dinyatakan dalam bentuk gelombang sebagaimana pada gambar 7.6.



Gambar 7.6. Gelombang Arus dan Tegangan Arus Bolak Balik Resistif Murni

2. Rangkaian Arus Bolak Balik Induktif Murni

Pada rangkaian jenis ini rangkaian hanya berisikan induktansi. Sehingga efek resistansi dan kapasitansinya tidak ada. Pada grafik tegangan dan arus nampak komposisinya, yaitu arus akan tertinggal dengan tegangan sebesar 90° . Sirkuit akan menjadi sebagaimana pada gambar 7.7.



Gambar 7.7. Rangkaian Arus Bolak Balik Induktif Murni

Induktor akan menyimpan energi listrik dalam medan magnet ketika arus mengalir melaluinya. Ketika arus ini berubah, medan magnet yang berubah terhadap waktu menyebabkan ggl yang melawan aliran arus. Oposisi terhadap aliran arus ini dikenal sebagai reaktansi induktif.

Biarkan tegangan yang diterapkan pada rangkaian menjadi,

$$v = V_m \sin \omega t \dots\dots(1)$$

Ggl yang diinduksi dalam induktor adalah,

$$E = -L \times di / dt$$

GGL yang diinduksi dalam rangkaian ini sama dan berlawanan dengan tegangan yang diberikan.

$$v = -e \dots\dots(2)$$

Menempatkan nilai e dalam (2) kita dapatkan,

$$v = (-L \times di / dt)$$

Atau

$$V_m \sin \omega t = L \times di / dt$$

Atau

$$di = V_m / L \sin \omega t \dots\dots(3)$$

Mengintegrasikan kedua sisi, kita dapatkan,

$$\int di = \int \frac{V_m}{L} \sin \omega t \, dt \quad \text{or}$$

$$i = \frac{V_m}{\omega L} (-\cos \omega t) \quad \text{or}$$

$$i = \frac{V_m}{\omega L} \sin(\omega t - \pi/2) = \frac{V_m}{X_L} \sin(\omega t - \pi/2) \dots\dots\dots(4)$$

Sirkuit AC Yang Mengandung Masalah Induktansi

Di Sini, Reaktansi induktif adalah $X_L = L$

Nilai arus akan maksimum jika $\sin(\omega t - \pi/2) = 1$

Karena itu,

$$I_m = V_m / X_L \dots\dots(5)$$

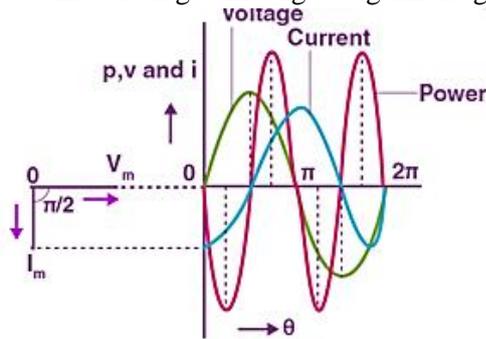
Terapkan nilai I_m dari (5) dan masukkan (4)

Kita mendapatkan,

$$i = i_m \sin (\omega t - \phi / 2)$$

Ini menyiratkan bahwa arus dalam rangkaian ac induktif murni tertinggal dari tegangan sebesar 90° .

Hal ini dapat dinyatakan dalam bentuk gelombang sebagaimana gambar 7.8.

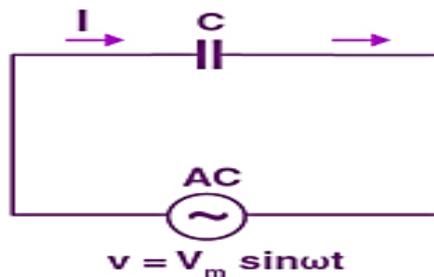


Gambar 7.8. Sudut Fasar Antara Arus Dan Tegangan Arus Bolak Balik Induktif Murni

Jika tegangan dan arus berada pada nilai puncaknya sebagai nilai positif, daya juga akan positif. Demikian pula jika tegangan dan arus berada pada puncak negatif maka daya akan negatif. Ini karena perbedaan fase di antara mereka.

3. Rangkaian Arus Bolak Balik Kapasitif Murni

Rangkaian ini hanya berisi kapasitor murni. Kapasitor murni ini tidak mempengaruhi nilai resistansi dan nilai induktansi. Kapasitor berfungsi sebagai penyimpan energi. Sirkuit akan menjadi sebagaimana pada gambar 7.9.



Gambar 7.9. Rangkaian Arus Bolak Balik Kapasitif Murni

Seperti yang kita ketahui, kapasitor mencakup dua pelat isolasi yang dipisahkan oleh media dielektrik. Biasanya, kapasitor berfungsi sebagai perangkat penyimpanan dan akan terisi daya jika catu daya menyala dan akan habis jika catu daya mati.

Biarkan tegangan yang diterapkan pada rangkaian menjadi,

$$v = V_m \sin \omega t \dots\dots(1)$$

Muatan kapasitor adalah,

$$q = Cv \dots\dots(2)$$

Maka arus yang mengalir melalui rangkaian adalah,

$$i = dq / dt$$

Mengganti nilai q dalam persamaan di atas kita dapatkan,

$$i = d(Cv) / dt \dots\dots(3)$$

Sekarang substitusikan nilai v pada (3), kita dapatkan,

$$i = \frac{d}{dt} C V_m \sin \omega t = C V_m \frac{d}{dt} \sin \omega t \text{ or}$$

$$i = \omega C V_m \cos \omega t = \frac{V_m}{1/\omega C} \sin(\omega t + \pi/2) \text{ or}$$

$$i = \frac{V_m}{X_C} \sin(\omega t + \pi/2) \dots\dots\dots(4)$$

Dimana $X_C = 1/C$ yang merupakan induktansi kapasitif.

Nilai arus akan maksimum jika $\sin(\omega t + \pi/2) = 1$.

Maka nilai arus maksimum

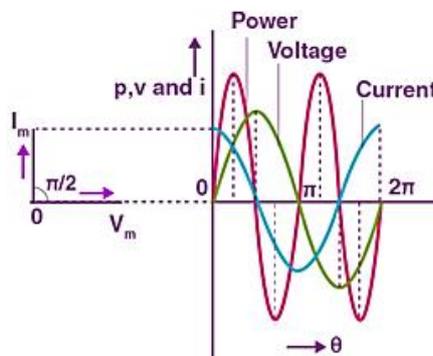
$$I_m = V_m / X_C$$

Mengganti nilai I_m dalam (4) kita dapatkan,

$$i = i_m \sin(\omega t + \phi/2)$$

Ini menyiratkan bahwa arus yang mengalir melalui kapasitor memimpin tegangan sebesar 90° .

Hal ini dapat dinyatakan dalam bentuk gelombang sebagaimana gambar 7.10.



Gambar 7.10. Sudut Fasor Antara Arus Dan Tegangan Arus Bolak Balik Kapasitif Murni

7.1. Motor Arus Bolak Balik

Motor AC adalah motor yang mengubah arus bolak-balik menjadi tenaga mekanik. Stator dan rotor adalah bagian penting dari motor AC. Stator adalah bagian motor yang diam, dan rotor adalah bagian motor yang berputar. Motor AC mungkin satu fase atau tiga fase. Nikola Tesla menemukan motor induksi AC pertama pada tahun 1887.

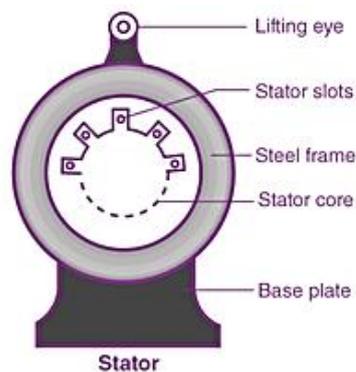
Konstruksi motor AC

Arus bolak-balik menggerakkan motor AC. Stator stasioner dan rotor yang berputar adalah bagian penting dari motor AC. Pada bagian ini, mari kita pelajari bagian-bagian yang berbeda dari motor AC.

Diagram Motor AC. Berikut ini adalah bagian-bagian yang berbeda dari motor AC:

1. stator

Stator adalah bagian stasioner dari motor yang memberikan medan magnet berputar untuk berinteraksi dengan rotor Sebagaimana pada gambar 7.11.



Gambar 7.11. Konstruksi Motor Arus Bolak Balik

2. Inti Stator

Inti stator terbuat dari lembaran logam tipis yang dikenal sebagai laminasi. Laminasi digunakan untuk mengurangi kehilangan energi.

3. Gulungan Stator

Gulungan stator ditumpuk bersama-sama, membentuk silinder berongga. Slot kumparan inti stator dari kabel berinsulasi diisolasi. Ketika motor yang dirakit beroperasi, belitan stator terhubung ke sumber listrik. Setiap kelompok kumparan, bersama dengan inti baja, menjadi elektromagnet ketika arus diterapkan.

4. Rotor

Rotor adalah komponen sentral dari motor yang dipasang pada poros. Jenis rotor yang paling umum digunakan pada motor AC adalah rotor sangkar tupai. Rotor sangkar tupai berbentuk silinder dan dibuat dengan menumpuk laminasi baja tipis sebagaimana pada gambar 7.12.



Gambar 7.12. Rotor Sangkar

Alih-alih memasukkan gulungan kawat di antara slot, batang konduktor die-cast ke dalam slot yang berjarak sama di sekitar silinder. Setelah batang konduktor die-casted, mereka terhubung secara elektrik dan mekanis ke cincin ujung.

5. Poros Motor

Rotor ditekan ke poros baja untuk membentuk rakitan rotor. Poros memanjang di luar casing motor yang memungkinkan koneksi ke sistem eksternal untuk mengirimkan daya rotasi.

6. Bantalan

Bantalan menahan poros motor di tempatnya. Bantalan meminimalkan gesekan poros yang terhubung ke casing, yang meningkatkan efisiensi motor.

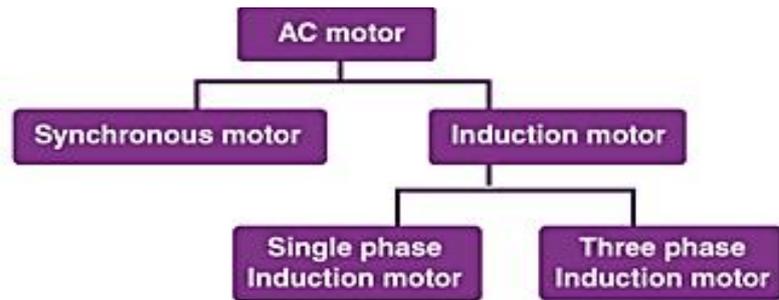
7. Lampiran

Selungkup melindungi bagian internal motor dari air dan elemen lingkungan lainnya. Enklosur terdiri dari bingkai dan dua kurung ujung.

Klasifikasi Motor AC

Berdasarkan prinsip operasinya, motor AC diklasifikasikan menjadi ⓄSebagaimana gambar 7.13

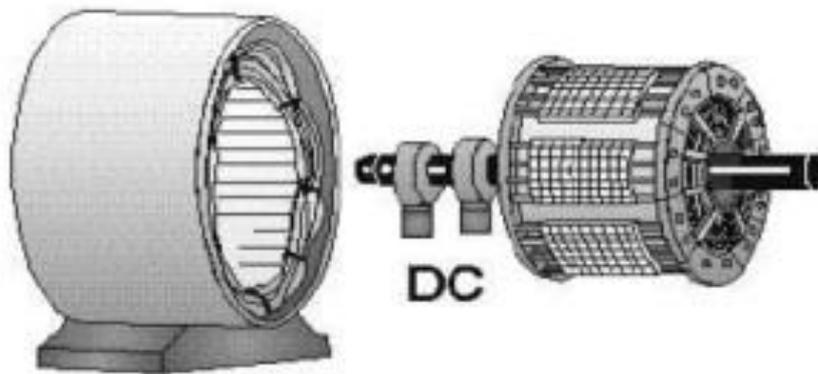
- Motor Sinkron
- Motor induksi



Gambar 7.13. Skematik Diagram Macam Motor Arus Bolak Balik

a. Motor Sinkron

Motor yang berjalan pada kecepatan sinkron dikenal sebagai motor sinkron. Kecepatan konstan di mana motor menghasilkan gaya gerak listrik dikenal sebagai kecepatan sinkron. Sebuah elektromagnet dalam medan magnet yang berputar secara magnetis mengunci dirinya sendiri dengan medan magnet yang berputar dan berputar secara bersamaan dengan medan yang berputar. Dari sinilah nama motor sinkron berasal. Ini juga berarti bahwa motor sinkron memiliki kecepatan tetap. Design dari Motor sinkron sebagaimana pada gambar 7.14.



Gambar 7.14. Motor AC Sinkron

Kecepatan sinkron dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$n_s = \frac{120f}{p}$$

di mana n_s adalah kecepatan sinkron, f adalah frekuensi tegangan saluran dalam Hz, dan P adalah jumlah kutub.

a.1. Prinsip Kerja Motor Sinkron

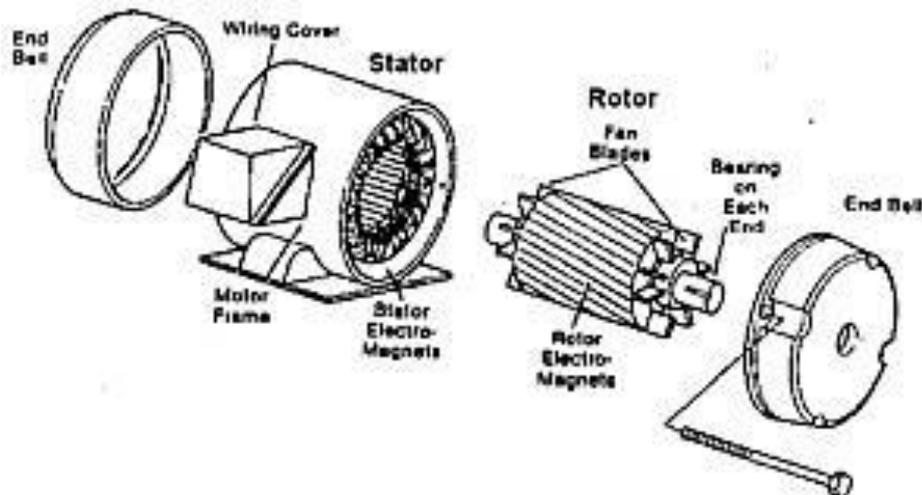
Motor sinkron bekerja dengan dua input listrik yang disediakan untuk itu. Stator dilengkapi dengan suplai AC 3 fasa, sedangkan rotor dilengkapi dengan suplai DC. Belitan stator yang disuplai dengan suplai AC 3 fasa menghasilkan fluks magnet berputar 3 fasa. Rotor yang membawa suplai DC menghasilkan fluks yang konstan. Pada saat tertentu, kutub rotor dan stator mungkin memiliki polaritas yang sama (N-N atau S-S), menyebabkan gaya tolak-menolak dan detik berikutnya, N-S menyebabkan gaya tarik menarik.

Karena gaya tarik menarik dan tolak menolak ini, motor tidak dapat berputar ke segala arah dan tetap dalam posisi diam. Untuk mengatasi hambatan gerak ini, rotor pada awalnya diberi input mekanis yang memutarnya ke arah yang sama dengan medan magnet. Setelah beberapa waktu, penguncian magnetik terjadi, dan motor sinkron berputar secara sinkron.

b. Motor induksi

Motor induksi merupakan motor yang paling banyak digunakan. Motor induksi juga dikenal sebagai motor asinkron karena selalu berjalan lebih lambat dari kecepatan sinkron. Berdasarkan jenis konstruksi rotor, mereka dibagi menjadi dua jenis sebagai berikut:

- Motor Sangkar Tupai
- Slip Ring Motor

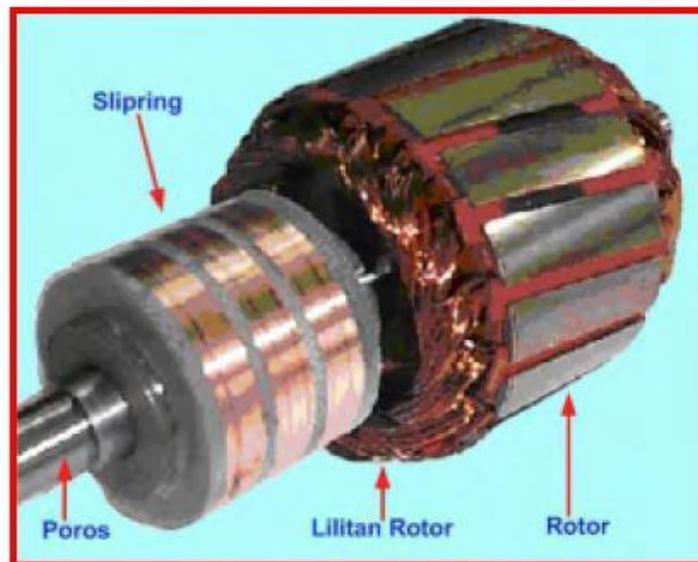


Gambar 7.15 Motor AC Induksi



Gambar 7.16. Penampang dari Rotor Sangkar

Gambar 7.16 memperlihatkan design motor sangkar tupai disana kelihatan tidak ada kumparan menyeliputinya.



Gambar 7.17 Penampang Rotor Belit

Berbeda dengan rotor sangkar tupai yang tidak mempunyai belitan, maka untuk rotor belitan ini menggunakan lilitan. Pada bagian atas juga nampak terdapat slipring. Sebagai penghantar untuk memberikan arus masuk pada bagian rotor.

b.1. Prinsip Kerja Motor Induksi

Pada motor induksi, belitan stator diumpankan dengan suplai AC. Hal ini menyebabkan belitan stator mengembangkan fluks bolak-balik. Kami menyebut fluks berputar ini "Medan Magnet Berputar (RMF)." Menurut Hukum Induksi Elektromagnetik Faraday,

kecepatan relatif antara RMF stator dan RMF rotor menyebabkan ggl induksi pada konduktor rotor. Konduktor rotor dihubungkan pendek, dan arus rotor dihasilkan karena ggl induksi.

Arus induksi ini menghasilkan fluks bolak-balik di sekitarnya. Perlu dicatat bahwa fluks stator tertinggal di belakang fluks rotor. Karena kecepatan relatif antara fluks stator yang berputar dan rotor, rotor berputar dalam arah yang sama dengan fluks stator untuk meminimalkan kecepatan relatif. Ini adalah prinsip kerja dasar motor induksi. Perbedaan antara kecepatan sinkron (N_s) dan kecepatan aktual (N) dari rotor dikenal sebagai slip.

$$\%s = \frac{N_s - N}{N_s} \times 100$$

Motor AC adalah sumber pasokan yang lebih disukai karena alasan berikut:

a. Umur panjang

Dengan hanya beberapa bagian yang bergerak, motor AC memiliki potensi untuk bertahan selama bertahun-tahun. Daya tahan motor AC menjadikannya solusi pilihan untuk aplikasi lapangan seperti peralatan pertanian dan aplikasi komersial seperti mesin penjual otomatis.

b. Efisiensi

Karakteristik kecepatan-ke-torsi motor AC memungkinkan mereka memberikan kinerja yang sangat baik di banyak aplikasi tanpa panas berlebih, degenerasi, atau pengereman. Inilah sebabnya mengapa motor AC dipilih untuk aplikasi permintaan tinggi seperti pompa dan peralatan pengemasan.

c. Operasi Tenang

Menghasilkan lebih sedikit kebisingan, motor AC ideal untuk aplikasi di toko, rumah sakit, dan restoran.

d. Ketersediaan

Motor AC tersedia dalam berbagai ukuran dan output daya. Jangkauan luas ini membuatnya ideal untuk banyak aplikasi.

7.2. Generator Arus Bolak Balik

Generator sinkron merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem tenaga. Generator tersebut merubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Dalam sistem tenaga skala besar dibangkitkan dengan generator sinkron 3 fasa dikendalikan oleh turbin,air turbin,gas turbin. Lilitan jangkar ditempatkan pada stator. Lilitan jangkar didisain untuk

tegangan 3 fasa seimbang digunakan untuk membangkitkan sudut medan magnet pada kumparan medan di rotor.

Kumparan medan ditempatkan di rotor dan membutuhkan sedikit tenaga antara 0,2 sampai 3 persen dari daya dibangkitkan oleh proses eksitasi. Rotor juga merupakan komponen dari salah satu atau lebih kumparan yang dihubungkan singkat sebagaimana disebut dengan lilitan dumper. Rotor dikendalikan oleh penggerak utama pada kecepatan konstan dan medan eksitasi dari arus searah. Sistem eksitasi generator menjaga tegangan generator dan mengatur laju daya reaktif.

Rotor dari mesin sinkron konstruksinya dapat berbentuk silinder maupun salient. Tipe rotor silinder mempunyai satu pengawatan distribusi dan celah udara yang seragam. Generator ini digerakkan dengan turbin uap dan didesain beroperasi pada kecepatan 1500 atau 300 rpm (mesin dengan dua dan empat kutub beroperasi masing-masing pada 50 Hz). Tipe rotor ini mempunyai panjang axial dan diameter kecil untuk membatasi medan sentrifugal. Mendekati 65 – 70% generator sinkron rotor silinder yang dipergunakan dengan range operasi antara 100 MVA sampai 1500 MVA. Mesin sinkron kutub menonjol / salient dibedakan dari suatu lingkaran rotor mesin dengan kutub medan dimana proyek ini dengan mempergunakan celah udara interpolar. (Atau celah udara tidak seragam). Ini mempunyai kutub dengan jumlah yang cukup besar. Pada poros axial dan diameter yang besar. Generator dengan penggerak air dioperasikan dengan mempergunakan turbin air dan memiliki konstruksi kutub salient.



Gambar 7.18 Generator Sinkton

Generator adalah alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pada Generator arus bolak balik menghasilkan bentuk gelombangnya bolak . balik. Generator AC digunakan dalam pembangkit tenaga listrik. Yang memiliki nama lain generator sinkron guna menghasilkan energi listrik. (Ricky & Windarta, 2020)

7.3. Tugas

1. Sebutkan perbedaan Mesin arus bolak balik dan mesin arus searah?
2. Motor yang berada dirumah kita adalah jenis motor induksi atau jenis yang lain?
3. Generator yang banyak dijumpai dipasaran adaah geenrator yang menggunakna type apa?

Bab 8

Energi Primer dan Pembangkit Listrik

‘Energi primer’ mengacu pada energi dalam bentuk mentahnya, sebelum diubah oleh manusia menjadi bentuk energi lain seperti listrik, panas, atau bahan bakar transportasi. Anggap ini sebagai masukan ke dalam sistem energi: batu bara, minyak atau gas sebelum kita membakarnya; atau energi matahari atau angin sebelum kita mengubahnya menjadi listrik. Ketika kita bertanya berapa banyak energi yang dikonsumsi atau apa penguraian sumber energi, kita bertanya tentang energi primer.

Di sini kita melihat dua cara di mana ‘energi primer’ dihitung: metode ‘langsung’ dan ‘tersubstitusi’. Cara paling sederhana untuk memikirkan perbedaan antara metode ini adalah bahwa energi primer ‘langsung’ tidak memperhitungkan energi yang hilang dalam konversi bahan bakar fosil menjadi energi yang dapat digunakan. Metode substitusi berusaha untuk memperbaiki kerugian ini.



Gambar 8.1. Energy Primer

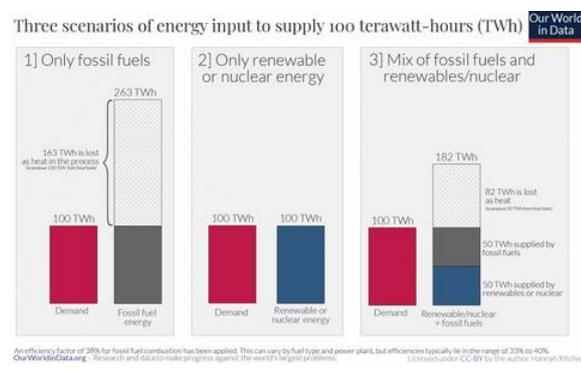
Untuk memahami mengapa perbedaan ini penting, pertama-tama kita perlu mempertimbangkan proses produksi energi. Saat kita membakar bahan bakar di pembangkit listrik termal, 88% bagian besar energi yang kita masukkan ke dalam proses hilang – terutama dalam bentuk panas. Sebagian besar pembangkit berbahan bakar fosil beroperasi dengan efisiensi sekitar 33% hingga 40%.¹ Sisa 60% hingga 67% energi terbuang sebagai panas. Ini berarti untuk setiap unit energi yang dapat kita gunakan, dua lainnya terbuang sia-sia.

Saat kami mengukur pembangkit listrik dari energi terbarukan atau tenaga nuklir, kami mengukur keluaran langsung, tanpa ada kerugian atau limbah yang perlu dipertimbangkan. Mari kita ambil contoh – ditunjukkan dalam grafik di sini. Bayangkan kita memiliki negara yang membutuhkan energi 100 terawatt-hours (TWh). Kami memiliki tiga campuran energi yang berbeda: hanya bahan bakar fosil; hanya energi terbarukan atau nuklir; dan campuran keduanya.

8.1. Energi Primer

Jika kita hanya mengandalkan bahan bakar fosil, kita membutuhkan input energi sebesar 263 TWh. Ini karena hanya sekitar 38% dari input ini yang diubah menjadi energi yang ‘berguna’.² 163 TWh adalah energi yang hilang sebagai panas. Jika kita hanya mengandalkan energi terbarukan atau nuklir, kerugian ini tidak terjadi – jumlah listrik yang dihasilkan adalah jumlah yang sama yang dapat kita gunakan. Jadi kita hanya perlu 100 TWh.

Jika kita mengandalkan energi terbarukan/nuklir dan bahan bakar fosil, itu tergantung pada campurannya: katakanlah kita memproduksi 50 TWh dari sumber energi terbarukan atau nuklir. Kami membutuhkan 50 TWh lagi dari bahan bakar fosil. Tetapi untuk menghasilkan tambahan 50 TWh dari bahan bakar fosil, sebenarnya kita membutuhkan 132 TWh, karena kita kehilangan 82 TWh sebagai panas [$50 \text{ TWh} / 0,38 = 132 \text{ TWh}$]. Gabungan, kita membutuhkan input energi 182 TWh [50 TWh dari energi terbarukan/nuklir + 50 TWh energi bahan bakar fosil ‘berguna’ + 82 TWh terbuang].



Gambar 8.2

Berdasarkan contoh ini kita dapat memahami perbedaan antara energi primer langsung dan metode substitusi. Mari kita ambil skenario ketiga – campuran bahan bakar fosil dan energi rendah karbon – dan lihat bagaimana pembagian rendah karbon berbeda di antara kedua metode tersebut. Ini ditunjukkan pada gambar.

Dari metode langsung kita mendapatkan $50 \text{ TWh} / 182 \text{ TWh} = 27\%$. Dari cara substitusi diperoleh $50 \text{ TWh} / 100 \text{ TWh} = 50\%$. Bagian rendah karbon dalam energi primer langsung = % dari total konsumsi energi primer (termasuk semua inefisiensi produksi bahan bakar fosil). Bagian rendah karbon dalam energi primer tersubstitusi = % energi yang berguna (setelah kita mengurangi semua energi yang terbuang dalam pembakaran bahan bakar fosil)

Sebuah pertanyaan yang ingin dijawab oleh banyak orang adalah, berapa banyak energi kita yang berasal dari sumber rendah karbon? Seberapa dekat kita untuk menyingkirkan bahan bakar fosil? Seperti yang kita ketahui sekarang, itu tergantung pada apakah kita menggunakan metode langsung atau substitusi. Pada grafik di sini kami menunjukkan rincian bauran energi primer global pada tahun 2019 untuk membandingkan kedua metode tersebut.³ Seperti yang diharapkan dari contoh yang kami kerjakan, ketika kami menghitung bagian energi dari sumber rendah karbon melalui metode substitusi, kami mendapatkan angka yang lebih tinggi: 16% vs. hanya 7% dari metode langsung. Ketika kita menghilangkan perbedaan efisiensi antara sumber, baik energi terbarukan dan nuklir memberikan kontribusi yang lebih besar.

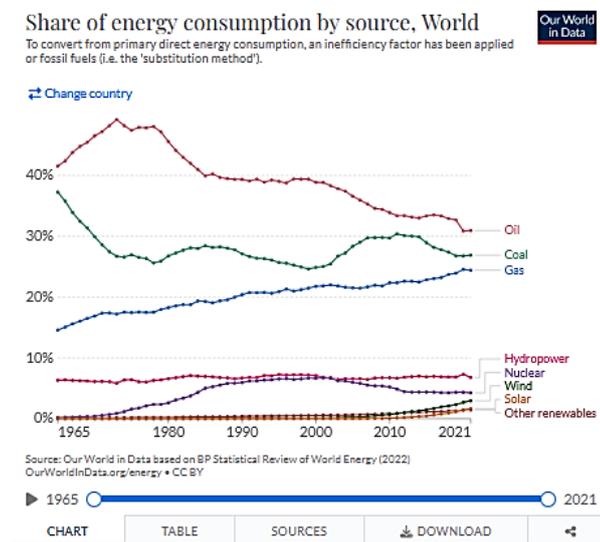
Dalam bagan interaktif, Anda juga dapat membandingkan bagian energi masing-masing sumber berdasarkan kedua metode tersebut. Menggunakan tombol "ubah negara" di kiri bawah setiap bagan, Anda juga dapat melihat ini untuk negara yang berbeda. Sebagian besar sumber cenderung lebih memilih dan melaporkan metode substitusi (atau pendekatan serupa – metode 'isi fisik' – yang tidak kita bahas di sini tetapi memberikan hasil yang serupa) daripada metode langsung. Metode substitusi juga merupakan pendekatan yang lebih disukai dari Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC), misalnya.

Di Our World in Data, kami mendapatkan sebagian besar data energi kami dari BP; setiap tahun menerbitkan laporan Statistical Review of World Energy. Ini menerapkan metode substitusi untuk data energi primernya [Anda dapat membaca metodologinya di sini]. Bagaimana konversi dari energi primer langsung – yang dapat kita ukur – menjadi pemecahan substitusi? Dalam penjelasan skema di atas, kami melihat penghitungan porsi energi dari sumber energi rendah karbon dengan membandingkannya dengan jumlah energi yang berguna (dikurangi energi yang terbuang) dari bahan bakar fosil.

Tapi kita juga bisa melakukan kebalikannya untuk mendapatkan hasil yang sama. Padahal, pendekatan terbalik inilah yang paling sering diterapkan oleh BP dan pihak lain yang menggunakan 'metode substitusi'. Jadi, alih-alih mengasumsikan bahan bakar fosil memiliki efisiensi yang sama dengan energi terbarukan/nuklir, kami melakukan yang sebaliknya: kami menganggap energi terbarukan/nuklir sama tidak efisiennya dengan bahan bakar fosil. Kami menghitung jumlah ekuivalen bahan bakar fosil yang diperlukan untuk menghasilkan jumlah listrik yang kami peroleh dari sumber non-fosil. Jadi, katakanlah kita menghasilkan 100 TWh listrik dari angin. Dan kami mengasumsikan efisiensi pembangkit bahan bakar fosil adalah 38%. Kami akan mengubah listrik angin ini menjadi energi primer 'input-equivalent' dengan membagi efisiensi ini [$100 / 0,38 = 263$ TWh]. Ini akan menjadi jumlah energi primer yang akan dibutuhkan dari bahan bakar fosil untuk menghasilkan jumlah listrik yang sama seperti angin.

Kami harus mencatat bahwa konversi ini digunakan sebagai perkiraan – faktor 'efisiensi' standar diterapkan secara menyeluruh. Tetapi kita tahu bahwa beberapa pembangkit listrik memiliki efisiensi yang sedikit lebih rendah atau lebih tinggi dan dapat berubah seiring waktu. Faktanya, BP mengubah metodologinya dalam penilaian tahun 2020 untuk

mencerminkan perubahan ini dari waktu ke waktu. Sebelumnya diasumsikan faktor efisiensi 38% secara konsisten. Tapi sekarang menerapkan model 'tergantung waktu' untuk membangun peningkatan dari waktu ke waktu. Perubahan faktor konversi ini dirangkum dalam tabel di bawah ini.



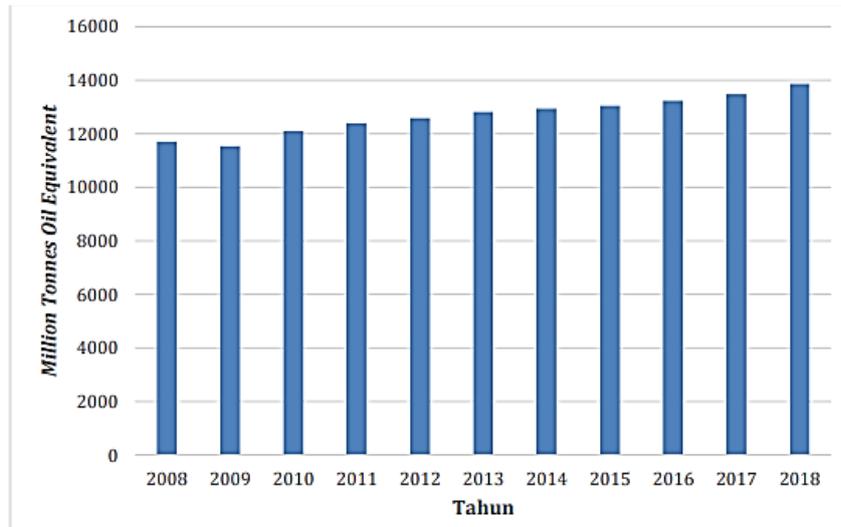
Gambar 8.3

Metode substitusi memberi kita pemahaman yang lebih akurat tentang bagaimana energi rendah karbon bersaing dengan bahan bakar fosil. Untuk alasan ini: ketika kami melihat rincian bauran energi di Our World in Data, kami telah mencoba sedapat mungkin menggunakan energi primer yang diukur dengan metode substitusi.

Thermal equivalent efficiency factors used to convert non-fossil electricity to primary energy			
Year(s)	Efficiency factor	Year(s)	Efficiency factor
1965-2000	36%	2010	38.4%
2001	36.2%	2011	38.6%
2002	36.5%	2012	38.8%
2003	36.7%	2013	39.1%
2004	36.9%	2014	39.3%
2005	37.2%	2015	39.5%
2006	37.4%	2016	39.8%
2007	37.6%	2017	40.0%
2008	37.9%	2018	40.2%
2009	38.1%	2019	40.4%

Gambar 8.4

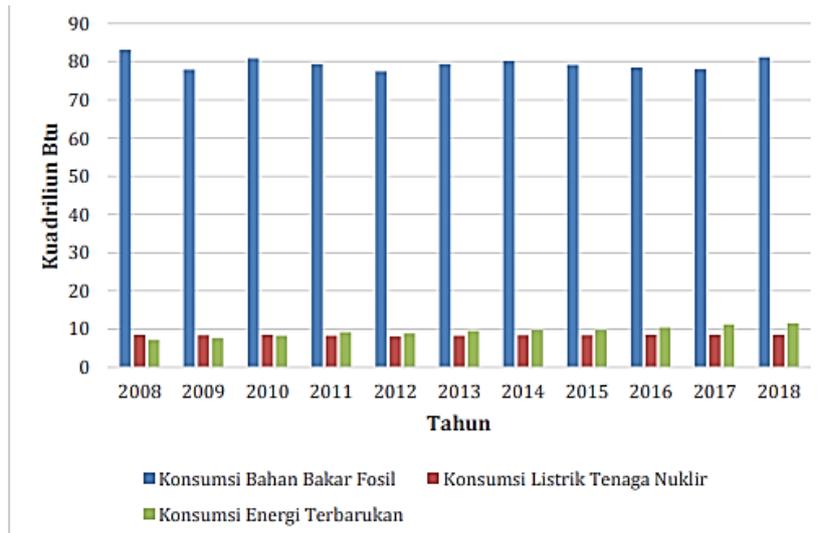
Pada International Energy Outlook (2017) menyatakan mengenai kebutuhan energy dunia akan meningkat 28 %, dari 575 BTU menjadi 736 pada 2040.. Pada Grafik ditunjukkan tentang energy primer antara 2008 - 2018.



Gambar 8.5 Total Konsumsi Energi Primer Didunia

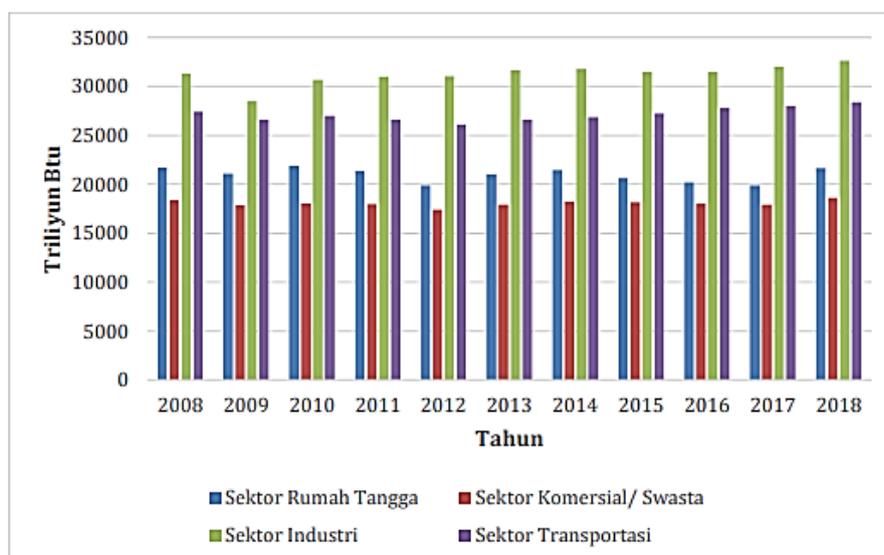
Jika ditinjau pada data Statistik perusahaan minyak British yang membahas tentang gambaran energi dunia (2019), Penggunaan energi primair di seluruh dunia dalam aatu dekade akhir mengalami kenaikan yang cukup pesat dari 11.705,1 milyar Ton ekuivalen minyak (mtoe) pada tahun 2008 menjadi 13.864,9 milyar Ton ekuivalen minyak (Mtoe) pada tahun 2018. Perluasan penggunaan energi ini dapat mempertimbangkan area di balik momentum pembangunan, memperluas penerimaan untuk memfasilitasi energi, dan mendorong perkembangan pesat populasi yang tertarik pada energi. Sumber energi primair ini dikelompokkan menjadi energi yang dapat diperbaharui dan tidak dapat diperbaharui.

Walaupun energi berkelanjutan dan energi efektif merupakan suatu sumber energi yang mengisi dengan cepat di planet ini. Hal ini ditunjukkan dengan pemanfaatan energi esensial mutlak pada tahun 2018 datang ke 81,12 quadralium Btu atau sekitar 81% dari penggunaan energi habis-habisan Sumber-sumber penting dunia diliputi oleh turunan minyak bumi, seperti batu bara, minyak, terlebih lagi, gas bensin sedangkan sisanya adalah elektif (tenaga panas) pemanfaatan 2.68 quadralium Btu dan 11,52 quadralium Btu daya ramah lingkungan yang harus terlihat pada Gambar 8.3.. Hal ini terkait dengan pemanfaatan produk minyak bumi untuk motivasi di balik beberapa bidang seperti industri, keluarga, swasta/bisnis dan transportasi.



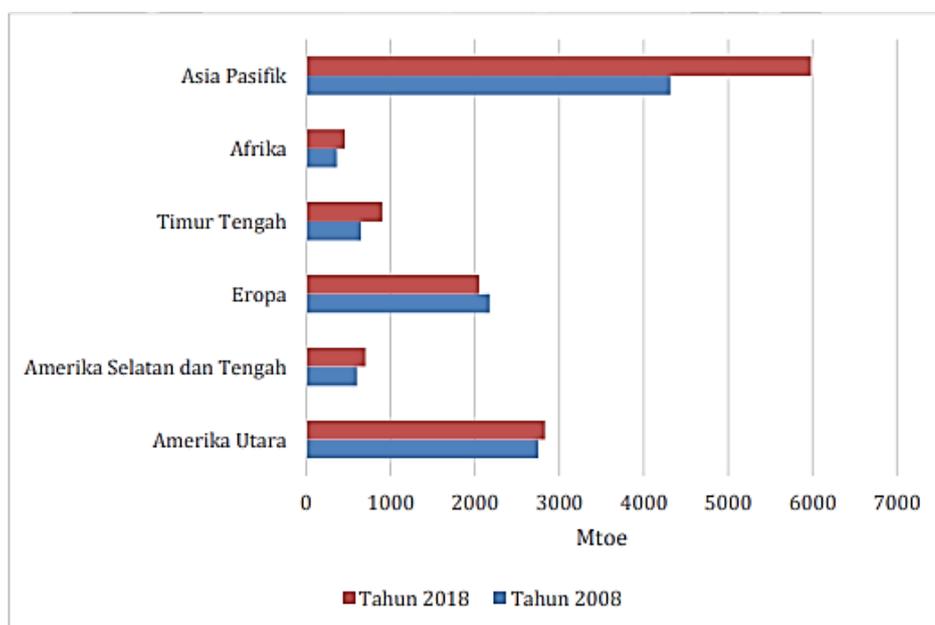
Gambar 8.6. Pemakaian Energi Primer Dunia 2008-2018

Pemanfaatan energi esensial dapat dimanfaatkan di berbagai bidang. Area ini menggabungkan area keluarga, area modern, kawasan bisnis/pribadi, dan kawasan transportasi. Pemanfaatan energi esensial berdasarkan area Industri merupakan pemanfaatan energi terbesar di antara tiga bidang lainnya. Pada tahun 2018, sangat mungkin terlihat bahwa pemanfaatan energi penting di area modern mencapai 32.616,96 triliun Btu atau sekitar 32% dari penggunaan energi habis-habisan penting di planet ini yang harus terlihat pada Gambar 8.4. Seperti yang ditunjukkan oleh Abimanyu (1998) Salah satu alasan peningkatan tingkat pemanfaatan energi di area modern adalah oleh meningkatnya jumlah bisnis baru dan perluasan perusahaan yang saat ini dapat diakses



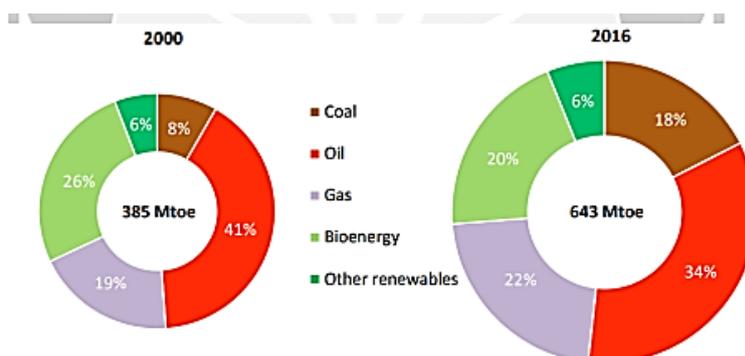
Gambar 8.7. Jumlah Pemakaian Energi Primer Dunia menurut bagian 2008-2018

ASEAN Post (2019) menyampaikan bahwa, pada area ASEAN merupakan pertumbuhan ekonomi tercepat di planet ini, Kekhawatiran tentang akses energi. Kebutuhan energi di ASEAN tumbuh sebesar 60% dalam waktu yang cukup singkat akan bertumbuh menjadi sebesar 66% pada 2040.. Area Asia Tenggara memiliki penduduk lebih dari 600 juta orang dengan economic value \$3 triliun. Dunia Economic Forum (WEF) memprediksi kawasan Asia Tenggara adalah 5 besar di dunia pada tahun 2020(Bank Dunia, 2019).



Gambar 8.8. Total Konsumsi Energi Primer Dunia Berdasarkan Wilayah Tahun 2008 dan 2018

Tingkat ekonomi yang tumbuh pesat di Asia tenggara merupakan salah satu faktor-faktor yang menambah perluasan minat energi di daerah tersebut itu. Selain pembangunan moneter, jumlah penduduk di Asia tenggara juga dinilai akan berkembang dengan cepat.. Gambar 8.5 menunjukkan perkembangan minat energi esensial oleh sumber energi di Asia tenggara. Sesuai dengan pemanfaatan energi esensial habis-habisan di dunia mengingat sumber bahan bakar, kepentingan energi penting di Asia tenggara kewalahan oleh produk minyak bumi yang mewakili 74% dari minat energi habis-habisan di Asia tenggara tahun 2016.



Sumber: Southeast Asia Energy Outlook (2017).

Gambar 8.9. Evolusi Permintaan Energi Primer di ASEAN

Berdasarkan Gambar 8.9. dapat diketahui bahwa minyak merupakan penghasil energi efisien, namun minat terhadap sumber energi seperti minyak bumi telah meningkatkan permintaan akan sumber energi dasar, menurun dari 418% sehingga tahun 2000 menjadi 34% pada tahun 2016. Sebelumnya, Asia tenggara dikenal dengan ladang minyaknya yang kaya, yang kini semakin menipis. Produsen seperti Indonesia dan Thailand kini lebih bersedia menjadi pedagang minyak daripada eksportir.

Dalam hal kepentingan batubara, Asia tenggara menyumbang 18% dari total kepentingan energi primer pada tahun 2016, dengan pangsa terbesar penggunaan batubara dalam pembangkit listrik (IEA, 2017). Sebagaimana terungkap dalam Southeast Asia Energy Outlook, permintaan energi minyak dan batu bara akan meningkat dalam waktu dekat. Ketergantungan yang meningkat pada minyak dan batu bara ini telah menyebabkan banjir energi secara umum.

Shareef (2017) menjelaskan secara urut mengenai pembangkit tenaga listrik, dimulai dari :

- Energi adalah kemampuan untuk menghasilkan efek dinamis. Ia diasosiasikan dengan zat fisik, tetapi itu bukan zat itu sendiri. Energi juga didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan usaha. Energi ada dalam berbagai bentuk misalnya mekanik, termal, listrik, dll salah satu bentuk energi dapat dikonversi ke yang lain dengan menggunakan pengaturan yang sesuai. Satuan energi adalah Joule (J) = Nm
- Daya: adalah laju aliran energi. Ini terkait dengan kerja mekanik dan energi listrik. Satuan daya adalah Watt (W) = J/s = Nm/s
- Pembangkit Listrik: sistem dibangun untuk menghasilkan energi mekanik dan/atau listrik

Pembangkit listrik adalah fasilitas industri yang menghasilkan listrik dari energi primer. Sebagian besar pembangkit listrik menggunakan satu atau lebih generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik untuk memasok daya ke jaringan listrik untuk kebutuhan listrik masyarakat. Pembangkit listrik itu sendiri harus bermanfaat secara ekonomis dan ramah lingkungan bagi masyarakat.

Energi primer ini merupakan energi alam dan belum mendapatkan pengolahan lebih lanjut. (Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional). Intensitas energi awal adalah total pasokan energi dasar per unit produk domestik bruto, satu miliar rupiah per barel setara minyak (SBM).

Energi primer adalah energi yang terdapat langsung di alam, seperti minyak bumi, batu bara, air, angin, dan energi nuklir.

Macam – Macam Energi Primer

Angin,

pergerakan udara dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah.. Pembentukan arah angin terjadi karena perbedaan tekanan udara di dua tempat berbeda.

Air,

senyawa yang penting bagi semua bentuk kehidupan yang diketahui sampai saat ini di Bumi. tetapi tidak di planet lain.. Terdapat (330 juta mil³) tersedia di Bumi.

Matahari,

Adalah Bintang di Planet tata surya.

Kayu,

Batang atau bagian dari cabang atau ranting tumbuhan yang mengeras akibat fermentasi. Kayu digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari memasak hingga furnitur (meja, kursi), bahan bangunan (pintu, jendela, rangka atap), dan bahan kertas. Kayu juga bisa digunakan untuk dekorasi rumah.

Batu Bara

Ini adalah bahan bakar fosil. Yang dimaksud dengan batuan sedimen yang mudah terbakar, yang terbentuk dari sedimen organik, terutama sisa-sisa tanaman, dan dibentuk oleh proses penggabungan. Unsur utama terdiri dari karbon, hidrogen, nitrogen dan oksigen.

Minyak

Istilah umum untuk semua cairan organik yang tidak larut atau larut (hidrofobik) dalam air tetapi larut dalam pelarut organik.

Nuklir.

Dalam bahasa Indonesia, kata nuklir berarti bagian dari atau yang berhubungan dengan nucleus atom (inti atom).

8.2. Macam – Macam Pembangkit Listrik

Pembangkit listrik dapat didefinisikan sebagai sebuah mesin atau perakitan peralatan yang menghasilkan dan memberikan aliran energi mekanik atau listrik. Peralatan utama untuk pembangkit listrik adalah generator. Saat menggabungkannya ke penggerak utama untuk menjalankan generator, disitulah listrik dihasilkan. Jenis gerakan utama menentukan jenis pembangkit listrik. Pembangkit listrik utama secara konvensional ialah diantaranya:

- Pembangkit listrik tenaga uap
- Pembangkit listrik tenaga diesel
- Pembangkit listrik turbin gas
- Pembangkit listrik tenaga nuklir
- Pembangkit listrik tenaga air

1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Konversi dari batubara ke listrik berlangsung dalam tiga tahap:

Tahap 1

Konversi energi pertama terjadi di boiler. Batubara dibakar di tungku boiler untuk menghasilkan panas. Karbon dalam batubara dan Oksigen di udara bergabung untuk menghasilkan Karbon Dioksida (CO₂) dan panas.

Tahap 2

Tahap kedua adalah proses termodinamika:

- a. Panas dari pembakaran batubara mendidihkan air di boiler untuk menghasilkan uap. Di pembangkit listrik modern, boiler menghasilkan uap pada tekanan dan suhu tinggi.
- b. Uap tersebut kemudian dialirkan ke turbin.
- c. Uap bertekanan tinggi menumbuk dan memuai di sejumlah set sudu di turbin.
- d. Impuls dan gaya dorong yang dihasilkan memutar turbin.
- e. Uap kemudian dikondensasikan dan dipompa kembali ke boiler untuk mengulangi siklus tersebut.

Tahap 3

Pada tahap ketiga, putaran turbin memutar rotor generator untuk menghasilkan listrik berdasarkan Prinsip Faraday tentang induksi elektromagnetik.

2. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Mesin minyak dan mesin gas disebut Mesin Pembakaran Internal. Dalam mesin pembakaran internal ini, bahan bakar terbakar di dalam mesin dan produk pembakaran membentuk fluida kerja yang menghasilkan tenaga mekanik. Sedangkan pada Turbin Gas pembakaran terjadi di ruang lain dan fluida kerja panas yang mengandung energi panas dimasukkan ke dalam turbin.

Mesin minyak dan mesin gas yang bergerak maju mundur masih memiliki kesamaan dan memiliki kemiripan yang kuat dalam prinsip operasi dan konstruksi.

Mesin mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi mekanik. Sebuah mesin minyak khas memiliki:

- Silinder tempat bahan bakar dan udara masuk dan terjadi pembakaran.
- Piston, yang menerima tekanan tinggi dari pemuatan produk panas pembakaran dan piston, dipaksa untuk gerak linier.
- Batang penghubung, hubungan poros engkol untuk mengubah gerakan bolak-balik menjadi gerakan putar batang.
- Beban Terhubung, penggerak mekanis atau generator listrik.
- Katup (port) yang sesuai untuk mengontrol aliran bahan bakar, udara, gas buang, injeksi bahan bakar, dan penyalaan sistem.
- Sistem pelumas, sistem pendingin

Dalam set engine-generator, poros generator digabungkan ke poros Engine.

Perbedaan utama antara mesin bensin dan mesin diesel adalah:

- Sebuah mesin bensin memasukkan campuran gas dan udara, mengompresnya dan menyalakan campuran tersebut dengan bunga api. Mesin diesel hanya mengambil udara, mengompresnya dan kemudian menyuntikkan bahan bakar ke udara terkompresi.

- Mesin bensin memampatkan dengan perbandingan 8:1 sampai 12:1, sedangkan mesin diesel memampatkan dengan perbandingan 14:1 sampai setinggi 25:1. Rasio kompresi yang lebih tinggi dari mesin diesel menyebabkan efisiensi yang lebih baik.
- Mesin bensin umumnya menggunakan baik karburasi, di mana udara dan bahan bakar dicampur lamasebelum udara memasuki silinder, atau injeksi bahan bakar port, di mana bahan bakar disuntikkan sebelum ke langkah hisap (di luar silinder). Mesin diesel menggunakan injeksi bahan bakar langsung ke bahan bakar diesel yang disuntikkan langsung ke dalam silinder.

3. Pembangkit Listrik Turbin Gas

Komponen utama dalam pembangkit listrik turbin gas ini adalah :

- Kompresor**
Kompresor yang digunakan pada pembangkit listrik umumnya bertipe putar. Udara pada tekanan atmosfer ditarik oleh kompresor melalui filter yang menghilangkan debu dari udara. Sudu-sudu kompresor yang berputar mendorong udara di antara sudu-sudu stasioner untuk menaikkan tekanannya. Jadi udara pada tekanan tinggi tersedia pada keluaran kompresor.
- Regenerator**
Regenerator adalah perangkat yang memulihkan panas dari gas buang turbin. Knalpot dilewatkan melalui regenerator sebelum dibuang ke atmosfer. Sebuah regenerator terdiri dari sarang tabung yang terkandung dalam cangkang. Udara terkompresi dari kompresor melewati tabung dalam perjalanannya ke ruang bakar. Dengan cara ini kompresor dipanaskan oleh gas buang panas.
- Ruang pembakaran**
Udara bertekanan tinggi dari kompresor dialirkan ke ruang bakar melalui regenerator. Di ruang bakar, panas ditambahkan ke udara dengan membakar minyak. Minyak disuntikkan melalui pembakar ke dalam ruang pada tekanan tinggi memastikan atomisasi minyak dan pencampuran menyeluruh dengan udara. Hasilnya adalah bahwa ruang mencapai suhu yang sangat tinggi. Gas pembakaran yang sesuai didinginkan dan kemudian dikirim ke turbin gas.
- Turbin Gas**
Produk pembakaran yang terdiri dari campuran gas pada suhu dan tekanan tinggi dilewatkan ke turbin gas. Gas-gas ini dalam melewati bilah turbin mengembang dan dengan demikian melakukan pekerjaan mekanis. Temperatur gas buang dari turbin sekitar 900oF.
- Alternator**
Turbin gas dikopel ke alternator. Output dari alternator diberikan ke bus-bar melalui transformator, isolator dan pemutus sirkuit.
- Starter Motor**
Sebelum memulai turbin, kompresor harus dimulai. Untuk melakukannya, motor listrik dipasang pada poros yang sama dengan poros turbin. Motor diberi energi oleh baterai. Setelah unit mulai, sebagian dari tenaga mekanik turbin menggerakkan kompresor dan motor tidak lagi diperlukan.
- Mesin Pembakaran Internal**
Ini adalah unit dalam pembangkit listrik di mana penggerak utama adalah mesin pembakaran internal. Sebuah mesin pembakaran internal memiliki satu atau lebih silinder di mana proses pembakaran berlangsung, mengubah energi yang dilepaskan dari pembakaran cepat campuran bahan bakar-udara menjadi energi mekanik. Mesin diesel atau mesin berbahan bakar gas adalah jenis utama yang digunakan di pembangkit listrik. Pembangkit biasanya dioperasikan selama periode permintaan listrik yang tinggi.

4. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

Ada kebutuhan strategis dan ekonomi untuk tenaga nuklir di Amerika Serikat dan bahkan sebagian besar dunia. Kepentingan strategis terutama terletak pada kenyataan bahwa satu pembangkit listrik tenaga nuklir besar menghemat lebih dari 50.000 barel minyak per hari. Bagi negara-negara yang sekarang mengandalkan tetapi tidak memiliki minyak, atau harus mengurangi impor minyak asing, keuntungan strategis dan ekonomi ini jelas. Bagi negara-negara pengeksport minyak, tenaga nuklir merupakan jaminan terhadap hari ketika minyak habis. Sebuah awal yang sederhana sekarang akan memastikan bahwa mereka tidak akan ketinggalan ketika saatnya tiba untuk menggunakan teknologi nuklir.

Biaya satuan per kilowatt-jam untuk energi nuklir sekarang sebanding dengan atau lebih rendah dari biaya satuan untuk batu bara di sebagian besar dunia. Keuntungan lainnya adalah tidak adanya masalah lingkungan yang terkait dengan pembangkit listrik tenaga batu bara atau minyak dan hampir tidak adanya masalah keselamatan tambang, masalah tenaga kerja, dan kemacetan transportasi. Gas alam adalah bahan bakar yang baik dan relatif bersih, tetapi memiliki beberapa masalah ketersediaan di banyak negara dan harus, bagaimanapun, dilestarikan untuk keperluan industri dan domestik skala kecil. Jadi tenaga nuklir terikat untuk menjadi pilihan sosial relatif terhadap risiko sosial lainnya dan risiko kesehatan dan keselamatan secara keseluruhan.

Namun industri nuklir menghadapi banyak kesulitan, terutama di Amerika Serikat, terutama sebagai akibat dari dampak negatif dari masalah pembuangan limbah keselamatan nuklir, proliferasi senjata, dan ekonomi pada publik dan pemerintah. Dampaknya pada publik diperumit dengan penundaan proses perizinan, pengadilan dan tantangan kotak suara. Ini menimbulkan hambatan berat bagi utilitas listrik yang merencanakan pembangkit listrik tenaga nuklir, akibatnya adalah masalah penjadwalan, biaya yang meningkat dan tidak terduga, dan risiko ekonomi bahkan sebelum izin konstruksi dikeluarkan. Utilitas harus menunda atau membatalkan proyek nuklir sehingga pada awal 1980-an ada moratorium de facto komitmen pembangkit nuklir baru di Amerika Serikat.

5. Pembangkit Listrik Tenaga Air (Hidroelektrik)

Ketika air hujan jatuh di atas permukaan bumi, ia memiliki energi potensial relatif terhadap laut atau samudra yang menjadi tujuan alirannya. Jika pada suatu titik tertentu, air jatuh melalui ketinggian vertikal yang cukup besar, energi ini dapat diubah menjadi kerja poros. Saat air jatuh melalui ketinggian tertentu, energi potensialnya diubah menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini diubah menjadi energi mekanik dengan membiarkan air mengalir melalui turbin hidrolik.

Pembangkitan energi listrik dari air yang jatuh hanyalah sebuah proses kecil dalam siklus tenaga panas besar yang dikenal sebagai "siklus hidrologi" atau "siklus penguapan hujan". Ini adalah proses di mana uap air dari permukaan badan air yang menutupi permukaan bumi dipindahkan ke tanah dan kembali ke badan air lagi. Masukan untuk siklus ini adalah energi matahari. Karena ini, penguapan air terjadi dari badan air. Pada pendinginan, uap air ini membentuk awan. Pendinginan lebih lanjut menyebabkan awan jatuh dalam bentuk hujan, salju, hujan es atau hujan es dll; dikenal sebagai presipitasi. Curah hujan mencakup semua air yang jatuh dari atmosfer ke permukaan bumi dalam bentuk apapun. Sebagian besar dari curah hujan ini, sekitar 2/3, yang mencapai permukaan tanah dikembalikan ke atmosfer melalui penguapan dari permukaan air,

tanah dan vegetasi dan melalui transpirasi oleh tanaman. Curah hujan yang tersisa akhirnya kembali ke laut atau samudera melalui saluran permukaan atau bawah tanah. Ini melengkapi siklus. Banyaknya curah hujan yang mengalir dari permukaan bumi membentuk aliran atau sungai berguna untuk pembangkit listrik. Curah hujan yang jatuh di bukit dan gunung dalam bentuk salju mencair selama cuaca hangat sebagai limpasan dan menyatu untuk membentuk aliran juga dapat digunakan untuk pembangkit listrik.

8.3. Tugas

1. Sebutkan beberapa pembangkit yang menggunakan renewable energy
2. Sebutkan beberapa pembangkit yang non renewable energy
3. Bagaimana cara kerja PLTAir

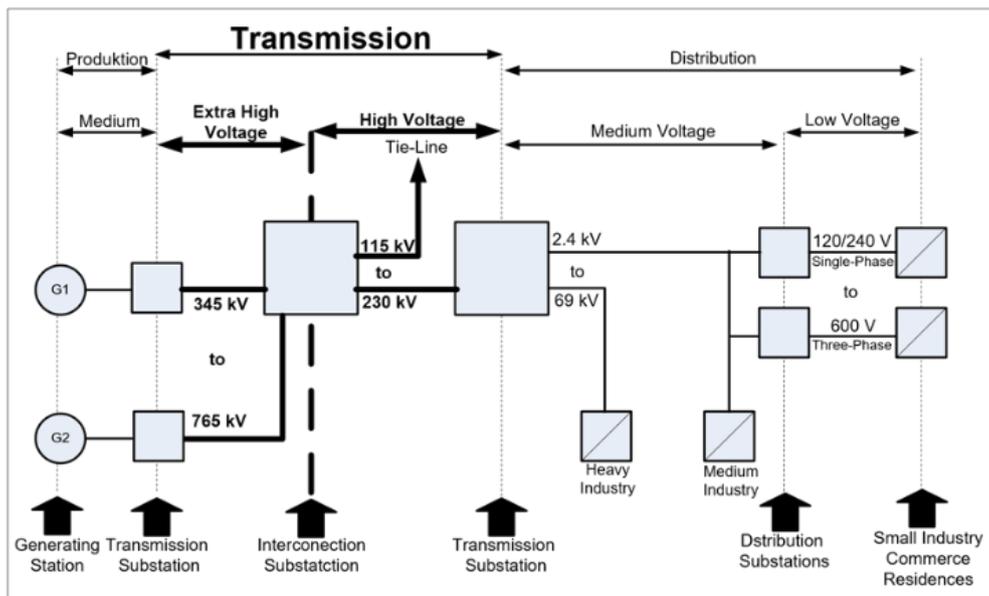
Bab 9

Sistem Transmisi

Kebutuhan tenaga listrik di Indonesia dari tahun ke tahun makin bertambah dikarenakan energi listrik sangat dibutuhkan oleh seluruh masyarakat dalam kehidupan sehari – hari dan energi listrik sendiri sangat membantu meringankan pekerjaan orang di seluruh dunia sehingga jumlah suplai atau penyediaan energi listrik juga harus ditingkatkan, oleh karena itu perlu melakukan pembangunan untuk menambah pusat – pusat pembangkit tenaga listrik. Dengan perkembangan jumlah pusat – pusat pembangkit, tentu memerlukan sarana atau infrastruktur pendukung yaitu jaringan transmisi, gardu induk dan jaringan distribusi sebagai penyalur energi listrik sehingga dapat juga meningkatkan kualitas serta keandalan pelayanan energi listrik pada konsumen.

9.1. Transmisi Daya Listrik

Untuk menyalurkan daya listrik dari pembangkit yang terletak jauh dari pusat beban, maka diperlukan suatu sistem yaitu sistem transmisi.



Gambar 9.1. Penyaluran Sistem Tenaga

Pada gambar dapat dilihat bahwa dari sistem pembangkit daya listrik maka tegangan akan dinaikkan menjadi 70 KV yang digunakan untuk daya pada area pembangkit, lalu dibangkitkan menjadi 150 KV untuk kota di sekitar pembangkit dan sistem 500 KV untuk interkoneksi pada area yang lebih jauh.

9.2. Karakteristik Saluran Udara Tegangan Tinggi

Bab ini berhubungan dengan karakteristik dan kehandalan saluran transmisi. ini menunjukkan kemudahan dalam memaparkan saluran transmisi oleh 2 bagian jaringan. Dimana pengiriman akhir tegangan V_S dan arus I_S berhubungan dengan tegangan akhir V_R dan arus I_R . Melalui parameter A, B, C dan D sebagai berikut :

$$\begin{aligned}V_S &= A V_R + B I_R \text{ Volts} \\I_S &= C V_R + D I_R \text{ Amp}\end{aligned}$$

Atau dalam bentuk Matriks

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

Parameter A, B, C dan D tergantung pada konstanta saluran R, L, C dan G. ABCD Parameter secara umum berupa bilangan kompleks. A dan D tidak berdimensi, B mempunyai unit ohms dan C mempunyai unit Siemens.

Juga untuk mengidentifikasi terus menerus pada konstanta ABCD :

$$AD - BC = 1$$

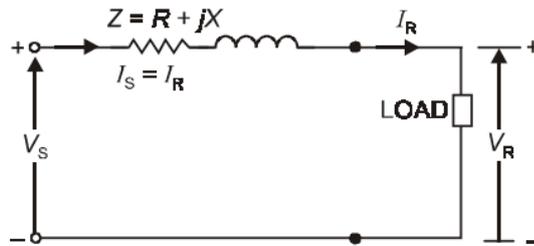
Untuk menghindari kebingungan antara impedansi seri total dan impedansi per unit panjang, maka mengikuti notasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}z &= \gamma + j \omega L \Omega/m, \text{ series impedance per unit length} \\y &= G + j \omega C S/m, \text{ shunt admittance per unit length} \\Z &= z l \Omega, \text{ total series impedance} \\Y &= y l S, \text{ total shunt admittance} \\l &= \text{line length, } m.\end{aligned}$$

Catatan bahwa konduktansi shunt G biasanya diabaikan pada system transmisi.

9.2.1. Saluran Transmisi Pendek

Kapasitansi akan diabaikan tanpa banyak kesalahan jika saluran kurang dari 80 km dan jika tegangan tidak lebih dari 66 kv. Model saluran pendek per fasa ditunjukkan pada gambar 9.2.



Gambar 9.2. Model Saluran Pendek

Ini adalah rangkaian seri sederhana. Hubungan antara sisi pengiriman dan sisi penerimaan tegangan dan arusnya dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

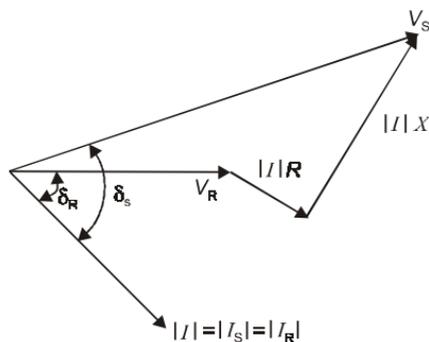
Diagram fasor dari saluran pendek ditunjukkan pada gambar 9.3. arus beban terbelakang. Persamaan dari gambar 6.2 dapat ditulis :

$$|V_S| \cos(\delta_S - \delta_R) = |I|R \cos \delta_R + |I| X \sin \delta_R + |V_R| \quad \dots(6.5)$$

$$(\delta_S - \delta_R) \text{ is very small, } \therefore \cos(\delta_S - \delta_R) \approx 1.0$$

$$\therefore |V_S| = |V_R| + |I| (R \cos \delta_R + X \sin \delta_R) \quad \dots(6.6)$$

Persamaan 6.6. akurat untuk normal range beban.



Gambar 9.3. Diagram Fasor

9.2.2. Pengaturan Tegangan

Pengaturan tegangan dari saluran transmisi dapat didefinisikan sebagai perubahan persentasi dari tegangan yang diterima dan akhir dari saluran dapat ditunjukkan sebagai tidak ada beban dan beban penuh.

Pengaturan tegangan dalam persen :

$$\frac{|V_R^{NL}| - |V_R^{FL}|}{|V_R^{FL}|} \times 100$$

$|V_R^{NL}|$ = magnitude of no-load receiving end voltage

$|V_R^{FL}|$ = magnitude of full-load receiving end voltage

, $I_R = 0$, $V_R = V_R^{NL}$ and from eqn.

$$V_R^{NL} = \frac{V_S}{A}$$

Prosentase Pegaturan Tegangan :

$$= \frac{|V_S| - |A| |V_R^{FL}|}{|A| |V_R^{FL}|} \times 100$$

Untuk arus hubung singkat :

$$|A| = 1.0, |V_R^{FL}| = |V_R|$$

Prosentase Pegaturan Tegangan :

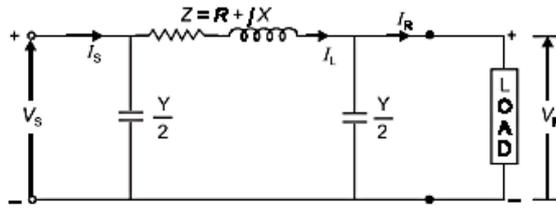
$$= \frac{|V_S| - |V_R|}{|V_R|} \times 100$$

Maka di dapatkan :

$$\begin{aligned} &= \frac{|I| (R \cos \delta_R + X \sin \delta_R)}{|V_R|} \times 100 \\ &= \frac{|I| (R \cos \delta_R - X \sin \delta_R)}{|V_R|} \end{aligned}$$

9.3. Saluran Transmisi Menengah

Untuk saluran transmisi yang mempunyai panjang lebih dari 80 km dan kurang dari 250 km disebut saluran transmisi menengah dan arus pengisian saluran menjadi muncul dan kapasitas shunt harus dipertimbangkan. Untuk saluran dengan panjang menengah setengah dari kapasitas shunt dapat dipertimbangkan menjadi tegangan akhir di saluran. Hal ini mengacu pada nominal phi model seperti ditunjukkan pada gambar 9.4. Pengiriman akhir tegangan dan arus phi nominal model diperoleh dari analisa berikut:



Gambar 9.4. Saluran Panjang Menengah, Nominal Representasi π

Dengan mempergunakan KCL, arus dari impedansi series di design I_L adalah :

$$I_L = I_R + \frac{Y}{2} V_R$$

Dari KVL tegangan akhir adalah :

$$V_S = V_R + ZI_L$$

Dari persamaan (6.14) dan (6.13) didapatkan :

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) V_R + ZI_R$$

Arus pengiriman akhir adalah :

$$I_S = I_L + \frac{Y}{2} V_S$$

Dari persamaan diatas, diperoleh :

$$I_S = Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) V_R + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) I_R$$

Persamaan sehingga dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) & Z \\ Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) & \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

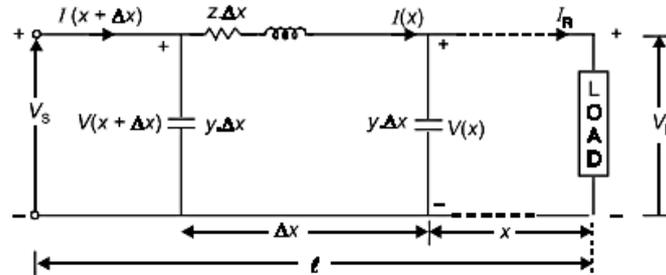
Oleh karena itu ABCD adalah nilai konstan dari π nominal model ditunjukkan persamaan sebagai berikut :

$$A = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right), \quad B = Z,$$

$$C = Y \left(1 + \frac{ZY}{4}\right), \quad D = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right)$$

9.4. Saluran Transmisi Panjang

Untuk saluran transmisi pendek dan menengah akurasi modelnya dapat diperoleh dari mengasumsikan saluran menjadi rangkaian pengganti. Dalam kasus ini saluran transmisi mempunyai panjang lebih dari 250 km. Untuk solusi yang akurat parameter harus diletakkan distribusi seragam sepanjang saluran sebagaimana tegangan dan arus yang muncul dari titik ke titik dari saluran. Pada bagian ini pernyataan arus dan tegangan beberapa titik dari saluran berasal. Kemudian dasar dari persamaan ekuivalen π model diperoleh dari saluran transmisi panjang. Gambar 9.5. menunjukkan saluran distribusi 1 fasa dengan panjang l km.



Gambar 9.5. Skematik Diagram dari Saluran Transmisi Panjang Dengan Parameter Distribusi

Dari KVL, dapat ditulis :

$$V(x + \Delta x) = z \cdot \Delta x \cdot I(x) + V(x)$$

$$\frac{V(x + \Delta x) - V(x)}{\Delta x} = z \cdot I(x)$$

$$\Delta x \rightarrow 0$$

$$\frac{dV(x)}{dx} = z \cdot I(x)$$

Dari KCL dapat dituliskan :

$$I(x + \Delta x) = I(x) + y \cdot \Delta x \cdot V(x + \Delta x)$$

$$\frac{I(x + \Delta x) - I(x)}{\Delta x} = y \cdot V(x + \Delta x)$$

$$\Delta x \rightarrow 0$$

$$\frac{dI(x)}{dx} = y \cdot V(x)$$

Diferensiasi persamaan diatas di dapatkan :

$$\frac{d^2 V(x)}{dx^2} = z \cdot \frac{dI(x)}{dx} = z \cdot y \cdot V(x)$$

$$\frac{d^2 V(x)}{dx^2} - zy V(x) = 0$$

$$\gamma^2 = zy$$

Olh karena itu :

$$\frac{d^2 V(x)}{dx^2} - \gamma^2 V(x) = 0$$

Jadi solusi dari pernyataan diatas, adalah :

$$V(x) = C_1 e^{\gamma x} + C_2 e^{-\gamma x}$$

Dimana γ diketahui sebagai propagasi konstan, diberikan oleh :

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{zy}$$

Bagian nyata dari α diketahui adalah memiliki nilai konstan, dan bagian imajiner dari β diketahui sebagai fasa konstan. β diukur dalam radian persatuan panjang.

Dari persamaan diatas arus adalah :

$$I(x) = \frac{1}{Z} \cdot \frac{dV(x)}{dx}$$

$$I(x) = \frac{\gamma}{z} (C_1 e^{\gamma x} - C_2 e^{-\gamma x})$$

$$I(x) = \sqrt{\frac{y}{z}} (C_1 e^{\gamma x} - C_2 e^{-\gamma x})$$

$$I(x) = \frac{1}{Z_C} (C_1 e^{\gamma x} - C_2 e^{-\gamma x})$$

Dimana Z_C diketahui sebagai karakteristik impedansi, diberikan oleh :

$$Z_C = \sqrt{\frac{z}{y}}$$

Dengan catatan bahwa : ketika $x = 0$, $V(x) = V_R$ dan, di dapatkan:

$$V_R = C_1 + C_2$$

Juga ketika $x = 0$, $I(x) = I_R$ da dari persamaan diatas di dapatkan :

$$I_R = \frac{1}{Z_C} (C_1 - C_2)$$

Penyelesaian persamaan diatas diperoleh :

$$C_1 = \frac{V_R + Z_C I_R}{2}$$

$$C_2 = \frac{(V_R - Z_C I_R)}{2}$$

Dengan mensubstitusikan nilai C_1 dan C_2 di dapatkan :

$$V(x) = \frac{(V_R + Z_C I_R)}{2} e^{\gamma x} + \frac{(V_R - Z_C I_R)}{2} e^{-\gamma x}$$

$$I(x) = \frac{(V_R + Z_C I_R)}{2 Z_C} e^{\gamma x} - \frac{(V_R - Z_C I_R)}{2 Z_C} e^{-\gamma x}$$

Persamaan tegangan dan arus adalah sebagai berikut :

$$V(x) = \frac{(e^{\gamma x} + e^{-\gamma x})}{2} V_R + Z_C \frac{(e^{\gamma x} - e^{-\gamma x})}{2} I_R$$

$$I(x) = \frac{(e^{\gamma x} - e^{-\gamma x})}{2 Z_C} V_R + \frac{(e^{\gamma x} + e^{-\gamma x})}{2} I_R$$

$$V(x) = \cosh(\gamma x) V_R + Z_C \sinh(\gamma x) I_R$$

$$I(x) = \frac{1}{Z_C} \sinh(\gamma x) V_R + \cosh(\gamma x) I_R$$

$$V_S = \cosh(\gamma l) V_R + Z_C \sinh(\gamma l) I_R$$

Ini dimungkinkan menemukan persamaan yang akurat π model untuk saluran transmisi panjang sebagaimana ditunjukkan pada gambar 9.6.

Dari persamaan diatas diperoleh π di peroleh :

$$V_S = \left(1 + \frac{Z' Y'}{2}\right) V_R + Z' I_R$$

$$I_S = Y' \left(1 + \frac{Z' Y'}{4}\right) V_R + \left(1 + \frac{Z' Y'}{2}\right) I_R$$

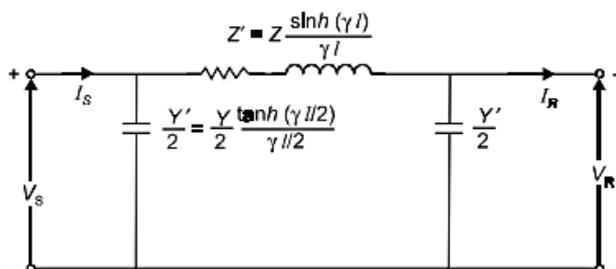
Sekarang dibandingkan persamaan diatas diperoleh :

$$\tanh\left(\frac{\gamma l}{2}\right) = \frac{\cosh(\gamma l) - 1}{\sinh(\gamma l)}$$

Parameter persamaan π model diperoleh sebagai berikut :

$$Z' = Z_C \sinh(\gamma l) = \frac{Z \cdot \sinh(\gamma l)}{\gamma l}$$

$$\frac{Y'}{2} = \frac{1}{Z_C} \tanh\left(\frac{\gamma l}{2}\right) = \frac{Y}{2} \frac{\tanh(\gamma l/2)}{\gamma l/2}$$



Gambar 9.6.. Persamaan π Model Untuk Saluran Transmisi Panjang

Contoh 9.1: Sebuah generator fase tunggal 60 Hz memberikan muatan induktif 4500 kW pada factor daya 0.80 hambatan dengan artian sepanjang 20 km di atas jalur transmisi. Jalur hambatan dan induktansi adalah 0.0195Ω dan 0.60 mH per km. Tegangan pada ujung penerima diperlukan untuk menjaga tetap konstan pada 10.2 kV.

Temukan (a) tegangan ujung pengiriman dan regulasi tegangan jalur; (b) nilai kapasitor diletakkan secara parallel dengan muatan yang pengaturannya dikurangi 60% dari yang didapatkan pada bagian (a); dan (c) bandingkan efisiensi transmisi bagian (a) dan (b).

Solusi. Jalur konstan adalah:

$$R = 0.0195 \times 20 = 0.39 \Omega$$

$$X = 0.60 \times 10^{-3} \times 2\pi \times 60 \times 20 = 4.52 \Omega$$

(a) Ini adalah jalur pendek dengan $I = I_R = I_S$ ditentukan oleh:

$$|I| = \frac{4500}{10.2 \times 0.80} \text{ Amp} = 551.47 \text{ Amp.}$$

Dari pers. (6.6),

$$|V_S| = |V_R| + |I|(R \cos \delta_R + X \sin \delta_R)$$

Here

$$|V_R| = 10.2 \text{ kV} = 10200 \text{ Volt}$$

$$\cos \delta_R = 0.8, \quad \sin \delta_R = 0.6$$

$$\therefore |V_S| = 10200 + 551.47 (0.39 \times 0.8 + 4.52 \times 0.6)$$

$$\therefore |V_S| = 11.867 \text{ kV}$$

$$\therefore \text{Voltage regulation} = \frac{(11.867 - 10.2)}{10.2} \times 100 = 16.34\%$$

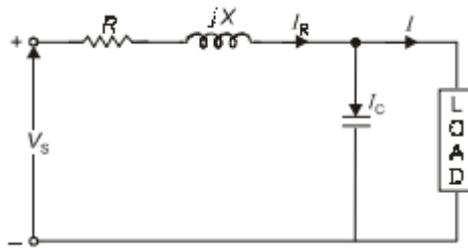
(b) Aturan Tegangan = $0.60 \times 16.34 = 9.804\%$

Sehingga, dalam kondisi ini kita dapat tuliskan

$$\frac{|V_S| - 10.2}{10.2} = 0.09804$$

$$\therefore |V_S| = 11.2 \text{ kV}$$

Gambar 9.7. menunjukkan sirkuit ekivalen dari jalur dengan kapasitor dalam parallel dengan muatan.



Gambar 9.7. rangkaian Impedansi

Asumsikan gabungan faktor daya dan kapasitor = $\cos \delta_R'$. dengan menggunakan pers. Faktor daya kita dapat tuliskan,

$$(11.2 - 10.2) \times 10^{-3} = |I_R| (R \cos \delta_R' + X \sin \delta_R') \quad \dots(i)$$

Selama kapasitas tidak menggambarkan daya yang sesungguhnya, kita memiliki,

$$|I_R| = \frac{4500}{10.2 \cos \delta_R'} \quad \dots(ii)$$

Dari pers. (i) dan (ii), kita dapat

$$\begin{aligned} 4.52 \tan \delta_R' &= 1.876 \\ \therefore \tan \delta_R' &= 0.415 \\ \therefore \delta_R' &= 22.5^\circ \\ \therefore \cos \delta_R' &= 0.9238 \\ \therefore |I_R| &= 477.56 \text{ Amp.} \\ \text{Now } I_C &= I_R - I \\ I_R &= 477.56 \angle -22.5^\circ = 441.2 - j182.75 \\ I &= 551.47 \angle -36.87^\circ = 441.2 - j330.88 \\ \therefore I_C &= 441.2 - j182.75 - 441.2 + j330.88 \\ \therefore I_C &= j148.13 \text{ Amp.} \\ \text{Now } X_C &= \frac{1}{2\pi \times 60 \times C} = \left| \frac{V_R}{I_C} \right| = \frac{10.2 \times 1000}{148.13} \\ \therefore C &= 38.5 \mu\text{F Ans.} \end{aligned}$$

(c) Efisiensi transmisi

$$\begin{aligned} \text{Case (a)} \quad \eta &= \frac{\text{Output}}{\text{Output} + \text{losses}} = \frac{4500}{4500 + (551.47)^2 \times 0.39 \times 10^{-3}} \\ &= 97.43\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Case (b)} \quad \eta &= \frac{4500}{4500 + (477.56)^2 \times 0.39 \times 10^{-3}} = 98.06\% \end{aligned}$$

Sebagai catatan, meletakkan kapasitor dalam parallel dengan muatan, faktor daya ujung penerima bertambah dari 0.80 menjadi 0.9238.

Contoh 9.2: sebuah 220 kV, jalur transmisi tiga fase sepanjang 60 km. Hambatannya $0.15\Omega/\text{Km}$ dan induktansi $1.4 \text{ mH}/\text{Km}$. gunakan model jalur pendek untuk menemukan tegangan dan daya pada ujung pengiriman dan pengaturang tegangan dan efisiensi ketika jalur memberikan muatan tiga fase dari

(a) 300 MVA pada 0.8 pf terlambat pada 220 kV

(b) 300 MVA pada 0.8 pf leading pada 220 kV.

Solusi.

$$R = 0.15 \times 60 = 9 \Omega$$

$$f = 50 \text{ Hz.}$$

$$X = 2\pi \times 50 \times 1.4 \times 10^{-3} \times 60 = 26.39 \Omega.$$

(a) Tegangan ujung penerima per fase adalah

$$V_R = \frac{220|0^\circ}{\sqrt{3}} = 127|0^\circ \text{ kV}$$

tiga fase daya semu adalah 300 MVA pada 0.8 pf melambat

$$\therefore \phi = 36.87^\circ$$

$$\therefore S = 300|36.87^\circ = (240 + j180) \text{ MVA}$$

Arus per fase:

$$I_R = \frac{S^*}{3V_R^*} = \frac{300|-36.87^\circ}{3 \times 127|0^\circ} \times 10^3 \text{ Amp}$$

$$\therefore I_R = 787.4|-36.87^\circ \text{ Amp}$$

Dari pers. Faktor daya, besaran tegangan ujung pengiriman adalah

$$|V_S| = |V_R| + |I| (R \cos \delta_R + X \sin \delta_R)$$

$$|V_R| = 127 \text{ kV, } |I| = 787.4 \text{ Amp} = 0.7874 \text{ kA,}$$

$$R = 9 \Omega, \quad X = 26.39 \Omega$$

$$\cos \delta_R = 0.8, \quad \sin \delta_R = 0.6$$

$$|V_S| = 127 + 0.7874 (9 \times 0.8 + 26.39 \times 0.6)$$

$$|V_S| = 145.13 \text{ kV.}$$

Tegangan ujung pengiriman line-to-line

$$|V_S|_{L-L} = \sqrt{3} \times 145.13 = 251.37 \text{ kV}$$

$$\text{Voltage regulation} = \frac{251.37 - 220}{220} = 14.26\%$$

Per fase kehilangan daya sesungguhnya pada jalur

$$P_{\text{Loss}} = |I|^2 R = (787.4)^2 \times 9 \times 10^{-6} \text{ MW} = 5.58 \text{ MW.}$$

Daya ujung penerima per fase

$$P_R = \frac{300}{3} \times 0.8 = 80 \text{ MW}$$

Daya ujung pengirim per fase

$$P_S = (80 + 5.58) = 85.58 \text{ MW.}$$

Efisiensi jalur transmisi adalah

$$\eta = \frac{P_R}{P_S} = \frac{80}{85.58} = 93.47\%.$$

$$(b) \quad \sqrt{3} |V_R| |I_R| = 300$$

$$\therefore |V_R| = 220 \text{ kV}$$

$$\therefore |I_R| = 787.4 \text{ Amp}$$

Muatan pada leading 0.8 faktor daya. Untuk muatan faktor daya leading, pers. Faktor daya dapat dituliskan sbb:

$$|V_S| = |V_R| + |I| (R \cos \delta_R - X \sin \delta_R)$$

$$\therefore |V_S| = 127 + 787.4 (9 \times 0.8 - 26.39 \times 0.6) = 120.2 \text{ kV}$$

$$\therefore |V_S|_{\text{L-L}} = \sqrt{3} \times 120.2 = 208.2 \text{ kV}$$

$$\text{Voltage regulation} = \frac{208.2 - 220}{220} = -5.36\%$$

Kehilangan daya sesungguhnya per fase = $(787.4)^2 \times 9 \times 10^{-6} = 5.58 \text{ MW}$

Daya ujung penerimaan per fase,

$$P_R = \frac{300}{3} \times 0.8 = 80 \text{ MW}$$

Daya ujung pengiriman per fase,

$$P_S = (80 + 5.58) = 85.58 \text{ MW}$$

Efisiensi jalur transmisi

$$\eta = \frac{P_R}{P_S} = \frac{80}{85.58} = 93.47\%$$

Contoh 9.3: Tentukan efisiensi dan pengaturan 3-fase, sepanjang 150 km, 50 Hz transmisi mengirim 20 MW pada faktor daya 0.8 melambat dan 66 kV untuk muatan seimbang. Hambatan jalur adalah 0.075 Ω/km , 1.5 cm luar, jarak sama sisi 2 meter antara pusat. Gunakan metode nominal π .

Solusi: $R = 0.075 \times 150 = 11.25 \Omega$

Diameter konduktor = 1.5 cm

$$\therefore \text{radius } r = \frac{1.5}{2} = 0.75 \text{ cm}$$

$$d = 2 \text{ mt} = 200 \text{ cm}$$

$$\therefore L = 2 \times 10^{-7} \times (150 \times 1000) \ln \left(\frac{200}{0.75} \right) \text{ Henry}$$

$$\therefore L = 0.1675 \text{ Henry}$$

$$\therefore X = 2 \times \pi \times 50 \times 0.1675 = 52.62 \Omega.$$

$$\text{The capacitance per phase} = \frac{2 \times \pi \times 8.854 \times 10^{-12}}{\ln \left(\frac{200}{0.75} \right)} \times (150 \times 1000) = 1.49 \mu\text{F}.$$

$$\therefore Y = j\omega C = j 2\pi \times 50 \times 1.49 \times 10^{-6} \text{ mho}$$

$$\therefore Y = j 468.1 \times 10^{-6} \text{ mho}$$

$$\therefore \boxed{\frac{Y}{2} = j 234 \times 10^{-6} \text{ mho}}$$

$$Z = (11.25 + j52.62) = 53.809 \angle 77.9^\circ \Omega.$$

Now

$$\sqrt{3} \times |I_R| \times 66 \times 0.8 = 20 \times 1000$$

$$\therefore |I_R| = 218.7 \text{ Amp. at } 0.8 \text{ pf lagging}$$

Tegangan fase ujung penerimaan

$$|V_R| = \frac{66}{\sqrt{3}} = 38.104 \text{ kV}$$

Dari pers. Impedansi, kita dapatkan

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) V_R + Z I_R$$

$$I_R = 218.7 \angle -36.87^\circ$$

$$V_R = 38.104 \angle 0^\circ$$

$$\frac{ZY}{2} = 53.809 \times 234 \times 10^{-6} \angle 77.9^\circ + 90^\circ$$

$$= 0.01259 \angle 167.9^\circ = \boxed{(-0.0123 + j0.00264)}$$

$$\begin{aligned}
 V_S &= (1 - 0.0123 + j0.00264) \times 38.104 \angle 0^\circ + \frac{(53.809 \angle 77.9^\circ \times 218.7 \angle -36.87^\circ)}{1000} \\
 V_S &= (0.9877 + j0.00264) \times 38.104 \angle 0^\circ + 11.76 \angle 41.03^\circ \\
 V_S &= 37.63 + j0.1 + 8.87 + j7.72 \\
 V_S &= (46.5 + j7.82) = \boxed{47.15 \angle 9.54^\circ} \text{ kV} \\
 V_{S(L-L)} &= \sqrt{3} \times 47.15 \angle 9.54^\circ \text{ kV} = 81.66 \angle 9.54^\circ \text{ kV} \\
 \text{Voltage regulation } VR &= \frac{\frac{|V_S|}{|A|} - |V_R|}{|V_R|} = \frac{\left(\frac{81.66}{0.9877} - 66 \right)}{66} = 25.26\%
 \end{aligned}$$

Kehilangan daya per fase = $|I|^2 R = (218.7)^2 \times 11.25 \times 10^{-6} \text{ MW} = 0.538 \text{ MW}$
 Daya ujung penerima per fase,

$$P_R = \frac{20}{3} \text{ MW}$$

Daya ujung pengiriman per fase,

$$P_S = \frac{20}{3} + 0.538 = 7.204 \text{ MW}$$

Efisiensi transmisi

$$\eta = \frac{20/3}{7.204} = 92.54\%$$

Contoh 9.4: tentukan tegangan, arus dan faktor daya pada ujung pengiriman 3 fase, 50 Hz, di atas jalur transmisi sepanjang 160 km mengirim muatan 100 MVA pada 0.8 pf melambat dan 132 kV untuk muatanseimbang. Hambatan per km adalah 0.16 Ω , induktansi per km adalah 1.2 mH dan kapasitansi per km konduktor adalah 0.0082 μF . Gunakan metode nominal π .

Solusi.

$$\begin{aligned}
 R &= 0.16 \times 160 = 25.6 \Omega \\
 X &= 1.2 \times 10^{-3} \times 2\pi \times 50 \times 160 = 60.3 \Omega \\
 Y &= j2\pi \times 50 \times 0.0082 \times 10^{-6} \times 160 = j4.12 \times 10^{-4} \text{ mho} \\
 Z &= R + jX = 25.6 + j60.3 = 65.51 \angle 67^\circ \Omega
 \end{aligned}$$

Dari pers. (6.15),

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) V_R + ZI_R$$

Tegangan fase pada ujung penerimaan,

$$V_R = \frac{132}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \text{ kV} = 76.21 \angle 0^\circ \text{ kV}$$

Arus ujung penerimaan,

$$I_R = \frac{100 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 132 \times 10^3} \text{ Amp} = 437.38 \text{ Amp}$$

Muatan memiliki faktor daya melambat 0.80, missal., $\delta_R = 36.87^\circ$

$$I_R = 437.38 \angle -36.87^\circ \text{ Amp}$$

$$\begin{aligned} \frac{ZY}{2} &= 65.51 \angle 67^\circ \times 4.12 \times 10^{-4} \angle 90^\circ \\ &= (-0.0124 + j0.0053) \end{aligned}$$

$$V_S = (1 - 0.0124 + j0.0053) \times 76.21 \angle 0^\circ + \frac{65.51 \angle 67^\circ \times 437.38 \angle -36.87^\circ}{1000}$$

$$V_S = 101.07 \angle 8.18^\circ \text{ kV}$$

Tegangan line-to-line ujung pengiriman,

$$\begin{aligned} V_{S, L-L} &= \sqrt{3} \times 101.07 \angle 8.18^\circ \text{ kV} \\ &= 175.05 \angle 8.18^\circ \text{ kV} \end{aligned}$$

Dari pers. impedansi,

$$I_S = Y \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) V_R + \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) I_R$$

$$\frac{ZY}{4} = 0.00675 \angle 157^\circ$$

$$1 + \frac{ZY}{4} = 0.9938 \angle 0.15^\circ$$

$$Y \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) = 4.12 \times 10^{-4} \times 0.9938 \angle 90.15^\circ$$

$$= 4.094 \times 10^{-4} \angle 90.15^\circ$$

$$I_S = 4.094 \times 10^{-4} \angle 90.15^\circ \times 76.21 \angle 0^\circ$$

$$+ \frac{(1 - 0.0124 + j0.0053) \times 437.38 \angle -36.87^\circ}{1000}$$

$$I_S = 0.0311 \angle 90.15^\circ + 0.432 \angle -36.56^\circ$$

$$I_S = 0.414 \angle -33.06^\circ \text{ k Amp}$$

$$I_S = 414 \angle -33.06^\circ \text{ Amp}$$

Sudut faktor daya ujung pengiriman = $8.18^\circ - (-33.06^\circ) = 41.24^\circ$

Faktor daya ujung pengiriman = $\cos(41.24^\circ) = 0.752$

Contoh 9.5: Sebuah jalur transmisi panjang menghantarkan sebuah muatan 60 MVA pada 124 kV, 50 Hz, pada 0.8 faktor daya melambat. Hambatan jalurnya adalah 25.3 Ω dan masuk karena pengisian kapasitansi adalah 0.442×10^{-3} mho. Cari (a) konstan A, B, C, D (b) Tegangan ujung pengiriman, arus, dan faktor daya (c) regulasi (d) efisiensi line.

Solusi:

$$R = 25.3 \text{ ohm}, \quad X = 66.5 \text{ ohm}, \quad Z = (25.3 + j66.5) \text{ ohm}$$

$$Y = j0.442 \times 10^{-3} \text{ mho.}$$

$$(a) \quad \gamma l = \sqrt{zy} l = \sqrt{zl \cdot yl} = \sqrt{ZY}$$

$$\sqrt{ZY} = \sqrt{(25.3 + j66.5)(j0.442 \times 10^{-3})}$$

$$= (0.0327 + j0.174)$$

$$\therefore \quad A = D = \cosh(\gamma l) = \cosh(\sqrt{ZY})$$

$$= \cosh(0.03217 + j0.174)$$

$$= 0.986 \angle 0.32^\circ$$

$$B = Z_C \sinh(\gamma l) = \left(\sqrt{\frac{Z}{Y}} \right) \sinh(\sqrt{ZY})$$

$$\sqrt{\frac{Z}{Y}} = (393 - j72.3)$$

$$\therefore \quad B = 70.3 \angle 69.2^\circ$$

$$C = \frac{1}{Z_C} \sinh(\gamma l) = \left(\sqrt{\frac{Y}{Z}} \right) \sinh(\sqrt{ZY})$$

$$= 4.44 \times 10^{-4} \angle 90^\circ = j4.44 \times 10^{-4}$$

(b) Muatan pada 60 MVA, 12 kV (line-to-line)

Arus muatan,

$$I_R = \frac{60 \times 1000}{\sqrt{3} \times 124} \text{ Amp} = 279.36 \text{ Amp}$$

Faktor Daya adalah 0.80 (melambat)

$$I_R = 279.36 \angle -36.87^\circ \text{ Amp}$$

$$V_R = \frac{124}{\sqrt{3}} = 71.6 \text{ kV (phase voltage)}$$

Sekarang

$$V_S = AV_R + BI_R$$

$$V_S = 0.986 \angle 0.32^\circ \times 71.6 \angle 0^\circ + \frac{70.3 \angle 69.2^\circ \times 279.36 \angle -36.87^\circ}{1000}$$

$$V_S = 87.84 \angle 7.12^\circ \text{ kV}$$

$$V_{S, L-L} = \sqrt{3} \times 87.84 \angle 7.12^\circ = 152.14 \angle 7.12^\circ \text{ kV}$$

$$I_S = CV_R + DI_R$$

$$I_S = j4.44 \times 10^{-4} \times 71.6 \angle 0^\circ \times 1000 + 0.986 \angle 0.32^\circ \times 279.36 \angle -36.87^\circ$$

$$I_S = 221.28 - j132.24$$

$$I_S = 257.78 \angle -30.86^\circ \text{ Amp}$$

Sudut faktor daya pada ujung pengiriman

$$= 7.12^\circ - (-30.86^\circ)$$

$$= 37.98^\circ$$

$$\text{Faktor daya ujung pengiriman} = \cos 37.98^\circ = 0.788$$

(c) Daya ujung pengiriman

$$P_S = \sqrt{3} \times 152.14 \times 257.78 \times \cos(37.98^\circ) \text{ kW}$$

$$P_S = 53520 \text{ kW} = 53.52 \text{ MW}$$

Daya ujung penerimaan

$$P_R = 60 \times 0.80 = 48 \text{ MW}$$

Efisiensi

$$\eta = \frac{48}{53.52} = 89.68\%$$

$$\begin{aligned} \text{(d) Voltage regulation} &= \frac{\frac{|V_S|}{|A|} - |V_R|}{|V_R|} \times 100 \\ &= \frac{\left(\frac{152.14}{0.986} - 124\right)}{124} \times 100 \\ &= 24.43\% \end{aligned}$$

Contoh 9.6: sebuah 60 Hz, line transmisi panjang 250 km memiliki sebuah impedansi $(33 + j104)\text{ohm}$ dan jumlah shunt masuk 10^{-3} mho. Muatan ujung penerimaan adalah 50 MW pada 28 kV dengan 0.80 faktor daya melambat. Cari tegangan pangkal pengiriman, arus, daya dan faktor daya menggunakan (a) pendekatan jalur pendek (b) metode nominal II (c) persamaan saluran transmisi yang tepat.

Solusi:

$$Z = (33 + j104) = 109.11 \angle 72.4^\circ \text{ ohm}$$

$$Y = j10^{-3} \text{ mho}$$

Muatan ujung penerimaan adalah 50 MW pada 208 kV, 0.80 faktor daya melambat.

$$\therefore I_R = \frac{50}{\sqrt{3} \times 208 \times 0.80} \angle -36.87^\circ = 0.173 \angle -36.87^\circ \text{ kA}$$

$$V_R = \frac{208}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 120.08 \angle 0^\circ \text{ kV}$$

(a) Pendekatan jalur pendek

$$V_S = V_R + IZ$$

$$\therefore V_S = 120.08 \angle 0^\circ + 0.173 \angle -36.87^\circ \times 109.11 \angle 72.4^\circ$$

$$\therefore V_S = 135.87 \angle 4.62^\circ \text{ kV}$$

$$\therefore V_{S(L-L)} = \sqrt{3} \times 135.87 \angle 4.62^\circ \text{ kV}$$

$$= 235.33 \angle 4.62^\circ \text{ kV}$$

$$I_S = I_R = 0.173 \angle -36.87^\circ \text{ kA}$$

Faktor daya pangkal pengiriman = $\cos(36.87^\circ + 4.62^\circ) = 0.75$

$$\therefore P_S = \sqrt{3} \times 235.33 \times 0.173 \times 0.75 \text{ MW} = 52.88 \text{ MW}$$

(b) Metode Nominal-II

$$A = D = 1 + \frac{YZ}{2} = 1 + \frac{j \times 10^{-3} \times 109.11 \angle 72.4^\circ}{2}$$

$$= 0.9481 \angle 1^\circ$$

$$B = Z = 109.11 \angle 72.4^\circ$$

$$C = Y \left(1 + \frac{YZ}{4} \right) = j \times 10^{-3}$$

$$\therefore V_S = AV_R + BI_R$$

$$= 0.9481 \angle 1^\circ \times 120.08 \angle 0^\circ + 109.11 \angle 72.4^\circ \times 0.173 \angle -36.87^\circ$$

$$\therefore V_S = 129.817 \angle 5.72^\circ \text{ kV}$$

$$\therefore V_{S(L-L)} = \sqrt{3} \times 129.817 \angle 5.72^\circ \text{ kV} = 224.85 \angle 5.72^\circ \text{ kV}$$

$$I_S = CV_R + DI_R$$

$$= j \times 10^{-3} \times 120.08 \angle 0^\circ + 0.9481 \angle 1^\circ \times 0.173 \angle -36.87^\circ$$

$$= 0.135 \angle 10.23^\circ \text{ kA}$$

Faktor daya pangkal pengiriman = $\cos(10.23^\circ - 5.72^\circ) = 0.997$ (leading)

$$P_S = \sqrt{3} \times 224.85 \times 0.135 \times 0.997 \text{ MW}$$

$$= 52.4 \text{ MW}$$

(c) Persamaan jalur transmisi yang tepat

$$\gamma l = (\sqrt{zy}) l = \sqrt{ZY}$$

$$\therefore \gamma l = \sqrt{j \times 10^{-3} \times 109.11 \angle 72.4^\circ}$$

$$\begin{aligned} \therefore \quad \gamma l &= 0.33 \angle 81.2^\circ \\ Z_C &= \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{109.11 \angle 72.4^\circ}{j \times 10^{-3}}} = 330.31 \angle -8.8^\circ \\ A = D &= \cosh(\gamma l) = \left(1 + \frac{YZ}{2}\right) = 0.9481 \angle 1^\circ \\ \sinh(\gamma l) &= \sqrt{YZ} \left(1 + \frac{YZ}{6}\right) = 0.33 \angle 81.2^\circ \\ B &= Z_C \sinh(\gamma l) = 330.31 \angle -8.8^\circ \times 0.33 \angle 81.2^\circ \\ &= 109 \angle 72.4^\circ \\ C &= \frac{\sinh(\gamma l)}{Z_C} = \frac{0.33 \angle 81.2^\circ}{330.31 \angle -8.8^\circ} = j \times 10^{-3} \\ V_S &= AV_R + BI_R \\ &= 0.9481 \angle 1^\circ \times 120.08 \angle 0^\circ + 109 \angle 72.4^\circ \times 0.173 \angle -36.87^\circ \\ &= 113.84 \angle 1^\circ + 18.85 \angle 35.53^\circ \\ &= 129.806 \angle 5.72^\circ \text{ kV} \\ \therefore \quad V_{S(L-L)} &= \sqrt{3} \times 129.806 \angle 5.72^\circ \text{ kV} \\ &= 224.83 \angle 5.72^\circ \text{ kV} \\ I_S &= CV_R + DI_R \\ \therefore \quad I_S &= j \times 10^{-3} \times 120.08 \angle 0^\circ + 0.948 \angle 1^\circ \times 0.173 \angle -36.87^\circ \\ &= 0.135 \angle 10.23^\circ \text{ kA.} \end{aligned}$$

Faktor daya pangkal pengiriman = $\cos(10.23^\circ - 5.72^\circ) = 0.997$ (leading)

$$P_S = \sqrt{3} \times 224.83 \times 0.135 \times 0.997 = 52.4 \text{ MW}$$

Hasilnya dibuat tabel sebagai berikut:

	Short line approx.	Nominal- π	Exact
$V_{S(L-L)}$	235.33 kV	224.85 kV	224.83 kV
$ I_S $	0.173 kA	0.135 kA	0.135 kA
pf	0.75	0.997	0.997
P_S	52.88 MW	52.40 MW	52.40 MW

Dari tabel di atas, kita dapat melihat hasil didapatkan dengan nominal- π dan metode exact hampir sama semua. Dengan kata lain, hasil diperoleh dengan pendekatan jalur pendek yang berada dalam kesalahan yang wajar.

Sehingga, untuk jalur panjang, cukup akurat untuk menggunakan metode nominal- π .

9.5. Gelombang Tegangan

Dengan mempergunakan persamaan eksponensial impedansi, diperoleh :

$$V(x) = C_1 e^{\alpha x} e^{j\beta x} + C_2 e^{-\alpha x} e^{-j\beta x}$$

Mentransformasikan persamaan diatas dengan domain waktu, maka tegangan sebagai fungsi t dan x, menjadi :

$$V(t, x) = \sqrt{2} \text{ Real } \{C_1 e^{\alpha x} e^{j(\omega t + \beta x)}\} + \sqrt{2} \text{ Real } \{C_2 e^{-\alpha x} e^{j(\omega t - \beta x)}\}$$

Dengan catatan $V(x)$ dalam persamaan (6.49) adalah rms fasor nilai tegangan sepanjang saluran. Sebagai peningkatan x (Perpindahan antara pengirim dan penerima, bentuk pertama menjadi lebih besar sebab $e^{\alpha x}$ dan disebut gelombang riak. Pada bentuk kedua $e^{-\alpha x}$ menjadi kecil dan disebut dengan gelombang refleksi.

Pada semua titik sepanjang saluran tegangan adalah penjumlahan dari 2 komponen :

$$V(t, x) = V_1(t, x) + V_2(t, x)$$

Dimana :

$$V_1(t, x) = \sqrt{2} C_1 e^{\alpha x} \cos(\omega t + \beta x)$$

$$V_2(t, x) = \sqrt{2} C_2 e^{-\alpha x} \cos(\omega t - \beta x)$$

Sebagaimana kami ketahui sepanjang saluran, persamaan 6.52 dan 6.53 menjadi gelombang berjalan. Sekarang tergantung pada Gelombang refleksi $V_2(t, x)$ dan gambar bahwa kami mengatur sepanjang gelombang. Untuk mengobservasi nilai puncak amplitudo membutuhkan :

$$\omega t - \beta x = 2 k \pi$$

$$x = \frac{\omega}{\beta} t - \frac{2k\pi}{\beta} t$$

Kecepatan dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{\beta}$$

Kemudian, Velocity propagasi ditunjukkan oleh :

$$v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{2\pi f}{\beta}$$

Lingkaran tegangan komplit sepanjang saluran merubah 2π radian dalam argumen sudut angular βx . Koresponding panjang saluran disebut panjang gelombang. Jika β di nyatakan dalam bentuk rad / ,mt.

$$B\lambda = 2\pi$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$$

Ketika rugi saluran di abaikan , ketika $g = 0$ dan $\gamma = 0$, bilangan nyata konstanta propagasi $\alpha = 0$, maka di dapatkan hasil

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{zy} = \sqrt{(r + j\omega L)(g + j\omega c)}$$

$$\beta = \omega\sqrt{LC}$$

krakteristik impedansi adalah :

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Yang mana referensi kommond sebagai surja impedansi. Dengan nilai antara 250Ω dan 400Ω dalam kasus overhead saluran gtransmisi dan antara 40Ω dan 60Ω dalam kasus kabel bawah tanah.

Dari persamaan (6.56) dan (6.57) di dapatkan :

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\lambda = \frac{1}{f\sqrt{LC}}$$

Sekarang untuk saluran satu fasa :

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D}{r'}\right); \quad C = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln\left(\frac{D}{r}\right)}$$

$$LC = \mu_0 \epsilon_0 \ln\left(\frac{D}{r'}\right) / \ln(D/r)$$

$$\ln\left(\frac{D}{r'}\right) \approx \ln(D/r)$$

$$LC \approx \mu_0 \epsilon_0$$

Disubtitusikan ekspresi LC , maka di dapatkan :

$$v \approx \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

$$\lambda \approx \frac{1}{f \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

9.6. Impedansi Surja

Ketika saluran transmisi sedang berbeban menjadi terminal dengan persamaan impedansi untuk karakteristik impedansinya pada penerimaan akhir saluran arus adalah

$$I_R = \frac{V_R}{Z_C}$$

Untuk kerugian saluran Z_C adalah resistive. Beban surja impedansi (sil) dari transmisi didefinisikan sebagai tenaga yang diterima oleh saluran dengan persamaan beban resistif dengan nilai impedansi surja pada saluran ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$SIL = \frac{3|V_R|^2}{Z_C}$$

Dimana :

$$|V_R| = |V_{L(\text{rated})}|/\sqrt{3}, \text{ SIL becomes}$$

$$SIL = \frac{|V_{L(\text{rated})}|^2}{Z_C}$$

Contoh 6.7: Sebuah 3-gelombang, 50 Hz, 400kV panjang jalur transmisi adalah 300 km. jalur induktansi adalah 0.97 mH/km per gelombang dan kapasitansinya 0.0115 μ F/km per gelombang. Asumsikan jalur loss less. Tentukan konstanta jalur gelombang β , Z_C , v dan λ .

Solusi:

$$\beta = \omega \sqrt{LC} = 2\pi \times 50 \sqrt{0.97 \times 0.0115 \times 10^{-9}}$$

$$\beta = 0.00105 \text{ rad/km}$$

Lonjakan impedansi

$$Z_C = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0.97 \times 10^{-3}}{0.0115 \times 10^{-6}}} = 290.43 \text{ ohm}$$

Perambatan kecepatan adalah

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0.97 \times 0.0115 \times 10^{-9}}}$$

$$v = 2.994 \times 10^5 \text{ km/sec.}$$

Panjang gelombang ialah

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1}{50} \times 2.994 \times 10^5$$

$$\lambda = 4990 \text{ km.}$$

9.7. Arus Daya Langsung Saluran Transmisi

Dengan mempertimbangkan contoh sistem tenaga seperti yang ditunjukkan oleh gambar 9.8.



Gambar. 9.8. Contoh 2 Bus Sistem Tenaga

Kemudian :

$$A = |A| \angle \delta_A, \quad B = |B| \angle \delta_B, \quad V_S = |V_S| \angle \delta_S, \quad V_R = |V_R| \angle 0^\circ, \quad D = A = |A| \angle \delta_A$$

Dari persamaan arus. diperoleh.

$$I_R = \frac{V_S - AV_R}{B} = \frac{|V_S| \angle \delta_S - |A| \angle \delta_A \cdot |V_R| \angle 0^\circ}{|B| \angle \delta_B}$$

$$I_R = \frac{|V_S|}{|B|} \angle \delta_S - \delta_B - \frac{|A| |V_R|}{|B|} \angle \delta_S - \delta_B$$

Penerimaan akhir daya kompleks :

$$S_{R(3\phi)} = P_{R(3\phi)} + jQ_{R(3\phi)} = 3V_R I_R^*$$

Dengan mempergunakan persamaan 6.69 da 6.68 di dapatkan :

$$S_{R(3\phi)} = 3 \cdot \frac{|V_S| |V_R|}{|B|} \angle \delta_B - \delta_S - 3 \frac{|A| |V_R|^2}{|B|} \angle \delta_B - \delta_A$$

Atau dalam bentuk tegangan line ke line :

$$S_{R(3\phi)} = \frac{|V_{S(L-L)}| |V_{R(L-L)}|}{|B|} \angle \delta_B - \delta_S - \frac{|A| |V_{R(L-L)}|^2}{|B|} \angle \delta_B - \delta_A \quad \dots(6.70)$$

Bilangan real dan imajiner persamaan 6.70

$$P_{R(3\phi)} = \frac{|V_{S(L-L)}| |V_{R(L-L)}|}{|B|} \cos(\delta_B - \delta_S) - \frac{|A| |V_{R(L-L)}|^2}{|B|} \cos(\delta_B - \delta_A)$$

$$Q_{R(3\phi)} = \frac{|V_{S(L-L)}| |V_{R(L-L)}|}{|B|} \sin(\delta_B - \delta_S) - \frac{|A| |V_{R(L-L)}|^2}{|B|} \sin(\delta_B - \delta_A)$$

Dengan cara yang sama diperoleh :

$$P_{S(3\phi)} = \frac{|A||V_{S(L-L)}|^2}{|B|} \cos(\delta_B - \delta_A) - \frac{|V_{S(L-L)}||V_{R(L-L)}|}{|B|} \cos(\delta_B + \delta_S)$$

$$Q_{S(3\phi)} = \frac{|A||V_{S(L-L)}|^2}{|B|} \sin(\delta_B - \delta_A) - \frac{|V_{S(L-L)}||V_{R(L-L)}|}{|B|} \sin(\delta_B + \delta_S)$$

Kerugian daya real dan reaktif adalah :

$$P_{Loss(3\phi)} = P_{S(3\phi)} - P_{R(3\phi)}$$

$$Q_{Loss(3\phi)} = Q_{S(3\phi)} - Q_{R(3\phi)}$$

9.8. Efek Ferranti

Selama ada beban atau tidak, penerimaan tegangan akhir lebih besar daripada pengiriman tegangan akhir dalam saluran transmisi panjang tau kabel. Ini menyebabkan saluran arus pengisian yang sangat tinggi. Fenomena ini diketahui sebagai efek ferranti. Saluran arus listrik yang terbuka menarik arus secara signifikan untuk efek kapasitas dari saluran. Hal ini menimbulkan saluran transmisi tegangan tinggi. Dalam kondisi tidak ada beban $I_r=0$ oleh karenanya persamaan 6.40 dapat ditulis sebagai berikut.

$$V_S = V_R \cosh(\gamma l)$$

$$V_R = \frac{V_S}{\cosh(\gamma l)}$$

9.9. Tugas

1. Sebutkan definisi transmisi pendek
2. Sebutkan definisi transmisi panjang
3. Apakah yang dimaksud dengan efek Ferranti

Bab 10

Gardu Induk

Semakin berkembangnya sebuah teknologi membuat konsumsi energi semakin meningkat, terutama energi listrik. Banyaknya rumah huni dan perusahaan serta semakin bertambahnya penduduk. konsumsi listrikpun semakin meningkat, Oleh karena itu hal tersebut tentunya dibarengi dengan pembangunan pembangkit listrik baru, maupun sistem transmisi listrik baru, yang berupa *Gardu induk* dan saluran lainnya.

Gardu Induk merupakan perangkat transmisi (kesatuan) Sebagai sarana pendistribusian listrik. (GI) Gardu Induk adalah perangkat penting dalam penyaluran dan pendistribusian listrik. Perangkat tersebut memiliki saluran transmisi serta distribusi, transformator dan peralatan hubung dan pembagi, perangkat pengaman, dan perangkat sistem kontrol[1].



Gambar 10.1. Lokasi Gardu Induk

Gardu induk sangatlah penting pada sistem pendistribusian listrik, pada GI terdapat jaringan distribusi dan saluran transmisi yang melalui trafo daya dan rel tembaga. Cara kerja gardu induk sangatlah sederhana yaitu:

- Pembangkitan
- Menaikkan listrik
- Mentransmisikan
- Menurunkan listrik
- Pendistribusian

Proses tersebut memanfaatkan Gardu induk, sedangkan untuk pendistribusian dan penurunan tegangan dilakukan oleh gardu distribusi.

Gardu induk juga memiliki berbagai fungsi, antara lain :

- a. Mengubah Tegangan tanpa merubah frekuensi
- b. Pengaman jaringan tenaga listrik
- c. Mengatur beban distribusi ke gardu lain.
- d. Interkoneksi antar gardu lain.

Gardu induk juga memiliki klasifikasi berdasarkan tegangan kerja, antara lain :

- a. Gardu induk tegangan ekstra tinggi { GITET } dengan range tegangan 275kV ~ 500kV
- b. Gardu induk tegangan tinggi { GI } dengan range tegangan 70kV ~ 150kV
- c. Gardu Induk Distribusi dengan range nilai tegangan 20kV yang kemudian diturunkan menjadi 220/380V. untuk di distribusikan ke konsumen

Klasifikasi gardu induk juga terdapat pada letak pemasangan peralatan yaitu:

- a. Gardu Induk Dalam
Dimana pemasangan gardu induk terdapat di dalam bangunan, yang gunanya untuk melindungi dari keselarasan sekitar dan meninjau dari segi aspek keamanan.
- b. Gardu induk Luar
Pemasangan gardu induk dimana instalasinya / pemasangannya membutuhkan lahan yang lebih lebar dan terdapat pada luar bangunan.
- c. Gardu induk semi Outdoor
Merupakan pemasangan diantara luar dan dalam ruangan, yang memprtyimbangan masalah lokasi dan lingkungan sekitar.

10.1. Definisi Gardu Induk

Sistem transmisi gardu induk adalah salah satu bagian terpenting dalam melakukan penyaluran tenaga listrik yang ada di indonesia dari pusat pembangkit yang berada di paiton jawa timur menuju ke pusat beban di jawa barat yang terinter koneksi menggunakan salauran transmisi tegangan tinggi dan gardu induk. Apabila dikaitkan dengan ke efisienan dan dengan keandalan sistem jelas sistem interkoneksi yang ada di indonesia tidak efisien dikarena pusat beban sangat lah jauh dengan pusat sumber (pembangkit). Pada suatu sistem ketenagalistrikan harus mengutamakan ke efisienan dan keamanan,keselamatan masyarakat setempat dan lingkungan.

Pada sebuah gardu induk sistem transmisi harus di perhatikan betul tingkat keamanan dan keselamatan manusia mulai dari pembangkit transmisi dan distribusi. Salah satu contoh pada sisi transmisi gardu induk yaitu :

1. Pemasangan Arrester setiap listrik mau masuk ke gardu induk
2. Pemasangan GSW pada saluran udara tegangan tinggi
3. Pemasangan Arrester setiap keluar masuk listrik di Trafo
4. Kemudian yang tak kalah pentingnya yaitu sistem pembumian yang baik dan standart SNI yaitu menggunakan material Tembaga (CU) dengan grounding mess (terkopel satu sama lain) dengan hasil ukur hambatan di bawah 1Ω .

Faktor faktor diatas menkan bahwa perlu dilakukan pengawasan yang ahli dibidannya sebelum membangun sistem transmisi di indonesia dan dilakukan perawatan berkalan oleh petugas ahli. Karena itulah penulis disini akan menjelaskan makalah yang berjudul sistem transmisi di gardu induk.

Sebelum mengenal sistem transmisi di gardu induk kita harus mengetahui terlebih dahulu apa itu sistem transmisi ?

Sistem tenaga listrikan di indonesia umumnya di bagi menjadi 3 yaitu :

Sistem pembangkitan , sistem transmisi dan sistem distribusi. Sistem pembangkitan sering di istilahkan sebagai sumber tenaga listrik , dan sistem distribusi yaitu Beban tenaga listrik/konsumen , sedangkan sistem transmisi yaitu adalah sistem penyaluran sistem yang menyalurkan tenaga listrik dari sumber ke beban, kenapa di perlukan sistem transmisi ? seperti yang di tulis di latarbelakang bahwa pusat beban sangat lah jauh dari pusat sumber maka di butuhkan lah sebuah saluran transmisi. Saluran transmisi ini membutuhkan media penyaluran yang sangat kokoh dan tinggi agar listrik tidak mengenai manusia dan lingkungan sekitar contoh beberapa macam media penyaluran tenaga listrik yaitu :

1. Tower Latice
2. Towet Tiang pole

Berdasarkan teganganya

1. Tower Latice SUTET 500Kv (Jawa Bali)
2. Tower Latice SUTET 275kv (Sumatra)
3. Tower Latice SUTT 150 Kv (Seluruh indonesia)
4. Tower Latice 70Kv (Seluruh indonesia)
5. Tower Pole 150 dan 70



Gambar 10.2. Tower Latice SUTT

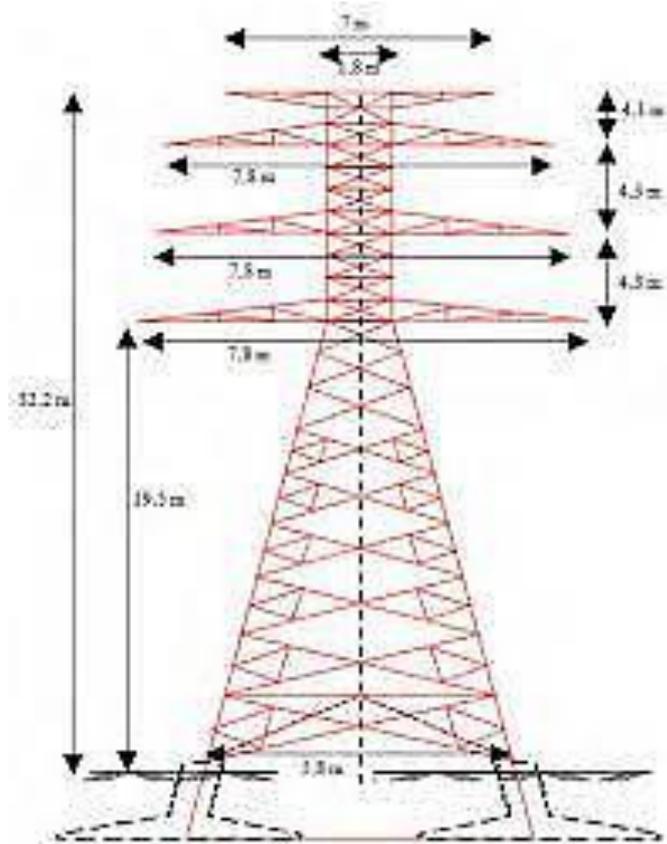


Gambar 10.3. Tower Lattice SUTET



Gambar 10.4. Tower Tiang Pole

Gambar diatas adalah contoh media penyaluran yang energi listrik yang umum ada di indonesia yaitu penyaluran energi listrik yang ber isolasikan menggunakan udara / Saluran udara tegangan tinggi / extra tinggi.



Gambar 10.5. Design Tower Latice SUTET

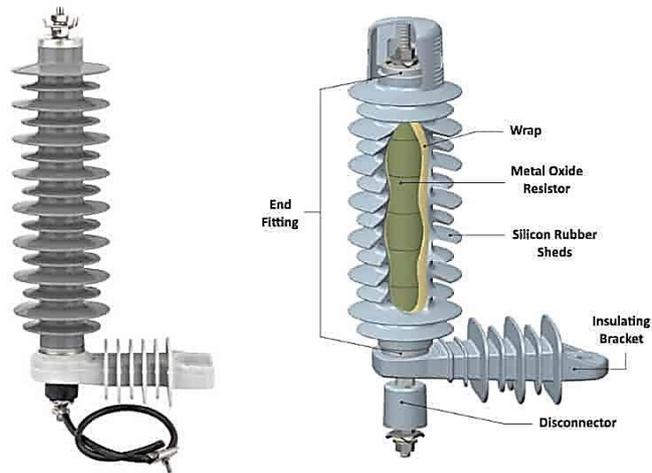
Didalam konstruksi Tower sendiri harus memiliki standart keamanan yang sudah di tentukan oleh kementrian ESDM seperti gambar dibawah ini yang sudah sesuai standart di indonesia Kemudian setelah tenaga listrik disalurkan melalui tower sutt/sutet tenaga listrik akan di masukan keadalan sebuah main substation (Gardu Induk) .

10.2. Perangkat dan Komponen Dalam Gardu Induk

Supaya fungsi dan tujuan adanya gardu induk tercapai, maka gardu induk dilengkapi dengan berbagai peralatan pada gardu antara lain :

1. Lightning Arrester

Lightning Arrester adalah suatu peralatan yang difungsikan sebagai proteksi peralatan sistem tenaga listrik dari tegangan lebih, yang bersifat lonjakan. Arus tersebut akan dialirkan ke tanah tanpa mengganggu kerja sistem distribusi. Ketika pada posisi normal arrester sebagai isolator tegangan kerja, ketika ada lonjakan arus atau tegangan surja, dengan seketika arrester akan bersifat konduktor dan mengairkan ke tanah[2] [8].

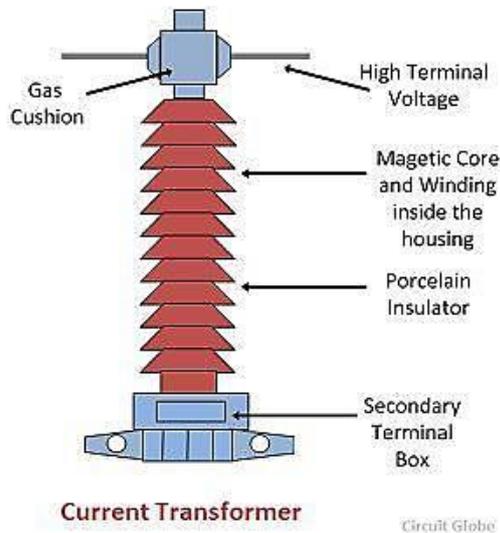


Surge Arrester

Gambar 10.6. Lightning Arrester

2. Current Transformer (CT)

Transformator arus yaitu suatu alat yang berfungsi sebagai alat ukur arus yang besar dengan perbandingan skala arus, dari arus besar ke arus kecil agar pengukuran dapat terbaca panel kontrol. [4]

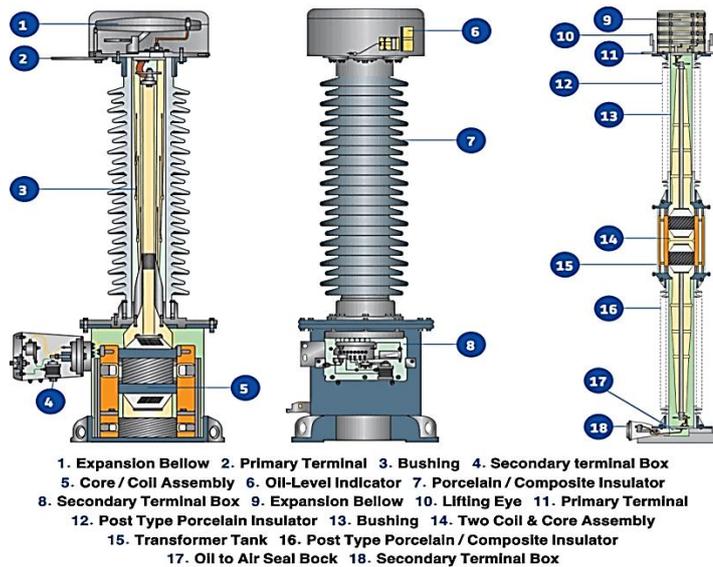


Gambar 10.7 Current Transformer

3. Potential Transformer (PT)

Merupakan sebuah alat untuk mengukur tegangan yang tinggi dengan merubah tegangan yang tinggi menjadi rendah agar terbaca oleh panel kontrol.

What is a Potential Transformer (PT) / Voltage Transformer?



Gambar 10.8. Potensial Transformer

4. Transformator Daya

Pada gardu induk pasti terdapat peralatan yaitu transformator daya sebagai transformasi tegangan listrik. Yaitu menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. [3]



Gambar 10.9. Transformator Daya

5. PMT (Saklar Pemutus)

Saklar Pemutus merupakan alat pemutus yang dioperasikan dalam keadaan berbeban, ketika terjadi kerusakan, atau perbaikan pada saluran.



Gambar 10.10. Saklar Pemutus

pemutus Daya memiliki kemampuan memutuskan arus hubung singkat secara cepat agar tidak sampai merusak peralatan sistem dan kestabilan. [7]

6. Busbar

Busbar sebuah bagian utama pada sistem kerja Gardu Induk yang fungsinya untuk titik pertemuan peralatan listrik dan gunanya sebagai penerima dan penyaluran daya listrik. [1]



Gambar 10.11. Busbar Pada Gardu Induk

7. Penyulang (Feeder)

Merupakan sebuah peralatan yang ada pada sistem gardu induk, yang memiliki fungsi sebagai penyaluran tenaga ke pelanggan melalui SUTM, ataupun transmisi lainnya.

8. Relay Proteksi dan Papan Alarm

Relay proteksi memiliki fungsi sebagai proteksi jaringan transmisi oleh berbagai gangguan dengan cara kerja membandingkan impedansi relay dengan impedansi jaringan yang terdapat gangguan[6].

9. Perangkat Komunikasi (Sistem Scada)

Pentingnya perangkat komunikasi pada sebuah sistem yang tentunya dapat memberikan kemudahan. SCADA tersendiri memiliki makna singkatan dari Supervisory Control And Data Acquisition yang mampu mengontrol dan memantau peralatan dari jarak jauh, tanpa kontak lokasi dengan manusia. SCADA mampu mengumpulkan berbagai informasi berupa data pengukuran besaran listrik, yang kemudian mentransfernya ke central dengan membawa data dan status kontrol dan diperagakan pada tampilan layar HMI (Human Machine Interface). [5]

10. Peralatan Pemadam Api

Pada sistem transmisi tentunya banyak juga kendala pada jaringannya, hal tersebut memungkinkan jika terjadi percikan api ataupun bunga api yang ditimbulkan dari switching peralatan. Berdasar dari permasalahan tersebut, pada gardu induk juga dilengkapi dengan alat pemadam api sebagai pencegahan resiko. Biasanya digunakan gas SF-6 yang bersifat isolator, sebagai pemadam bunga api. [7]

10.3. Macam – Macam Gardu Induk

Gardu induk secara umum dibedakan menjadi 5 jenis:

1. Jenis gardu induk berdasarkan kelas tegangan
2. Jenis gardu berdasarkan instalasi peralatan
3. Jenis gardu berbasis fungsi
4. Jenis gardu berdasarkan insulasi yang digunakan
5. Jenis gardu induk berdasarkan jalur (busbar)

1. Jenis Gardu Induk Berdasarkan Kelas Tegangan

- Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) untuk konversi energi listrik dengan tegangan nominal 275 kv dan 500 kv.



Gambar 10.12. Gardu Induk (GI) tegangan tinggi untuk konversi energi listrik dengan tegangan nominal 150 kv dan 70 kv.

2. Jenis gardu berdasarkan instalasi peralatan

- Gardu induk yang digabungkan secara internal
Gardu induk dalam ruangan adalah gardu induk yang hampir semua komponennya berada dan dipasang di dalam ruangan
- Gardu pemasangan luar ruangan
Gardu luar ruang adalah gardu induk yang komponen-komponennya ditempatkan dan dipasang di luar (outdoor).
- Kombinasi pemasangan di dalam dan di luar gardu induk
Jenis peralatan tegangan tinggi gardu induk ini sebagian terpasang didalam dan sebagian terpasang diluar.
- Jenis gardu pasang bawah tanah
Gardu induk jenis ini memiliki komponen dan peralatan yang dipasang di basement. Sistem pendingin ditempatkan di atas tanah. Gardu induk jenis ini sering terletak di pusat kota padat penduduk yang kekurangan lahan.
- Mobil gardu



Gambar 10.13. Mobil Gardu Induk

Gardu induk semacam ini dapat dikatakan sebagai gardu induk sementara, digunakan untuk membackup gardu induk lain yang bersangkutan

3. Jenis gardu berbasis fungsi

- Gardu Induk step-up
Gardu induk jenis ini digunakan untuk menaikkan tegangan yang dihasilkan oleh generator pada tegangan pengenal tertentu

- Gardu induk step-down
Gardu induk jenis ini digunakan untuk menurunkan tegangan yang ditransmisikan ke nilai tegangan tertentu. Biasanya nilai tegangan yang ditransformasikan adalah 20 kV atau 11
- Gardu induk pengatur tegangan
Pada sistem GI ini terdapat kapasitor bank yang dapat digunakan untuk mengatur faktor daya dan mengoreksi tegangan.

4. Jenis gardu berdasarkan insulasi yang digunakan

- Gardu Insulasi Udara
Gardu induk jenis ini menggunakan udara sebagai insulasi
- SF6. Gardu Insulasi Gas
Jenis GI ini menggunakan gas SF6 sebagai insulasi

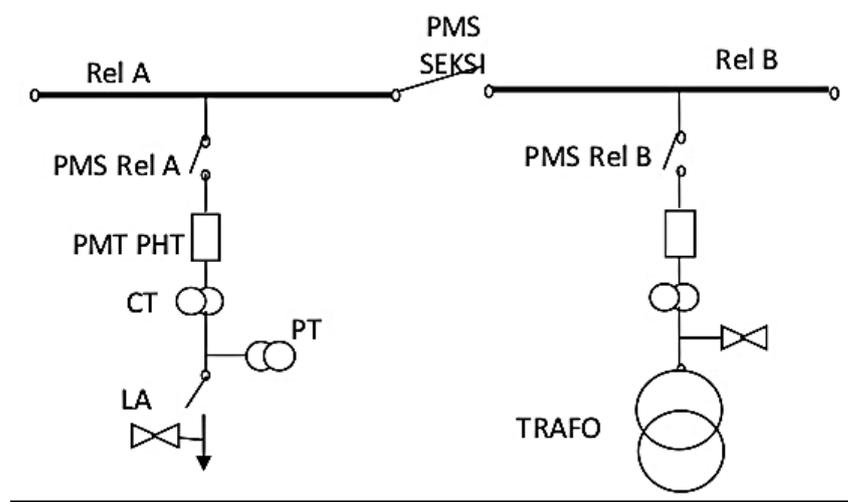
5. Jenis gardu induk berdasarkan jalur (busbar)



Gambar 10.14. Bus Bar Gardu Induk

Rel (Busbar) merupakan titik hubung pertemuan (connecting) antara Transformator Daya, SUTT/SKTT dengan komponen listrik lainnya, untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik

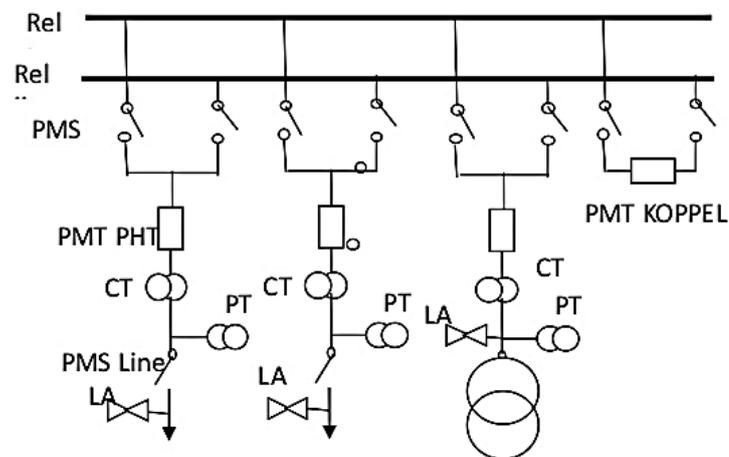
- Gardu sistem jalur busbar
Busbar gardu induk terhubung satu sama lain dalam bentuk cincin.
- Gardu sistem single busbar



Gambar 10.15. Diagram Sistem Single Busbar Gardu Induk

Gardu induk ini hanya memiliki satu busbar dan umumnya terletak di ujung (terminal) sistem transmisi.

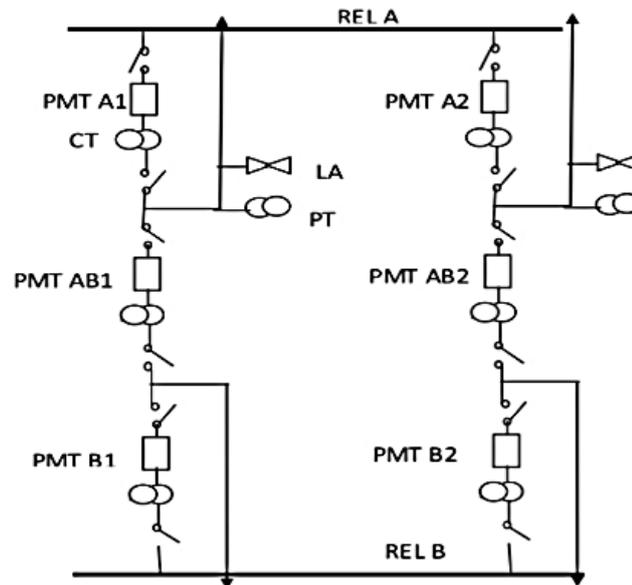
- Gardu sistem busbar ganda



Gambar 10.15. Diagram Sistem Busbar Ganda Gardu Induk

Gardu induk jenis ini memiliki dua rel (busbar), sehingga efektif mencegah pemadaman jika terjadi gangguan.

- Gardu induk system busbar satu setengah



Gambar 10.16. Gardu Induk System Busbar Satu Setengah

Sistem distribusi tenaga listrik ini memiliki dua busbar dan umumnya dipasang di dekat lokasi pembangkit atau di gardu induk dengan kapasitas lebih besar.

10.4. Permasalahan Gardu Induk saat ini

- Susut dan Penurunan Tegangan

Penurunan tegangan (voltage drop) adalah selisih tegangan dari titik sumber ke titik perhitungan (load point) yang dihitung menurut panjang penyulang.

- Peristiwa di GI Jawa Barat

PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) akan mengkaji gardu induk di Jawa Barat saat terjadi pemadaman listrik besar-besaran pada Minggu (8 April 2019). Insiden itu diduga gagal melindungi mode operasi pulau itu dalam sistem transmisi daya. (dilansir dari Kompas)

10.5. Tugas

1. Sebutkan apakah fungsi Gardu induk ?
2. Bagaimana skematik diagram proses pembangkitan sampai konsumen dilakukan ?

Bab 11

Sistem Distribusi



Gambar 11.1. Jaringan Distribusi

11.1. Sistem Tenaga

Distribusi tenaga listrik adalah tahap akhir dari sistem tenaga listrik, yang memerlukan pengiriman listrik ke beban. Peran utama bagian ini adalah untuk membawa listrik dari saluran transmisi ke beban di pelanggan individu ke berbagai lapisan masyarakat. Pada bagian distribusi daya suatu sistem tenaga listrik, terdapat dua subbagian utama yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder.

Distribusi tenaga listrik adalah tahap akhir dari sistem tenaga listrik, yang memerlukan pengiriman listrik ke beban. Peran utama bagian ini adalah untuk membawa listrik dari saluran transmisi ke beban di pelanggan individu ke berbagai lapisan masyarakat. Pada bagian distribusi daya suatu sistem tenaga listrik, terdapat dua subbagian utama yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder. Sebelum kita melihat lebih dekat nuansa gardu tenaga listrik, mari kita lihat sejarahnya untuk lebih memahami dan mengapresiasi seberapa jauh distribusi tenaga listrik modern telah berkembang.

Kebutuhan akan distribusi tenaga listrik baru muncul pada tahun 1880-an, setelah listrik dihasilkan oleh industri-industri yang sudah mapan. Sebelum ini, listrik hanya dihasilkan di tempat yang dibutuhkan. Meskipun ini terdengar lucu dalam konteks dunia modern yang digerakkan oleh tenaga, kebutuhan atau jangkauan listrik sangat minim sebelum tahun 1880-

an! Distribusi tenaga listrik pertama diterapkan di AS dan Eropa untuk memasok penerangan umum ke kota-kota. Penerangan busur yang digunakan untuk penerangan jalan umum memiliki urutan tegangan yang agak tinggi, sekitar 3000 Volt, yang terutama digunakan dalam penerangan busur, atau penerangan pijar, yang memiliki tegangan serendah 100 V. Kemudian, busur penerangan lebih banyak digunakan di tempat-tempat umum, sedangkan penerangan pijar lebih banyak digunakan untuk penerangan rumah-rumah penduduk.

Karena tegangan tinggi yang digunakan dalam penerangan busur, satu stasiun pembangkit dapat memasok rangkaian lampu yang panjang—sirkuit hingga 11 km! Setiap penggandaan tegangan akan memungkinkan kabel dengan ukuran yang sama untuk mentransmisikan jumlah daya yang sama empat kali jarak untuk kehilangan daya yang diberikan. Sistem pencahayaan pijar dalam ruangan arus searah, seperti Stasiun Edison Pearl Street pertama yang dipasang pada tahun 1882, mengalami kesulitan memasok pelanggan lebih dari satu mil jauhnya. Hal ini disebabkan oleh rendahnya sistem 110 volt yang digunakan di seluruh sistem, dari generator hingga pengguna akhir. Sistem Edison DC membutuhkan kabel konduktor tembaga tebal, dan pembangkit listrik harus berada dalam jarak sekitar 2,4 km dari pelanggan terjauh untuk menghindari konduktor yang terlalu besar dan mahal.

Di sinilah kesulitan distribusi listrik mulai terjadi. Mungkin saja arus ditransmisikan pada tegangan tinggi dalam jarak jauh, tetapi menurunkannya bagi konsumen adalah masalah yang sangat bermasalah. Di sinilah transformator masuk dan memainkan peran kunci pada pertengahan 1880-an, terbukti menjadi pengubah permainan utama. Transformator fungsional, yang merupakan transformator pertama, memainkan peran penting dalam perubahan besar tegangan. Ini terbukti menjadi peningkatan signifikan pertama terhadap distribusi tenaga listrik dan memberikan kemampuan untuk mengubah tegangan yang diperlukan untuk situasi tersebut, daripada harus membangun ekosistem yang lengkap di sekitar satu tingkat tegangan linier.

11.2. Distribusi Primer

Jalur distribusi primer berisi trafo distribusi yang ada di lokasi pelanggan. Distribusi primer berkisar dari 4 hingga 35 kilo Tegangan. Hanya industri yang dapat langsung memberi makan saluran transmisi. Sebagian besar konsumen rata-rata terhubung ke transformator yang menurunkan tegangan ke tingkat yang dapat digunakan. Jaringan distribusi untuk distribusi primer terdiri dari tiga jenis, meskipun sebagian besar terdiri dari dua jenis—radial atau jaringan. Jaringan radial terutama seperti pohon, di mana hanya ada satu jalur koneksi untuk pelanggan ke sumber pasokan. Sebuah sistem jaringan, di sisi lain, memiliki beberapa atau koneksi paralel ke sumber pasokan. Sambungan radial terutama digunakan di daerah pedesaan, sedangkan sambungan jaringan terutama digunakan di daerah yang peka terhadap beban, seperti daerah perkotaan yang padat. Namun, seburuk suara sistem radial, berdasarkan hanya ada satu koneksi ke sumbernya, jaringan radial modern memang berisi opsi cadangan.

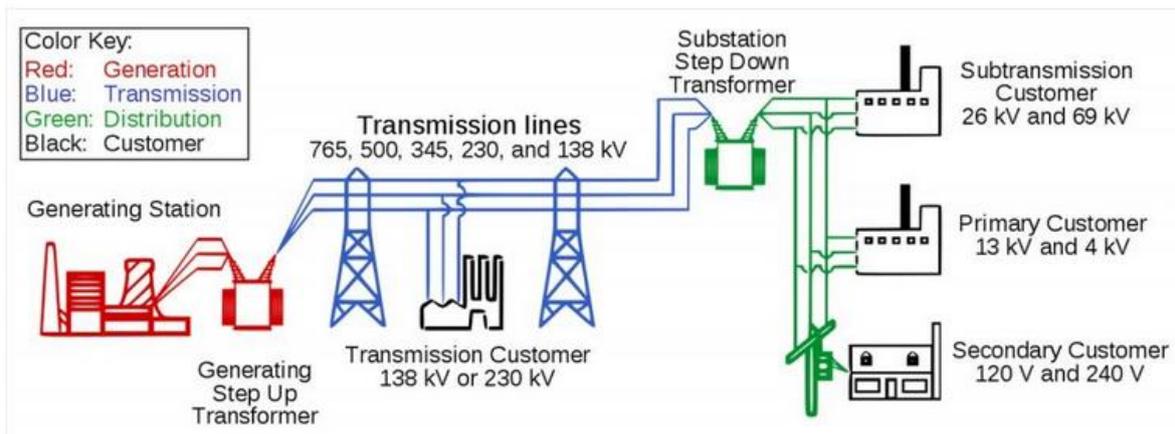


Gambar 11.2. Trafo Distribusi

Ketika kami mengalihkan fokus kami ke bagaimana koneksi radial ini dirancang dalam hubungannya khusus dengan elektrifikasi daerah pedesaan, kami melihat bahwa tegangan distribusi terutama lebih tinggi di daerah pedesaan. Hal ini karena semakin tinggi tegangan, semakin sedikit tiang yang perlu didirikan untuk distribusi listrik. Sebagian besar sambungan distribusi di daerah pedesaan ini terbuat dari baja galvanis. Bentuk baja yang kuat ini memungkinkan untuk disambungkan dalam jarak jauh tanpa memerlukan terlalu banyak tiang distribusi listrik.

11.3. Distribusi Sekunder

Parameter yang mencakup sifat-sifat listrik tidak terbatas pada tegangan dan arus. Dalam hal listrik, ada sifat penting ketiga dari listrik—frekuensi. Ada dua frekuensi utama di mana listrik dihasilkan, baik 50 atau 60 Hz. Listrik ini kemudian disalurkan ke pelanggan domestik sebagai tenaga listrik satu fasa. Dilihat dengan osiloskop, catu daya domestik di Amerika Utara akan terlihat seperti gelombang sinus, berosilasi antara 170 volt dan +170 volt, memberikan tegangan efektif 120 volt RMS.



Gambar 11.3. Sistem Tenaga Listrik

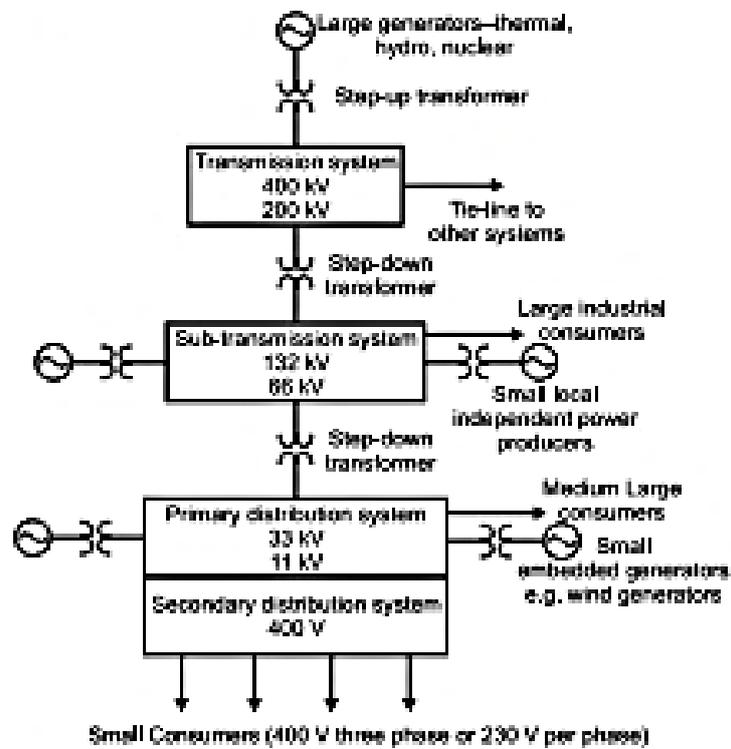
Namun, di beberapa negara Eropa dan India, daya tiga fase lebih efisien dalam hal daya yang disalurkan per kabel yang digunakan dan lebih cocok untuk menjalankan motor listrik besar. Beberapa peralatan besar Eropa mungkin ditenagai oleh daya tiga fase, seperti kompor listrik dan pengering pakaian. Sambungan arde biasanya disediakan untuk sistem pelanggan, serta untuk peralatan yang dimiliki oleh utilitas. Tujuan menghubungkan sistem pelanggan ke tanah adalah untuk membatasi tegangan yang mungkin timbul jika konduktor tegangan tinggi jatuh ke konduktor tegangan rendah, yang biasanya dipasang lebih rendah ke tanah, atau jika terjadi kegagalan dalam trafo distribusi; proses ini juga dikenal sebagai grounding. Dengan ini, youtube kita dapat menyimpulkan bahwa distribusi listrik bukanlah prestasi kecil dan membutuhkan sejumlah besar perhitungan dan rekayasa dengan pemahaman yang tepat tentang wilayah geografis yang ditenagai.

Generator, Transmisi dan distribusi sistem adalah kompoen utama dari Sistem Tenaga Listrik. Pembangkit Tenaga Listrik dan distribusi dihubungkan dengan Saluran Transmisi. Biasanya saluran transmisi mempengaruhi transfer dalam jumlah besar Saluran Tegangan Tinggi diantara pusat – pusat beban. Dalam hal lain, sistem distribusi adalah penanggung jawab utama untuk pengiriman daya ke konsumen dalam artian jaringan tegangan rendah. Daya listrik dibangkitkan dalam range tegangan 11-25 KV yang mana dinaikkan dengan step up transformer menuju tegangan transmisi utama. Pada gardu induk koneksi antara baanyak komponen adalah mudah, sebagai contoh jaringan dan traansformator dan switching dari kompoenen-kompoenen keluar. Tegangan transmisi berada pada level range 66-400KV atau lebih tinggi. Sejumlah daya ditransmisikan dri genenator ke pusat beban dari 220 KV atau lebih tinggi. Di AS pada tegangan 345 KV, 500KV dan 765KV, di Inggris pada 75 KV dan 400KV. Jaringan disusun pada tegangan sangat tinggi terkadang disebut sebagai super grid. grid ini mengoperasikan jaringa transmisi yang beroperasi pada 1132 kv atau kurang, dinegara kam jaringan beroperasi pada 132 Kv, 66 KV, 33KV, 11 KV atau 6,6 KV dan menyuplai konsume pada 400 V, 3 fasa memberikan 230 V perfasa.

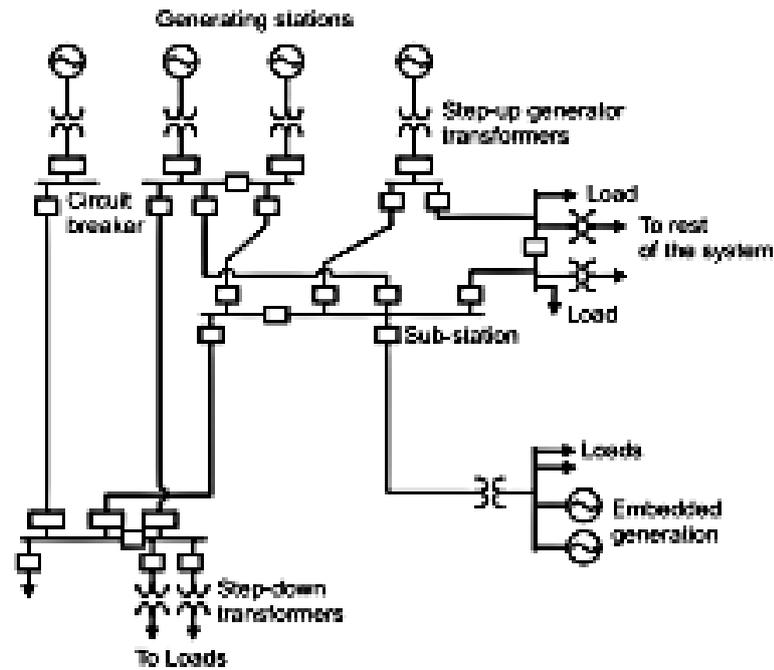
Gambar 11.3. menunjukkan skematik diagram dari jaringan sistem tenaga. Jaringan Sistem Tenaga Listrik dapat dibagi menjadi 2 bagian, yaitu sistem transmisi dan sistem distribusi. Sistem Transmisi dibagi menjadi 2 bagian yaitu primer dan sekunder (Sub Transmisi). Sistem Distribusi juga dibagi menjadi 2 bagian yaitu primer dan sekunder (Sub Distribusi).

Sistem distribusi yang paling banyak dipakai adalah yang mempergunakan sistem radial untuk mengurangi hubung singkat dan koordinasi proteksi yang baik.

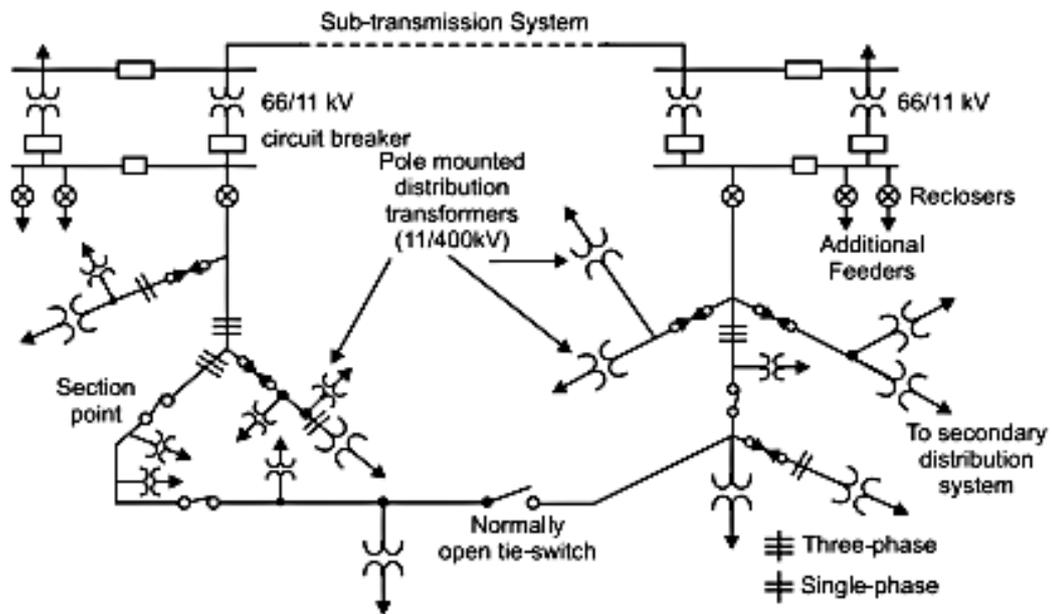
Jaringan distribusi adalah berbeda dengan jaringan transmisi pada bagian magnitud tegangan. Struktur umum atau topologi dari sistem distribusi berbeda dan jumlah cabang dan sumber lebih tinggi. Salah satu tipe siste distribusi menggunakan sistem step down transformer dari tegangan 132 ke 11 KV atau 66 ke 11KV atau 33 ke 11 KV pada suplai poin jumlah saluran dengan variasi panjang mulai 100 m sampai beberapa km.



Gambar 11.4. Sistem Tenaga Listrik Dengan Trafo Daya



Gambar 11.5. Sistem Interkoneksi



Gambar. 11.6. Tipe Sistem Distribusi

11.4. ALASAN UNTUK INTERKONEKSI

Generator dan sistem distribusi dihubungkan langsung oleh saluran transmisi. Transmisi area adalah merupakan area terpecah yang disebut dengan grid. Perbedaan grid merupakan interkoneksi langsung saluran tie dari suatu regional grid. Beberapa regional grid

terkoneksi dari Nasional Grid. Kerjasama dalam pengooperasian grid ini akan mendapatkan keuntungan yang banyak. Selalu ekonomis dan handal. Pembangkit selalu mempunyai kapasitas besar dalam MW memungkinkan untuk beban dasar dan beban menengah. Stasiun Pembangkit ini terinterkoneksi dengan alirannya di dalam sistem secara menyeluruh tetapi tidak dalam perbagian beban. Keuntungan ekonomi interkoneksi berkurang jika tersedia pembangkit di area nya masing masing. Jika terjadi peningkatan beban atau kerugian pada area pembangkitan, memungkinkan untuk dipinjamkan daya dari pembangkit area yang lain. Untuk memenuhi kebutuhan dengan cepat itu diperlukan banyak cadangan pembangkit. Pembangkit yang tersedia akan beroperasi pada kecepatan normal dan siap untuk memberikan suplai tenaga yang dibutuhkan.

Akan lebih baik jika mempergunakan **turbin gas dan** pembangkit tenaga air sebagai cadangan mendadak. Gas turbin akan dapat dioperasikan dalam 3 menit atau kurang Tenaga air dapat dioperasikan dengan lebih cepat. Pengoperasian turbin gas dan turbin air ini sangat ekonomis untuk menyediakan kebutuhan daya yang tinggi dengan tiba tiba. Operasi Interkoneksi dapat memberikan pelayanan daya yang fleksibel untuk melayani emergency load dengan tiba – tiba.

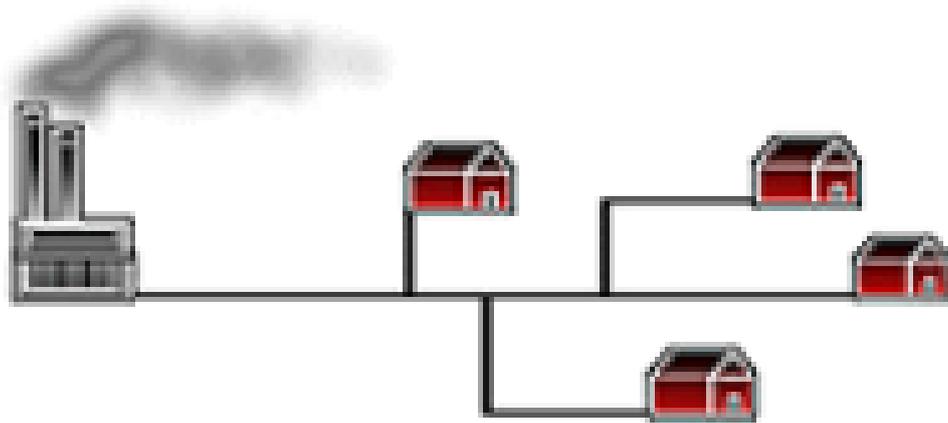
11.5. KARAKTERISTIK BEBAN

Total kebutuhan beban tergantung dari bagaimana populasi dan standard hidup masyarakat. Secara alami karakteristik beban ditunjukkan oleh : Load Faktor, Diversity Factor, Power Factor dan Utilization Factor. Secara umum tipe beban dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu :

- a. **Domestik** : Beban domestik berisi dari lampu, kipas angin, lemari es, AC, mixer, gerinda, pemanas, oven, dan motor motor pompa kecil.
- b. **Komersial** : Beban komersial berisi lampu – lampu untuk toko, perkantoran, periklanan, dll. Kipas angin, pemanas, AC dan beberapa alat elektrikal lainnya yang dipergunakan untuk kepentingan komersial semacam komplek pertokoan, restoran dll.
- c. **Industrial** : Beban industri berisi industri skala kecil, skala menengah, dan skala besar dan industri perhotelan.
- d. **Agricultura** : Beban pertanian ini berisi motor untuk pompa untuk keperluan irigasi, dengan faktor beban sangat kecil antara 0,15 – 0,20.

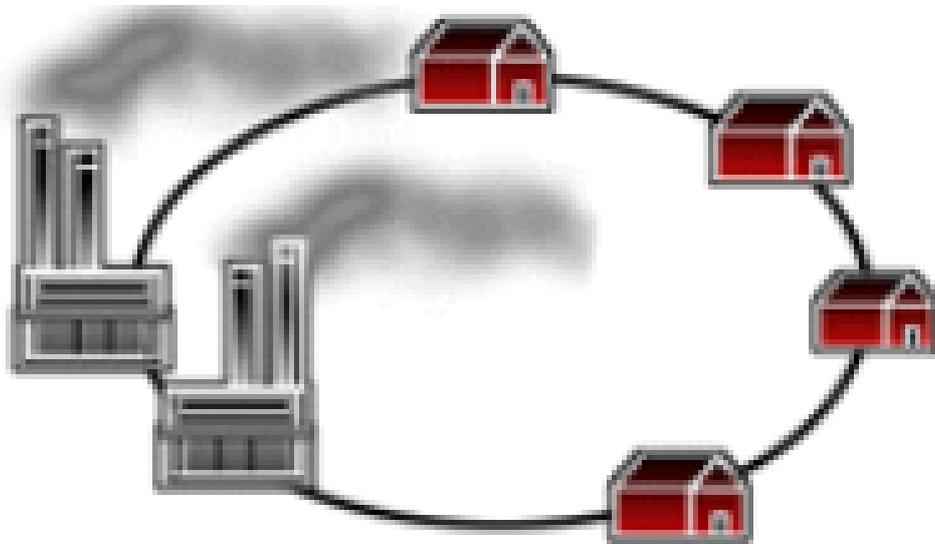
11.6. Ada tiga tipe dasar desain sistem distribusi: Radial, Loop, atau Jaringan.

Grafik Sistem Radial Seperti yang Anda harapkan, Anda dapat menggunakan kombinasi dari ketiga sistem ini, dan ini sering dilakukan. Sistem distribusi Radial adalah yang termurah untuk dibangun, dan banyak digunakan di daerah yang jarang penduduknya. Sistem radial hanya memiliki satu sumber daya untuk sekelompok pelanggan. Kegagalan daya, korsleting, atau saluran listrik yang putus akan mengganggu daya di seluruh saluran yang harus diperbaiki sebelum daya dapat dipulihkan.



Gambar 11.7. Jaringan Distrbusi Sistem Radial

Sistem Loop Grafis Sistem loop, sesuai dengan namanya, berputar melalui area layanan dan kembali ke titik semula. Loop biasanya diikat ke sumber daya alternatif. Dengan menempatkan sakelar di lokasi strategis, utilitas dapat memasok daya ke pelanggan dari kedua arah.

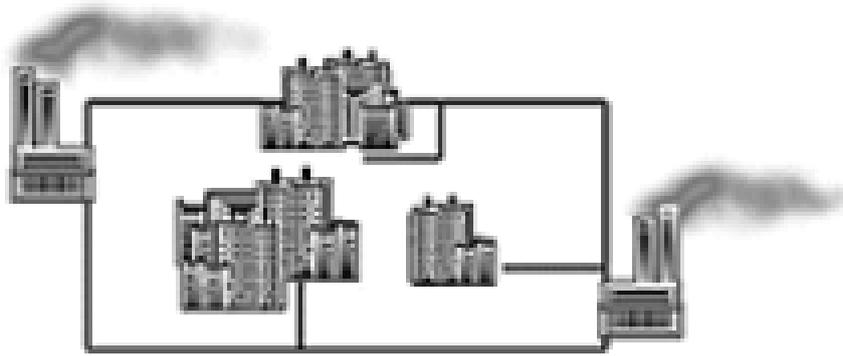


Gambar. 11.8. Jaringan Distribusi Sistem Loop

Jika satu sumber daya gagal, sakelar dilempar (secara otomatis atau manual), dan daya dapat diumpankan ke pelanggan dari sumber lain.

Sistem loop memberikan kontinuitas layanan yang lebih baik daripada sistem radial, dengan hanya interupsi singkat untuk switching. Jika terjadi kegagalan daya karena gangguan pada saluran, utilitas hanya perlu menemukan kesalahan dan beralih di sekitarnya untuk memulihkan layanan. Kesalahan itu sendiri kemudian dapat diperbaiki dengan gangguan pelanggan yang minimal.

Sistem loop lebih mahal daripada radial karena lebih banyak sakelar dan konduktor diperlukan, tetapi keandalan sistem yang ditingkatkan yang dihasilkan seringkali sepadan dengan harganya.



Gambar 11.9. Jaringan Distribusi Interlocking Loop System

Sistem jaringan Interlocking loop system adalah yang paling rumit dan merupakan sistem loop yang saling mengunci. Pelanggan tertentu dapat dipasok dari dua, tiga, empat, atau lebih catu daya yang berbeda. Jelas, keuntungan besar dari sistem semacam itu adalah keandalan tambahan. Namun, itu juga yang paling mahal. Untuk alasan ini biasanya hanya digunakan di daerah perkotaan atau pusat kota yang padat dan padat.

11.7. Permasalahan Sistem Distribusi saat ini

Rasio elektrifikasi yang baru mencapai angka sekitar 50 % untuk mencapai 60 % di tahun 2021/2022, banyaknya permintaan listrik untuk industri dan masyarakat merupakan faktor utama yang menyebabkan tingginya permintaan akan tenaga listrik di masyarakat, dan terakhir ini terjadinya krisis listrik di beberapa daerah Indonesia yang disebabkan oleh beberapa faktor. Hal ini tercermin pada tingginya kenaikan beban listrik, yaitu sekitar 14-16 % pada 5 tahun terakhir, dan diperkirakan untuk 5 tahun yang akan datang dengan pertumbuhan kebutuhan listrik mencapai 7,1 % per tahun. Untuk menghadapi masalah ini, PLN sebagai perusahaan tunggal penyalur tenaga listrik di Indonesia, harus membangun instalasi yang mampu melayani kebutuhan listrik masyarakat. Kendala yang dihadapi dalam mengatasi masalah tersebut terutama adalah Dana dan Sumber Daya Manusia.

Sebagai pemegang kuasa usaha kelistrikan (PKUK), PLN mempunyai tugas utama membangkitkan, menyalurkan, dan mendistribusikan tenaga listrik pada masyarakat. Dalam perjalanannya, perkembangan kondisi kelistrikan Indonesia saat ini hanya mempunyai kemampuan total kapasitas pembangkit sebesar 29.083 MW dengan jaringan interkoneksi hanya terbangun di daerah Jawa – Madura – Bali dan pulau Sumatera dengan jumlah 7 sistem interkoneksi terpasang dan lebih dari 600 sistem yang masih ter-isolate/terpisah di daerah lainnya Indonesia. Dengan pertimbangan aset PLN pada tahun 2006 dengan jumlah pegawai 45.878 dan jumlah kapasitas pelanggan sebanyak 33,1 Juta pelanggan. Akan diikuti dengan pertumbuhan kebutuhan listrik yang diperkirakan mencapai angka 7,1 % per tahun.

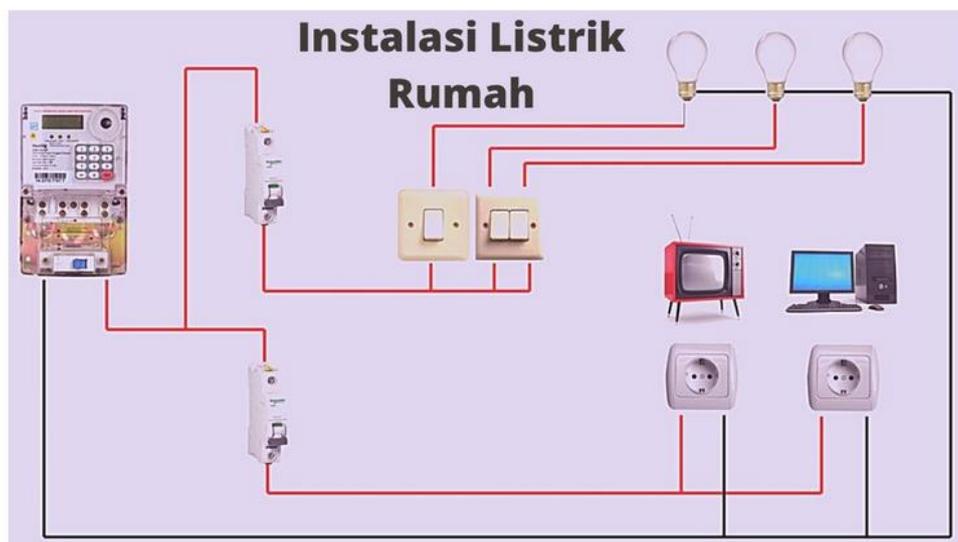
Selain kendala dan tantangan peningkatan instalasi jaringan dan pembangkit di seluruh Indonesia baik menyangkut consensus elektrifikasi di kota maupun pelosok desa, tantangan penyediaan listrik terkait dengan krisis listrik di beberapa daerah Indonesia. Upaya program percepatan yang dicanangkan dalam mengelola energi listrik primer Indonesia, juga jaminan ketersediaan pasokan listrik Indonesia. Program percepatan diversifikasi energi, khususnya batubara untuk pembangkit listrik menjadi alternatif yang sangat rasional dan menjawab kebutuhan dan tantangan energi Indonesia kedepan. Hal ini akan diimplementasikan dengan pembangunan kapasitas pembangkit dengan total kapasitas pembangkit sebesar 10.000 MW pada tahun 2021. Yang tersebar di Jawa – Madura – Bali sebesar 6.900 MW dan di luar Jawa – Madura – Bali sebesar 3.900 MW.

11.8. Tugas

1. Bagaimana cara kerja sistem transmisi yang ada di Indonesia.
2. Bagaimana cara mengatasi trouble pada sisi distribusi
3. Bagaimana pembagian beban pada sistem Jawa Bali, arah aliran dayanya kemana?

Bab 12

Sistem Instalasi



Gambar 12.1. Instalasi Listrik Rumah

Pertama kali ditemukannya listrik oleh ilmuwan bernama Thales. Maka listrik terus mengalami perkembangan yang sangat pesat. Perkembangan listrik ini juga berdampak pada perkembangan ilmu dan pengetahuan. Begitu juga pada bidang Teknologi juga mengalami perkembangan yang begitu padat.

Instalasi listrik ini berkaitan dengan proses pemasangan rangkaian listrik yang berada pada tujuan paling akhir dari penyaluran energi listrik. Pada setiap sektor kehidupan manusia apakah di rumah tangganya, kantor, sekolah, tempat ibadah maupun rumah sakit semua membutuhkan peran serta listrik.

PUIL ini atau yang lebih dikenal dengan Persyaratan Umum Instalasi Listrik dibuat agar supaya seluruh stake holder yang berkaitan dengan energi listrik, baik itu perencana, pelaksana, maupun konsumen harus mematuhi aturan – aturan kelistrikan. Sehingga bahaya yang muncul dapat di minimalisir dengan baik.

12.1. Penyebab Kerusakan / Kecelakaan / Kebakaran Listrik

Ada beberapa macam penyebab kecelakaan listrik. Antara lain:

1. Sistem pekerjaan yang tidak aman

2. Kurangnya pengetahuan atau informasi
3. Tidak adanya pelatihan
4. Isolasi yang tidak memadai
5. Tidak adanya peraturan
6. Alat uji tidak sesuai
7. Kurangnya pemeliharaan alat
8. Human error



Gambar 12.2. Kebakaran Akibat Listrik

12.2. Perawatan Dan Pengujian

Risiko yang terkait dengan penggunaan listrik yang salah dapat mencakup:

- Bahaya yang mengancam jiwa bagi manusia,
- Ancaman kerusakan instalasi listrik dan harta benda,
- Efek berbahaya pada operasi sistem dan masa pakai peralatan.

Jadi tujuan pengujian instalasi listrik terutama untuk memastikan bahwa orang-orang dan barang disimpan dengan aman dan dilindungi jika terjadi kesalahan. Ini juga memfasilitasi pemeliharaan preventif instalasi, mencegah kesalahan serius yang mungkin terjadi mahal (penghentian produksi, dll.). Untuk menjamin keselamatan orang sehubungan dengan instalasi ini dan kelistrikan peralatan yang terhubung dengannya, standar secara alami telah dikembangkan dan diperbarui ed untuk mempertimbangkan perubahan. Standar IEC 60364 dan berbagai nasionalnya setara diterbitkan di setiap negara Eropa, seperti NF C 15-100 di Prancis atau VDE 100 di Jerman, tentukan persyaratan mengenai instalasi listrik di gedung-gedung. Bab 6 dari standar ini menjelaskan persyaratan untuk pengujian kepatuhan suatu instalasi.

Efektivitas langkah-langkah keamanan yang diterapkan hanya dapat dijamin jika: tes reguler membuktikan bahwa mereka beroperasi dengan benar. Inilah sebabnya mengapa standar tidak mencakup hanya verifikasi awal ketika instalasi ditugaskan, tetapi juga berkala pengujian yang frekuensinya tergantung pada jenis instalasi dan peralatan, penggunaannya; dan perundang-undangan di negara yang bersangkutan. Selain itu, tes harus dilakukan dengan instrumen pengukuran yang sesuai dengan standar Eropa IEC 61-557 memastikan keamanan pengguna dan pengukuran yang andal

Pengujian kelistrikan dibagi menjadi 2 bagian:

1. Inspeksi visual untuk menjamin bahwa pemasangan sesuai dengan keselamatan persyaratan (adanya elektroda pembumian, perangkat pelindung, dll.) dan tidak menunjukkan bukti kerusakan yang terlihat.
2. Pengukuran

Ada 4 pengukuran utama yang diperlukan:

1. Bumi
2. Isolasi
3. Kontinuitas
4. Pengujian perangkat pelindung

1. Bumi

Untuk menjamin keselamatan pada instalasi listrik perumahan atau industri, harus ada: sebuah elektroda bumi. Jika tidak ada elektroda pembumian, dapat membahayakan nyawa orang dan merusak listrik instalasi dan properti. Ketika area yang cukup besar tersedia untuk memasang pasak, Anda harus mengukur bumi dengan metode 3-kutub tradisional, juga dikenal sebagai metode 62%. Namun, ketika metode 62% tidak dapat diterapkan, metode lain dapat digunakan. Ada banyak metode untuk mengukur bumi, beberapa lebih cocok daripada yang lain, tergantung pada sistem netral, jenis instalasi (perumahan, industri, perkotaan, pedesaan, dll.), kemungkinan pemutusan aliran listrik, area yang tersedia untuk menanam pancang, dll

2. Isolasi.

Insulasi yang baik sangat penting untuk mencegah sengatan listrik. Pengukuran ini biasanya dilakukan antara konduktor aktif dan bumi, melibatkan menyuntikkan tegangan DC, mengukur arus dan dengan demikian menentukan nilai resistansi isolasi. Daya harus dimatikan dan instalasi harus diputuskan sebelum melakukan pengujian ini untuk memastikan bahwa tegangan uji tidak akan diterapkan ke peralatan lain terhubung secara elektrik ke sirkuit yang akan diuji, terutama perangkat yang sensitif terhadap lonjakan tegangan.

Menurut standar IEC 60364, nilai resistansi isolasi minimum harus sebagai berikut

Rated voltage of circuit V	DC test voltage V	Insulation resistance M
LV secondary switchboard or LV main switchboard	250	≥ 0.5
Less than or equal to 500 V including LV main switchboard	500	≥ 1.0
Greater than 500 V	1,000	≥ 1.0

Gambar 12.3

3. Kontinuitas.

Tujuan pengukuran kontinuitas adalah untuk memeriksa kontinuitas pelindung konduktor dan ikatan ekuipotensial utama dan pelengkap. Tes dilakukan keluar menggunakan alat ukur yang mampu menghasilkan tegangan tanpa beban sebesar 4 to 24 V (DC atau AC) dengan arus minimal 200 mA. Resistansi yang diukur harus lebih rendah dari ambang batas yang ditentukan oleh standar berlaku untuk instalasi yang diuji, yang biasanya 2 . Karena nilai hambatannya adalah rendah, resistansi lead pengukuran harus dikompensasi, terutama jika lead yang sangat panjang digunakan

4. Pengujian Perangkat Pelindung

4.1. Sekering / Pemutus arus

Untuk memeriksa spesifikasi perangkat pelindung seperti sekering atau sirkuit- pemutus, pengukuran impedansi loop kesalahan dilakukan untuk menghitung korelasi merespon arus hubung singkat. Inspeksi visual kemudian dapat digunakan untuk memeriksa bahwa ukurannya benar.

- Perangkat arus sisa (RCD) RCD, yang mendeteksi arus bocor pembumian, dapat diuji menggunakan dua metode:
- Tes dasar, juga disebut tes pulsa, yang menentukan waktu perjalanan (dalam mil- lidetik)
- Uji langkah, yang menentukan waktu perjalanan dan arus perjalanan, sehingga mendeteksi setiap penuaan RCD

Sebelum Instalasi dengan suplay hendaknya memeriksa beberapa hal di bawah ini:

1. Penghantar proteksi
2. Penghantar pengikat
3. Resistansi isolator
4. Proteksi dengan pemisahan
5. Proteksi dengan penghalang
6. Resistansi isolasi lantai dan dinding
7. Polaritas
8. Resistansi elektrode bumi



Gambar 12.4. Pengecekan Instalasi Listrik

12.3. Perbaikan

Upaya perbaikan terhadap kerusakan instalasi listrik perlu dilakukan, tahapan pertama dalam perbaikan instalasi listrik adalah melakukan pemutusan sambungan listrik dahulu. Hal ini dilakukan dengan melakukan pemutusan sekering atau meng off kan MCB.

Langkah langkah yang harus dikerjakan adalah sebagai berikut :

- (1) Urutan langkah dalam melakukan pemutusan hubungan sebagai berikut :
 - a. Membuka tutup sekering,
 - b. Melepas Sakelar pemutus daya.
 - c. Melepaskan sambungan Sambungan kawat.
 - d. Sekrup terminal dibuka, untuk mengetahui kondisi terminal, apakah ada yang berkarat atau koneksinya jelek.
 - e. Terminal dibersihkan dengan cara dilepas dahulu dengan kabel penghantar lalu meng amplasnya.
 - f. Jika diperlukan terminal sebelum dilepas di foto atau diberi tanda terlebih dahulu..
- (2) Kabel-kabel yang tidak nampak mata, semisal diatas plafon atau di dalam dinding, jika mengalami gangguan dapat dilakukan penggantian.
- (3) Pengecekan Tahanan isolasi antar fasa, fasa dan nol, maupun fasa dengan grounding. Pengecekan 0 dan grunding perlu dilakukan. Pengecekannya menggunakna merger test jika hasil pengukuran merger test dibawah 1000 Ohm per volt, maka diperkirakan ada kerusakan kabel dan harus dilakukan penggantian.



Gambar 12.4. Pengecekan Resistansi Instalasi Listrik

12.4. Standart Operating Procedure (SOP)

Setiap pelaksanaan pekerjaan harus menggunakan petunjuk operasional dan prosedur. Petunjuk pengoperasian dan prosedur ini lebih dikenal dengan sebutan SOP (Standart Operating Procedure).

12.5. Macam-Macam Sistem Instalasi

Untuk melayani kebutuhan pengguna listrik, maka harus diketahui perbedaan macam macam instalasi. antara lain:(Pembinaan et al., n.d.)

- a. Instalasi jaringan listrik
- b. Instalasi jaringan air

- c. Instalasi jaringan gas
- d. Instalasi jaringan telepon
- e. Instalasi jaringan TV

Penjelasan sistem instalasi diatas adalah jika pemasangan atau instalasi listrik saat ini terdapat 2 sistem, yaitu sistem terbuka diatas tanah dan sistem tertutup di dalam tanah. Untuk sistem tertutup dibawah tanah, diperlukan kualitas kabel yang baik. Sehingga kabel atas tanah dengan kabel dibawah tanah memiliki perbedaan spek. Kabel diatas tanah tidak mempunyai pelindung yang cukup kuat, jika dibandingkan dengan kabel dibawah tanah.

Adapun prinsip dalam instalasi harus diperhatikan hal hal dibawah ini :

- a. Safety artinya tidak mengganggu aktifitas kehidupan makhluk hidup dengan dapat terjaga dari bahaya.
- b. Handal artinya pada peraturan instalasi ketika terjadi gangguan dapat mudah diatasi.
- c. Availability artinya kondisi instalasi dalam keadaan siap kapanpun akan digunakan.
- d. Keindahan artinya selain handal dan memiliki availability yang baik instalasi juga harus nyaman dilihat oleh pandangan jangan sampai instalasinya acak acakan.
- e. Dan yang terakhir instalasi listrik harus ekonomis artinya tidak memakan biaya yang cukup mahal.

Bedasarkan pemakaian tenaga listrik dan tegangannya terdapat pembagian sebagaimana dibawah ini :

1. Macam arus listrik yang disalurkan;

a. Instalasi arus searah

Instalasi arus searah ini akan bekerja pada tegangan 110V, 220V, atau 440V. Penggunaan tegangan tersebut adalah sebagai sarana transportasi yaitu kereta rel listrik



Gambar 12.5. Kereta Api Listrik.

b. Instalasi arus bolak balik

Instalasi arus bolak balik ini dapat bekerja pada tegangan rendah, menengah, tinggi dan ekstra tinggi.

Di Indonesia pada umumnya menggunakan tegangan

Rendah = 220/380

Menengah = 70 kV

Tinggi = 150 kV

Ekstra Tinggi = 500 kV.

2. Menurut pemakaian tenaga listrik.

a. Instalasi penerangan / instalasi cahaya

PT.PLN menggunakan arus bolak balik 127 Volt dan mulai tahun 1980 dengan sistem 220 Volt.



Gambar 12.6. Instalasi Penerangan Jalan Umum.

b. Instalasi tenaga.

Instalasi tenaga ini dapat menggunakan tegangan Y atau delta. Dengan besaran tegangan 110 V dan 220 V, untuk sistem tegangan yang besar dapat menggunakan tegangan menengah.

3. Instalasi listrik khusus

Dipergunakan pemakaian alat – alat atau pada induksi induksi yang memerlukan tenaga listrik untuk keperluan saluran seperti:

- Instalasi listrik pada kereta api, mobil, kapal, pesawat.
- Instalasi listrik pada pemancar radio
- Instalasi listrik pada industry

12.6. Perangkat dan Komponen Dalam Sistem Instalasi

Instalasi listrik yang tepat sangat penting. Itu membuat ruang apa pun cukup terang dan fungsional. Setiap pekerjaan listrik berbeda satu sama lain. Penting untuk hanya memercayai para ahli untuk layanan semacam itu. Ini karena bekerja dengan tegangan tinggi bisa berbahaya.

Banyak protokol keselamatan harus diikuti. Mari kita lihat tiga jenis utama layanan listrik Hampshire:

Seperti namanya, pekerjaan listrik perumahan melayani rumah. Ruang domestik Anda hanya layak mendapatkan layanan listrik terbaik. Peralatan seperti microwave dan televisi membutuhkan listrik. Selanjutnya, lampu dan sistem pendingin juga bekerja pada listrik. Seorang ahli listrik berpengalaman memastikan untuk memasang kabel yang tepat. Dia menghubungkannya ke sumber listrik dan membuat rumah Anda berfungsi.

Pekerjaan komersial relatif lebih rumit. Mereka umumnya proyek yang lebih luas. Layanan listrik Komersial mencakup banyak struktur seperti:

- Shopping malls
- Industrial factories
- Office buildings
- Corporations

Instalasi semacam itu membutuhkan insinyur yang berpengalaman. Beberapa tindakan pencegahan harus diambil. Harus dipastikan bahwa pemutus arus tidak menghadapi kelebihan beban. Ruang komersial memiliki sejumlah besar lampu dan sistem HVAC. Oleh karena itu, perlu perhatian ahli.

12.7. Macam – Macam Alat untuk Instalasi

1. Tang kombinasi

Tang kombinasi berfungsi untuk menjepit, memotong, menarik, mengupas, dan lain sebagainya



Gambar 12.7. Tang Kombinasi

2. Obeng

Obeng berfungsi untuk melepas dan mengencangkan sekrup.

Obeng dibagi menjadi dua macam:

1. Obeng Kembang(+) dengan berbagai ukuran:

- 0-60mm
- 1-80mm
- 2-100mm
- 3-150mm
- 4-200mm



Gambar 12.8 Obeng

Obeng Pipih(-) dengan berbagai ukuran

- 2,5x60mm
- 3x80mm
- 5x100mm
- 5x160mm
- 5x200mm



Gambar 12.9. Obeng Mines

3. Tes Pent

Tes Pent merupakan Obeng pipih(-) yang dilengkapi dengan lampu neon yang berfungsi untuk mengetahui ada atau tidaknya tegangan dalam suatu rangkaian dan juga dapat berfungsi untuk melepas atau mengencangkan sekrup.



Gambar 12.10. Tespen

4. Solder

Solder berfungsi untuk menghubungkan komponen dengan komponen lainnya atau dengan jalur rangkaian



Gambar 12.11. Solder

5. Timah

Timah berfungsi sebagai kompongn pendukung dalam menyolder



Gambar 12.11. Timah

6. AVO meter

AVO meter adalah alat ukur yang berfungsi untuk mengukur:

1. Tegangan DC/AC
2. Arus DC/AC
3. Hambatan



Gambar 12.13. Multi Tester

7. Palu

1. Palu Besi : digunakan untuk memukul bendad yang keras



Gambar 12.14. Palu

2. Palu Plastik: digunakan untuk memukul benda yang mudah pecah atau berubah bentuk



Gambar 12.15. Palu Plastik

8. Gergaji

Gergaji berfungsi untuk memotong benda, contoh : untuk memotong pipa pvc



Gambar 12.16. Gergaji

9. Bor listrik

Bor listrik berfungsi untuk membuat lubang pada kayu atau logam



Gambar 12.17. Bor Listrik

Bahan Instalasi Listrik

1. Pipa pvc
Pipa pvc sering digunakan dalam instalasi listrik karena bersifat tahan lama dan tidak gampang rusak
2. Fitting lampu
Fitting lampu berfungsi untuk menghubungkan lampu dengan kabel secara aman
3. Lampu
Lampu berfungsi sebagai penerangan
4. Kabel
Kabel berfungsi untuk menghubungkan komponen satu dengan komponen lainnya, kabel memiliki beberapa jenis seperti NYM, NYA, NYY ,dan sebagainya
5. Stop kontak
Stop kontak berfungsi sebagai tempat untuk menghubungkan alat listrik
6. Saklar
Saklar berfungsi untuk mengontrol hidup atau matinya suatu peralatan listrik
7. MCB
MCB berfungsi untuk pengeaman beban yang berlebih atau arus yang berlebih dalam suatu jaringan listrik

Cara Melakukan Instalasi Listrik Rumah

Hal-hal yang perlu di perhatikan sebelum melakukan instalasi listrik

1. Mengetahui Luas Objek
2. Mengetahui berapa banyak objek yang akan dilakukan instalasi
3. Mengetahui berapa besar daya yang digunakan
4. Mempersiapkan alat dan bahan yang tepat
5. Mengetahui karakter daerah yang akan dilakukan instalasi
6. Memiliki strategi untuk instalasi agar efektif dalam pengerjaan
7. Pastikan sudah melakukan perhitungan daya pada setiap objek

Cara Instalasi

1. Gunakan alat pelindung diri untuk mengantisipasi terjadinya kecelakaan kerja
2. Letakkan alat dan bahan ditempat yang seharusnya

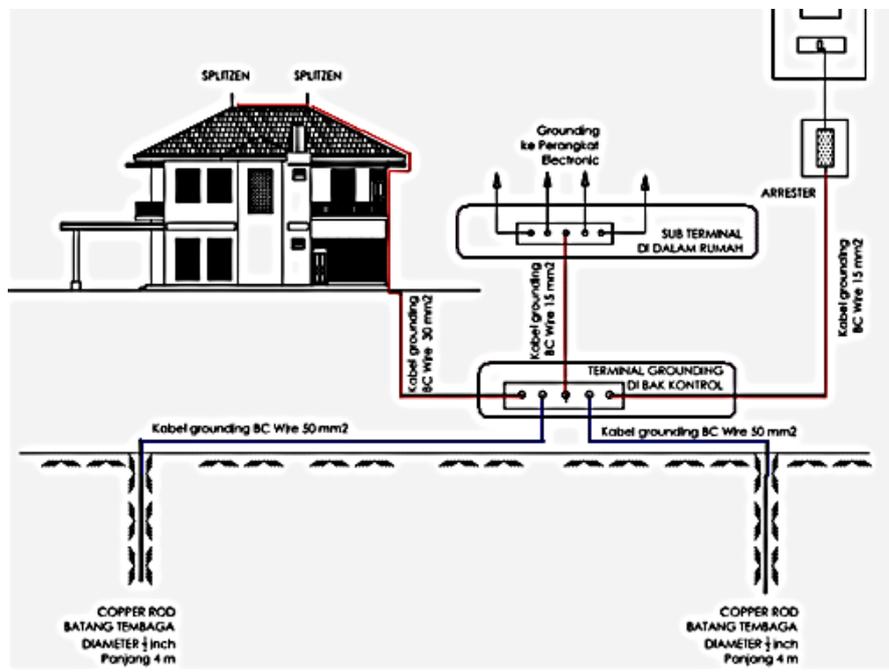
3. Desain jalur listrik sebelum melakukan instalasi
4. Pasang MCB sebagai saklar utama sekaligus pengaman rangkaian
5. Pasang pipa untuk jalur kabel
6. Pasang kabel jalur utama
7. Sambungkan komponen satu dengan komponen lainnya menggunakan kabel yang telah disiapkan seperti menyambung saklar, stop kontak, lampu, dan lain sebagainya
8. Lakukan uji coba hasil instalasi dengan mengaktifkan MCB

12.8. Tugas

1. Bagaimanakah cara mengatasi short circuit pada panel MDP?
2. Apakah fungsi arester
3. Apakah fungsi dari MCB dan bagaimanakah cara kerjanya?

Bab 13

Sistem Penangkal Petir



Gambar 13.1. Design Penangkal Petir

Petir yang seperti yang kita ketahui adalah salah satu fenomena alam yang terjadinya loncatan atau pelepasan muatan listrik akibat terjadinya adanya beda potensial antara awan dan bumi. Dengan situasi negara kita termasuk daerah katulistiwa dengan iklim tropis dan kelembapan yang tinggi yang potensi terjadi nya fenomena alam yaitu sambaran petir sering terjadi.(Suhartanto & Syakur, n.d.)

Maka dari itu agar supaya bangunan menjadi aman dari petir, maka munculah inovasi grounding system untuk sistem pengaman. Grounding merupakan salah satu sistem sambungan hantaran ke bumi pada semua jalur instalasi listrik. Pentanahan dapat juga di sebut pembumian aliran listrik. Seperti yang kita ketahui pada saat grounding pentanahan berkaitan dengan pembuangan aliran listrik.

Dengan sistem pentanahan tenaga listrik ini, diharapkan gedung atau bangunan tinggi akan mempunyai tegangan yang merata. Karena supaya tidak membayakan orang yang berada di sekitar tempat dimana ada grounding system (Petir, 2019).

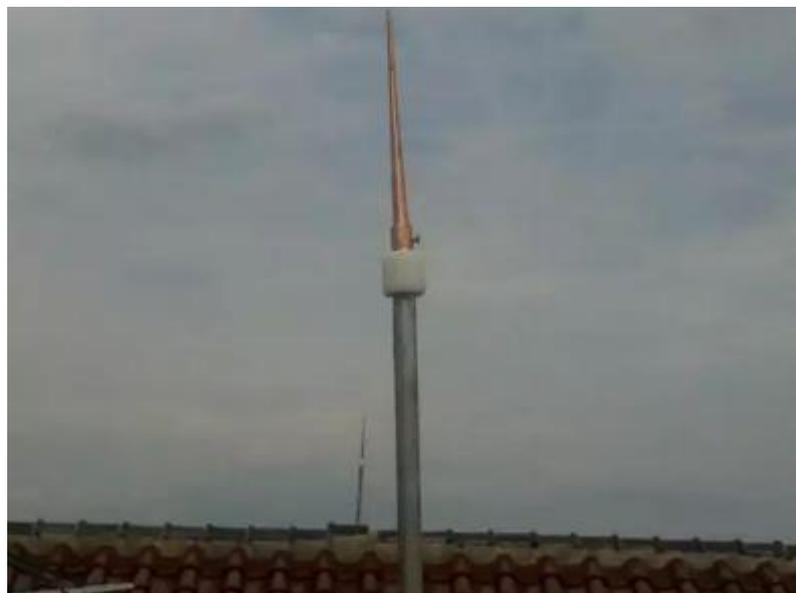
Kehidupan saat ini sangat mengandalkan listrik sebagai kebutuhan pokok bagi manusia. Pada kelistrikan terdapat sistem tenaga listrik yakni sekumpulan pusat listrik dengan beban yang satu sama lainnya dihubungkan oleh jaringan serta distribusi, sehingga menjadi sebuah kesatuan interkoneksi.

Penggunaan listrik di Indonesia pun tidak sedikit, hampir semua manusia membutuhkan bantuan listrik dalam kehidupan sehari-hari. Namun, disaat hujan turun dengan disertai petir maka disitulah terkadang suatu keadaan menjadi terganggu. Karena petir bisa saja mengakibatkan peralatan listrik dan elektronik rumah tangga rusak. Penyebab permasalahan tersebut yaitu ada gelombang yang menghantar amplitudo transien arus dan tegangan tinggi dari petir.

13.1. Sistem Penangkal Petir

Sistem proteksi petir menyediakan jalur aman untuk energi dari sambaran petir untuk menemukan jalannya ke bumi, mendorong baut untuk melewati komponen bangunan yang mungkin rusak. Jadi tugasnya adalah menyediakan jalur bagi sambaran petir untuk mencapai tanah (bukan mencapai tanah melalui bangunan atau komponennya), dan untuk menghindari kerusakan bangunan karena arus listrik petir mengalir melalui komponen sistem proteksi. .

Dengan kata lain, penangkal petir dan komponennya tidak mencegah sambaran petir, melainkan memberikan jalur yang lebih aman ke bumi daripada yang akan terjadi jika energi melewati komponen bangunan saat turun. Penangkal petir merupakan sebuah perangkat yang terdiri dari serangkaian yang difungsikan sebagai media mengalirkan arus listrik petir menuju ke permukaan bumi tanpa merusak benda apapun yang dilewati oleh petir tersebut.



Gambar 13.2. Alat Penangkal Petir

Karena ketika petir menyambar permukaan bumi, akibat yang dapat terjadi tidak bisa diremehkan. Bisa menyebabkan kebakaran atau hal-hal yang tidak diinginkan. (Yahya Tarjan Ginting, 2021)

13.2. Sistem Pentanahan Tenaga Listrik

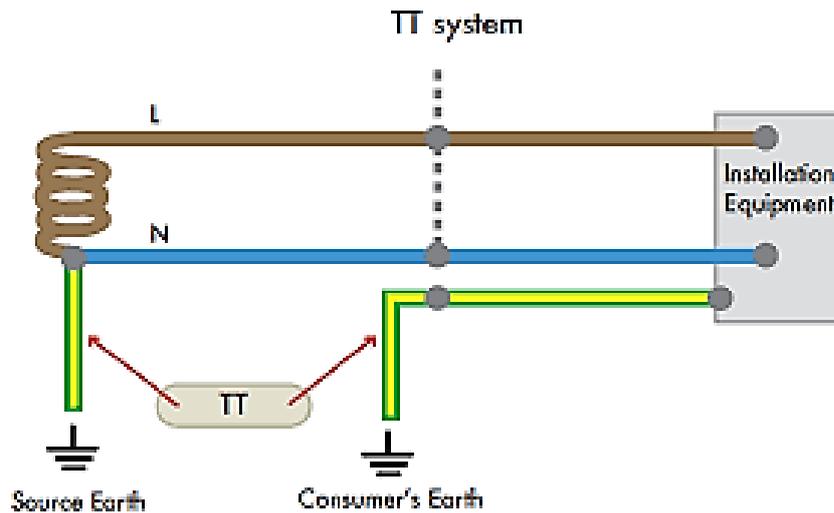
Sistem pentanahan adalah sistem di mana setidaknya satu konduktor atau titik (biasanya titik netral dari belitan transformator) dengan sengaja diarde, baik secara kokoh atau melalui perangkat pembatas arus. Untuk mengevaluasi keuntungan yang diperoleh dengan sistem grounding, pertama-tama pertimbangkan karakteristik sistem yang tidak di-ground.

Sistem yang tidak di-ground didefinisikan sebagai sistem tanpa koneksi yang disengaja ke ground, kecuali mungkin melalui indikasi potensial atau alat pengukur. Netral dari sistem yang tidak ditanahkan pada kondisi beban yang cukup seimbang biasanya dekat dengan potensial tanah. Namun, dalam sistem praktis apa pun selalu ada kopling kapasitif antara konduktor dan pembumian, bahkan yang disebut "sistem tidak ditanahkan" biasanya merupakan sistem pembumian kapasitif.

Namun, pengujian telah menunjukkan bahwa sistem yang tidak diarde tunduk pada tegangan lebih transien yang dapat disebabkan oleh pensaklaran normal, pensaklaran sirkit yang berisi pembumian, atau pemogokan berulang dari gangguan saluran lengkung ke pembumian. Tegangan tertinggi diperoleh ketika busur terlibat dalam gangguan sirkit. Tegangan lebih ini mungkin memiliki besaran hingga enam kali tegangan normal line-to-ground. Insulasi saluran-ke-tanah pada semua peralatan yang terhubung ke sistem juga mengalami tegangan lebih ini, yang dapat melemahkannya sehingga pada akhirnya akan gagal. Tidak jarang mengalami beberapa kegagalan peralatan seketika pada bagian yang berbeda dari sistem yang tidak di-ground-kan ketika kondisi ini terjadi. Karena praktik isolasi standar, kondisi ini lebih mungkin terjadi pada tegangan sistem 2.400 volt ke atas.

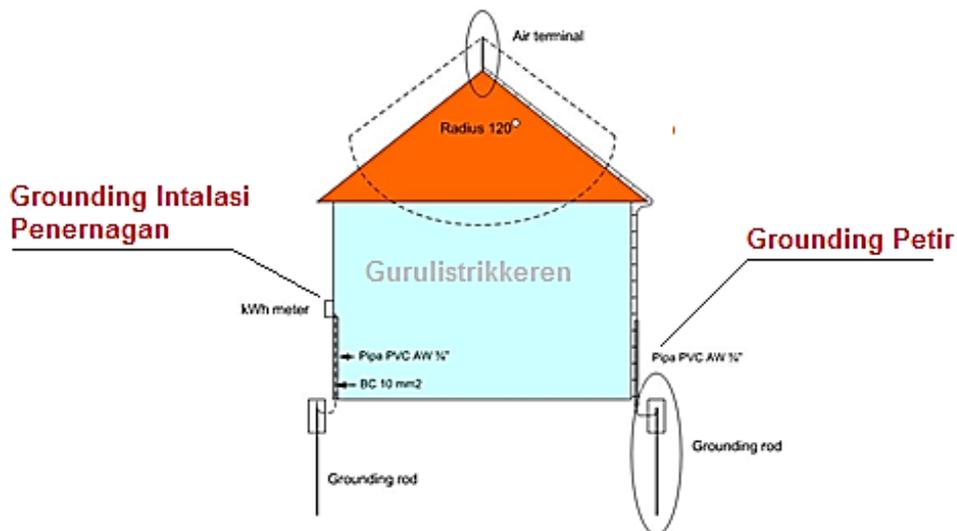
Satu keuntungan penting (dalam beberapa aplikasi) dengan sistem yang tidak ditanahkan adalah bahwa arus gangguan fase-ke-tanah dapat diabaikan dan tidak mengakibatkan gangguan beban. Namun, jika tidak ada yang dilakukan untuk menghapus kesalahan, ada bahaya keamanan. Sementara itu, jika terjadi gangguan pada fasa lain pada penyulang mana pun dalam sistem, arus line-to-line yang relatif tinggi dapat mengalir, yang akan mengakibatkan kerusakan peralatan dan trip salah satu atau kedua penyulang (karena akan terjadi gangguan fasa- gangguan fase ke dalam kondisi ini). Prosedur pengoperasian yang direkomendasikan untuk sistem yang tidak ditanahkan adalah memasang beberapa jenis indikator gangguan tanah menggunakan lampu dan/atau alarm yang dapat didengar ketika terjadi gangguan fase-ke-tanah. Ketika salah satu berkembang, pemeriksaan segera harus dilakukan untuk menemukan dan memperbaiki kondisi kesalahan. Menemukan kesalahan bisa sulit karena perlu untuk memutuskan semua beban, satu per satu, sampai kesalahan ditemukan.

Namun, pentanahan resistansi tinggi dapat disuplai sehingga arus pentanahan tidak lebih tinggi dari arus pengisian kapasitif, dan relai urutan nol dapat diterapkan untuk menunjukkan lokasi gangguan. Ini adalah salah satu dari beberapa skema yang tersedia untuk secara sistematis dan segera menemukan kesalahan tanah tanpa mengganggu produksi. Konsep ini diinginkan ketika shutdown sistem tidak dapat ditoleransi. Pembumian atau pentanahan (sistem pentanahan) merupakan sebuah sistem pengamanan terhadap gangguan yang sering terjadi pada peralatan listrik atau jaringan terhadap petir yang berupa gangguan singkat ke tanah. Serta biasanya digunakan untuk mengamankan manusia dari sengatan listrik dan juga mengamankan komponen-komponenn instalasi dari bahaya listrik. (Jamaluddin, 2017)



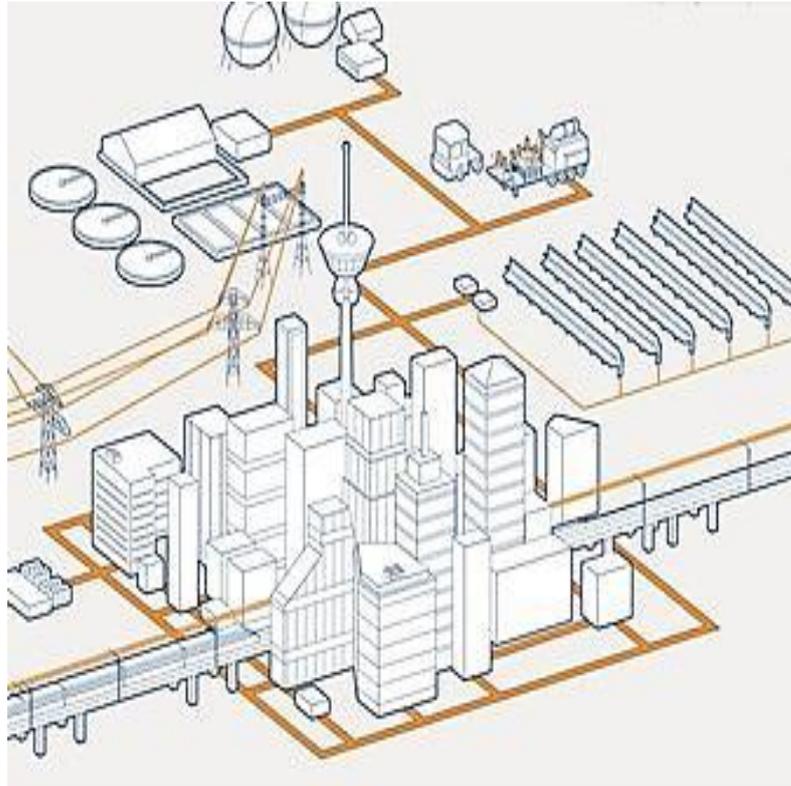
Gambar 13.3. Sistem Pentanahan

13.3. Hubungan Sistem Penangkal Petir Dengan Sistem Pentanahan Tenaga Listrik



Gambar 13.4. Pemasangan Penangkal Petir Dengan Grounding (Sistem Pentanahan)

Grounding dan penangkal petir merupakan suatu bagian pengaman yang saling terinterkoneksi, saling membutuhkan satu sama lain. Hal ini dikarenakan pentanahan adalah suatu upaya melakukan penyaluran energi petir yang ditangkap oleh spliten ke dalam tanah. Jika proses pentanahan ini tidak dilakukan maka sambarana petir akan mengenai peralatan yang ada pada gedung. Alat akan terbakar.



Gambar 13.5. Instalasi Penangkal Petir Pada Gedung Bertingkat

Sambaran petir jika terkena peralatan maupun terkena manusia akan menimbulkan dampak dampak yang membahayakan. Antara lain sebagai berikut:

1. **Sambaran Petir langsung**, Sambaran petir jika terena pada peralatan atau manusia maka akan mengakibatkan hal yang membahayakan. Jika terkena manusia, maka sambaran petir akan menyebabkan berhentinya detak jantung. Dan jika terkena peralatan, maka pada peralatan akan kemasukan arus lonjak yang besar, dan dapat menyebabkan perataan terbakar.
2. **Sambaran petir tidak langsung**, Sambaran petir tiak langsung ini dmaksudkan bahwa peralatan atau manusia tidak langung terkena imbas sambaran petir tersebut namun terkena imbas atau induksi yang muncul. Dampak yang dirasakan tidak begitu berbahaya, namun akan tetap terasa. Jika pada peralatan tidak banyak aliran nduksi yang muncul, maka perataan tidak akan mengalami kendala yang besar, jika tidak maka peralatan pun akan dapat terbakar.

13.4. Penangkal Petir

Petir merupakan fenomena alam yang tidak boleh di remehkan begitu saja karena seperti yang kita ketahui petir merupakan sebuah fenomena alam yang biasa muncul pada saat musim hujan langit atau awan memunculkan kilatan cahaya sesat yang menyilaukan. Suatu hal yang menyilaukan disebut petir yang didalam nya mengandung aliran listrik yang sangat dasyat yang memiliki tegangan beribu ribu Kwh. Dan rata rata benda benda yang kemngkinan tersambar petir suatu hal yang tinggi di permukaan tanah seperti pohon, Gedung Gedung tinggi dll. Maka dari itu dengan perkembangan zaman yang lebih maju di setiap zaman terciptalah inovasi inovasi baru. Dan salah satu inovasi

terbaru dan sampai sekarang diaplikasikan ke masyarakat untuk mengatasi petir adalah penangkal petir.

13.5. Kelengkapan Sistem Penangkal Petir

Penangkal petir merupakan sebuah perangkat yang terdiri dari serangkaian yang difungsikan sebagai media mengalirkan arus listrik petir menuju ke permukaan bumi tanpa merusak benda apapun yang dilewati oleh petir tersebut. (widilestariningtyas, 2006).

Era informasi saat ini, jaringan komputer dan peralatan komunikasi semakin canggih, lingkungan kerjanya menjadi semakin menuntut, dan guntur dan kilat serta tegangan lebih seketika dari peralatan listrik besar akan semakin sering terjadi oleh catu daya, antena, a sinyal radio untuk mengirim dan menerima jalur peralatan ke peralatan listrik dalam ruangan dan peralatan jaringan, peralatan atau komponen kerusakan, korban, transfer atau penyimpanan data gangguan atau hilang, atau bahkan membuat peralatan elektronik untuk menghasilkan kesalahan operasi atau jeda, kelumpuhan sementara, transmisi data sistem interupsi, LAN dan wan. Kerugiannya mencolok, kerugian tidak langsung lebih dari kerugian ekonomi langsung pada umumnya. Peralatan penangkal petir adalah melalui kelistrikan modern dan teknologi lainnya untuk mencegah peralatan tersebut tersambar petir.

Karena ketika petir menyambar permukaan bumi, akibat yang dapat terjadi tidak bisa diremehkan. Bisa menyebabkan kebakaran atau hal-hal yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, untuk mencegah hal tersebut terjadi perlu dilakukan pemasangan penangkal petir baik dikedung-gedung tinggi ataupun dirumah-rumah agar meminimalisir resiko tersambar maupun terbakar.



Gambar 13.6. Alat Penangkal Petir



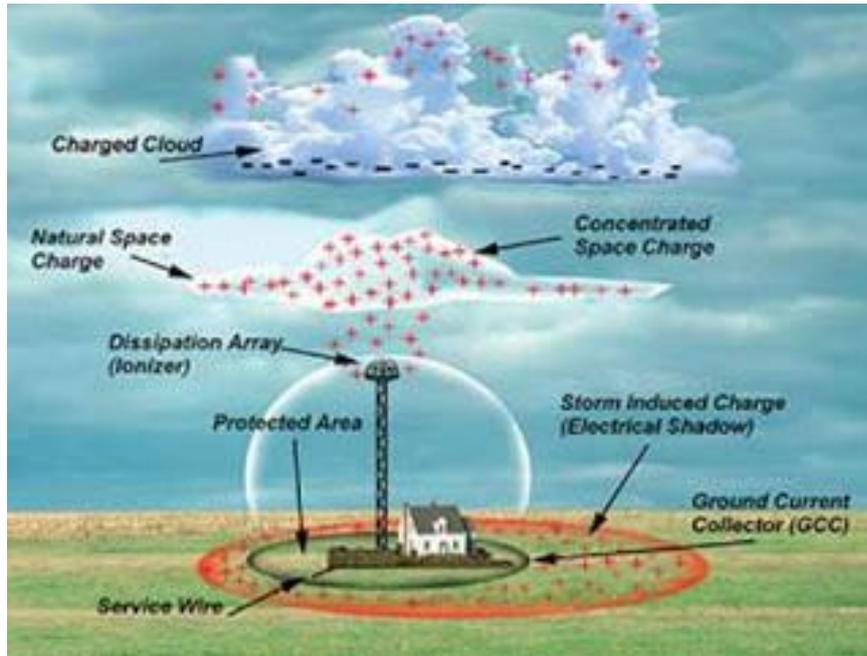
Gambar 13.7. Sistem Penangkal Petir

Sistem penangkal petir ini dapat berupa tongkat pejal lancip menghadap keatas dapat terbuat dari logam atau plat tembaga. 3 bagian penangkal petir, yakni:

1. Kepala atau ujung paling atas (bentuknya mirip tombak),
2. Down Conductor,
3. *Grounding* atau pembedahan.

Prinsip kerja penangkal petir

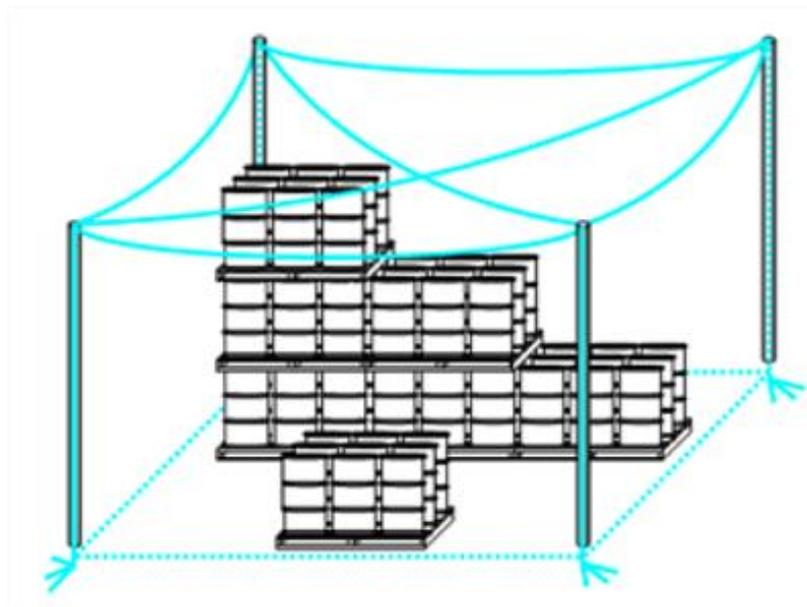
Petir merupakan listrik. Sehingga sambaran petir yang terjadi seperti sambaran listrik. Mekanisme terbentuknya sambaran petir ini dikarenakan terdapat muatan listrik yaitu bermuatan negatif pada awan dan pada tanah terjadi muatan positif, sehingga antara awan dan tanah akan saling beratrakan antara ion positif dan negatif. Sehingga dengan enangkal petir maka ion positif yang berasal dari tanah akan disalurkan ke spliten yang akhirnya mutan negatif pada awan akan menyambar spliten tersebut (Yahya Tarjan Ginting, 2021)



Gambar 13.8. Prinsip Kerja Penangkal Petir

13.6. Macam – Macam Penangkal Petir

Fungsi dari penangkal petir merupakan sebuah alat yang tujuannya untuk menangkap petir yang menangkap sambaran sambaran petir yang diteruskan ke media lain seperti tanah. Dari perkembangan inovasi banyak macam jenis inovasi penangkal petir, contoh:

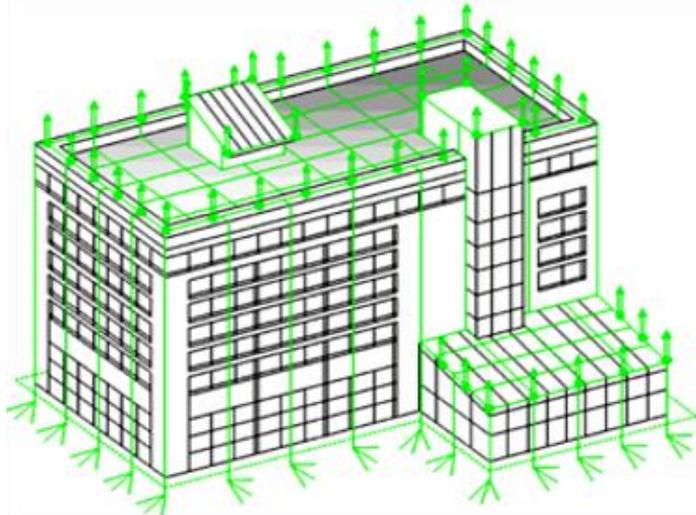


Gambar 13.9. Penangkal petir kawat catenary

Penangkal Petir Kawat

Penangkal ini biasanya terpasang di area area terbuka seperti taman, pusat olahraga, objek wisata, pantai, dll. Dan penangkal petir jenis ini menggunakan prinsip yang sama dengan sistem faraday, yang benda nya terdiri dari mesh konduktor.

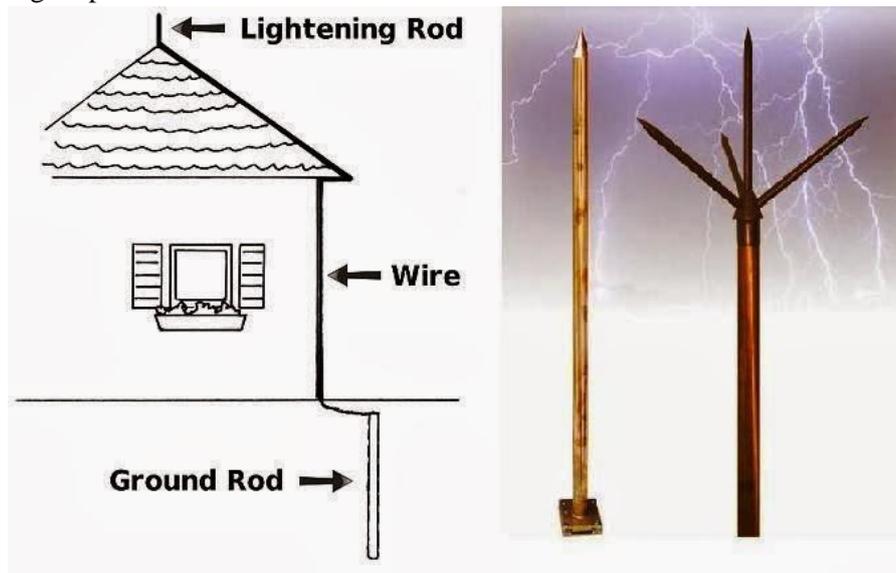
- Penangkal petir sangkar konduktor



Gambar 13.10. Penangkal Petir Sangkar Konduktor

Penangkal petir jenis sangkar konduktor biasanya diaplikasikan pada Gedung bertingkat, hotel atau mall yang memiliki gedung dan bangunan yang luas. Penangkal petir jenis sangkar konduktor menggunakan sistem faraday cage, yang pengaplikasian dengan menggunakan konduktor pada bagian atas bangunan.

- Penangkal petir franklin.



Gambar 13.11. Penangkal Petir Franklin

Penangkal petir franklin

Penangkal petir, ditemukan oleh Benjamin Franklin, adalah batang logam runcing yang melekat pada atap bangunan. Batang tersebut kemudian dihubungkan ke kawat tembaga atau aluminium

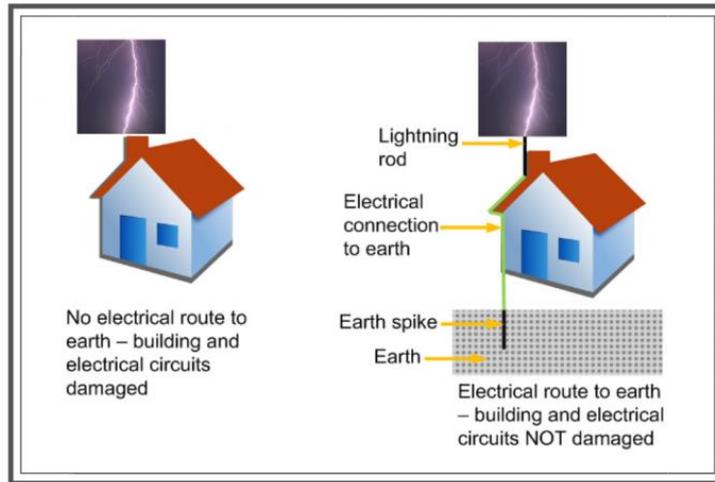
(konduktor) ke elektroda pbumian yang terkubur di dalam bumi. Penangkal petir sering disalahpahami. Banyak orang percaya penangkal petir "menarik" petir. Lebih baik dinyatakan bahwa penangkal petir menyediakan jalur konduktif untuk muatan listrik yang sudah ada di sekitarnya. Alasan mengapa penangkal petir ditempatkan pada bangunan adalah untuk menyediakan jalur resistansi rendah ke tanah. Karena petir selalu mencari rute termudah, penangkal petir lebih mungkin tersambar daripada bangunan. Ini melindungi struktur dari kerusakan panas besar, kebakaran, dan bahaya lain yang terkait dengan aliran arus listrik yang sangat besar. Meskipun tidak diketahui bahwa penangkal petir akan selalu tersambar ketika petir berada di area terdekat; karena penempatannya, kemungkinannya lebih tinggi daripada struktur yang ditempelkannya.

Penangkal petir jenis franklin ini biasanya digunakan untuk melindungi bangunan atau bangunan kecil dan penangkal ini diaplikasikan di tiang, cerobong asap, tengki, Menara air, tiang tiang udara dan rumah rumah yang area nya di bawah 30 meter. Jenis ini akan melindungi yang menghubungi ke minimum dua konduktor yang mengalirkan dan dua sistem grounding. (pt bazita tekno inspeksindo, 2021)

13.7. Karakteristik Penangkal Petir

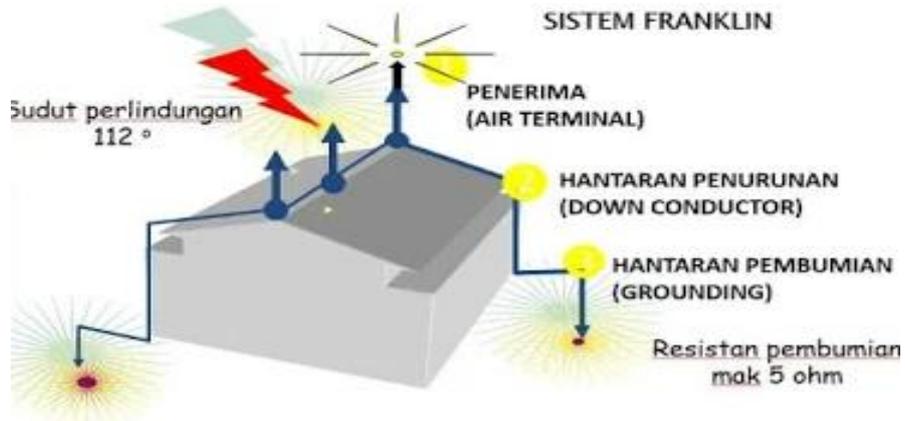
Petir sebagian besar merupakan konsekuensi dari pengembangan sistem cuaca konvektif hingga besaran tertentu, dengan hubungan kuat dengan perkembangan proses pelepasan di dalam sistem. Seperti yang kita lihat di bagian blog kami sebelumnya, volume udara dapat terangkat dalam kondisi konveksi yang tidak stabil, mengambil bagian dalam pengembangan cumulonimbus. Proses ini disertai dengan gesekan yang kuat antara molekul udara, yang disebabkan oleh updrafts dan downdrafts di bawah aksi termodinamika dan/atau kondisi topografi. Proses ini, bersama dengan proses lain yang terkait dengan perpindahan (pada kecepatan yang berbeda) dari berbagai keadaan fase hidrometeor, disertai dengan transfer elektron, perubahan keadaan fase, dan pemisahan muatan listrik menjadi berbagai daerah muatan yang bertanggung jawab untuk menghasilkan petir. Oleh karena itu, petir dapat dianggap sebagai indikator permulaan dan perjalanan konveksi yang parah.

Pemahaman kita tentang petir sebenarnya didasarkan pada banyak pengamatan langsung dan tidak langsung. Pengukuran langsung dilakukan di stasiun penelitian petir yang berlokasi di seluruh dunia dan secara aktif bekerja mengumpulkan data pelepasan petir. Metode tidak langsung bergantung pada hubungan empiris antara arus saluran petir dan medan elektromagnetik yang diukur pada jarak tertentu dari pelepasan petir. Mempresentasikan sebuah karya menarik yang menyajikan sejumlah laporan tentang parameter petir ekstrim seperti arus puncak, waktu naik tercepat dan paling lambat, waktu tercepat dan paling lambat hingga setengah nilai, laju perubahan arus, durasi kilat, muatan dan integral aksi.



Gambar 13.12. Pemasangan Penangkal Petir Pada Rumah

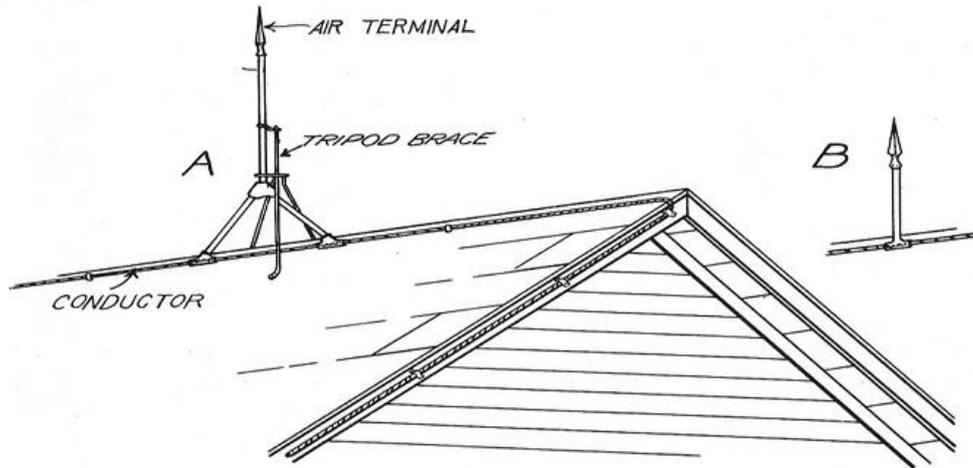
Karena ketika petir menyambar permukaan bumi, akibat yang dapat terjadi tidak bisa diremehkan. Bisa menyebabkan kebakaran atau hal-hal yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, untuk mencegah hal tersebut terjadi perlu dilakukan pemasangan penangkal petir baik dikedung-gedung tinggi ataupun dirumah-rumah agar meminimalisir resiko tersambar maupun terbakar. (Daryanto, 2020) Adapun tujuan memasang penangkal petir yakni sebagai penyedia system penerimaan (Air Ternial) yang dapat dengan cepat menyambut sambutan arus petir untuk mempercepat dari sekelilingnya dan memproteksi secara tepa dengan memperhitungkan besaran petir. Serta menghindari sambaran petir yang emmantul ke udara bebas. Lalu menyediakan muatan - muatan positif yang dapat menetralkan muatan negatif di awan. Dan juga dapat menetralkan petir yang menyambar dengan mengalirkan muatan negatif ke tanah.



Gambar 13.13. Proses Penangkal Petir

13.8. Komponen Penangkal Petir

Rangkaian dari penangkal petir berisi 3 komponen utama, yaitu tembaga / spliten, down conductor dan grounding system.



Gambar 13.14.. Komponen Utama Penangkal Petir

Berikut bagian-bagian penting penangkal listrik:

1) Air Terminal (Head)

Air terminal atau *head* berada pada bagian ujung atas. Berbentuk seperti ujung tombak yang menghadap keatas. Fungsi *air terminal* adalah untuk menjadi sasaran sambaran petir. (ujang mulyadi, 2014)



Gambar 13.15. Air Terminal

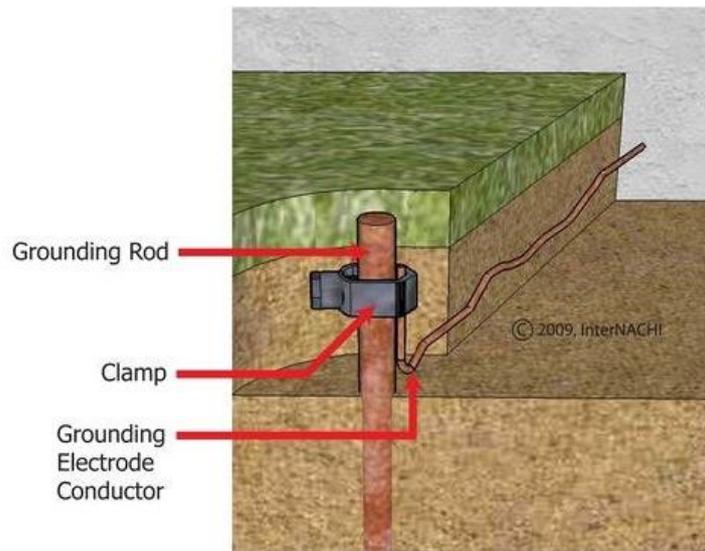
2) Konduktor

Konduktor merupakan kabel yang berfungsi untuk mengalirkan tenaga yang tertangkap *air terminal* menuju *grounding*.



Gambar 13.16. Konduktor Penangkal Petir

3) Grounding



Gambar 13.17. Grounding

Istilah pentanahan biasanya digunakan dalam industri listrik yang berarti “pengardean peralatan” dan “pembumian sistem”. Pembumian peralatan berarti koneksi pembumian ke bahan konduktif pembawa arus seperti saluran, baki kabel, kotak sambungan, penutup, dan rangka motor. Dengan jaminan penangkal petir ini dapat mengurangi bahaya yang dapat terjadi pada bangunan dan hal-hal lain di sekitarnya, Namun ada banyak jenis penangkal petir. Di sini saya akan menyebutkan beberapa jenis penangkal petir yang sering digunakan beserta kelebihan dan kekurangannya.

13.9.Kawat Catenary



Gambar 13.18. Kawat Catenery

Penangkal petir kawat catenary terdiri dari jaring konduktor, tetapi pada jarak yang cukup jauh dari bangunan yang harus dilindungi. Tujuan dari sistem ini adalah untuk mencegah arus petir agar tidak bersentuhan langsung dengan bangunan. Oleh karena itu, kawat penghantar.. Catenary ini ditempatkan di atas gedung/gedung yang akan terlindung dari petir dan terhubung ke konduktor bawah, dan menggunakan sistem pentanahan khusus. Ukuran mesh dan jarak antara konduktor bawah menggunakan aturan yang sama seperti untuk sistem proteksi petir konduktor mesh. Dalam sistem proteksi petir ini, dapat mengurangi efek radiasi elektromagnetik pada struktur yang dilindungi.



Gambar 13.19.. Sistem Farady

Sangkar Faraday adalah selungkup logam yang mencegah masuk atau keluarnya medan elektromagnetik (medan EM). Sangkar Faraday yang ideal terdiri dari cangkang yang tidak terputus

dan konduktor sempurna. Ideal ini tidak dapat dicapai dalam praktik, tetapi dapat didekati dengan menggunakan penyaringan tembaga mesh halus. Untuk kinerja terbaik, sangkar harus terhubung langsung ke arde. Kandang Faraday digunakan di laboratorium elektronik di mana medan EM liar harus dijauhkan. Ini penting dalam pengujian peralatan penerima nirkabel yang sensitif. Selain itu, sangkar Faraday dapat mencegah keluarnya medan EM yang dipancarkan oleh monitor komputer tabung sinar katoda (CRT). Bidang tersebut dapat dicegah dan diterjemahkan untuk memungkinkan peretas melihat data di layar dari jarak jauh secara real time tanpa memerlukan kabel, kabel, atau kamera. Praktik ini, yang dikenal sebagai van Eck phreaking, juga dapat digunakan oleh pejabat pemerintah untuk melihat aktivitas komputer dari penjahat yang diketahui dan tersangka kriminal tertentu.

Sangkar Faraday tugas berat dapat melindungi apa pun di dalamnya dari sambaran petir langsung. Saat terhubung dengan benar ke arde, sangkar menghantarkan arus tinggi tanpa membahayakan ke arde, dan menjaga agar pulsa EM tidak memengaruhi personel atau perangkat keras di dalamnya. Kandang Faraday dalam foto ini terletak di Museum Sains Boston. Ini melindungi karyawan yang ditugaskan untuk mendemonstrasikan generator Van de Graaff berinsulasi udara terbesar di dunia di Theater of Electricity museum (MT, 2014)



Gambar 13.20. Penangkal Petir Franklin

Penangkal petir jenis ini pertama kali ditemukan oleh Benjamin Franklin pada tahun 1753. Penangkal petir ini terdiri dari batang logam runcing setinggi 2-8 meter di bagian atas penangkal petir. Puncak ini terhubung ke minimal dua konduktor petir dengan dua sistem pentanahan. Radius proteksi pada penangkal petir ini terbatas, yaitu sekitar 30 meter lingkungan. Biasanya penangkal petir ini hanya digunakan untuk melindungi bangunan atau zona kecil seperti tiang, cerobong asap, tangki, menara air, rumah tinggal atau area di bawah penangkal petir ini dengan radius di bawah 30 meter. Penangkal petir ini memiliki proses pemasangan yang lebih mudah dan ekonomis. Tidak hanya itu, penangkal petir Franklin juga dapat diintegrasikan dan diintegrasikan dengan mulus ke dalam struktur bangunan. Namun, penangkal petir ini memiliki jangkauan terbatas untuk melindungi struktur bangunan kecil.

13.10. Komponen Alami



Gambar 13.21. Komponen Alami

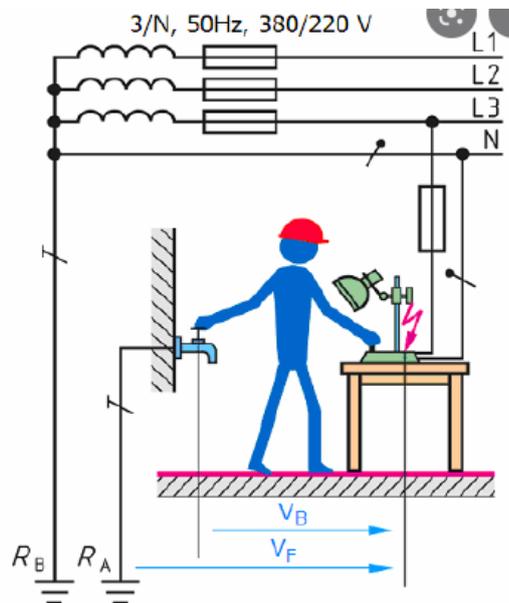
Komponen alami adalah jenis penangkal petir yang menggunakan bagian dari struktur bangunan yang berpartisipasi dalam perlindungan eksternal melalui kapasitas bahan untuk menangkap sambaran petir dan mengirimkan arus petir. Komponen alami ini dapat digunakan untuk mengganti semua atau sebagian dari konduktor bawah. Komponen alam berikut ini terdiri dari kelongsong logam dinding atau kelongsong logam, rangka konstruksi logam, lembaran logam penutup volume yang akan diproteksi, komponen logam struktur atap seperti rangka baja, batangan logam, beton bertulang dan masih banyak lagi. Namun, perlu dicatat bahwa komponen ini harus memenuhi persyaratan ketebalan, penampang dan kontinuitas. Selain itu, komponen tersebut tidak boleh disentuh langsung oleh pengguna bangunan. Pada komponen alami memiliki proses pemasangan yang lebih sederhana dan lebih murah. Tapi sayang sekali perawatannya begitu sulit.

13.11. Tugas

1. Sebutkan macam – macam penangkal petir?
2. Bagaimana penangkal petir dapat bekerja?
3. Apakah kelengkapan utama penangkal petir?

Bab 14

Pentanahan Sistem Tenaga Listrik



Gambar 14.1. Design Pentanahan Sistem Tenaga

Kehidupan saat ini sangat bergantung pada listrik sebagai kebutuhan pokok manusia. Karena sudah tidak asing lagi bagi kita untuk mengetahui apa itu listrik, bagaimana sistemnya dan apa saja yang dapat merubah listrik atau hal lain yang berhubungan dengan listrik. Pada kelistrikan terdapat sistem tenaga listrik yakni sekumpulan pusat listrik dengan beban yang satu sama lainnya dihubungkan oleh jaringan serta distribusi, sehingga menjadi sebuah kesatuan interkoneksi.

Penggunaan listrik di Indonesia pun tidak sedikit, hampir semua manusia membutuhkan bantuan listrik dalam kehidupan sehari-hari. Namun, disaat hujan turun dengan disertai petir maka disitulah terkadang suatu keadaan menjadi terganggu. Karena petir bisa saja mengakibatkan peralatan listrik dan elektronik rumah tangga rusak. Penyebab kerusakan tersebut yaitu adanya gelombang transien arus dan tegangan yang tinggi dari sambaran petir. Secara design dapat dilihat sebagaimana gambar 14.1. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi hal tersebut maka diperlukan alat penangkal petir untuk meminimalisir kejadian yang tidak diinginkan. Lalu apa saja yang dapat menjadi pengaman untuk listrik yang digunakan oleh manusia saat ini?

Menurut Anggoro (2002), menyatakan nilai tahanan pentanahan sistem tenaga listrik bahwa bergantung pada frekuensi (dasar dan harmonisnya) dari arus yang mengalir ke sistem pentanahan

tenaga listrik. Pada sistem penangkal petir maupun sistem pentanahan netral sistem tenaga adalah ddi wujudkan dengan seberapa besar nilai impedansi sistem pentanahan tersebut.

Sedangkan nilai impedansi pentanahan tersebut dipengaruhi oleh faktor faktor berikut ini:

Faktor internal meliputi :

- a. Dimensi konduktor pentanahan (diameter atau panjangnya).
- b. Resistivitas (nilai tahanan) relative tanah.
- c. Konfigurasi sistem pentanahan.

Faktor eksternal meliputi :

- a. Bentuk arusnya (pulsa, sinusoidal, searah).
- b. Frekuensi yang mengalir ke dalam sistem pentanahan

Pengukuran tahanan tanah yang akurat dapat dilakukan dengan menggunakan alat grounding tester dan masing masing jenis tanah akan memberikan nilai tahanan tanah yang berbeda.

Syarat sistem pentanahan yang efektif :

1. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengaman personil dan peralatan dengan menggunakan rangkaian yang efektif.
2. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surya hubung.
3. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk memastikan kontinuitas penampilan sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam perawatan dan perbaikan bila terjadi kerusakan.

Di dalam (Diklat PLN, 2011), pada Peratran Umum Instalasi Listrik dipersyaratkan bahawa tahanan pentanahan harus lebih kecil dari 1 *Ohm*. Hal ini digunakan untuk melindungi personal yang berada disekitar peralatan listrik. Pada sistem perangkat PLN nilai maksimum adalah 5 *Ohm*. Dengan analisan dan uraian sebagaimana dibawah ini :

$$E = I \times R \text{ volt}$$

dimana :

$$E = \text{Tegangan (volt)} \quad ; \quad I = \text{Arus Listrik (Ampere)} \quad ; \quad R = \text{Tahanan (Ohm)}$$

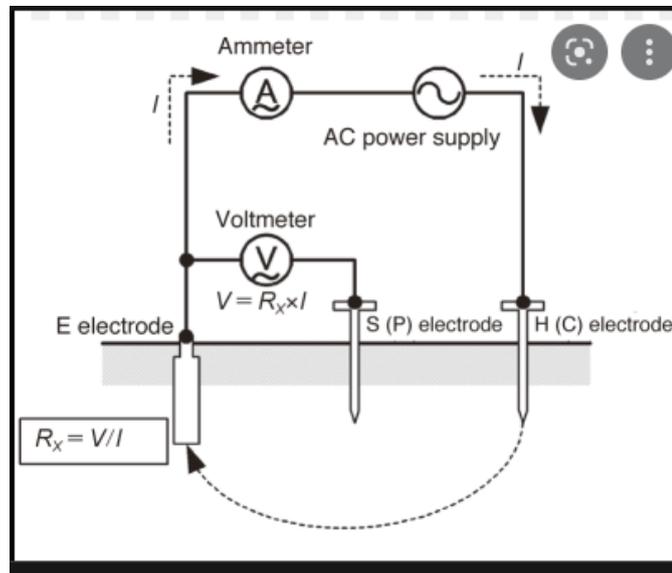
14.1. Resistansi Tanah

Resistansi tanah dimaksud adalah bagaimana aruss listrik dapat melalui aliran tanah. Arus listrik ini dapat berupa hasil dari sambaran petir, maupun jika dijumpai adanya kebocoran arus listrik. Sehingga untuk mengatasi masalah hantaran petir atau kebocoran arus listrik ini digunakan knnduktor pentanahan. Bentuk elektroda pentanahan yang digunakan akan menentukan berapa besar arus yang mengalir.

Resistansi dalam sistem pentanahan merupakan komposisi dari:

1. Resistansi elektroda batang.
2. Resistansi kontak antara permukaan elektroda batang dan tanah disekitarnya.
3. Resistansi bagian tanah di sekitar elektroda batang pentanahan. [IEEE std 142-1982]

Resistansi elektroda batang dapat dihilangkan jika dibandingkan dengan resistansi bagian tanah disekitar elektroda pentanahan. Resistansi yang paling menentukan, adalah resistivitas tanah.



Gambar 14.2. Resistansi Tanah

Komponen - Komponen yang memiliki pengaruh pada resistivitas tanah adalah:

1. Jenis tanah,
2. Komposisi kimia dalam tanah,
3. Konsentrasi garam terlarut pada tanah,
4. Kelembaban udara,
5. Tempertur tanah,
6. Ukuran partikel tanah,
7. Penyebaran partikel pada tanah,
8. Kepadatan dan
9. Tekanan tanah.

Pada pasal 320-1 dalam PUIL 1987 atau Tabel 14.1. Dimana Nilai-nilai tersebut untuk tanah yang lembab dan basah. Untuk bahan Pasir kering mutlak atau batu merupakan isolasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemasangan elektroda bumi harus dilakukan sedalam mungkin ke dalam tanah. Semakin dalam maka akan semakin baik.

Tabel 14.1 Nilai Rata-Rata Resistansi Jenis Tanah (Dalam Ohm.m)

NO	JENIS TANAH	TAHANAN JENIS TANAH (Ohm. Meter)
1	Tanah yg mengandung air garam	5-6
2	Rawa	30
3	Tanah Liat	100
4	Pasir Basah	200
5	Batu batu kerikil basah	500
6	Pasir dan batu kerikil kering	1.000
7	Batu	3.000

Tabel 14.2 Nilai Rata-Rata Dari Resistansi Pembumian Untuk Elektrode Bumi (PUIL,1987).

Jenis Elektrode	Panjang Pita atau Penghantar Pilin 10m, 25m, 50m, 100m	Panjang Batang atau Pipa 1m, 2m, 3m, 5m	Plat Vertikal dgn Sisi Atas 1 m Dalam Tanah 0,5 x 1 m; 1 x 1 m
Resistansi pembumian	20, 10, 5, 3	70, 40, 30, 20	35, 25

Oleh sebab itu pemasangan harus dilakukan sesuai dengan standard yang ditetapkan. Elektroda yang digunakan untuk sisteem pentanahan berbentuk Copper Rod (Tembaga pejal) dia 5/8 inch atau 15.89 mm panjang 4 m.



Gambar 14.3. Cu Rod Untuk Pentanahan Sistem Tenaga

Metode-metode yang digunakan dalam mereduksi nilai R untuk elektroda batang pembumian, telah direkomendasikan menurut IEEE Std. 142-1982 yaitu :

1. Penambahan jumlah batang pembumian.
2. Memperpanjang ukuran batang pembumian.
3. Membuat perlakuan terhadap tanah (soil treatment) terbagi atas :
 - a. Metode bak ukur (Container Method).
 - b. Metode parit (Trench Method).
4. Menggunakan batang Pembumian khusus.
5. Metode kombinasi.

Untuk mencari Nilai tahanan tanah dapat dilakukan dengan memakai persamaan sebagai berikut :

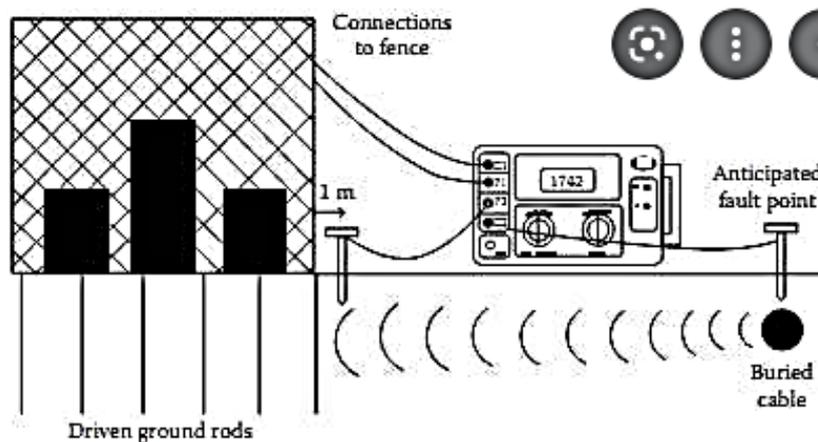
$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left\{ \ln \frac{4L}{a} - 1 \right\} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- R = Tahanan pasak ke tanah (Ohm).
- ρ = Tahanan tanah rata – rata (Ohm – Cm).
- L = Panjang pasak ke tanah (cm).
- a = Jari – jari penampang pasak (cm).

Rumus Dwight tersebut menyatakan bahwa nilai tahanan tanah menentukan jenis dan kedalaman elektroda yang harus ditanam.

Pada realita di masyarakat metode pentanahan yang banyak digunakan adalah Metode pentanahan Driven Ground, Driven Ground ini dilakukan dengan menanam secara tegak lurus leektroda dengan dia ¾ inchi sampai dengan 2 inchi, dan panjangnya antara 3 meter sampai 15 meter.



Gambar 14.4. Driven Ground Rods

Aturan dasar perlindungan terhadap sengatan listrik disediakan oleh dokumen IEC 61140 ("Perlindungan terhadap sengatan listrik – Aspek umum untuk instalasi dan peralatan") yang mencakup instalasi listrik dan peralatan listrik.

Bagian aktif yang berbahaya tidak boleh dapat diakses, dan bagian konduktif yang dapat dijangkau tidak boleh berbahaya.

Persyaratan ini perlu diterapkan di bawah:

- Kondisi normal, dan
- Di bawah kondisi kesalahan tunggal.

Berbagai tindakan diadopsi untuk melindungi dari bahaya ini, dan termasuk:

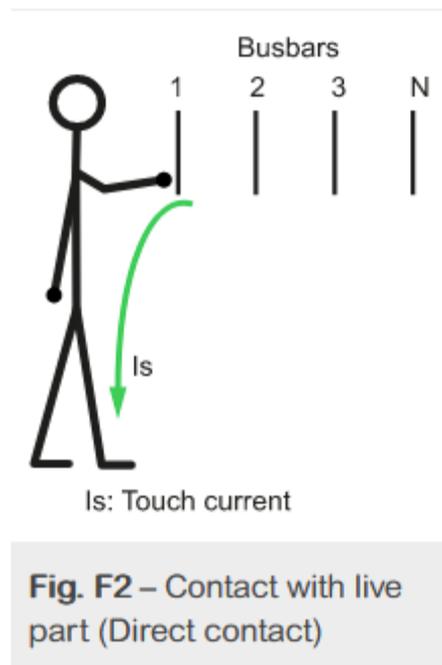
- Pemutusan otomatis catu daya ke peralatan listrik yang terhubung
- Pengaturan khusus seperti:
 - Penggunaan bahan insulasi kelas II, atau tingkat insulasi yang setara
 - Lokasi non-melakukan, di luar jangkauan lengan atau interposisi penghalang

Ikatan ekuipotensial

Pemisahan listrik dengan cara mengisolasi transformator.

Kontak dengan bagian aktif (kontak langsung)

Ini mengacu pada seseorang yang bersentuhan dengan konduktor yang hidup dalam keadaan normal (lihat Gambar. F2).



Gambar 14.5

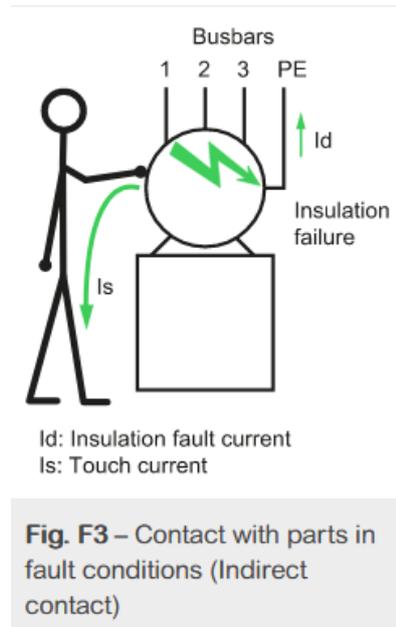
Perlindungan yang akan dilaksanakan dalam keadaan seperti ini disebut “Perlindungan Dasar”.

Gbr. F2 – Kontak dengan bagian aktif (Kontak langsung)

Kontak dengan bagian konduktif dalam kondisi gangguan (kontak tidak langsung)

Ini mengacu pada seseorang yang bersentuhan dengan bagian konduktif terbuka yang biasanya tidak beraliran listrik, tetapi menjadi bertegangan secara tidak sengaja (karena kegagalan isolasi atau penyebab lainnya).

Arus gangguan menaikkan bagian konduktif terbuka ke tegangan yang dapat berbahaya karena menghasilkan arus sentuh melalui seseorang yang bersentuhan dengan bagian konduktif terbuka ini (lihat Gbr. F3).



Gambar 14.6

Proteksi yang akan dilaksanakan dalam keadaan ini disebut “Fault Protection”. Gbr. F3 – Kontak dengan bagian dalam kondisi gangguan (Kontak tidak langsung)

14.2. Pentanahan Sistem Tenaga Listrik

Pentanahan sistem tenaga listrik dilakukan dengan menggunakan grunding system. Grounding merupakan salah satu faktor keamanan (proteksi) utama dari peralatan atau sirkuit listrik. Untuk memastikan keamanan, perlu untuk merancang pembumian sesuai dengan standar saat ini.

- Tahanan pembumian harus sesuai dan menggunakan standar yang dibutuhkan.
- Elektroda tanam harus memiliki spesifikasi:
 - Tahan karat
 - Merupakan konduktor yang baik
 - Kuat
- Grounding harus baik untuk musim yang berbeda
- Biaya pemasangan yang relatif rendah
- Elektroda harus terpasang dengan kuat ke tanah

Ada 04 bagian dalam sebuah instalasi listrik yang harus diarde, yaitu:

- Titik netral transformator diperlukan untuk proteksi khususnya terhadap gangguan pembumian.
- Penangkal petir, yang terletak di bagian atas saluran listrik. Penangkal petir ini sebenarnya juga berfungsi sebagai penangkal petir. Karena lokasinya di sepanjang medan transmisi, semua menara transmisi harus diarde sehingga guntur yang menyambar saluran petir dapat diarahkan dengan lancar ke tanah melalui menara transmisi.
- Semua bagian unit terbuat dari logam (menghantarkan listrik) dan dapat dengan mudah disentuh oleh manusia.
- Bagian pelepasan listrik (bawah) dari penangkal petir. Hal ini diperlukan agar penangkal petir dapat berfungsi dengan baik, yaitu dengan lancar mengalihkan muatan listrik (petir) yang diterima ke tanah.

Pengardean peralatan merupakan pengkoneksiaan badan atau rangka peralatan atau mesin listrik untuk di dapatkan keamanan dalam pengoperasiannya:

- Mencegah sengatan listrik dari tegangan berbahaya bagi orang-orang di daerah tertentu.
- Membiarkan arus tertentu, baik besaran maupun durasinya, terjadi pada kondisi gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan gedung atau isinya.
- Untuk meningkatkan tampilan sistem. (Khutauruk, 1987, hal. 125).

Oleh karena itu pada umumnya sistem pentanahan berfungsi sebagai **PERLINDUNGAN** untuk keperluan pemasangan :

- a) Kinerja terjamin dari peralatan listrik atau elektronika
- b) Melindungi peralatan listrik dan elektronika
- c) Arah energi sambaran petir ke tanah
- d) Melindungi keberadaan manusia terhadap sengatan listrik.

Pada tabel 14.3. dapat dilihat Luas penampang minimum elektroda pembumian. Diama tabel tersebut dapat digunakan sebagai patokan dalam melakukan pemilihan elektroda.

Tabel 14.3. Luas Penampang Minimum Elektroda Pembumian

Jenis Elektroda	Bahan		
	Baja Berlapis Seng	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
Elektroda Pita	Pita baja 100 mm ² , tebal 3 mm, Hantaran pilin 95 mm ²	50 mm ²	Pita tembaga 50 mm ² , tebal 2 mm hantaran pilin, 35 mm ²
Elektroda Batang	Pipa baja 1" Baja profil L 65x65x7, U 6 ½ T6, X 50x3	Baja Φ 15 mm dilapisi tembaga 2,5 mm	
Elektroda Pelat	Pelat besi tebal 3 mm, luas 0,5-1 m ²		Pelat tembaga tebal 2 mm, luas 0,5 - 1 m ²

(Sumber : PUIL 2000 3.18.4.2 hal 82)

Tabel 14.4. Ukuran Penampang Penghantar Sistem Pmbumian

Luas Penampang Penghantar phasa instalasi S (mm ²)	Luas Penampang Minimum Penghantar Proteksi Yang Berkaitan S_p (mm ²)
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

14.3. Kelengkapan Pentanahan Sistem Tenaga Listrik

1. Penggunaan Metode Pengetanahan

Penggunaan metode pentanahan bergantung pada penjaminan keberlangsungan sistem. Keberlangsungan sistem ini yaitu menjaga keseimbangan tegangan dan arus agar jangan sampai terlepas melalui isolasi yang dipasang.. Faktor dalam pemilihan metode pentanahan dipengaruhi hal dibawah ini :

1. Selektivitas dan sensitivitas dari rele gangguan tanah
2. Pembatasan besar arus gangguan tanah
3. Tingkat pengaman terhadap tegangan surja dengan arestes
4. Pembatasan tegangan lebih transien.

Faktor-faktor yang mempengaruhi sistem pembumian

Tahanan pembumian suatu elektroda tersila pada tiga faktor, yaitu :

- Tahanan elektroda pentanahan beserta sambungan pengelasan pada elektroda itu sendiri.
- Tahanan kontak antara elektroda dengan tanah.
- Tahanan penghantar (BC) yang menghubungkan peralatan yang dibumikan.
- Tahanan dari massa tanah disekitar elektroda pembumian

2. Faktor Internal

- **Bentuk elektroda.** Yaitu :
 - Jenis batang,
 - pita dan
 - plat.
- **Jenis bahan dan ukuran elektroda.** Formula yang digunakan dalam penentuan nilai tahanan tanah / pembumian adalah sebagai berikut :

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

R = resistansi pembumian [Ω]

ρ = resistansi jenis tanah [Ωm]

L = panjang jalur arus pada tanah [m]

A = luas penampang jalur arus pada tanah [m^2]

Ukuran elektroda pembumian akan menentukan besar tahanan pembumian. Berikut yang tertera adalah tabel yang memuat ukuran-ukuran elektroda pentanahan yang umum digunakan dalam system pentanahan. Tabel ini dapat digunakan sebagai petunjuk tentang pemilihan jenis, bahan dan luas penampang elektroda pembumian.

3. Elektroda Batang.

Elektroda Batang ini biasanya menggunakan pipa atau besi baja. Pemasangannya adalah dengan menancapkan ke dalam tanah. Elektroda ini adalah yang pertama kali digunakan. Dimana elektroda ini dapat dipasang pada peralatan listrik untuk melindungi dari sambaran arus lebih.



Gambar. 14.7. Elektroda Batang (Copper Rod).

4. Kelengkapan Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan listrik dimaksud adalah *Copper Rod* dengan fungsi sebagai elektroda pentanahan dan dihubungkan menggunakan kabel BC dengan pengkoneksian menggunakan konektor kabel BC (Kuku macan) atau dilakukan dengan menggunakan cadweld. Proses pengkoneksian dilakukan pada suatu bak kontrol.

5. Bak Kontrol

Bak kontrol digunakan sebagai tempat untuk mengkoneksikan antara kawat BC dan pentanahan melalui *copper plat*.



Gambar. 14.8. Bak Kontrol

6. Kabel BC (*Bare Copper*)

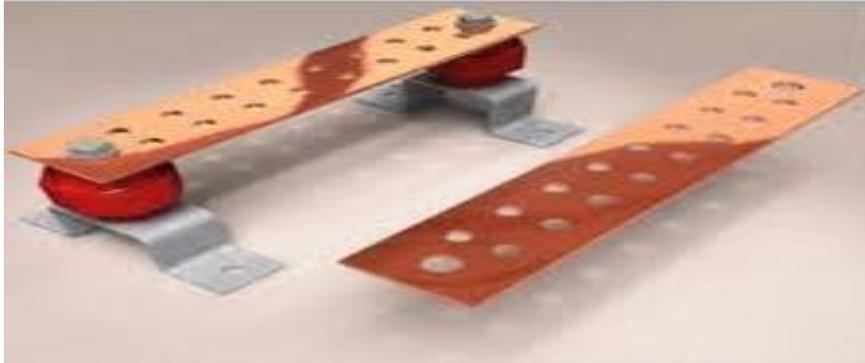
Kabel BC (*Bare Copper*) adalah jenis kabel listrik yang terbuat dari logam tembaga tanpa pelindung yang digunakan untuk *grounding* (Elektronika123, 2012).



Gambar. 14.9. Kabel BC

7. Bus Bar

Bus Bar adalah Plat konduktor yang terbuat dari tembaga yang digunakan sebagai koneksi antara kabel BC dengan elektroda pentanahan dan terintegrasi dengan sistem pentanahan yang lainnya.(PLN, 2011).



Gambar. 14.10. Busbar Tembaga

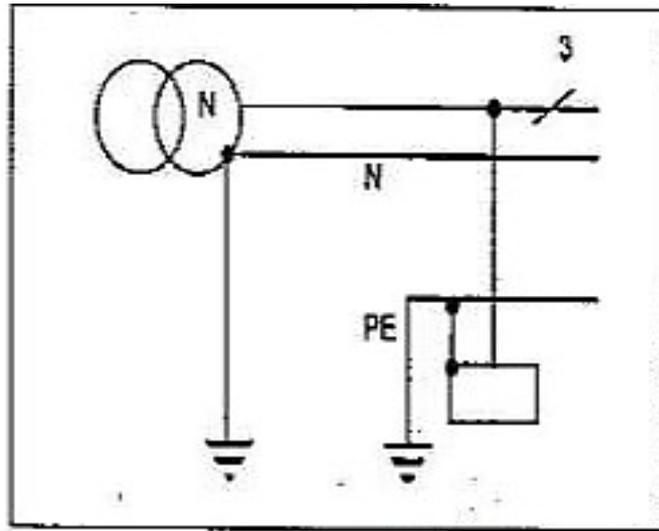
14.4. Macam – Macam Pentanahan Sistem Tenaga Listrik

Macam-macam pentanahan sebagai berikut:

A. Sistem TT

Sistem TT berarti titik netral transformator yang dibumikan dan badan perangkat di ground. Sistem TT tidak akan menghubungkan kabel netral dan ground sedangkan kabel ground digunakan untuk keselamatan dan terhubung langsung ke kotak meteran dan *limiter*. TT masih digunakan oleh perusahaan PLN dan ditemukan di pelanggan listrik. Sistem TT dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

1. Titik netral *system* pada listrik ditanahkan pada sumbernya
2. Pentanahan BKT peralatan dan BKT instalasi listrik, sehingga jika terjadi kegagalan isolasi maka tidak dapat menahan tegangan sentuh yang terlalu tinggi karena kegagalan daya dari perangkat pelindung.

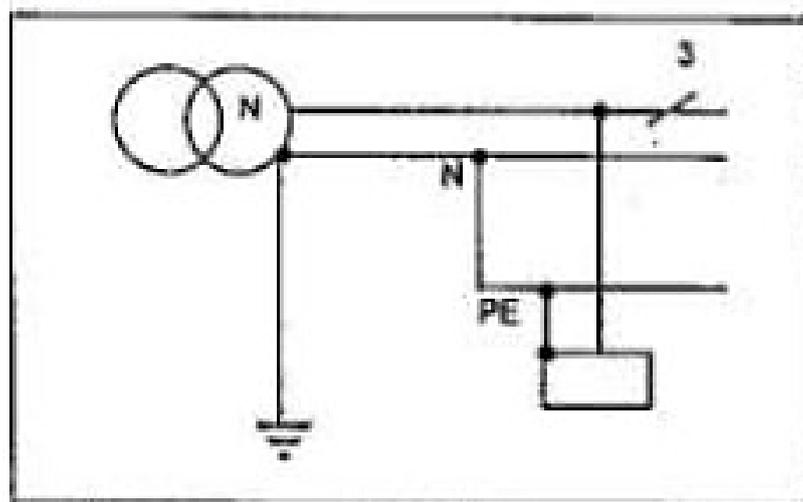


Gambar 14.11. Pentanahan Tenaga Listrik Sistem TT

B. Sistem TN

Sistem listrik TN memiliki titik yang langsung dibumikan, BKT tersebut akan dihubungkan ke titik ini oleh konduktor pelindung. Ada 3 jenis TN yaitu :

1. Sistem TN-S yaitu ketika konduktor proteksi digunakan seluruh sistem terpisah
2. Sistem TN-C-S yaitu penggabungan netral dan proteksi
3. Sistem TNC yaitu dimana fungsi netral dan fungsi proteksi digabungkan dalam konduktor seluruh sistem saja.

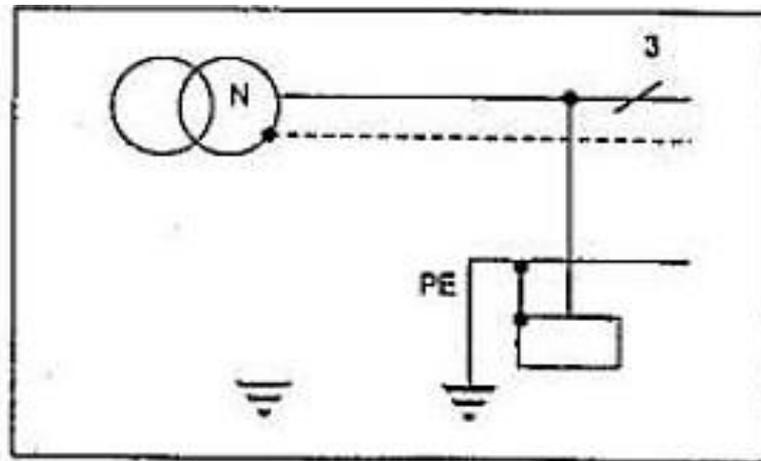


Gambar 14.12. Pentanahan Tenaga Listrik Sistem TN

C. IT System

IT System mempunyai Persyaratan pentanahan yaitu ringan hanya 50 maks dan tegangan rendah juga, karena arus gangguan rendah yang merupakan pelindung arus lebih tidak akan bekerja yang

disebabkan tegangan kontak rendah. Sistem dapat bekerja terus menerus di badan peralatan tanah tunggal. Ketika terjadi gangguan tanah tegangan antara fase baik dan bumi akan meningkat sehingga mengetahui bahwa tegangan ini naik dan dapat memasang detektor pada setiap fase dengan tegangan ini tidak diperbaiki maka memiliki isolasi terjadi kegagalan yang dikarenakan kedua dari tempat lain, konsleting besar akan terjadi dan sistem HP ini digunakan untuk instalasi terbatas dengan generator sendiri atau transformator terpisah dengan belitan atau sumber daya cadangan portabel untuk melayani beban bergerak. Sistem IT memiliki bagian aktif yang di isolasi dari bumi atau satu titik terhubung kebumi dari impedansi.



Gambar 14.13. Pentanahan Tenaga Listrik Sistem IT

Dalam sebuah instalasi listrik, ada 4 bagian yang harus dibumikan, yaitu sebagai berikut :

- Titik netral dari transformator, hal ini diperlukan untuk proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung ke tanah.
- Kawat petir yang berada pada bagian atas saluran transmisi. Kawat petir ini sesungguhnya juga berfungsi sebagai *lightning arrester*. Dikarenakan letaknya yang ada di sepanjang medan transmisi, maka semua kaki tiang transmisi harus ditanahkan agar guntur yang menyambar kawat guntur dapat disalurkan ke tanah dengan lancar melalui kaki tiang saluran transmisi.
- Semua bagian instalasi terbuat dari logam (menghantarkan listrik) dan dengan mudah dapat disentuh oleh manusia.
- Bagian pembuangan listrik (bagian bawah) dari *lightning arrester*. Hal ini diperlukan agar *lightning arrester* berfungsi dengan sebagaimana semestinya, yaitu membuang muatan listrik (petir) yang diterima ke tanah dengan lancar.

Tujuan dari proses Pembumian adalah :

- Mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya untuk orang dalam daerah tertentu.
- Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya.
- Untuk memperbaiki penampilan dari system. (Hutauruk, 1987 hal 125).

Oleh karena itu, secara umum system pembumian berperan sebagai **PROTEKSI** dengan tujuan pemasangan :

- a) Menjamin kerja peralatan listrik atau elektronik
- b) Mencegah kerusakan peralatan listrik atau elektronik
- c) Menyalurkan energi serangan petir ke tanah
- d) Menjamin keselamatan orang dari kejutan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.

14.5. Bagaimana Cara Menggunakan Grounding Tester

Tanpa diperiksa untuk menentukan apakah itu isolasi atau pengujian tanah. Pengujian isolasi adalah: dirancang untuk mengukur di ujung spektrum resistensi dari pengujian tanah. Tidak ada yang mau alasan yang mengukur dalam megaohm Pengujian isolasi menggunakan tegangan uji tinggi dalam kisaran kilovolt. Tanah pengujian terbatas, untuk keselamatan operator, pada tegangan rendah. Pengujian isolasi biasanya memiliki tegangan rendah, fungsi kontinuitas resistansi rendah dan ini sering disalahgunakan untuk membuat tes tanah yang cepat. Namun, uji kontinuitas hanya dapat membuat pengukuran sewenang-wenang antara elektroda yang dipasang dan tanah referensi, yang dianggap memiliki resistansi yang dapat diabaikan. Ini tidak mampu diandalkan pengukuran resistensi yang ditawarkan bumi terhadap arus gangguan tanah. Bahkan pengukuran sewenang-wenang ini mungkin tidak dapat diandalkan, karena uji kontinuitas dc dapat dipengaruhi oleh transien tanah, kebisingan listrik yang dihasilkan oleh arus ground utilitas yang mencoba kembali ke transformator, serta sumber lainnya.

Pengukuran yang diperlukan adalah resistansi; kenapa saya tidak bisa menggunakan multimeter? Untuk alasan yang sama bahwa rentang kontinuitas pada pengujian insulasi tidak boleh digunakan. Pengukuran dibuat dengan multimeter dc dapat mengalami distorsi oleh gangguan listrik di dalam tanah. Multimeter tidak menawarkan sarana untuk memverifikasi bahwa resistansi yang ditampilkan mewakili apa pun selain pengukuran yang sewenang-wenang antara dua titik yang nyaman. Dengan multimeter, seseorang dapat mengukur tahanan tanah antara elektroda tanah dan beberapa titik referensi, seperti sistem pipa air, tetapi arus gangguan mungkin menghadapi resistansi yang lebih tinggi. Pengujian tanah asli dapat menerima standar yang dikembangkan di lapangan prosedur yang memiliki pemeriksaan silang bawaan yang mengekspos kondisi pengujian yang tidak memadai.

Apa perbedaan antara tes dua poin, tiga poin, dan empat poin?

Secara harfiah, jumlah titik kontak dengan tanah. Lebih khusus lagi, istilah yang umum digunakan ini mengacu pada uji tanah mati, potensi jatuh, dan metode Wenner. Dalam metode tanah mati, kontak dibuat hanya pada dua titik: elektroda arde yang diuji dan arde referensi yang nyaman, seperti sistem pipa air atau tiang pagar logam. Di musim gugur metode potensial, tanah asli tester melakukan kontak melalui elektroda uji, ditambah probe arus dan potensial. Dengan Wenner metode, tidak ada elektroda tanah yang terlibat, melainkan sifat listrik independen dari tanah itu sendiri dapat diukur menggunakan pengaturan empat probe dan prosedur standar yang diakui.

Tidak bisakah saya melakukan pengukuran ke tempat referensi?

Metode umum ini sering menggunakan instrumen selain pengujian tanah khusus. Disebut sebagai metode tanah mati karena tanah referensi hanya digunakan untuk pengujian dan tidak normal bagian dari sistem kelistrikan. Itu bisa berupa pipa air, tiang pagar logam, atau bahkan batang yang

digerakkan hanya untuk uji. Metode ini populer karena kemudahannya dan sifatnya yang umum, tetapi tidak dianjurkan. Sejak tempat referensi kebetulan terletak dengan kombinasi kenyamanan dan kesempatan, itu hanya masalah keberuntungan jika resistansi tanah untuk itu benar-benar mewakili resistansi ground listrik yang sebenarnya. Selanjutnya, pengukuran harus diterima dengan iman, karena tidak ada cara untuk memvalidasinya, seperti yang ada dengan diterima metode standar. Metode ini tidak memiliki pengakuan independen dari otoritas standar, dan tidak ada digunakan dalam menetapkan keandalan hasil atau dalam perlindungan kewajiban.

Bagaimana saya tahu apakah tanah saya bagus?

Spesifikasi yang paling banyak digunakan adalah NEC, yang mengamanatkan untuk lahan perumahan resistansi 25 atau kurang. Ini bukan spesifikasi yang sangat sulit untuk dipenuhi. Yang lain lebih menuntut, dan dapat ditentukan oleh insinyur yang merancang sistem kelistrikan, atau oleh klien, atau mungkin: datang sebagai bagian dari persyaratan garansi untuk peralatan canggih. Yang paling sering ditemui spesifikasi untuk kawasan industri secara umum adalah 5 atau kurang. Komputer dan peralatan kontrol proses mungkin: permintaan sesedikit 1 atau 2 .

Seberapa sering saya harus menguji alasan saya?

Interval ganjil 5, 7, atau 9 bulan direkomendasikan sehingga berbagai musim semua akan ditemui di sukseksi. Ini karena kualitas dan efektivitas tanah sangat dipengaruhi oleh cuaca dan musim. Jika adwal pengujian triwulanan atau setengah tahunan digunakan, bulan-bulan tertentu akan secara konsisten dilewatkan, dan ini bisa menjadi tempat di mana landasan paling ditekankan oleh cuaca. Mengadopsi interval tidak teratur, di sisi lain, memastikan bahwa musim kasus terburuk akan terungkap. Sejak tanah kesalahan, potensi kebakaran atau kecelakaan, dapat terjadi kapan saja, perlindungan Anda hanya sebaik tanah kondisi dalam waktu terburuk tahun.

14.6. Tugas :

1. Jelaskan bagaimanakah cara mengurangi nilai tahanan tanah ?
2. Jelaskan bagaimana cara melakukan pengukuran grounding system ?
3. Apakah perlunya dilakukan pentanahan sistem tenaga listrik ?

Bab 15

Sistem Diesel Genset



Gambar 15.1. Diesel Genset

Genset atau Generator Set merupakan suatu alat yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Dimana genset ini terdiri dari 2 bagian yaitu engine sebagai penggerak dan alternator sebagai penghasil energi listrik. Bahan bakar yang digunakan dapat merupakan berbagai bahan bakar Diesel, Bensin atau Gas. Oleh karena itu Genset itu terdiri dari 2 bagian utama yaitu mesin penggerak dan generator itu sendiri. Hal ini dapat dilihat sebagaimana gambar 15.1.

Genset awalnya ditemukan oleh Michael Faraday dan juga Rudolph Diesel. Pada tahun 1831 Faraday menemukan induksi elektromagnetik yang dikemudian hari berkembang sangat pesat sehingga muncullah generator Diesel Genset ini dalam dunia teknik lebih dikenal dengan sebutan Genset. Dengan kepanjangan Generator Set. Generator adalah alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik dimaksud adalah energi penggerak yang berupa diesel.

A. Jenis - Jenis Genset

Genset berfungsi sebagai daya listrik cadangan, dan sebagai sumber listrik ketika lampu mati. Untuk mengoperasikan terdapat 2 jenis operasi, yaitu pengoperasian secara manual dan otomatis. Pengoperasian secara manual jika PLN padam maka Genset harus di running secara manual dengan melakukan starting manual. Dan jika PLN sudah menyala, maka Genset harus dimatikan secara manual juga. Sedangkan sistem otomatis, adalah jika terjadi PLN padam, maka Genset akan melakukan starting secara otomatis, dan jika PLN menyala maka Genset akan berhenti secara otomatis.



Gambar 15.2. Panel ATS / AMF

Untuk dapat melakukan start maupun stop secara otomatis, maka diperlukan suatu unit panel ATS (Automatic Transfer Switch). Panel ini beroperasi bergandengan dengan panel AMF (Automatic Main Failed). Panel AMF berfungsi sebagai Perangkat kontrol untuk engine. Gambar panel ATS AMF dapat dilihat sebagaimana gambar 15.2. Sistem apa saja yang dikontrol yaitu sistem:

1. Tekanan Olie (Oil Pressure)
2. Temperatur Air (water temperature)
3. Gagal start (Start Failed)

Untuk fungsi kontrol Tekanan Oli ini akan memberikan sinyal kepada AMF jika tekanan oli rendah. Hal ini akan mengamankan engine dari kegagalan pelumasan. Pelumasan yang tidak baik akan mengakibatkan material engine akan cepat aus, rusak dan engine akan tidak berfungsi. Tekanan oli rendah diakibatkan oleh kekentalan olie yang sudah menurun dikarenakan usia atau dikarenakan olie tercampur dengan air karena ada kebocoran maupun karena usia olie. Disamping itu jika ada kebocoran pembakaran pada piston hal itu juga mengakibatkan terbakarnya olie dan olie akan berkurang. Dengan adanya AMF ini, jika level olie berkurang atau kekentalan olie menurun, maka alarm akan berbunyi dan engine akan terselamatkan.



Gambar 15.3. Lambang Tekanan dan Level Olie

Untuk fungsi water temperatur ini juga memiliki peran yang penting dalam beroperasinya suatu engine yang merupakan penggerak dari genset. Gambar indikator teemperatur Air sebagaimana pada gambar 15.4. Water temperatur ini diperoleh dengan memasang sensor temperatur pada aliran air pendingin engine. Kontrol temperatur air ini mempunyai fungsi untuk menjaga temperatur engine. Nilai temperatur ini bisa naik dikrenakan kebocoran pipa pendingin. Ketika terjadi kebocoran pipa air akan mengurangi volume air pendingin dan akhhirnya berdampak pada pendinginan yang tidak sempurna.

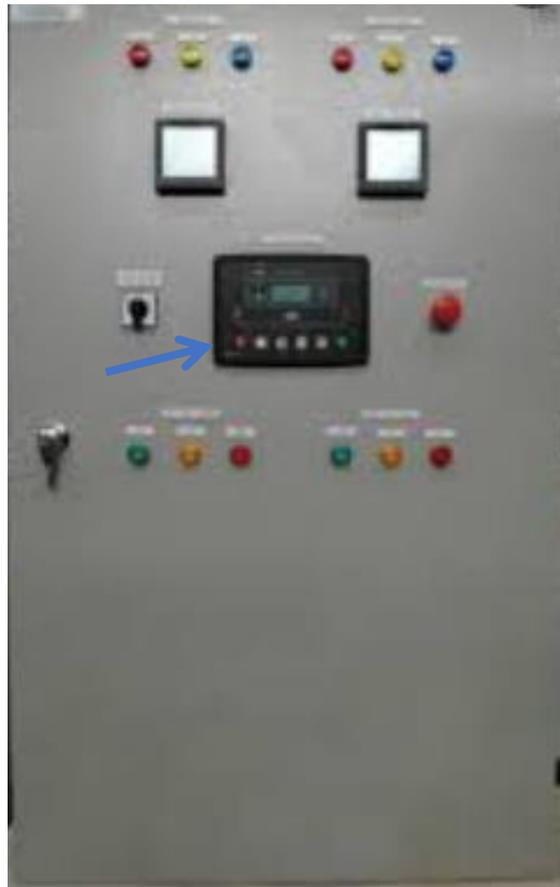


Gambar 15.4. Indikator Temperatur Air

Pengecekan jika sensor water temperatur ini tidak berfungsi dapat dilakukan hal sebagai berikut: pada sensor dilakukan pelepasan pada kabel input sensor lalu coba dikonekkan antara 2 kabel tersebut, jika alarm berbunyi, maka kabel penghubung bisa beroperasi dengan baik dan yang bermasalah adalah sensor yang dipasang,, namun jika dua kabel tersebut dikoneksikan tetapi tidak muncul alarm maka dapat disimpulkan bahwa kabel penghantarnya bermasalah.

Sedangkan untuk alarm over crank dimaksud adalah untuk pengaman engine jika engine menapatkan perintah start tetapi tidak merespon dengan baik, maka system akan mengamankan engine pada kesempatan ke tiga. Perinta start akan dilakukan oleh system sebanyak 3 kali. Dan ketika kali ke tiga engine tidak merespon maka sistem akan mengunci, sehingga kondisi accu dan engine akan aman.

Mnyelamatkan accu dari overload dan menyelamatkan engine dari kemasukan angin. Alarm over crank ini akan dapat dilihat pada modul yang ada pada panel ATS / AMF (Lihat Gambar 15.5)



Gambar 15.5. Alarm Over Crank Dapat Dilihat Pada Modul Panel ATS/AMF

Menurut lamanya beroperasi genset dibagi menjadi 2 kelompok, Kelompok yang pertama yaitu disebut dengan stand by unit dan yang kedua disebut dengan continuous unit. Stand b unit dimaksudkan adalah genset beroperasi hanya jika sumber daya listrik prima terjadi gangguan, sehingga Genset hanya running untuk melakukan back up saja. Dan kejadian semacam ini tidak berada pada waktu yang lama.

Sedangkan untuk continuous unit yaitu Genset beroperasi dengan terus menerus selama 24 jam. Genset yang semacam ini berfungsi sebagai sumber energi utama / primer. Genset yang bekerja terus menerus ini memiliki karakteristik yang berbeda dengan Genset yang standby unit. Genset continuous ini memiliki ruang penyimpanan oli atau Oil Carter dengan volume yang lebih besar daripada yang stand by unit.

15.1 Sistem Diesel Genset

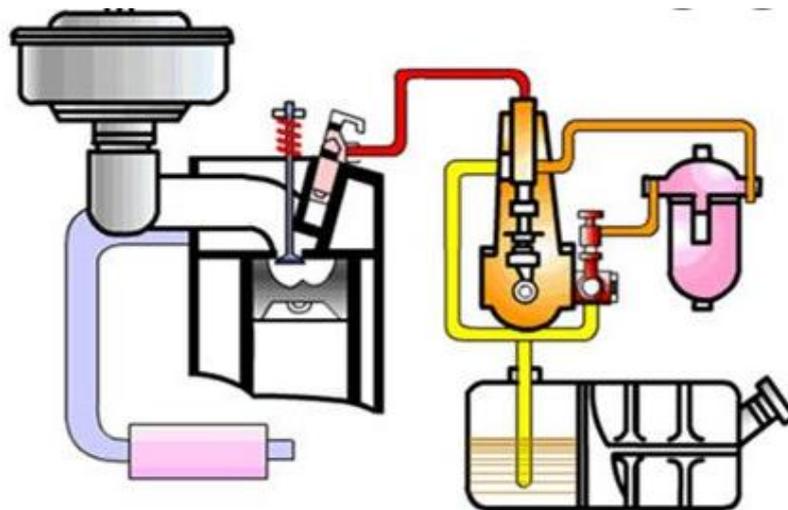
Pada sistem Genset ada 2 bagian besar yang berada di dalamnya, yaitu sistem engine dan sistem Generator;

a) Sistem Engine,

Sistem engine ini terdiri dari beberapa sub sistem sebagai berikut :

1) Fuel System

Fuel System adalah sistem yang berkaitan dengan bahan bakar yang digunakan untuk mengoperasikan engine. Sistem ini dimulai dari tangki bahan bakar, lalu selang penghubung antar bahan bakar, Fuel Injection Pump dan masuk ke ruang bakar. Apakah yang terjadi jika terdapat gangguan pada sistem fuel ini, maka engine tidak akan dapat running. Atau jika engine sudah running lalu terdapat masalah pada Fuel System ini, maka engine akan hunting dan lama lama akan terhenti. Agar supaya kebersihan aliran bahan bakar terjaga, maka diperlukan suatu filter bahan bakar. Filter bahan bakar ini biasanya dipasang sebelum FIP. Disamping filter bahan bakar yang dipasang pada saluran bahan bakar, maka biasanya dipasang juga Oil water separator (OWS). Fungsi OWS ini adalah untuk memisahkan air dan bahan bakar. Hal ini diperlukan karena dimungkinkan saluran bahan bakar akan kemasukan air. Jika hal ini terjadi, maka pembakaran pada ruang bakar akan terganggu oleh air. Sistem bahan bakar ini dapat dilihat sebagaimana gambar 15.6.

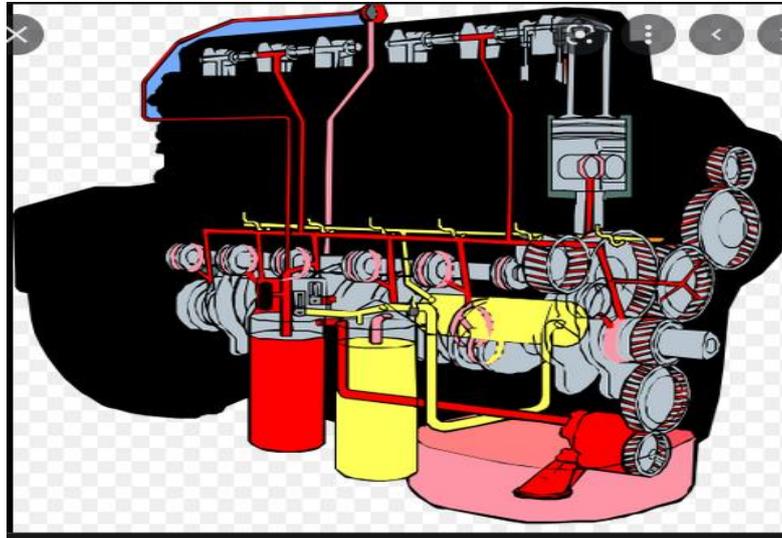


Gambar 15.6. Fuel System Engine

2) Lube Oil System

Lube Oil system adalah sistem yang digunakan untuk melakukan pelumasan komponen yang ada pada engine. Komponen-komponen yang berada pada engine adalah komponen yang melakukan gerak rotasi, bahkan ada komponen yang terus menerus melakukan gesekan. Sehingga komponen ini membutuhkan suatu sistem

pelumasan yang baik. Lube oil system ini bermula dari oil carter yang berada pada bagian bawah engine dan akan naik untuk melakukan pelumasan komponen engine dengan dipompakan oleh pompa oli, sehingga oli akan naik dan melumuri seluruh komponen pada engine. Sistem pelumasan ini didukung oleh sistem sensor tekanan oli. Untuk supaya kebersihan oli pelumas ini terjaga, maka diperlukan suatu filter oli. Sehingga jika filter oli ini sudah kotor, maka harus diganti dengan yang bersih. Gambaran mengenai Lube Oil System dapat dilihat sebagaimana pada Gambar 15.7.



Gambar 15.7. Lube Oil System

3) Baterey System/ accu system

Baterey system ini adalah sistem yang dapat digunakan untuk melakukan starting engine. Jika tegangan baterey ini kurang dari tegangan standart engine, maka engine tidak akan dapat start (lihat Gambar 15.8). Sehingga baterey ini dalam kondisi engine tidak running, maka harus dapat charging tegangan dari baterey charger yang bersumber dari listrik PLN. Listrik PLN mempunyai tegangan bolak balik yang disearahkan oleh baterey charger / adaptor, lalu dimasukkan ke tegangan baterey / accu Lihat Gambar 15.9. Dalam kondisi engine running maka charging baterey dilakukan oleh alternator / dinamo ampere.



Gambar 15.8 Battery Engine / Accu engine

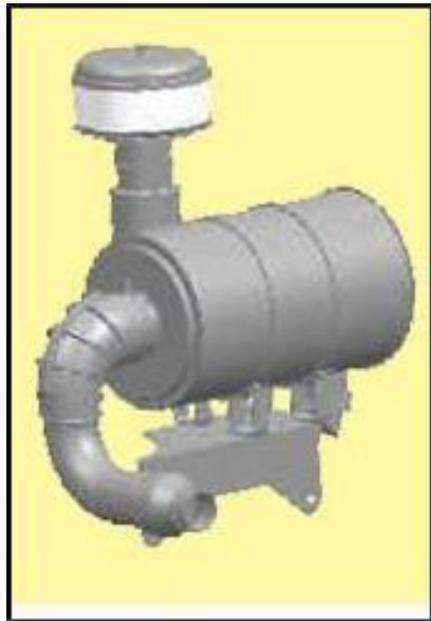


Gabar 15.9. Battery Charger

4) Air intake system

Yang dimaksud dengan Air intake system disini adalah sistem yang digunakan untuk memberikan udara bersih ke dalam sistem. Udara bersih ini digunakan untuk memberikan udara pada ruang bakar. Udara ini pada ruang bakar bercampur dengan bahan bakar dan ditekan sehingga terjadi ledakan, dimana ledakan ini akan menimbulkan gerakan pada piston. Piston yang terlempar karena ledakan ini akan menggerakkan crank shaft yang seterusnya akan menggerakkan flywheel atau roda gila yang terdapat pada engine. Jika pasokan udara ini terhambat maka pembakaran tidak akan dapat dilakukan dengan sempurna. Jika pembakaran tidak sempurna maka engine tidak akan dapat mengeluarkan tenaga yang digunakan untuk menggerakkan generator. Udara yang masuk pada system ini di saring terlebih dahulu dengan

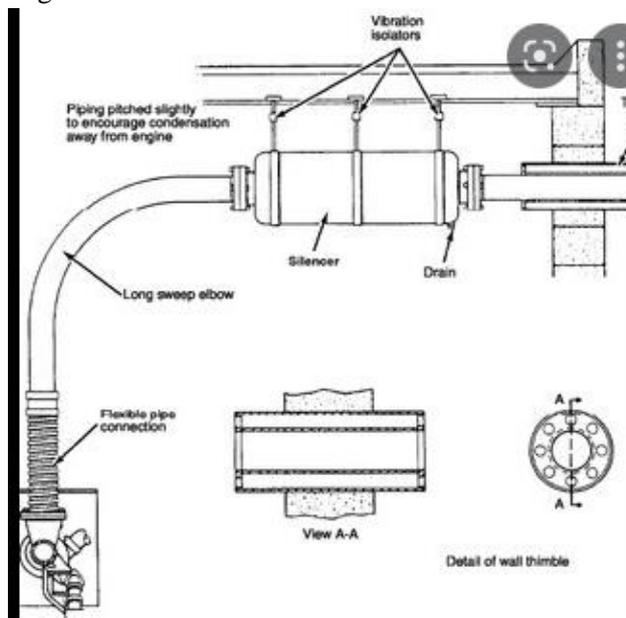
menggunakan filter udara. Dimana filter udara harus diganti pada satuan waktu tertentu. Air Intake System ini dapat dilihat sebagaimana pada gambar 15.10.



Gambar 15.10. Air Intake System

5) Exhaust Pipe System.

Exhaust pipe system adalah sistem yang digunakan oleh engine untuk mengeluarkan sisa pembakaran dari ruang bakar. Pada Exhaust system ini keluar asap dan suara. Exhaust system ini harus mengarah ke atas dan dilindungi dari masuknya air hujan dari atas. Jika diperlukan maka boleh ditambahi dengan pipa. Gambar Exhaust System sebagaimana pada gambar 15.11



Gambar 15.11. Exhaust Pipe System

6) Exhaust Cilencer System

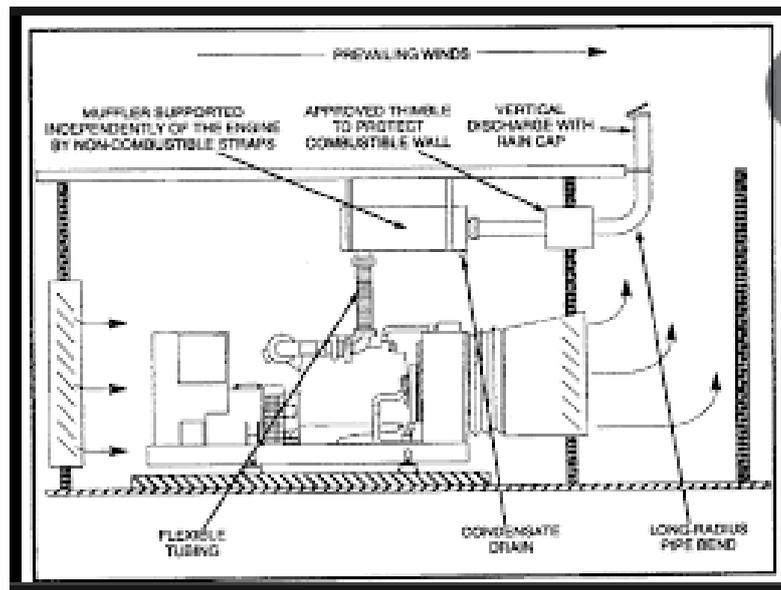
Exhaust Cilencer System (Gambar 15.12) adalah suatu alat yang digunakan untuk melakukan peredaman suara yang keluar melalui exhaust pipe system. Bentuk dari exhausts cilencer system ini seperti bulatan kendangan untuk meredam suara engine. Pada design tertentu digunakan secondary cilencer. Hal ini biasanya dipasang untuk system Genset yang membutuhkan peredaman tingkat tinggi. Maksimal suara yang dikeluarkan sebesar 75 db pada jarak 3 m.



Gambar 15.12. Exhaust Cilencer System

7) Exhaust Ducting System

Exhaust ducting system berkaitan dengan pengarahannya udara panas yang keluar dari engine, Sebagai udara panas yang dikeluarkan dari manifold engine yang tersalur melalui exhaust pipe tidak boleh keluar begitu saja pada ruang genset. Sehingga diperlukan pemasangan ducting pada bagian tersebut. Ducting dapat tersambung pada lingkup manifold atau tersambung dengan radiator engine. Gambar Exhaust Ducting System dapat dilihat sebagaimana pada gambar 15.13.



Gambar 15.13 Exhaust Ducting System

8) Water cooling system

Water cooling system adalah bagian dari sistem pendinginan engine. Sistem ini memiliki komponen utama pompa air dan radiator. Air yang berfungsi sebagai pendingin akan dialirkan keseluruh bagian engine dengan dipompa oleh pompa air. Lalu air yang telah mengalir ke seluruh bagian engine ini akan mengalir pada radiator dan mengalami proses pendinginan.

b) Sistem Generator

Sistem generator memiliki komponen utama yaitu: Rotor, Stator, Automatic Voltage Regulator dan MCB. Masing masing memiliki peran sebagai mana dijelaskan pada bab Elektromagnet pada bagian sebelumnya.

2.2 Perangkat dan Komponen Genset Diesel

1. Radiator bertindak sebagai mesin perpindahan panas. Konstruksi radiator ini terdiri dari tabung tabung tipis yang berfungsi untuk dialiri udara panas dan udara panas tersebut didinginkan dengan udara yang mengalir. Udara dingin tersebut dihembuskan oleh radiator. Fan Radiator akan meniupkan udara dingin unuk dihembuskan pada radiator. Sehingga udara panas yang ada pada radiator akan semakin dingin.



Gambar 15.14 Radiator

2. Water pump mengalirkan cairan pendingin dari mesin ke radiator dan kembali ke mesin.” Water pump ini digerakkan oleh gerakan mesin melalui belt / sabuk yang dipasang pada bagian depan mesin.



Gambar 15.15. Water pump

3. Dinamo starter ini terpasang pada setiap engine dengan kapasitas yang besar. Sedangkan untuk engine yang berkapsitas kecil tidak menggunakan dinamo starter tetapi menggunakan tarikan tangan pada engine. Dinamo starter ini akan

menggerakkan roda gila yang terpasang pada bagian engine. Dengan menggerakkan roda gila maka engine akan running. Sesudah engine running maka dinamo starter akan berhenti..



Gambar 15.16. Dinamo Starter

4. Pengisian alternator bertindak seperti pengisi daya baterai saat mesin sedang berjalan. Konstruksinya mirip dengan generator tiga fase di mana stator dililitkan dalam kumparan tiga fase, tetapi tegangannya kecil antara 12-15 volt atau 24-28 volt. Output tiga fasa ini disearahkan oleh 6 dioda sehingga membentuk terminal positif dan negatif. Tegangan DC diatur oleh regulator. Regulator berfungsi untuk mengatur arus pengisian.



Gambar 15.17. Dinamo Ampere

5. Turbocharger membantu meningkatkan tekanan udara pada air intake, karena turbocharger merupakan kompresor yang digerakkan oleh turbin gas buang. Turbo charger ini akan memberika oksigen segaar degan memanfaatkan putaran kipas yang berasal dari exhaust sistem sebagai sisa pembakaran engine. Antara gas buang dan oksigen masuk terdapat satu poros yang sama. Putaran yang digerakkan gas buang

akan memberikan energi putaran pada fan yang akan memasukkan udara bersih ke dalam ruang bakar. Dengan adanya pemasukan oksigen segar ini akan meningkat dari 20 menjadi 35% tenaga sebelum menggunakan turbocharger.



Gambar 15.18. Turbo Charger

6. Injection pump bertindak sebagai pompa injeksi di ruang bakar melalui nosel.” Pompa ini memiliki tekanan kerja yang tinggi hingga bar. Tekanan kerja yang tinggi menyebabkan bahan bakar solar teratomisasi di dalam ruang bakar.



Gambar 15.19. Fuel Injection Pump

7. Pompa injeksi terdiri dari dua plunger yang digerakkan oleh mekanisme cam yang berputar. Piston ini memompa bahan bakar ke dalam silinder dalam urutan pembakaran. Pompa injeksi ini diputar oleh mesin melalui mekanisme roda gigi. Di dalam pompa injeksi terdapat pengaturan konsumsi bahan bakar sehingga kecepatannya bisa diatur.

8. Engine Control Panel berfungsi sebagai perlindungan, kontrol, dan perintah. Proteksi tersebut untuk memberikan keamanan bagi motor, termasuk sakelar suhu air tinggi, sakelar tekanan oli rendah, dan relai kecepatan berlebih. Pada pembangkit berkapasitas besar, proteksi internal lebih lengkap, karena sudah berbentuk unit kontrol. Pantau pembacaan volt, ampere, frekuensi, jam kerja, suhu air, dan tekanan oli. Perintah ini untuk menghidupkan mesin, menghentikan mesin dan berhenti darurat.



Gambar 15.20. Panel Kontrol Engine

9. Air filter berfungsi Filter udara menyaring udara yang masuk.



Gambar 15.21. Filter Udara

10. Fuel filter berfungsi menyaring kotoran yang terbawa bahan bakar berupa pasir, serbuk besi atau kotoran lain yang berbahaya bagi mesin.



Gambar 15.22. Filter Solar

11. Filter oli menyaring kotoran yang terdapat pada olie. Jika terdapat kotoran ini, maka kotoran akan ikut melakukan sirkulasi ke seluruh aliran engine dan ini berdampak pada kerusakan dinding proses pembakaran.



Gambar 15.23. Filter Olie

12. Prelubrication pump atau priming pump berfungsi untuk memberikan pelumasan bagi mesin pada kondisi idle/standby. Pelumasan mensirkulasikan oli pelumas ke seluruh mesin dengan menggunakan pompa oli yang digerakkan oleh motor listrik. Pompa ini di setting berjalan setiap 6 jam selama 6 menit.



Gambar 15.24. Prelubrication Pump

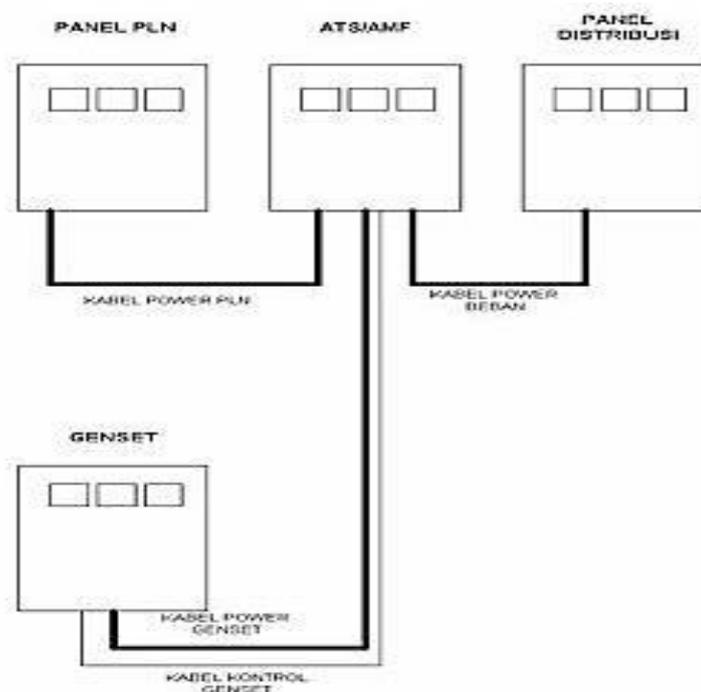
13. Water separator berfungsi sebagai pemisah antara kadar air dan bahan bakar. Kandungan air jika masuk ke sistem bahan bakar akan menyebabkan kerusakan mesin. Tangki penyimpanan bahan bakar yang dibiarkan terlalu lama dapat menyebabkan pengembunan pada pagi dan sore hari. [2]



Gambar 15.25. Oil Water Separator

15.2. Panel ATS / AMF

Seiring perkembangan teknologi dan juga perkembangan jaman yang semakin maju, listrik mendominasi di berbagai aspek kehidupan sehari-hari dan listrik semakin meningkat dikarenakan semakin tingginya penggunaan. Karena pentingnya listrik, kondisi listrik juga beban menjadi beban ketika tiba-tiba terjadi pemadaman dari sumbernya yaitu PLN. Untuk menghindari hal tersebut maka penggunaan generator set atau yang sering kita sebut genset menjadi hal yang penting guna menjadi sumber listrik jika sumber listrik dari PLN padam. Tetapi dibalik sebuah genset, ada sebuah komponen atau system yang terhubung dengan generator set yang bisa menjadi teknologi otomatis guna keamanan dan otomatisasi mesin genset dalam arti lain alat alternatif untuk power otomatis mesin genset, komponen tersebut yaitu Panel ATS/AMF yang mana akan saya jelaskan dalam makalah ini. Sedangkan skema panel ATS / AMF sebagaimana pada gambar 15.26.



Gambar 15.26. Skema Antar Panel

PANEL ATS/AMF (Automatic Transfer Switch/Automatic Main Failure). Merupakan salah satu komponen yang dapat kita jumpai di sebuah panel yang terhubung dengan generator set atau sering kita sebut genset, yang mana secara system, panel tersebut memiliki fungsi mengontrol secara otomatis guna mengatur perpindahan daya. Panel ini juga sangat penting untuk digunakan di Kawasan industri, pusat perbelanjaan, kantor, perumahan, serta rumah sakit dan lain lain.

Panel ATS/AMF adalah sebuah perangkat atau system yang memiliki fungsi untuk pengaturan pergantian secara otomatis dari beberapa sumber energi listrik. Dan panel ATS/AMF memiliki prinsip sebagai pengganti operator manual untuk memindahkan arus listrik. Sebagai contohnya, sumber energi listrik dari PLN mengalir menuju power generator set. Selanjutnya AMF memiliki fungsi untuk start generator set secara otomatis jika listrik dari PLN nihil atau padam. Untuk ATS memiliki fungsi memindahkan aliran listrik dari sumbernya, yang mana sumber energi listrik tersebut dari PLN atau generator set. Dapat disimpulkan dari penjelasan singkat diatas bahwa Panel ATS/AMF memiliki peran penting guna sebagai kebutuhan maupun keperluan alternatif.

15.3. Panel Sinkron

Panel Sinkron atau panel synchronize ini digunakan untuk melakukan sinkronisasi pada 2 atau lebih genset. Hal ini dibutuhkan jika beban yang ada tidak sanggup untuk handle beban. Sehingga diperlukan tambahan genset yang lain.

Untuk melakukan sinkronisasi, maka harus dipenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Nilai tegangan genset yang akan di sinkronkan harus sama.
2. Frekuensi tegangan harus sama.
3. Urutan fasanya harus sama.

Untuk melakukan sinkronisasi genset, maka dikenal 2 jenis pengoperasiannya, yaitu:

1. Pengoperasian dengan cara jika genset yang satu running terlebih dahulu maka beban akan diuplai oleh satu genset, jika sudah tidak mampu, maka genset yang kedua akan running.
2. Pengoperasian dengan cara bersama, jika ada PLN padam, maka genset akan running kedua-duanya, dan akan menyuplai beban secara bersama.



Gambar 15.27

Panel sinkron sendiri banyak dibutuhkan oleh industri-industri besar karena fungsinya yang menguntungkan dan dianggap sangat diperlukan dalam operasi industri. Secara umum, Panel Sinkron memiliki 3 fungsi, yaitu diantaranya :

1. Digunakan sebagai Back Up PLN

Panel Sinkron digunakan sebagai Back Up PLN artinya saat PLN mengalami masalah atau terjadi pemadaman, panel ini dapat Back Up atau menggantikan Power PLN.

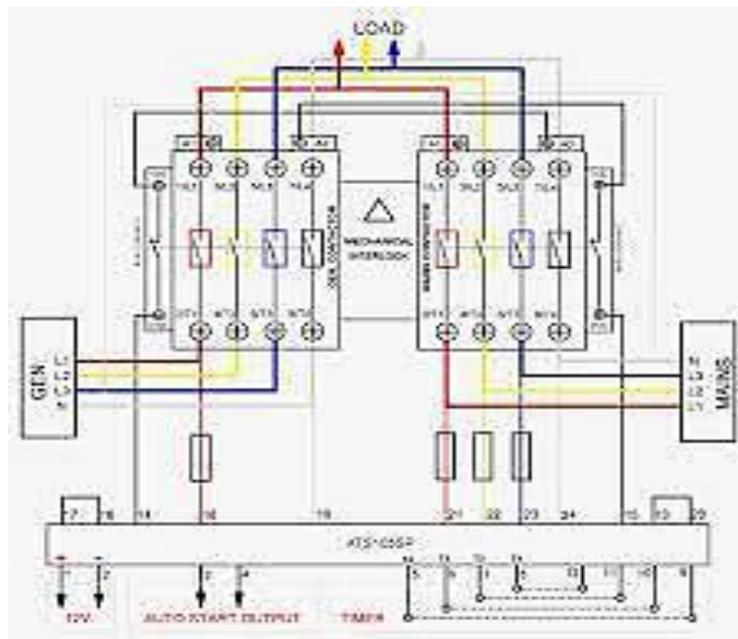
2. Sebagai Back Up Emergency

Bukan hanya sebagai Back Up panel sinkron juga dapat digunakan sebagai Back Up Emergency . Maksud dari ini adalah sebagai contoh jika sumber PLN terpasang 1000 kVA tetapi beban maksimalnya 1500 kVA, maka genset akan menanggung sebagian bebannya.

3. Sebagai sumber power utama

Panel sinkron digunakan sebagai sumber power utama yakni maka power akan menggunakan sepenuhnya atau lebih banyak mengandalkan panel ini.

Skematik diagram panel sinron adaah sebagaimana pada gambar 15.28.



Gambar 15.28. Skematik Diagram Panel Sinkron

15.4. Tugas

1. Apakah kegunaan panel ATS
2. Apakah kegunaan panel AMF
3. Bagaimana proses sinkron dilakukan ?

Bab 16

Sistem Tenaga Listrik Negara Maju



Gambar 16.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Kebutuhan energilistrik masyarakat saat ini semakin lama semakin meningkat, khusus pada industry maupun kota-kota besar. Dalam sehari – hari pun kita juga menggunakannya, semisa dalam mengisi daya baterai.

Negara negara berkembang maupun negara maju di dunia ini sanget tergantung kepadda listrik, sehingga mereka senantiasa melakukan penelitian dan pengembangan bagaimana caranya akan dapat mendapatkan ketersediaan energi listrik yang murah dan ramah lingkungan. Sehingga semakin lama tingkat produksi naupun kualitas untuk penyediaan listrik semakin meingkat, begitu juga energi fosil. Energi fosil ini merupakan salah satu sumber energi yang saat ini sudah mulai ditinggalkan.. Dan berganti dengan menggunakan renewable energy (Energi yang baru dan terbarukan). Energi dimaksud adalah energi pembangkit listrik yang berasal dari matahari, angin energi air laut dan sebagainya.

16.1. Energi Alternatif Masa Depan

Energi yang baru dan terbarukan adalah Energi alternatif untuk menggantikan enegi fosil. Energi ini antara lain :

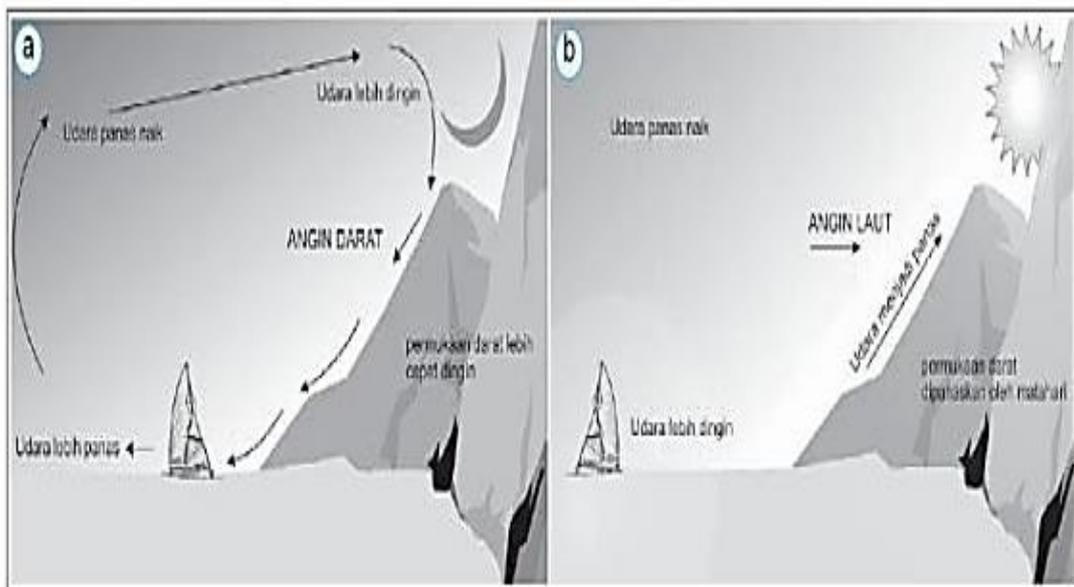
1. Energi Surya
2. Energi Bayu
3. Energi Air laut.
4. Energi ombak
5. dll

Dalam sejarahnya, angin telah dimanfaatkan pula oleh orang jaman dahulu. Seperti di China dulu, sejarah akan adanya layangan sebagai penyampai informasi jarak jauh merupakan contoh real pemanfaatan angin. Kemudian di Persia dulu juga menggunakan baling-baling angin berbentuk vertical yang digunakan untuk menggerakkan pemukul padi agar menghasilkan beras, dan lain sebagainya.



Gambar 16.2. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Jenis angin sendiri sangat banyak jenisnya, seperti contoh dibawah ini: Gambar 16.2.



Gambar 16.3 Angin darat dan Laut

Angin merupakan energi yang tidak mempunyai batas. Contoh dari gambar 1 diatas hanya sedikit dari berbagai macam jenis angin. Maka hal ini perlu untuk diambil langkah serius dalam pemanfaatan sumber daya angin. Utamanya pemerintah sebagai pihak yang mengemban amanah untuk pengembangan energi terbarukan sangat ditunggu.

Salah satu renewable energi yaitu energi angin. Douglas C. Giancoli tahun 1998 merumuskan bahwa Energi bayu itu merupakan energi yang memiliki masa dan bergerak pada kecepatan tertentu dan memiliki masa

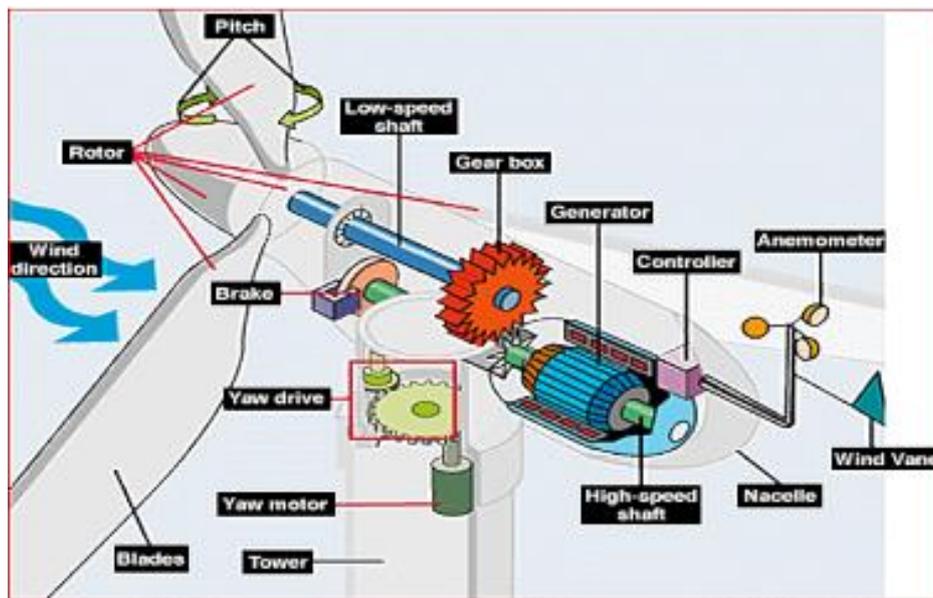
$$E = 0,5 \cdot m \cdot V^2$$

E = energi potensial angin (*Joule*)

m = massa udara (kg)

V = kecepatan angin (m/s)

Dengan angina yang menggerakkan turbin tentu akan menghasilkan daya listrik terbarukan yang cukup efektif. Untuk mekanisme dari turbin seperti di gambar berikut.



Gambar 16.4. Desain Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Menurut Djodjodiharjo dan Jans Peter pada tahun 1983, Pembangkit semacam ini mendapatkan tambahan energi dari angin. Air ini akan memiliki karakteristik angin di wilayah tersebut dan karakteristik dari turbin angin yang dipasang. Jadi apabila dibuat PLTA maka harus ditempatkan di wilayah yang terdapat angin yang cukup memadai.

Disamping penggunaan energi angin yang memiliki cukup banyak persediaan di muka bumi ini, maka ada energi lain yang banyak digunakan yaitu energi Matahari. Energi matahari ini dapat dimanfaatkan sebagai energi yang lebih dikena dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Pemanfaatannya cukup sederhana, hanya dengan membuat sel surya atau yang dikenal dengan sebutan Photo voltaic, yang dimasukkan pada kontroler dan digunakan bersama baterai, maka photovoltaic ini sudah dapat dimanfaatkan.

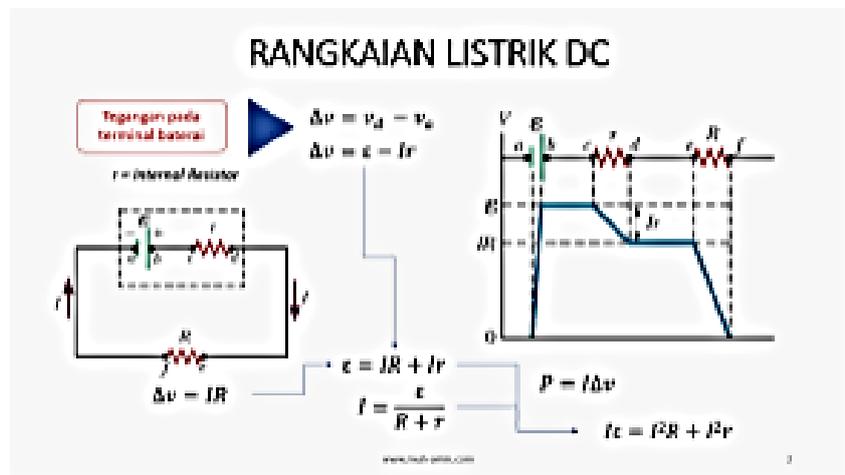
Kedua sumber energi diatas, mempunyai daya keluaran dalam bentuk arus searah (DC). Sehingga jika sistem in dikoneksikan dengan beban yang memiliki karakteristik beban DC sangat sesuai. Namun jika pembnagkit dengan arus searah lalu digunakan unuk menyupai beban arus bolak balik, maka harus diperlukan inverter untuk mengubah arus searah menjadi arus bolak balik. Dengan

menggunakan inverter maka arus listriknya akan tergerus paling tidak 20% untuk kebutuhan inverter tersebut.

16.2. Sistem DC

Penggunaan sistem Arus searah DC pada sistem kelistrikan ini memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Sistem DC yang menggunakan pembangkit Renewable energi yang relatif lebih murah dan mudah dalam pengoperasiannya. Sistem DC memiliki kelebihan sebagai berikut :

1. Mudah dalam proses pembangkitannya.
2. Mudah dalam proses pengoperasiannya.
3. Mudah dalam proses perawatannya.
4. Mudah dalam melakukan proses penyimpanan energinya.
5. Tidak mengalami distorsi saat penyaluran energi listriknya (Tidak ada rugi rugi beban).



Gambar 16.3. sistem DC

Sedangkan kekurangan jika digunakan menggunakan sistem arus searah adalah sebagai berikut :

1. Biaya investasi awal agak mahal
2. Tehnologi masih terus dikembangkan untuk lebih meningkatkan efisiensi.
3. Masih terbatas pemroduksian alat dan komponennya.
4. Untuk pelaksanaan maintenance nya terkendala pada hal – hal yang masih belum pernah dialami.
5. Jika melakukan proses sinronisasi pada ssistem energi yang berskala besar, mengalami kesulitan dikarenakan harus ada rekayasa perubahan sistemnya.

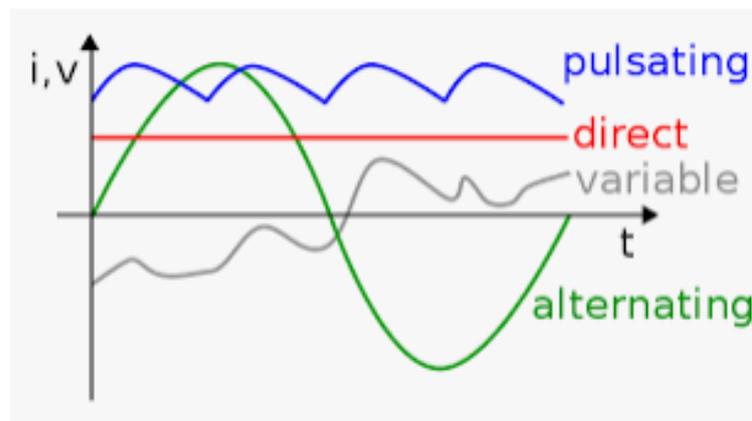
16.3. Sistem Arus bolak balik (AC)

Energi listrik adalah salah satu energi yang bermanfaat bagi kehidupan manusia, terutama pada zaman yang sudah modern ini. Karena listrik memiliki salah satu fungsi fundamental untuk memenuhi kebutuhan manusia, dari kebutuhan sehari-hari maupun kebutuhan industri. Sehingga diperlukan pasokan enengri yang stabil. Hal ini dikarenakan energi listrik mudah untuk dikirimkan dan diubah menjadi bentuk yang lain. ke dalam bentuk energi lain. Penyediaan listrik yang stabil dan secara

berkelanjutan menjadi syarat mutlak. Arus bolak balik atau yang dikenal dengan arus alternating current (AC) merupakan sistem yang menggunakan arus bertegangan bolak balik.

Di masa ini, terutama di daerah beriklim tropis seperti Indonesia, AC yang merupakan suatu contoh kegunaan dari energi listrik menjadi suatu kebutuhan bagi orang-orang tertentu. Hal inipun juga merambah pada sarana transportasi darat, laut, maupun udara.

Penggunaan Arus bolak balik pada sistem kelistrikan suatu negara banyak dipakai saat ini. Dan teknologinya memang banyak digunakan karena pengembangannya yang terjadi banyak dikuasai saat ini. Demikian juga sistem Arus searah, maka sistem Arus Bolak Balik pun memiliki sejumlah kelebihan dan kekurangan.



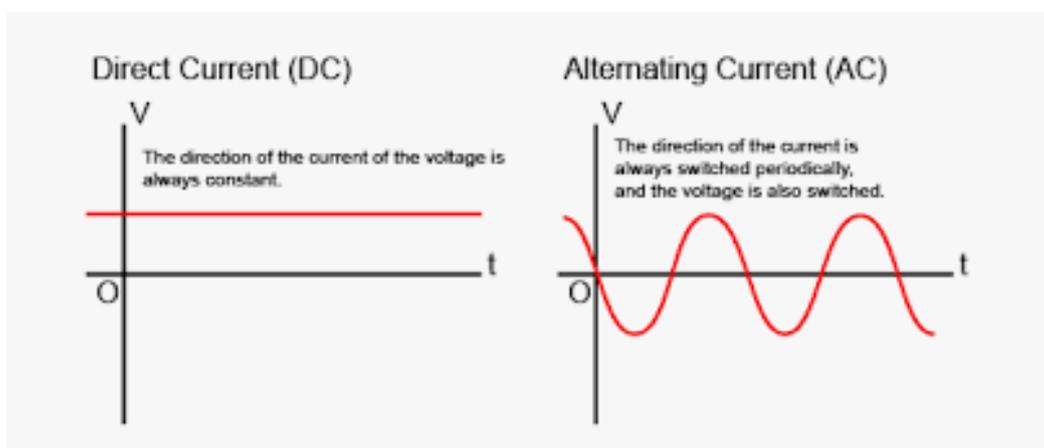
Gambar 16.4. Pulsa Arus Bolak Balik dan Arus Searah

Penggunaan listrik adalah penemuan yang relatif baru jika mengingat sejarah umat manusia. Penggunaannya menjadi sangat populer dalam eksperimen yang dilakukan oleh Thomas Edison ketika ia menciptakan bola lampu listrik pertama. Bola lampu menampilkan penggunaan arus searah yang memindahkan elektron dalam satu arah terus menerus. Penggunaan arus searah populer pada awalnya karena menjadi standar di Amerika Serikat tetapi segera ditentang oleh beberapa individu seperti Nikola Tesla. Penentangan ini menyebabkan perbedaan dalam konsep bagaimana listrik dapat digunakan dengan cara yang paling efektif dan efisien. Akibatnya Tesla mengembangkan arus alternatif yang secara berkala membalikkan arah arus listrik yang dulunya langsung mengalir. Pada tahun 1893 General Electric, menggunakan arus searah, dan George Westinghouse, menggunakan arus bolak-balik, keduanya bersaing untuk mengemparkan The Chicago World's Fair. Pada akhirnya Westinghouse menang karena mereka mampu mengemparkan pameran sambil menghemat hampir \$155.000. Westinghouse juga akan membuktikan bahwa arus bolak-balik lebih unggul ketika mereka menggunakan tenaga air dari Air Terjun Niagara untuk menghasilkan listrik dan menggunakan arus bolak-balik untuk mengirimkannya ke Buffalo dan memberi daya pada kota. Pada akhirnya arus bolak-balik dan searah terbukti memiliki kegunaan masing-masing di mana yang satu lebih baik dari yang lain.

Seperti disebutkan sebelumnya arus bolak-balik dan arus searah masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri. Misalnya, arus bolak-balik lebih dapat diandalkan untuk jarak yang lebih jauh, seperti yang terlihat ketika Westinghouse menggunakannya dan pembangkit listrik tenaga air dari Air Terjun Niagara untuk menggerakkan Buffalo. Pada saat yang sama arus searah terbukti lebih

efisien dalam hal barang skala kecil seperti baterai. Arus bolak-balik telah terbukti lebih terjangkau untuk transmisi listrik jarak jauh. Ini karena arus bolak-balik dapat ditransmisikan pada tegangan tinggi yang berarti mungkin ada arus yang lebih rendah dan oleh karena itu lebih sedikit kerugian karena resistansi yang lebih kecil pada kabel. Selain itu, saat menggunakan arus bolak-balik, Anda dapat menggunakan kabel yang lebih tipis yang lebih murah untuk diproduksi dan lebih murah untuk ditanggung. Arus bolak-balik juga lebih mudah diubah dalam hal menaikkan atau menurunkan tegangan melalui penggunaan transformator. Hal ini memungkinkan bisnis listrik untuk menaikkan tegangan agar dapat mentransmisikannya dengan mudah tetapi juga menurunkan tegangan sehingga dapat digunakan oleh konsumen. Di sisi lain, lebih sulit untuk mengubah tegangan arus searah karena sistem yang jauh lebih kompleks dan mahal. Akibatnya arus searah tidak dapat berjalan terlalu jauh tanpa kehilangan banyak energi. Oleh karena itu tidak praktis untuk menggunakan arus searah jarak jauh, itulah sebabnya arus bolak-balik digunakan.

Meskipun arus searah tidak efisien untuk penggunaan jarak jauh, namun sangat praktis untuk digunakan pada skala yang lebih pendek. Misalnya, arus searah digunakan pada barang-barang seperti komputer, laptop, ponsel, kamera, dll. Arus searah pada dasarnya digunakan pada barang apa pun yang berisi baterai. Ini karena arus searah lebih efisien dan efektif ketika mengalir ke objek yang lebih kecil. Karena objeknya sangat kecil, dibandingkan dengan kisi-kisi arus bolak-balik, mereka tidak memerlukan manfaat arus bolak-balik seperti memiliki kemampuan untuk dengan mudah mengubah tegangan atau memiliki hambatan yang lebih kecil pada kabel. Arus searah juga menguntungkan karena kemampuannya untuk digunakan pada barang-barang yang bergerak. Misalnya, arus searah digunakan pada baterai ponsel, laptop, dan perangkat lain karena lebih kecil sehingga lebih mudah dibawa-bawa. Arus bolak-balik seringkali membutuhkan ruang yang besar sehingga membuatnya tidak praktis untuk digunakan dalam perangkat yang lebih kecil. Pada akhirnya masing-masing dari dua arus memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing.



Gambar 16.5. Arus Bolak Balik dan Arus Searah

Meskipun orang mungkin berasumsi bahwa kedua arus itu sangat berbeda satu sama lain dan oleh karena itu tidak terlibat satu sama lain, itu sangat bertentangan dengan itu. Arus searah dan arus bolak-balik sangat terlibat satu sama lain karena keduanya mengatasi kekurangan yang lain. Karena arus searah tidak efektif untuk jarak jauh, arus bolak-balik digunakan dan kemudian dihubungkan ke arus searah yang digunakan pada perangkat yang lebih kecil. Misalnya, colokkan pengisi daya laptop

Anda ke dinding tempat Anda mengakses arus bolak-balik yang menerima listrik dari jaringan dan sumber yang menghasilkannya. Listrik kemudian bergerak dari stopkontak di dinding ke kabel dan ke laptop Anda yang berisi baterai yang menggunakan arus searah. Listrik ditransfer ke arus searah yang kemudian mengakibatkan laptop Anda sedang diisi. Oleh karena itu jelas terlihat bahwa arus bolak-balik dan arus searah memiliki hubungan langsung di mana mereka mengimbangi ketidakmampuan yang lain.

Meskipun orang mungkin berasumsi bahwa kedua arus itu sangat berbeda satu sama lain dan oleh karena itu tidak terlibat satu sama lain, itu sangat bertentangan dengan itu. Arus searah dan arus bolak-balik sangat terlibat satu sama lain karena keduanya mengatasi kekurangan yang lain. Karena arus searah tidak efektif untuk jarak jauh, arus bolak-balik digunakan dan kemudian dihubungkan ke arus searah yang digunakan pada perangkat yang lebih kecil. Misalnya, colokkan pengisi daya laptop Anda ke dinding tempat Anda mengakses arus bolak-balik yang menerima listrik dari jaringan dan sumber yang menghasilkannya. Listrik kemudian bergerak dari stopkontak di dinding ke kabel dan ke laptop Anda yang berisi baterai yang menggunakan arus searah. Listrik ditransfer ke arus searah yang kemudian mengakibatkan laptop Anda sedang diisi. Oleh karena itu jelas terlihat bahwa arus bolak-balik dan arus searah memiliki hubungan langsung di mana mereka mengimbangi ketidakmampuan yang lain.

Kelebihan – kelebihan penggunaan Sistem Arus bolak baliknya adalah sebagai berikut :

1. Banyak digunakan saat ini.
2. Penelitian dan Pengembangannya banyak dilakukan saat ini, sehingga kehandalan sistemnya juga bagus.
3. Penggunaan sistem proteksinya lebih sederhana dan mudah, dikarenakan ada saat dimana pada waktu tertentu akan memiliki tegangan.

Kekurangan kekurangan sistem arus bolak balik adalah sebagai berikut :

1. Memiliki kerugian daya listrik, utamanya untuk sistem yang digunakan jarak jauh. Sehingga akan muncul nilai rugi rugi yang tinggi.
2. Menggunakan perangkat dan komponen yang besar karena memiliki kandungan nilai frekuensi.
3. Diperlukan sistem pengamanan terhadap gangguan yang disebabkan oleh frekuensi

Dengan penjelasan sebagaimana diatas, maka banyak negara yang melirik penggunaan sistem arus searah. Melakukan pemanfaatan sumber energi yang baru dan terbarukan (Renewable energi) sistem arus DC dan beban menggunakan beban DC.

16.4. Tugas

1. Sebutkan perbedaan antara arus bolak balik dengan arus searah?
2. Bagaimana karakteristik arus bolak balik dan sistem pembangkitannya?
3. Dimanakah arus searah dapat dijumpai?



UMSIDA PRESS
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Jl. Mojopahit No. 666B
Sidoarjo, Jawa Timur

ISBN 978-623-464-054-0 (PDF)

