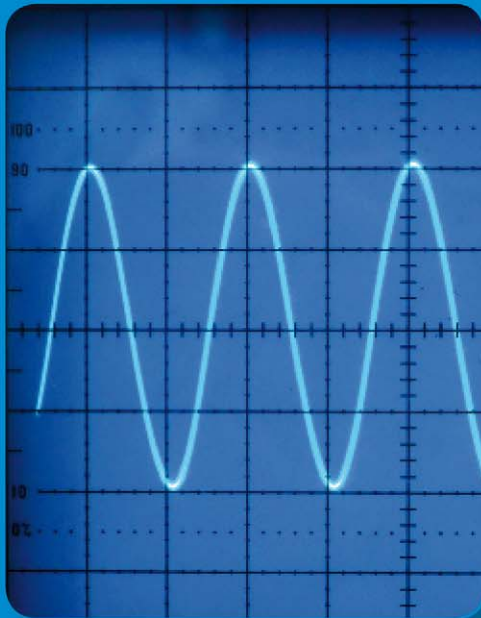




Aslimeri, dkk.

Teknik Transmisi Tenaga Listrik

JILID 1



untuk Sekolah Menengah Kejuruan



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Aslimeri, dkk.

TEKNIK TRANSMISI TENAGA LISTRIK

JILID 1

SMK



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

TEKNIK TRANSMISI TENAGA LISTRIK

JILID 1

Untuk SMK

Penulis : Aslimeri
Ganefri
Zaedel Hamdi

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

ASL ASLIMERI

t

Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 1 untuk SMK /oleh
Aslimeri, Ganefri, Zaenal Hamdi ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan
Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen
Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan
Nasional, 2008.

ix, 170 hlm

Daftar Pustaka : Lampiran. A

ISBN : 978-979-060-159-8

ISBN : 978-979-060-160-4

Diterbitkan oleh

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, 17 Agustus 2008
Direktur Pembinaan SMK

Kata Pengantar

Akhir-akhir ini sudah banyak usaha penulisan dan pengadaan buku-buku teknik dalam Bahasa Indonesia. Namun untuk Teknik Elektro, hal ini masih saja dirasakan keterbatasan-keterbatasan terutama dalam mengungkapkan topik atau materi yang betul-betul sesuai dengan kompetensi dalam bidang Transmisi Tenaga Listrik untuk Sekolah Menengah Kejuruan. Hal inilah yang mendorong penulis untuk menyusun buku ini agar dapat membantu siapa saja yang berminat untuk memperdalam ilmu tentang Transmisi Tenaga Listrik.

Dalam buku ini dibahas tentang : pemeliharaan sistim DC, pengukuran listrik, tranformator, gandu induk ,saluran udara tegangan tinggi, kontruksi kabel tenaga dan pemeliharaan kabel tenaga .

Penulis menyadari masih banyak kekurangan- kekurangan baik dalam materi maupun sistematika penulisan, untuk itu saran-saran dan kritik yang membangun guna memperbaiki buku ini akan diterima dengan senang hati.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak-banyak terima kasih kepada Direktur Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Depertemen Pendidikan Nasional yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menulis buku ini dan Drs.Sudaryono, MT yang telah bersedia menjadi editor buku ini. Juga penulis megucapkan terima kasih kepada Maneger PLN (persero) Udiklat Bogor yang telah banyak membatu penulis dalam menyediakan bahan untuk penulisan buku ini .

Harapan penulis semoga buku ini ada mamfaatnya untuk meningkatkan kecerdasan bangsa terutama dalam bidang teknik elektro .

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	i
Daftar isi	ii
Diagram Pencapaian Kompetensi	ix

JILID 1

BAB. I. PEMELIHARAAN DC POWER	1
1.1. Hukum Ohm	1
1.2. Hukum Kirchoff	3
1.3. Daya Dalam Rangkaian DC	6
1.3.1. Prinsip Dasar Rangkaian DC	7
1.3.2. Hubungan Antara Arus Tegangan dan Tahanan	8
1.4. Komponen Semikonduktor	15
1.5. Sistem DC Power	20
1.6. Charger (Rectifier)	25
1.6.1. Jenis Charger	25
1.6.2. Prinsip Kerja Charger	26
1.6.3. Bagian-Bagian Charger	27
1.7. Automatic Voltage Regulator	29
1.7.1. Komponen Pengantar Seting Tegangan	30
1.7.2. Komponen Pengantar Seting Floating	31
1.7.3. Komponen Pengantar Seting Equalizing	31
1.7.4. Komponen Pengantar Seting Arus	31
1.8. Rangkaian voltage Dropper	33
1.9. Rangkaian Proteksi Tegangan Surja Hubung.....	34
1.10. Pengertian baterai	37
1.10.1. Prinsip kerja baterai	37
1.10.2. Prinsip kerja baterai asam-timah	38
1.10.3. Poses pengisian baterai	38
1.10.4. Prinsip kerja baterai alkali.....	39
1.11. Jenis-jenis Baterai	39
1.12. Bagian-bagian Utama Baterai	46
1.13. Instalasi Sel Baterai	48
1.14. Ventilasi Ruang Baterai	52
1.15. Pengertian pemeliharaan DC power	54
1.15.1. Tujuan Pemeliharaan	54
1.15.2. Jenis Pemeliharaan	54
1.15.3. Pelaksanaan Pemeliharaan	55
1.15.4. Kegiatan Pemeliharaan	56
1.15.5. Pemeliharaan Charger	58
1.15.6. Pengukuran Arus Output Maksimum	61
1.16. Jadwal dan Chek list Pemeliharaan Charger	63
1.16.1. Pemeliharaan Baterai	63
1.16.2. Cara pelaksanaan pengukuran tegangan	64
1.16.3. Pengukuran Berat Jenis Elektrolit	65

1.16.4. Pengukuran Suhu Elektrolit	68
1.16.5. Jadwal pemeliharaan periodik baterai	70
1.17. Pengujian dan shooting pada DC Power.....	73
1.17.1. Pengujian Indikator Charger	73
1.17.2. Pengujian Kapasitas Baterai	75
1.17.3. Pengujian kadar Potassium Carbonate (K_2CO_3)	81
1.18. Trouble shooting	90
1.18.1. Kinerja Baterai	91
1.19. Keselamatan kerja	95

BAB. II. PENGUKURAN LISTRIK	97
2.1. Pengertian Pengukuran	97
2.2. Besaran Satuan dan dimensi	98
2.3. Karakteristik dan Klasifikasi Alat Ukur	101
2.4. Frekuensi Meter	109
2.5. Kwh Meter	111
2.6. Megger	111
2.7. Fase Squensi	112
2.8. Pengukuran Besaran Listrik	114
2.9. Prinsip kerja Kumpanan Putar	116
2.10. Sistem Induksi	117
2.11. Sistem Elektro Dinamis	118
2.12. Sistem Kawat Panas	120
2.13. Alat Ukur Elektronik	120
2.14. Alat Ukur dengan Menggunakan Transformator	121
2.15. Macam-macam alat ukur untuk keperluan pemeliharaan.....	123
2.15.1.Meter Tahanan Isolasi	123
2.15.2.Meter Tahanan Pentanahan	123
2.15.3.Tester Tegangan tinggi	125
2.15.4.Tester Tegangan tembus	127

BAB. III. TRANSFORMATOR	128
3.1. Prinsip induksi	128
3.2. Kumpanan Transformator	130
3.3. Minyak Transformator	131
3.4. Bushing	132
3.5. Tangki Konservator	132
3.6. Peralatan Bantu Pendingin Transformator	133
3.7. Tap Changer	135
3.8. Alat Pernapasan Transformator	135
3.9. Alat Indikator Transformator	137
3.10.Peralatan Proteksi Internal	137
3.11.Peralatan Tambahan Untuk Pengaman Transformator	142
3.12.Rele Proteksi Transformator dan Fungsinya	144
3.13.Annunciator Sistem Instalasi Tegangan Tinggi	150
3.13.Parameter/Pengukuran Transformator	153

BAB IV. SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI	159
4.1. Saluran Udara	160
4.2. Saluran Kabel	160
4.3. Perlengkapan SUTT/SUTETI	161
4.3.1.Tower	161
4.3.2.Bagian-bagian tower	165
4.4. Konduktor	170
4.5. Kawat Tanah	172
4.5.1.Bahan Kawat Tanah	173
4.5.2.Jumlah dan Posisi Kawat Tanah	173
4.5.3.Pentanahan Tower	173
4.6. Isolator	174
4.6.1.Isolator Piring	174
4.6.2.Nilai Isolator	178
4.6.3.Jenis Isolator	178
4.6.4.Speksifikasi isolator.	180
 BAB V. GARDU INDUK	 184
5.1. Busbar	184
5.1.1. Jenis Isolasi Busbar	184
5.1.2. Sistem Busbar (Rel)	184
5.1.3. Gardu Induk dengan single busbar	185
5.1.4. Gardu Induk dengan Doble busbar	186
5.1.5. Gardu Induk dengan satu setengah / one half busbar	186
5.2. Arrester	187
5.3. Transformator Instrumen	188
5.3.1. Transformator Tegangan	188
5.3.2. Transformator Arus	190
5.3.3. Transformator Bantu	191
5.3.4 Indikator Unjuk kerja Transformator Ukur	192
5.4. Pemisah (PMS)	194
5.4.1. Pemisah Engsel	195
5.4.2. Pemisah Putar	195
5.4.3. Pemisah Siku	195
5.4.4. Pemisah Luncur	196
5.5. Pemutus tenaga listrik (PMT)	199
5.5.1. Jenis Isolasi Pemutus Tenaga	199
5.5.2, PMT dengan Media pemutus menggunakan udara	201
5.5.3. PMT dengan Hampa Udara	204
5.5.4. PMT dengan Media pemutus menggunakan Minyak.....	206
5.5.5. PMT dengan Sedikit Minyak	207
5.6. Jenis Penggerak Pemutus Tenaga	209
5.6.1. Mekanik Jenis Spering	209
5.6.2. Mekanik Jenis Hidrolik	212

5.6.3. Penutupan PMT	216
5.6.4. Pembukaan PMT	216
5.7. Kompesator	220
5.7.1. Kompensator shunt	221
5.7.2. Kompensator reaktor shunt	222
5.8. Peralatan SCADA dan Telekomunikasi.....	223
5.8.1. Prinsip Dasar PLC	223
5.8.2. Peralatan Kopling	224
5.8.3. Kapasitor Kopling	225
5.8.4. Wave trap	226
5.8.5. Prinsip Kerja Dasar Wave trap	227
5.8.6. Line Matching Unit	230
5.9. Peralatan Pengaman	231
5.9.1. Lightning Arester	232
5.10. Aplikasi PLC	233
5.10.1. Komunikasi Suara	233
5.10.2. Penggunaan Kanal Suara	234
5.10.3. Teleproteksi Protection Signalling	234
5.10.4. Ramute Terminal Unit (RTU) Tipe EPC 3200.....	235
5.11. Simbul-simbul yang ada pada Gardu Induk	236
5.12. Rele Proteksi dan Annunsiator	238

BAB VI. SISTEM PENTANAHAN TITIK NETRAL	246
6.1. Sistem Pentanahan Titik Netral	246
6.2. Tujuan Pentanahan Titik Netral	247
6.2.1. Sistem Yang tidak Ditanahkan	247
6.2.2. Metode Pentanahan titik Netral	247
6.3. Pentanahan Titik Netral Tanpa Impedansi	247
6.4. Pentanahan Titik Netral Melalui Tahanan	248
6.5. Pentanahan Titik Netral Melalui Kumparan Peterson.....	251
6.6. Tranformator Pentanahan	252
6.7. Penerapan Sistem Pentanahan di Indonesia	253
6.8. Pentanahan Peralatan	254
6.9. Exposur tegangan	256
6.10. Pengaruh Busur Tegangan Terhadap Tenaga Listrik.....	258
6.10.1. Pengaruh tahanan Pentanahan Terhadap Sistem	258
6.10.2. Macam-macam Elektroda Pentanahan	258
6.11. Metode Cara Pentanahan	260
6.11.1. Pentanahan dengan Driven Ground.	260
6.11.2. Pentanahan Dengan Mesh atau Jala	261
6.12. Tahanan Jenis Tanah	262
6.13. Pengukuran Tahanan Pentanahan	263

BAB VII. KONTRUKSI KABEL TENAGA	265
7.1. Kabel Minyak	265
7.1.1. Bagian-bagian Kabel Minyak	265

7.1.2. Konduktor	265
7.1.3. Isolasi Kabel	266
7.1.4. Data Kimia	267
7.2. Karakteristik Minyak	268
7.3. Macam-macam Minyak Kabel	270
7.4. Tangki Minyak	272
7.5. Perhitungan Sistem Hidrolik	278
7.6. Keselamatan Kerja	280
7.7. Crossbonding dan Pentanahan	290
7.8. Cara Kontruksi Solid bonding	292
7.9. Tranposisi dan sambung Silang	294
7.10. Alat Pengukur Tekakan	299
7.11. Tekanan Pada Kabel Minyak	300
7.12. Kabel Tenaga XLPE	303
7.13. Kontruksi Kabel Laut	307

JILID 3

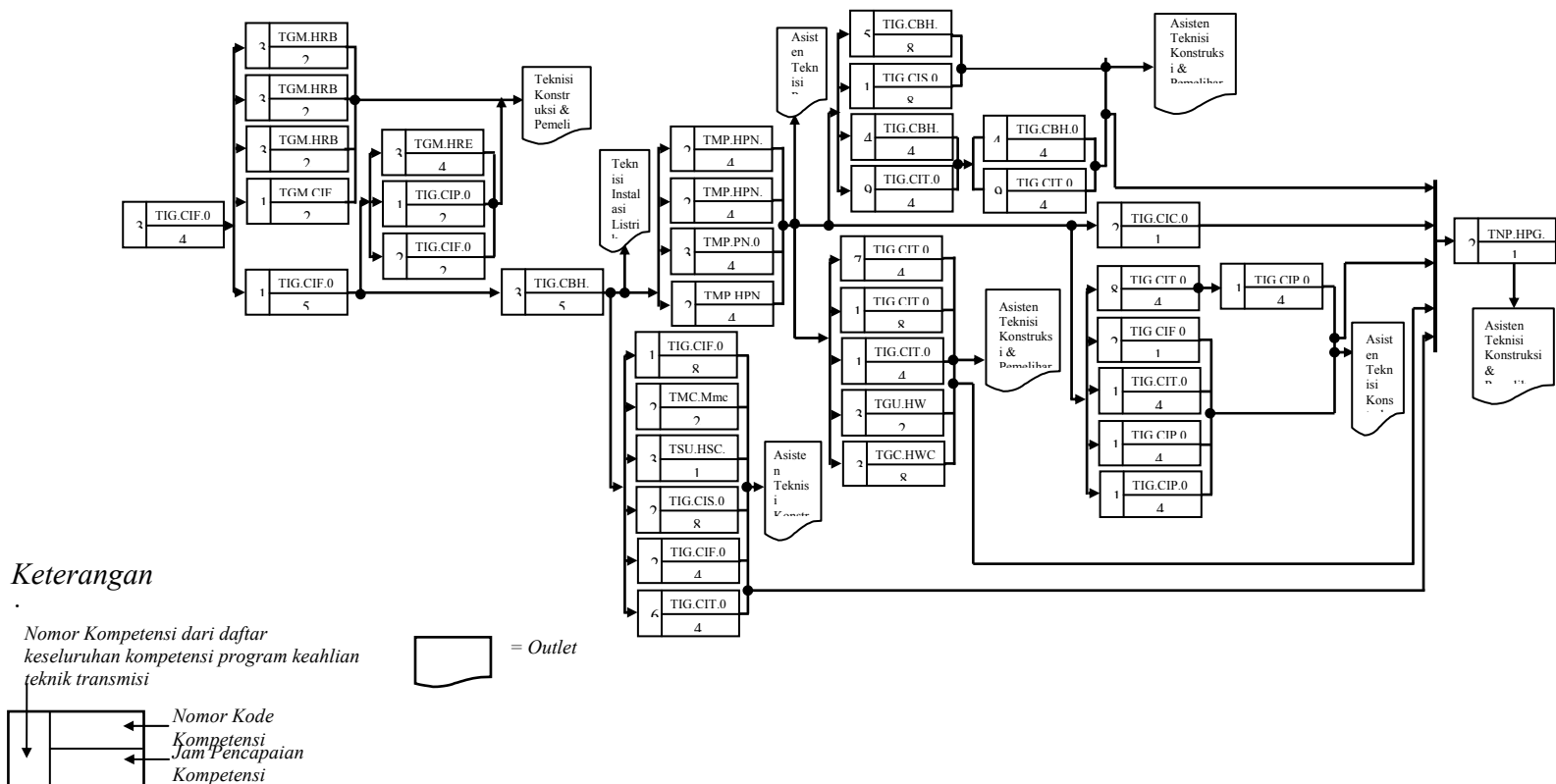
BAB VIII. PEMELIHARAAN KABEL TEGANGAN TINGGI	310
8.1. Manajemen Pemeliharaan	310
8.1.1. Manajemen Pemeliharaan Peralatan	310
8.1.2. Perencanaan	311
8.1.3. Pengorganisasian	312
8.1.4. Penggerakan	313
8.1.5. Pengendalian	314
8.2. Pengertian dan tujuan Pemeliharaan	314
8.3. Jenis-jenis Pemeliharaan	315
8.4. Pemeliharaan Yang Dilakukan Terhadap Kabel Laut Tegangan Tinggi	318
8.5. Prosedur Pemeliharaan	321
8.6. Dekumen Prosedur Pelaksanaan Pekerjaan	330
8.7. Pemilihan Instalasi Kabel Tanah Jenis Oil Filled	332
8.8. Spare Kabel	335
8.9. Termination	335
8.10. Tank Chamber Umum	337
8.11. Anti Crossbonding Coverting	338
7.12. Cara mengukur Tekanan Minyak Dengan Manometer.....	342
8.13. Penggelaran Kabel	348
8.14. Regangan maksimum yang diizinkan pada Kabel	349
8.15. Perhitungan Daya tarik Horizontal	350
8.16. Peralatan Pergelaran kabel	353
8.17. Jadwal Pemeliharaan	353
8.18. Kebocoran minyak Kabel Tenaga	354
8.19. Gangguan kabel pada lapisan pelindung P.E. oversheath.....	360
8.19.1. Methoda mencari lokasi gangguan pada lapisan pelindung kabel.....	360
8.19.2. Methoda Murray	360

8.20.	Memperbaiki Kerusakan Kabel	366
8.20.1.	Memperbaiki kerusakan lead sheath kabel	366
8.20.2.	Mengganti Kabel yang rusak	367
8.21.	Auxiliary Cable.	370
BAB . IX.	PROTEKSI SISTEM PENYALURAN	372
9.1.	Perangkat Sistem Proteksi	373
9.1.1.	Elemen Pengindra	373
9.1.2	Elemen Pembanding	373
9.1.3	Elemen Pengukur	373
9.2.	Fungsi dan Peralatan Rele Proteksi	374
9.2.1.	Sensitif.	374
9.2.2.	Selektif	374
9.2.3.	Cepat	374
9.2.4.	Handal.....	375
9.2.5.	Ekonomis	375
9.2.6.	Sederhana	375
9.3.	Penyebab Terjadinya Kegagalan Proteksi	375
9.4.	Gangguan pada sistem Penyaluran	376
9.4.1.	Gangguan Sistem	376
9.4.2	Gangguan Non Sistem	376
9.5.	Proteksi Pengantar	376
9.6.	Sistem Proteksi SUTET	378
9.7.	Media Telekomunikasi	379
9.8.	Relai Jarak	379
9.8.1.	Prinsip Kerja Relai Jarak	379
9.8.2.	Pengukuran Impedansi Gangguan Oleh Relai Jarak	381
9.8.3	Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	381
9.8.4	Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa	381
9.8.5	Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah.....	382
9.9.	Karakteristik Rele Jarak	383
9.9.1.	Karakteristik Impedansi	383
9.9.2.	Karakteristik Mho	383
9.9.3	Karakteristik Reaktance	384
9.9.4	Karakteristik Quadrilateral	385
9.10.	Pola Proteksi	386
9.10.1.	Pola Dasar	386
9.10.2.	Pola PUTT	386
9.10.3.	Pola Permissive Underreach Transfer Trip	387
9.10.4.	Pola Blocking	387
9.11.	Current Differential Relay	390
9.12.	Proteksi Transformator Tenaga	397
9.13.	Rele Arus Lebih	400
9.14.	Proteksi Penyulang 20 KV	401
9.15.	Disturbance Fault	402
9.16.	Basic Operation	404

9.17. Auto Recloser	405
BAB . X. PEMELIHARAAN SUTT/SUTETI BEBAS TEGANGAN..	410
10.1. Tujuan Pemeliharaan	410
10.2. Jenis-jensi pemeliharaan	410
10.2.1. Pemeliharaan Rutin :	410
10.2.2. Pemeriksaan Rutin.....	410
10.2.3. Pemeriksaan Sistematis.....	411
10.2.4. Pemeliharaan Korektif.....	412
10.2.5. Pemeliharaan Darurat.....	412
10.3. Prosedur Pemeliharaan SUTT/SUTET	413
10.3.1. Peralatan yang dipelihara	413
10.3.2. Peralatan Kerja	418
10.3.3. Petunjuk Pemeliharaan Peralatan	420
10.3.4. Pelaporan Pekerjaan Pemeliharaan	421
 LAMPIRAN :	
Daftar Pustaka	A

DIAGRAM PENCAPAIAN KOMPETENSI

menunjukkan tahapan atau tata urutan kompetensi yang diajarkan dan dilatihkan kepada peserta didik dalam kurun waktu yang dibutuhkan serta kemungkinan *multi exit-multi entry* yang dapat diterapkan.

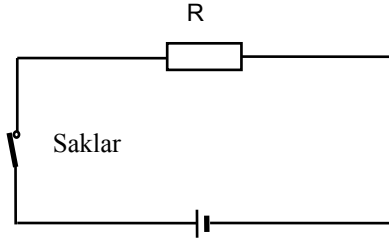


BAB . I

PEMELIHARAAN SUMBER LISTRIK DC.

1.1.Hukum Ohm

Mari kita tinjau sebuah rangkaian listrik tertutup yang berupa sebuah tahanan dihubungkan pada kutub-kutub sebuah baterai. seperti gambar 1.1



Sumber tegangan (Baterai)

Gambar 1.1. Rangkaian Listrik Tertutup

Perbedaan muatan di dalam Baterai mengakibatkan mengalirnya arus listrik di dalam rangkaian yang secara perjanjian ditentukan mengalir dari kutub positif baterai melalui beban tahanan kemudian masuk ke kutub negatif baterai. Dalam peristiwa ini dikatakan sebuah Gaya Gerak Listrik bekerja sehingga mengakibatkan mengalirnya arus listrik dalam rangkaian .

1.1.1.Perbedaan Potensial (Tegangan)

Bila antara dua titik dalam sebuah rangkaian terdapat energi listrik yang dapat diubah menjadi energi lain, maka antara dua titik tersebut, disebut terdapat perbedaan potensial atau tegangan. Satuan dari tegangan adalah Volt. Tegangan antara dua titik dikatakan satu Volt bila energi listrik yang diubah menjadi bentuk

lain adalah satu joule untuk setiap coulomb yang mengalir.

$$\text{Volt (V)} = \frac{\text{Kerja sebesar W Joule}}{\text{Muatan sebesar Q Coulomb}}$$

1.1.2. Arus Listrik

Arus listrik adalah gerakan muatan listrik di dalam suatu penghantar pada satu arah tertentu. Muatan listrik dapat berupa elektron, ion atau keduanya. Di dalam penghantar, umumnya terdapat gerakan acak elektron bebas diantara atom-atom statis. Gerakan ini tidak menghasilkan arus listrik. Namun pada suatu keadaan tertentu, elektron bebas dapat dipaksa untuk bergerak dalam satu arah tertentu, yaitu ke satu titik yang kekurangan elektron. (perhatikan bahwa keadaan kekurangan elektron disebut muatan positif sedang kelebihan elektron disebut muatan negatif). Keadaan mengalirnya elektron pada satu arah tertentu dinamakan konduksi atau arus aliran elektron.

Pergerakan elektron ditentukan oleh perbedaan muatan yang terdapat antara kedua ujung penghantar. Jadi pergerakan elektron di dalam penghantar terjadi akibat tarikan ujung penghantar yang bermuatan positif maupun dari ujung yang lebih negatif. Sampai tahap ini harus sudah dapat dimengerti perbedaan arus listrik (konvensional) dan arus elektron. Istilah yang mengatakan arus listrik mengalir dari kutub positif ke arah

kutub negatif berasal dari teori kuno, pada waktu kenyataan sebenarnya mengenai arus elektron belum diketahui benar.

Karena itu pada pembahasan mengenai tabung elektron maupun transistor gambar-gambarnya dilengkapi dengan tanda panah arah arus elektron dan bukannya arus listrik.

1.1.3. Satuan Arus Listrik

Satu satuan muatan listrik adalah sebanding dengan adanya $6,20 \times 10^{18}$ buah elektron. Satuannya adalah coulomb (simbol Q), jadi 1 coulomb = $6,20 \times 10^{18}$ buah elektron. Arus listrik dalam penghantar adalah pergerakan terarah sejumlah elektron dari ujung satu ke ujung lainnya. Dengan demikian arus listrik dapat didefinisikan sebagai coulomb per detik. Namun satuan arus listrik yang umum digunakan yaitu ampere, dimana satu coulomb per detik = satu ampere

$$\text{atau } \frac{Q}{t} = I$$

dimana I adalah lambang dari arus listrik

1.1.4. Tahanan

Sebuah penghantar disebut mempunyai tahanan sebesar satu OHM bila pada kedua ujungnya diberi perbedaan potensial sebesar satu volt dengan arus satu ampere mengalir diantara kedua ujung tersebut. Dalam penghantar jenis apapun, selama suhunya tetap, perbandingan antara perbedaan potensial pada ujung-ujungnya

dengan besarnya arus yang mengalir di sepanjang penghantar adalah sama.

Dengan demikian untuk setiap penghantar berlaku :

$$\frac{\text{Tegangan.pada.penghantar}}{\text{arus.pada.penghantar}} = \text{Tetapan}$$

Hubungan dalam rumus di atas bersifat LINIER dan bila digambar berbentuk garis lurus. Harga tetap pada rumus di atas ternyata adalah nilai tahanan dari penghantar itu dalam satuan OHM.

$$R = \frac{V \text{ (Volt)}}{I \text{ (Ampere)}}$$

Jadi 1 Ohm merupakan arus listrik sebesar satu ampere yang mengalir dalam penghantar pada tegangan 1 volt.

1.1.5. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tahanan

Tahanan sebuah penghantar berbanding lurus dengan panjangnya dan berbanding terbalik dengan besarnya penampang.

$$\text{Sehingga : } R \text{ (Ohm)} = \rho \frac{\ell}{A}$$

dimana ρ adalah tetapan (konstanta)

Besarnya tetapan ρ tergantung pada jenis material penghantar. Konstanta atau disebut tahanan jenis suatu material adalah tahanan antara dua permukaan yang berlawanan dari material itu dalam bentuk kubus, dinyatakan dengan satuan Ohm-cm.

Suatu dari panjang penghantar yang dicari besar tahananannya haruslah sesuai dengan satuan dari tahanan jenis yang dipakai untuk penghitung. Bila satuan panjang yang digunakan adalah cm, maka

satuan tahanan jenisnya haruslah menggunakan Ohm-cm.

Contoh :

Sepotong kawat sepanjang 100 m dengan penampang $0,001 \text{ cm}^2$ dibuat dari bahan tembaga dengan tahanan jenis $= 1,7 \mu \text{ ohm-cm}$. Hitunglah tahanan kawat penghantar tersebut.

$$L = 10.000 \text{ cm} \quad A = 0,001 \text{ cm}^2$$

$$\rho = \frac{1,7}{10^6} \text{ Ohm - cm}$$

$$R = \frac{1,7}{10^2 \times 0,001} = 17 \text{ Ohm}$$

Selain nilai tahanan tergantung dari panjang dan material maka besar nilai tahanan juga ditentukan oleh faktor naik turunnya temperatur, sebagaimana dituliskan dalam rumus.

$$R_t = R_0 \{1 + \alpha (t_2 - t_1)\}$$

dimana R_0 = Tahanan pada temperatur t_1 °C

R_t = Tahanan pada temperature t_2 °C

α = Koefisien muai panjang sebuah tahanan.

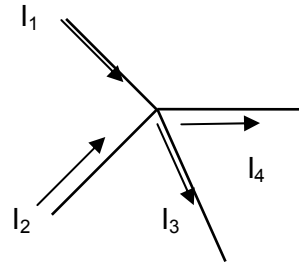
1.2. Hukum Kirchoff

1.2.1. Hukum Kirchoff I

Hukum Kirchoff I menyatakan, bahwa aljabar arus-arus yang menuju ke suatu titik simpul adalah sama dengan nol. Gambar 1.2 menunjukkan sebuah titik simpul dari suatu rangkaian, dengan arus-arus I_1, I_2, I_3, I_4 yang terhubung dengan titik simpul tersebut. Untuk dapat menjumlahkan secara aljabar maka arus yang arahnya menuju titik simpul diberi tanda positif,

sedangkan yang meninggalkan diberi tanda negatif, seperti gambar 1.2.

$$\text{Jadi berlaku } I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$$



Gambar 1. 2. arah aliran arus.

1.2. 2. Hukum Kirchoff II

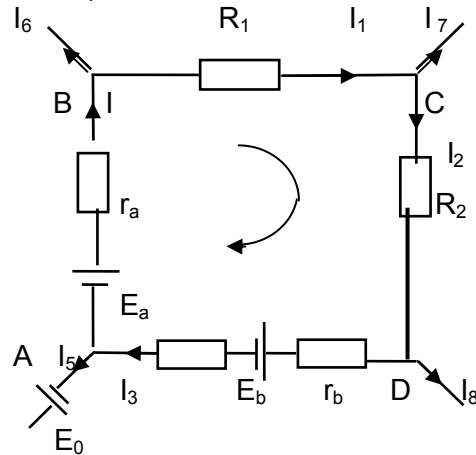
Hukum Kirchoff II sering disebut dengan Hukum Kirchoff tentang tegangan, dinyatakan dengan persyaratan bahwa dalam suatu rangkaian tertutup jumlah aljabar sumber tegangan, dan tegangan jatuh pada tahanan adalah nol. Atau secara matematis ditulis dengan rumus :

$$\sum V = \sum (I \times R)$$

Sebagai contoh gambar 1.3 dibatasi daerah A-B-C-D-A.

Jadi untuk menerapkan hukum ini, haruslah dipilih suatu rangkaian yang tertutup. Arah arus harus ditentukan lebih dahulu, seperti gambar 1.3. searah dengan putaran jarum jam dan ditentukan juga arah referensi ggl suatu baterai adalah searah dengan arus yang diakibatkannya, bila baterai tersebut dibebani sebuah tahanan sendiri (tanpa ada baterai lain), jadi arahnya harus diambil dari kutub negatif ke kutub positif.

Arah arusnya, bila belum diketahui sebenarnya (harus dicari dahulu) tetapi untuk keperluan perhitungan dapat dipilih sembarang. Nanti hasil perhitungan akan menunjukkan, apakah arah yang dipilih sementara itu sesuai dengan arah arus sebenarnya atau tidak, hal ini akan ketahuan pada hasil akhir perhitungan (+ atau -)



Gambar1. 3. Arah aliran arus tertutup

Suatu ggl dihitung positif, bila arah referensinya sama dengan arah arus yang telah dipilih. Sebaliknya bila arah referensi berlawanan dengan arah arus maka besaran yang bersangkutan dihitung negatif.

Sehingga dari gambar 1.3. dapat dituliskan.

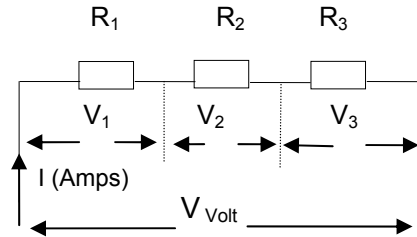
$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 (R_3 + r_b) - E_b + E_a + I r_a = 0$$

atau

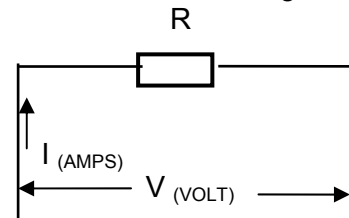
$$E_b - E_a = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 (R_3 + r_b) + I r_a$$

1. Rangkaian Seri

Tahanan-tahanan dikatakan tersambung seri bila tahanan-tahanan tersebut dihubungkan dari ujung ke ujung sebagaimana diperlihatkan dalam gambar 1.4. Dalam sambungan seri arus yang mengalir pada setiap tahanan akan sama besarnya.



Gambar1. 4. Sambungan Seri



Gambar1. 5. Tahanan Pengganti (Ekivalen)

Dengan menggunakan hukum Ohm diperoleh :

$$V_1 = \text{Tegangan di } R_1 = I R_1 \text{ volt}$$

$$V_2 = \text{Tegangan di } R_2 = I R_2 \text{ volt}$$

$$V_3 = \text{Tegangan di } R_3 = I R_3 \text{ volt}$$

Sekarang bilamana ketiga tahanan itu harus digantikan oleh satu tahanan pengganti yang nilainya tak berubah maka hal itu dapat digambarkan sebagai tahanan ekivalen, lihat gambar 1.5.

Dari hukum Ohm, perbedaan potensial pada $V = I.R$ volt atau,

$$V = I . R$$

Kembali kepada gambar 1.4, jumlah perbedaan potensial yang melalui tahanan R1, R2, R3 haruslah sama dengan tegangan sumber sebesar V volt, atau :

$$V = IR_1 + IR_2 + IR_3 \text{ dan}$$

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3 \text{ atau}$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

2. Rangkaian Paralel

Tahanan-tahanan dinyatakan tersambung paralel bila kedua ujung tahanan disambung sebagaimana diperlihatkan dalam gambar 1.6. Dalam keadaan ini semua tahanan tersambung langsung kepada sumber tegangan, sehingga perbedaan potensial yang dialami setiap tahanan adalah sama dengan V volt. Tetapi arus dari sumber kini terpecah menjadi tiga I_1, I_2, I_3 , sehingga:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\text{dan } I_1 = \frac{V}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2}$$

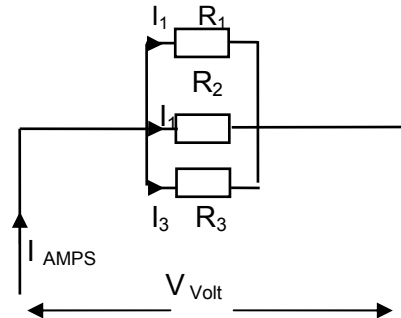
$$I_3 = \frac{V}{R_3}$$

Tahanan ekivalen / pengganti dari ketiga tahanan yang tersambung paralel digambarkan dalam gambar 1. 7.

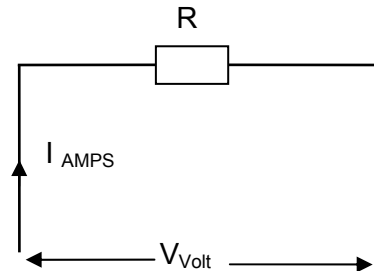
$$I = V / R$$

dari persamaan diatas diperoleh

$$\therefore \frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$



Gambar1. 6. Sambungan Paralel



Gambar 1.7. Tahanan Pengganti Paralel

Sehingga
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Rumus ini digunakan untuk mendapatkan tahanan pengganti dari rangkaian tahanan yang tersambung paralel.

Contoh :

Carilah tahanan pengganti dari 3 buah tahanan 10 ohm yang disambung paralel.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{3}{10}$$

Sehingga $R = \frac{10}{3} = 3,333 \text{ Ohm}$

3. Rangkaian Kombinasi

Gambar 1.8 adalah suatu rangkaian yang memiliki sambungan paralel maupun seri. Dari harga tahanan yang diberikan kita dapat menghitung besarnya tahanan pengganti sebagai berikut. Bila R_x merupakan tahanan pengganti yang dimaksud dan R_y adalah tahanan pengganti dari rangkaian paralel (4 dan 2 Ohm) maka,

$$\frac{1}{R_y} = \frac{1}{4} + \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$$

$$R_y = \frac{4}{3} = 1\frac{1}{3} \text{ Ohm}$$

Rangkaiannya kini sama seperti pada gambar 1.4. dimana :

$$R_1 = 10 \text{ ohm}$$

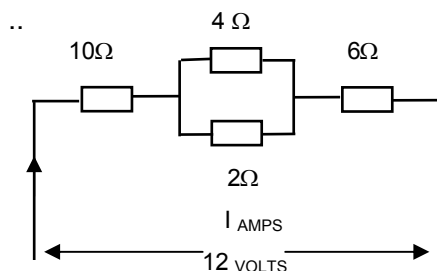
$$R_2 = 1\frac{1}{3} \text{ ohm}$$

$$R_3 = 6 \text{ ohm}$$

Dengan demikian tahanan pengganti seri paralel adalah :

$$R_x = 10 + 6 + 1\frac{1}{3}$$

$$R_x = 17\frac{1}{3} \text{ ohm}$$



Gambar 1.8. Rangkaian Seri – Paralel

Sehingga arus yang mengalir ke dalam rangkaian dapat dihitung sebagai berikut :

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{12}{17\frac{1}{3}}$$

$$I = \frac{9}{13} \text{ Amper}$$

1.3. Daya Dalam Rangkaian DC.

Bila suatu arus melewati suatu tahanan, maka akan timbul panas. Seperti halnya dalam bidang mekanik, disini ada dua hal yang mempunyai definisi sama, yaitu energi dan daya (power). Energi listrik adalah kemampuan suatu sistem listrik untuk melakukan kerja. Satuan energi listrik adalah joule.

Kerja (work) atau usaha adalah terjadi bila suatu muatan Q coulomb bergerak melalui perbedaan tegangan V volt, atau

$$W \text{ (work)} = VQ \text{ joule}$$

$$Q = I t \text{ coulomb}$$

$$\text{sehingga } W = V I t \text{ joule}$$

Daya listrik adalah ukuran kerja yang dilakukan. Karena satuan kerja adalah joule maka daya diukur dalam joule per-detik, atau watt.

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ joule/detik}$$

$$\text{Jadi, Daya} = \frac{\text{Energi atau kerja(joule)}}{\text{waktu (detik)}}$$

$$P = \frac{VIt}{t} \text{ atau } P = VI$$

Dengan hukum OHM dapat kita peroleh rumus (formula) lain yang akan memudahkan perhitungan.

$$P = V.I \text{ (watt)}$$

Menurut hukum Ohm $V = IR$ sehingga $P = I \times IR$ atau

$$P = I^2 R$$

$$\text{dan } P = \frac{V^2}{R} \text{ watt}$$

Jika suatu alat pemanas disambungkan pada suatu sumber tegangan, maka arus akan mengalir pada elemen (tahanan) dari alat pemanas tersebut. Proses ini adalah sebagai aplikasi dari perubahan energi listrik menjadi energi panas dengan elemen (tahanan) dari alat pemanas tersebut.

Apabila alat pemanas yang digunakan pada labelnya tertulis 1 kW, 2 kW dan sebagainya, ini menunjukkan bahwa alat pemanas 2 kW menyerap daya lebih besar dari alat pemanas 1 kW, karena alat pemanas 2 kW menyerap daya 2 kali lebih besar dari alat pemanas 1 kW. Besarnya daya yang diserap ini dinotasikan dengan simbol P dalam satuan watt.

Dalam kenyataannya daya (dalam watt) pada suatu rangkaian tahanan (resistor) dapat menggunakan perhitungan yang mudah yaitu :

$$P = V \times I$$

dimana : $V = I \times R$

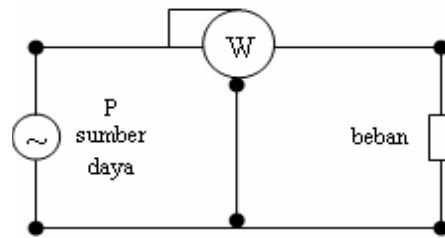
$$\text{maka : } P = I \times R \times I$$

$$P = I^2 \times R \quad \text{atau} \\ P = \frac{V.V}{R} \text{ watt} \quad \text{atau} \quad P = \frac{V^2}{R} \text{ watt}$$

Sebagai contoh :

Lampu dengan sumber tegangan 220 V mengalirkan arus 1 Amper (Gambar 1.9), maka :

$$P = 220 \times 1 = 200 \text{ watt}$$

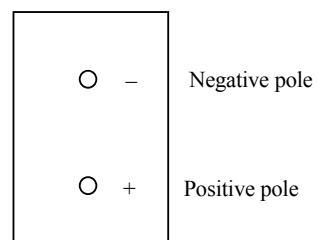


Gambar 1.9.

Rangkaian Pengukuran Daya Dari Arus Listrik DC

1.3.1.Prinsip Dasar Rangkaian DC

Pada arus searah, sumber tegangan pada suatu rangkaian mempunyai sisi positif dan sisi negatif, kedua sisi ini disebut polaritas. Sisi positif atau kutub positif digambarkan dengan “ + ” dan kutub negatif digambarkan dengan “ - ”.

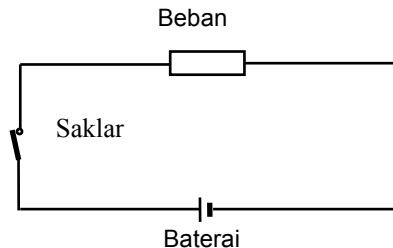


Gambar 1.10. Rangkaian

Polaritas dari sumber tegangan arus searah (DC) tak pernah berubah, dimana terminal kutub negatif selalu

mempertahankan polaritas negatif, dan terminal positif mempertahankan polaritas positif. Oleh karena itu dalam suatu rangkaian yang menggunakan sumber rangkaian DC, arus selalu mengalir melalui rangkaian tersebut dalam satu arah.

Mari kita tinjau sebuah rangkaian listrik tertutup yang berupa sebuah tahanan yang dihubungkan pada kutub-kutub sebuah baterai.



Gambar 1.11. Rangkaian Tertutup

Perbedaan muatan didalam baterai mengakibatkan mengalirnya arus listrik di dalam rangkaian yang secara perjanjian ditentukan mengalir dari kutub positif baterai melalui beban tahanan kemudian masuk ke kutub negatif baterai.

Dalam peristiwa ini dikatakan Gaya Gerak Listrik (GGL) bekerja sehingga mengakibatkan mengalirnya arus listrik.

1.3.2. Hubungan Antara Arus, Tegangan dan Tahanan.

1. Arus Listrik.

Arus listrik adalah aliran elektron bebas berpindah dari suatu atom ke atom lain dalam penghantar. Arus Listrik (aliran elektron) akan terjadi bila ada perbedaan potensial diantara ke dua ujung sebuah konduktor.

Jumlah elektron yang mengalir setiap detik dapat mencapai jutaan elektron. Laju aliran elektron setiap detik diukur dalam satuan Ampere (I)

2. Tegangan Listrik.

Untuk menghasilkan aliran listrik harus ada beda potensial antara 2 kutub. Beda potensial antara 2 kutub ini dinyatakan dalam satuan Volt (V). Tegangan dapat dianggap sebagai potensial pendorong bagi proses perpindahan elektron melintasi konduktor.

Bila beda potensial antara dua kutub konduktor naik, maka jumlah elektron yang mengalir melintasi konduktor menjadi bertambah banyak, karena itu arus listrik pun akan bertambah besar.

3. Tahanan Listrik.

sudah diketahui bahwa konduktor mempunyai sejumlah elektron bebas. Logam-logam biasanya merupakan konduktor yang baik karena mempunyai banyak elektron bebas. Tembaga (Cu) dan Aluminium (AL) adalah logam yang banyak digunakan sebagai konduktor.

Sebaliknya bahan yang mempunyai sedikit elektron bebas disebut isolator. Isolator bukan penghantar listrik yang baik, karena mempunyai sedikit sekali elektron bebasnya. Apabila diinginkan untuk menghambat aliran listrik, maka gunakan isolator.

Penghambat aliran listrik biasanya disebut Tahanan (R) dalam satuan ohm. Sebuah penghantar disebut mempunyai

tahanan sebesar satu ohm bila perbedaan ujungnya diberikan perbedaan potensial sebesar satu volt dengan arus satu ampere mengalir diantara kedua ujung tersebut. Dalam penghantar jenis apapun, selama suhunya tetap, perbandingan antara perbedaan potensial pada ujung-ujungnya dengan besarnya arus yang mengalir disepanjang penghantar adalah sama. Dengan demikian untuk setiap penghantar berlaku :

$$\frac{\text{Tegangan.Pada.pengantar}}{\text{Arus.dalam.pengantar}} = \text{tetap}$$

Hubungan dalam rumus tersebut diatas bersifat linier dan bila digambarkan berbentuk garis lurus. Harga tetap pada rumus diatas ternyata adalah nilai tahanan dari penghantar itu dalam satuan ohm.

$$I.(Amp) = \frac{V(Volt)}{R(ohm)}$$

(formula ini disebut hukum Ohm)

Tipe dan aplikasi resistor yang sering ditemui adalah sebagai berikut. Rangkaian elektronik yang sangat kompleks, mungkin terdiri dari beberapa ratus komponen. Komponen-komponen tersebut mempunyai bermacam-macam kategori, antara lain ada komponen yang tidak dapat menguatkan (misal : resistor, kapasitor, dan induktor), dan ada pula kompoen yang dapat menguatkan/ amplifikasi atau berfungsi sebagai saklar (misal : Transistor, IC).

a. Resistor

Hampir dapat dipastikan pada semua rangkaian elektronik

mengandung resistor yang berfungsi mengontrol arus dan atau tegangan.

Didalam aplikasinya resistor sering digunakan untuk :

- Mengontrol tegangan dan arus bias pada amplifier/penguat transistor
- Mengubah arus keluaran yang berkaitan dengan drop tegangan keluaran, dan menyediakan suatu nilai tertentu.

Nilai resistansi, biasanya dinyatakan dengan besaran : Ω , k Ω atau m Ω .

b. Resistor Variable

Resistor variabel mempunyai bermacam-macam bentuk, tetapi yang paling populer adalah potensiometer karbon dan gulungan kawat. Tipe karbon lebih cocok diaplikasikan untuk daya rendah (umumnya kurang dari 1 watt). Tipe gulungan kawat digunakan untuk daya maksimum 3 watt.

c. Nilai Resistansi

- Tertulis pada body resistor, mempunyai toleransi 10%.

Misal : tertulis 100 Ω , maka nilainya (90 - 110) Ω .

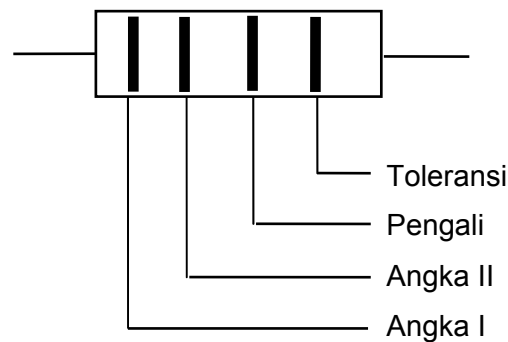
- Dekade seri, misal : seri E6 mempunyai toleransi 20%; seri E 12 mempunyai toleransi 10%; dan seri E 24 mempunyai toleransi 5%.

Kode warna, ada dua metode, antara lain metode : empat pita; dan lima pita . Tipe dan aplikasi resistor yang sering ditemui adalah seperti tabel 1.1 :

Tabel 1.1 Tipe dan aplikasi resistor

Tipe	Karakteristik	Aplikasi
Carbon composition	Murah, toleransi rendah koefisien temperatur rendah, ada desah, dan kestabilan rendah.	Keperluan umum yang tidak kritis, penguat sinyal besar, dan catu daya.
Carbon film	Toleransi tinggi, kestabilan tinggi	Keperluan umum : bias, beban, dan pull-up.
Metal film	Koefisien suhu rendah, kestabilan tinggi	Keperluan umum dan rangkaian desah rendah: bias dan beban rangkaian penguat tingkat rendah
Metal oxide	Desah sangat rendah, kestabilan dan keandalan tinggi.	Keperluan umum : amplifier desah rendah dan sinyal kecil.
Aluminium clad wirewound	Disipasi sangat tinggi	Catu daya dan beban daya tinggi
Ceramic wirewound	Disipasi tinggi	Catu daya.
Silicon and vitreous enamel wirewound	Disipasi tinggi	Catu daya, penguat daya dan kendali

Metode empat pita

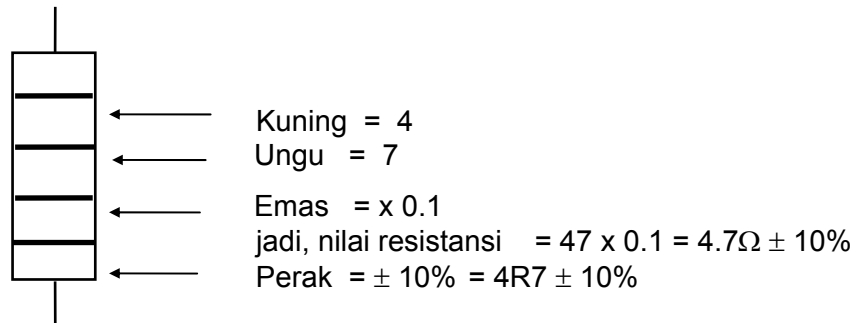


Gambar 1.12. Kode Warna Resistor Empat Pita

Keterangan :

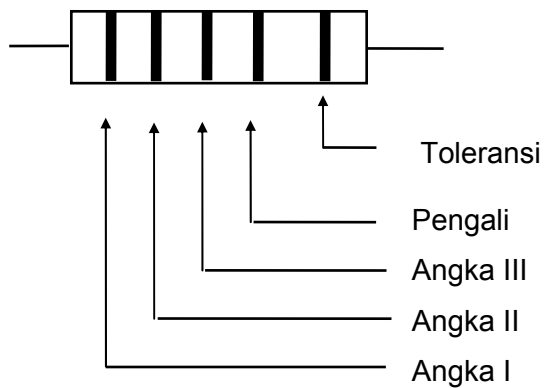
Angka I, II dan III	Pengali	Toleransi
Hitam = 0	Perak = 0.01	Merah = $\pm 2\%$
Coklat = 1	Emas = $\times 0.1$	Emas = $\pm 5\%$
Merah = 2	Hitam = $\times 1$	
Orange = 3	Coklat = $\times 10$	Perak = $\pm 10\%$
Kuning = 4	Merah = $\times 100$	Tanpa warna = $\pm 20\%$
Hijau = 5	Orange = $\times 1000$	
Biru = 6	Kuning = $\times 10.000$	
Ungu = 7	Hijau = $\times 100.000$	
Abu-abu = 8		
Putih = 9	Biru = $\times 1.000.000$	

contoh :



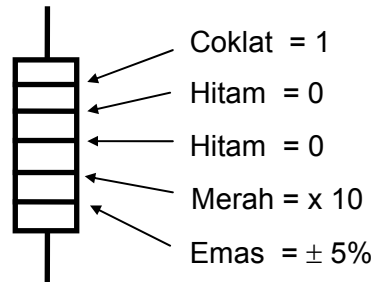
Gambar 1.13. Rangkaian

Metode lima pita



Gambar 1.14. Kode Warna Resistor Lima Pita

Contoh



Jadi, nilai resistance
= $100 \times 100 = 10.000 \pm 5\%$
= $10 \text{ K} \pm 5\% \Omega$

Gambar 1.15. Rangkaian

Ada kode huruf yang menyatakan posisi titik desimal pengali dan toleransi, yang digunakan untuk menentukan nilai resistansi, antara lain :

Kode	Pengali	Kode	Toleransi
R	x 1	F	± 1%
K	x 1000	G	± 2%
M	x 1.000.000	J	± 5%
		K	± 10%
		M	± 20%

Contoh :

Kode	Nilai	Toleransi
R22M	0.22Ω	± 20%
4R7K	4.7Ω	± 10%
68RJ	68Ω	± 5%
1MOF	$1 \text{ M} \Omega$	± 1%

d. Aplikasi Resistor

- Hubungan seri $R = R_1 + R_2$

Hubungan paralel

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

- Pembagi tegangan $V_{\text{out}} = V_{\text{in}}$

- Pembagi arus $I_{\text{out}} = I_{\text{in}} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

e. Termistor

Termistor (*thermally sensitive resistor*) adalah komponen elektronika yang mempunyai sifat/karakteristik resistansinya bervariasi terhadap perubahan suhu. Karena sifat inilah, maka didalam aplikasinya sering digunakan sebagai elemen sensor kompensasi suhu. Ada 2 tipe termistor ; PTC (*Positive*

Temperature Coefficient), dan NTC (*negative temperature coefficient*).

f. Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektronik yang sangat penting untuk memperbaiki kerja rangkaian elektronik, dan dapat berfungsi untuk menyimpan energi dalam bentuk medan

listrik. Aplikasi kapasitor antara lain sebagai kapasitor penyimpan pada catu daya, kopling sinyal AC antara tingkat penguat dan kopling DC catu daya. Nilai kapasitansi, biasanya dinyatakan dengan besaran: μF , nF atau pF . Tipe dan aplikasi kapasitor yang sering ditemui adalah sebagai berikut :

Tabel 1.2 Tipe dan aplikasi kapasitor

Tipe	Karakteristik	Aplikasi
Keramik	Ukuran kecil, induktansi rendah	De-kopling frekuensi menengah dan tinggi, timing, kompensasi suhu,
Elektrolit	Nilai kapasitansi relatif besar, polarisasi	Reservoir catu daya, de-kopling frekuensi rendah
Metal - film	Nilai kapasitansi sedang, cocok untuk aplikasi tegangan tinggi, relatif mahal	Reservoir catu daya tegangan tinggi DC, koreksi faktor daya pada rangkaian AC
Mika	Stabil, koefisien suhu rendah	Osilator frekuensi tinggi, timing, filter, pulsa
Polikarbonat	Kestabilan tinggi, ukuran fisik kecil.	Rangkaian timing dan filter
Poliyester	Keperluan umum	Kopling dan de-kopling
Polipropilin	Hilang dielektrik sangat rendah	Kopling dan de-kopling rangkaian tegangan tinggi filter utama
Polistirin	Harga murah, aplikasi tegangan rendah .	Timing, filter, osilator dan deskriminator
Tantalum	Nilai kopel relatif besar ukuran fisik sangat kecil.	Kopling dan de-kopling

g. Aplikasi kapasitor

- Hubungan seri $1/C = 1/C_1 + 1/C_2$
- Hubungan paralel $C = C_1 + C_2$
- Kapasitor didalam rangkaian AC
Reaktansi kapasitif dinyatakan sebagai rasio tegangan terhadap arus kapasitor dan diukur dalam Ω .

$$X_C = \frac{V_C}{I_C} = \frac{I}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{\omega f \cdot C} \cdot \Omega$$

Induktor

Induktor adalah komponen elektronika yang jarang digunakan seperti halnya resistor atau kapasitor. tetapi penting didalam aplikasinya sebagai filter frekuensi tinggi dan penguat frekuensi radio. Nilai induktansi biasanya dinyatakan dengan besaran : H, mH, nH.

Tipe induktor yang sering ditemui adalah : RM6, RM7, dan RM10.

Aplikasi Induktor

- Hubungan seri $L = L_1 + L_2$
- Hubungan paralel $1/L = 1/L_1 + 1/L_2$
- Induktor didalam rangkaian AC :
Reaktansi induktif dinyatakan sebagai rasio tegangan terhadap arus induktor dan diukur dalam Ω

$$X_L = \frac{V_L}{I_L} = 2\pi f \cdot L = \omega \cdot L \cdot \Omega$$

Rangkaian R, L, dan C

- (a). Rangkaian timing C-R dan karakteristiknya
- (b) Integrator C-R
- (c) Differensiator C-R

- (d) Low-Pass filter C-R
- (e) High-pass filter C-R
- (f) Filter C-R kaskade
- (g) Band pass filter C-R
- (h) Low-pass dan high-pass filter L-C
- (l) Band-pass filter L-C seri
- (j) Band-pass L-C paralel

Transformator (trafo)

Berdasarkan fungsinya, trafo dibagi menjadi empat kategori :

- Trafo utama /daya (50 Hz, atau 60 Hz)
- Trafo frekuensi audio (20 Hz - 20 KHz)
- Trafo frekuensi tinggi (≥ 100 k Hz)
- Trafo pulsa (1k Hz - 100 kHz)

Hubungan antara tegangan primer dan sekunder

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S}$$

V_P = Tegangan primer

V_S = Tegangan sekunder

N_P = Belitan primer

N_S = Belitan sekunder

Hubungan antara arus Primer dan sekunder

I_P = Arus Primer

I_S = Arus sekunder

N_P = Belitan Primer

N_S = Belitan sekunder

$$\frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S}$$

Daya Trafo (VA)

Daya trafo dapat diestimasi dengan perhitungan : Total daya

yang dikonsumsi oleh beban dikalikan 1.1.

$$\text{Daya trafo} = 1.1 \times P_s \text{ (VA)}$$

1.4. SEMIKONDUKTOR

Semikonduktor dapat mencakup beberapa alat/komponen elektronika, antara lain mulai dari dioda s/d VLSI. (Very Large Scale Integrated)

1. Dioda

Dioda adalah alat elektronika dua-terminal, yang hanya mengalirkan arus listrik dalam satu arah apabila nilai resistansinya rendah.

Bahan semikonduktor yang digunakan umumnya adalah silikon atau germanium.

Jika dioda dalam keadaan konduksi, maka terdapat tegangan drop kecil pada dioda tersebut. Drop tegangan silikon $\approx 0,7 \text{ V}$; Germanium $\approx 0.4 \text{ V}$.

a. Aplikasi Dioda

Sesuai dengan aplikasinya dioda, sering dibedakan menjadi dioda sinyal dan dioda penyearah.

- (a) Penyearah setengah gelombang
- (b). Penyearah Gelombang Penuh

b. Dioda Zener

Dioda zener adalah dioda silikon, yang mana didesain khusus untuk menghasilkan karakteristik “breakdown” mundur,. Dioda zener sering digunakan sebagai referensi tegangan.

c. Dioda Schottky .

Dioda schottky mempunyai karakteristik “fast recovery”, (waktu mengembalikan yang cepat, antara konduksi ke non konduksi). Oleh karena karakteristiknya ini, maka banyak diaplikasikan pada rangkaian daya modus “saklar”. Dioda ini dapat membangkitkan drop tegangan maju kira-kira setengahnya dioda silikon konvensional, dan waktu kembali balik sangat cepat.

d. Optoelektronika

Optoelektronika adalah alat yang mempunyai teknologi penggabungan antara optika dan elektronika. Contoh alat optoelektronika antara lain : LED (Light Emitting Dioda), foto dioda, foto optokopler, dan sebagainya.

e. LED

LED adalah sejenis dioda, yang akan memancarkan cahaya apabila mendapat arus maju sekitar $5 \sim 30 \text{ mA}$. Pada umumnya LED terbuat dari bahan galium pospat dan arsenit pospat. Didalam aplikasinya, LED sering digunakan sebagai alat indikasi status/kondisi tertentu, tampilan “Seven-segment, dan sebagainya.

f. Fotodioda

Foto dioda adalah jenis foto detektor, yaitu suatu alat optoelektronika yang dapat mengubah cahaya yang datang mengenanya menjadi besaran listrik. Prinsip kerjanya apabila sejumlah cahaya mengenai pada persambungan, maka dapat

mengendalikan arus balik di dalam dioda.

Di dalam aplikasinya, foto dioda sering digunakan untuk elemen sensor/detektor cahaya.

g. Fototransistor

Fototransistor adalah komponen semikonduktor optoelektronika yang sejenis dengan fotodioda. Perbedaannya adalah terletak pada penguatan arus β_{dc} . Jadi, pada fototransistor akan menghasilkan arus β_{dc} kali lebih besar dari pada fotodioda.

h. Optokopler

Optokopler disebut juga optoisolator adalah alat optoelektronika yang mempunyai teknologi penggabungan dua komponen semikonduktor di dalam satu kemasan, misalnya : LED - fotodioda, LED - fototransistor dan sebagainya. Prinsip kerja optokopler adalah apabila cahaya dari LED mengenai foto dioda atau foto transistor, maka akan menyebabkan timbulnya arus balik pada sisi fotodioda atau foto transistor tersebut. Arus balik inilah yang akan menentukan besarnya tegangan keluaran. Jadi apabila tegangan masukan berubah, maka cahaya LED berubah, dan tegangan keluaran juga berubah. Didalam aplikasinya, optokopler sering digunakan sebagai alat penyekat diantara dua-rangkaian untuk keperluan pemakaian tegangan tinggi.

i. LDR

LDR (*Light Dependent Resistor*) adalah komponen elektronika yang sering digunakan sebagai transduser/elemen sensor cahaya. Prinsip kerja LDR apabila cahaya yang datang mengenai jendela LDR berubah, maka nilai resistansinya akan berubah pula. LDR disebut juga sel fotokonduktif.

j. SCR

SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) disebut juga "thyristor", adalah komponen elektronika tiga-terminal yang keluarannya dapat dikontrol berdasarkan waktu penyulutnya. Di dalam aplikasinya, SCR sering digunakan sebagai alat "Switching" dan pengontrol daya AC.

k. TRIAC

Triac adalah pengembangan dari SCR, yang mana mempunyai karakteristik dua-arah (bidirectional). Triac dapat disulut oleh kedua tegangan positif dan negatif. Aplikasinya, triac sering digunakan sebagai pengontrol gelombang penuh

Tabel 1. 3. Macam-macam Tipe Triac

Type	BC109	BC184L	BC212L	TIP31A	TIP3055
Material Construction	Silicon	Silicon	Silicon	Silicon	Silicon
Case style	n-p-n	n-p-n	n-p-n	n-p-n	n-p-n
Maximum collector power	TO18	TO92	TO92	TO220	TAB
Dissipation (Pc)	360 mW	300 mW	300 mW	40 W	90 W
Maximum collector Current (Ic)	100 mA	200 mA	-200 mA	3A	15A
Maximum Collector Emitter voltage (Vceo)	20 V	30 V	-50 V	60 V	60V
Maximum collector base voltage (Vcbo)	30 V	45 V	-60 V	60V	100V
Current gain (hfe)	200-800	250	60-300	10-60	5-30
Transition frequency	250 MHz	150 MHz	200 MHz	8 MHz	8MHz

I. DIAC

Diac adalah saklar semikonduktor dua-terminal yang sering digunakan berpasangan dengan TRIAC sebagai alat penyulut (trigger).

2. Transistor (Transfer Resistor)

Transistor adalah salah satu komponen semikonduktor yang dapat digunakan untuk memperkuat sinyal listrik, sebagai sakelar dan sebagainya. Pada dasarnya transistor terbuat dari bahan silikon atau germanium. Jenis transistor adalah PNP dan NPN simbol kedua jenis transistor adalah sebagai berikut :

Transistor dapat digunakan bermacam-macam aplikasi namun dapat dikategorikan sebagai berikut :

- Transistor linear, didesain untuk aplikasi linear (penguatan tegangan tingkat rendah)
- Transistor daya, didesain untuk beroperasi tingkat daya tertentu (daya frekuensi audio dan sebagainya)
- Transistor frekuensi radio, didesain khusus untuk aplikasi frekuensi tinggi
- Transistor tegangan tinggi, didesain khusus untuk menangani keperluan tegangan tinggi

Kerja transistor dapat dijelaskan dengan bantuan grafik garis beban DC dan rangkaian dasar bias-basis sebagai berikut :

Perpotongan dari garis beban DC dengan kurva arus basis disebut titik kerja (titik Q) atau titik stasioner.
Contoh karakteristik beberapa tipe transistor

a. F E T

FET (Field effect transistor) adalah komponen semikonduktor yang dapat melakukan berbagai

fungsi transistor, tetapi prinsip dasar kerjanya berbeda. Ada dua jenis FET, antara lain : JFET (*junction field effect transistor*), dan MOSFET (*Metal-Oxide Semi Conductor Field Effect Transistor*). Seluruh jenis FET dapat dibagi menjadi dua versi, yaitu : kanal P, dan kanal N. Simbol JFET dan karakteristiknya adalah seperti berikut ini :

Contoh karakteristik FET dapat disusun sesuai konfigurasi, adalah sebagai berikut :

Tabel 1.4. Mode of operation

Parameter	Common source	Common drain	Common gate
Voltage gain	Medium (40)	Unity (1)	High (250)
Current gain	Very high (200.000)	Very high (200.000)	Unity (1)
Power gain	Very high (8.000.000)	Very high (200.000)	High (250)
Input resistance	Very high (1 M Ω)	Very high (1 M Ω)	Low (500 Ω)
Output resistance	(Medium/high (50 k Ω))	Low (200 Ω)	High (150 k Ω)
Phase shift	180°	0°	0°

b. JFET

JFET sangat luas digunakan pada rangkaian penguat linier, sedangkan MOSFET sering dipakai pada rangkaian digital.

3. IC (Integrated Circuit)

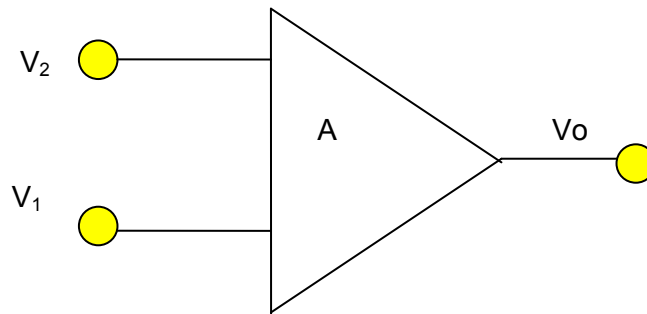
IC adalah bentuk rangkaian integrasi yang terdiri dari beberapa komponen elektronik,

misalnya : transistor, dioda, dan resistor. Ukuran relatif alat semikonduktor chip ditentukan oleh apa yang disebut dengan skala-integrasi (SI). Terdapat beberapa skala integrasi ukuran IC, antara lain SSI, MSI, LSI, VLSI, dan SLSI. IC dapat dibagi menjadi dua kelas umum, antara lain ; IC linier (analog), dan IC digital. Contoh IC analog adalah

OPAMP (Operational Amplifier) dan IC digital misalnya IC-TTL (Transistor - Transistor Logic).

4. OP-AMP

OP-AMP adalah rangkaian penguat operasional yang berbentuk IC (chip). Simbol Op-Amp adalah seperti gambar 1.16. sebagai berikut :



Gambar 1.16. Simbol OP-AMP

Contoh karakteristik beberapa tipe Op-Amp adalah seperti tabel 1- 5. :

Tabel 1- 5 karakteristik beberapa tipe Op-Amp

T y p e	741	355	081	3140	7611
Technology	Bipolar	JFET	BIFET	MOSFET	CMO
Open loop voltage gain(dB)	106	106	106	100	102
Input resistance	2 M Ω	10 ¹² Ω	10 ¹² Ω	10 ¹² Ω	10 ¹² Ω
Full-power bandwidth (kHz)	10	60	150	110	50*
Slew rate (V/us)	0,5	5	13	9	0.16*
Input offset voltage (mV)	1	3	5	5	15
Common mode rejection ratio (dB)	90	100	76	90	91*

Di dalam aplikasinya OP-AMP, ada yang berbentuk paket tunggal, berpasangan (tipe dual) 1

dan paket empat (tipe quad). Sebenarnya ada tiga konfigurasi dasar Op-Amp, yaitu inverting,

non-inverting, dan differential amplifier. Namun dapat dikembangkan menjadi konfigurasi penguat yang lainnya. Beberapa konfigurasi Op-Amp dan rumus persamaannya adalah sebagai berikut :

- (a) Inverting (e) Summer
- (b) Non-Inverting (f) Differensiator
- (c) Differential (g) Integrator
- (d) Voltage Follower
- (h) Instrumentation Amplifier

1.5. Sistem DC Power

DC Power adalah alat bantu utama yang sangat diperlukan sebagai suplai arus searah (*direct current*) yang digunakan untuk peralatan-peralatan kontrol, peralatan proteksi dan peralatan lainnya yang menggunakan sumber arus DC, baik untuk unit pembangkit dalam keadaan normal maupun dalam keadaan darurat (*emergency*).

Pada beberapa unit pembangkit kecil, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) maupun Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas daya terpasang kecil, sumber DC Power digunakan sebagai start-up unit.

Dalam instalasi sumber tegangan/ arus searah (*direct current*, DC) meliputi panel-panel kontrol, instalasi / pengawatan listrik, meter-meter, indikator dan perlengkapan lainnya seperti : charger, baterai dan inverter.

Sumber Instalasi DC Power dipasang oleh rectifier atau charger

baik dari sumber 3 phase maupun 1 phase yang dihubungkan dengan baterai dengan kapasitas tertentu sesuai kebutuhan dan tingkat kepentingannya.

Kapasitas baterai biasanya disesuaikan dengan kebutuhan yang ada pada unit pembangkit itu sendiri baik sebagai back up power ataupun start up unit. **2.**

1. Penggunaan Sistem DC Power

Sistem DC Power pada unit pembangkit digunakan untuk mensuplai tenaga listrik ke peralatan-peralatan yang menggunakan arus searah, seperti :

- Motor-motor arus searah (Motor DC), seperti untuk EOP
- Sistem Kontrol dan Instrumentasi, seperti kontrol turbin, kontrol boiler, switchgear.
- Relay Proteksi
- Lampu Penerangan (Emergency Lamp).
- Inverter (UPS)

2. Instalasi Sistem DC Power

Instalasi sistem DC power suatu pembangkit berfungsi untuk menyalurkan suplai DC yang dipasok oleh rectifier atau charger tiga fasa maupun satu fasa yang dihubungkan dengan satu atau dua set baterai.

Terdapat 3 (tiga) jenis instalasi atau suplai DC power yang digunakan di unit pembangkit, antara lain:

- Instalasi Sistem DC Power 220 / 250 Volt,
- Instalasi Sistem DC Power 110 / 125 Volt,
- Instalasi Sistem DC Power 24 / 48 Volt

1.5.1. Instalasi Sistem DC Power 220/250 Volt,

Instalasi DC power dengan sumber tegangan 220/250 Volt ini dipasok dari charger yang dihubungkan dengan baterai pada panel DC. Dari panel DC ini digunakan untuk mensuplai :

- DC Station Board, antara lain untuk Motor-motor, Indikator, Lampu Penerangan dll
- Inverter yang digunakan untuk mensuplai Kontrol dan Instrumentasi pada turbin, boiler, switchgear dll.

1.5.3. Instalasi Sistem DC Power 110 / 125 Volt,

Instalasi DC power dengan sumber tegangan 110/125 Volt ini dipasok dari charger yang dihubungkan dengan baterai pada panel DC. Dari panel DC ini digunakan untuk mensuplai 125 Volt DC Station Board, untuk mensuplai :

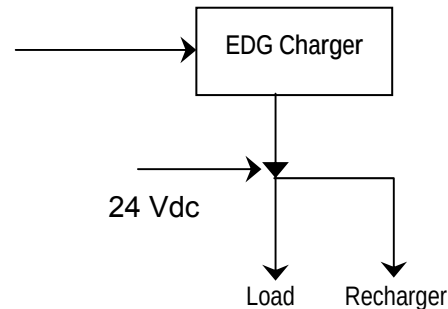
- Kontrol & Instrumentasi seperti pada Turbin, Boiler, Ash & Dash Handling dll.
- Relay Proteksi
- Motor-motor DC 110/125 Volt

1.5.3. Instalasi Sistem DC Power 48 Volt,

Instalasi DC power dengan sumber tegangan 48 volt biasanya

digunakan untuk Telekomunikasi (Telepon/Facsimile) dan Teleproteksi (khusus di Gardu Induk).

Sedangkan instalasi DC power dengan sumber tegangan 24 volt DC biasa digunakan pada Emergency Diesel Generator untuk Starting Applications



Gambar 1. 17
Instalasi Sistem DC Power

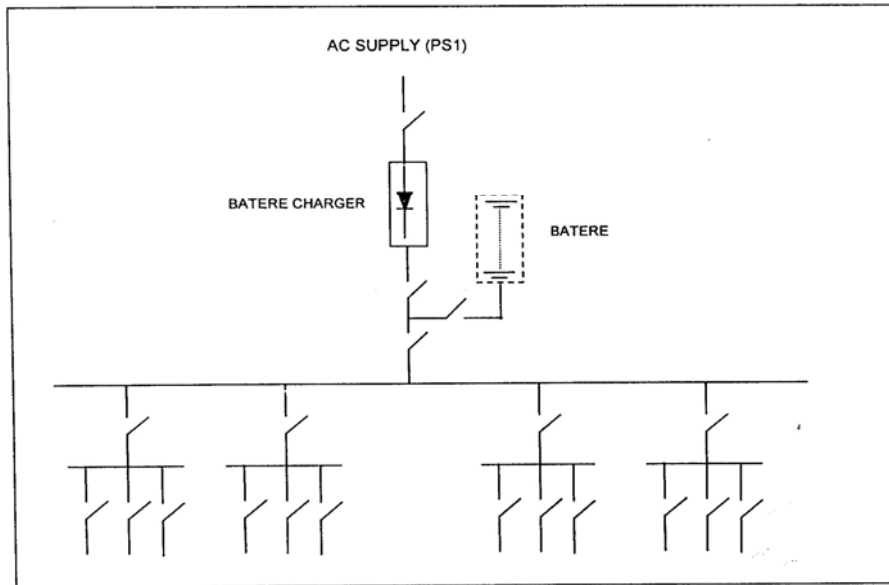
Pola Instalasi DC Power

Instalasi pada sistem DC power terdiri dari beberapa pola atau model berdasarkan kondisi peralatan yang terpasang. Hal ini juga dipengaruhi oleh tingkat keandalan yang dibutuhkan dan kemampuan dari sumber DC itu sendiri.

Pola 1

Pola 1 ini terdiri dari : 1 trafo PS, 1 charger, 1 baterai dan 1 bus DC.

Dalam hal ini pengaman utama dan pengaman cadangan menggunakan MCB yang berbeda seperti terlihat pada gambar 1.18



Gambar 1.18. Pola 1 Instalasi Sistem DC Power

Pola 2

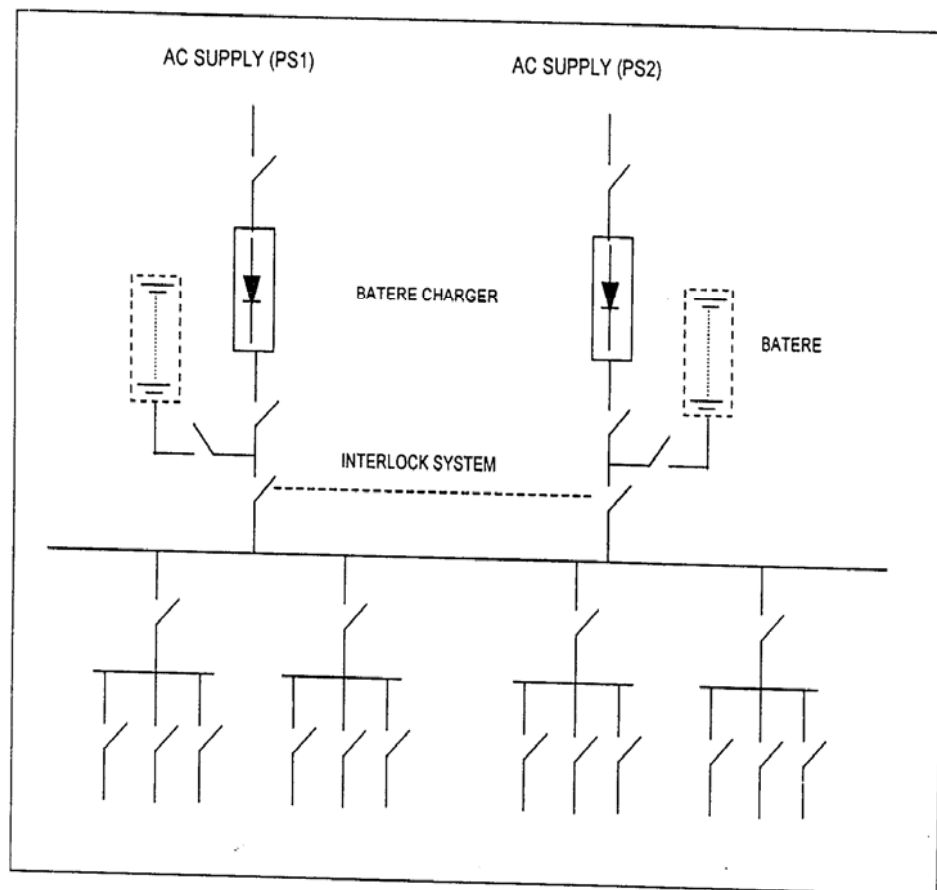
Pola 2 ini terdiri dari : 2 trafo PS, 2 charger, 2 baterai dan 1 bus DC.

Dalam hal ini pengaman utama dan pengaman cadangan menggunakan MCB yang berbeda seperti terlihat pada gambar dibawah ini.

Pola operasinya adalah :

- Sistem 1 : PS 1, Charger 1 dan Baterai 1, beroperasi memikul beban
- Sistem 2 : PS 2, Charger 2 dan Baterai 2, beroperasi tanpa beban

Sistem 1 dan sistem 2 beroperasi secara bergantian yang dilakukan oleh Interlock System DC Utama



Gambar 1.19. Pola 2 Instalasi Sistem DC Power

Pola 3

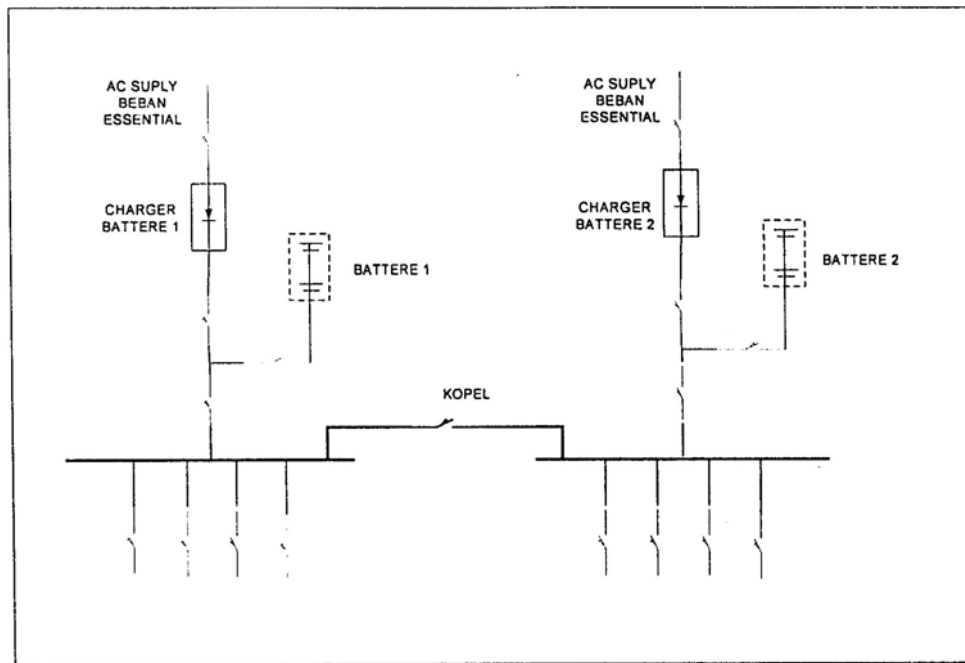
Pola 3 ini terdiri dari : 2 trafo PS, 2 charger, 2 baterai dan 2 bus DC. Pengaman utama dan cadangan menggunakan MCB yang berbeda.

Pola operasinya adalah :

- Sistem 1 : PS 1, Charger 1 dan Baterai 1, beroperasi memikul beban
- Sistem 2 : PS 2, Charger 2 dan Baterai 2, beroperasi tanpa beban

Pada posisi normal sistem 1 dan sistem 2 operasi secara terpisah, posisi MCB keluar (MCB kopel interlock dengan MCB sistem 1 dan sistem 2).

Pada saat pemeliharaan sistem 1, MCB sistem 1 dilepas maka MCB kopel akan masuk secara otomatis. Demikian juga sebaliknya. Lihat diagram dibawahini

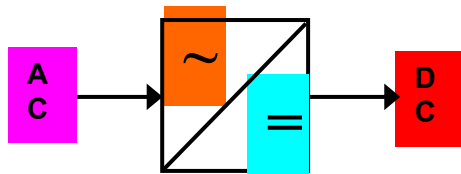


Gambar 1.20. Pola 3 Instalasi Sistem DC Power

Pola instalasi diatas adalah hanya contoh dari sekian banyak pola instalasi yang berkembang saat ini khususnya di unit pembangkit yang memerlukan keandalan yang tinggi dengan pola pengoperasian yang tinggi juga.

1.6. Charger

Charger sering juga disebut Converter adalah suatu rangkaian peralatan listrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik bolak balik (*Alternating Current*, disingkat AC) menjadi arus listrik searah (*Direct Current*, disingkat DC), yang berfungsi untuk pasokan DC power baik ke peralatan-peralatan yang menggunakan sumber DC maupun untuk mengisi baterai agar kapasitasnya tetap terjaga penuh sehingga keandalan unit pembangkit tetap terjamin. Dalam hal ini baterai harus selalu tersambung ke rectifier.



Gambar 1.21. Prinsip Converter atau Charger atau Rectifier

Kapasitas rectifier harus disesuaikan dengan kapasitas baterai yang terpasang, setidaknya kapasitas arusnya harus mencukupi untuk pengisian baterai sesuai jenisnya yaitu untuk baterai alkali adalah $0,2 C$ ($0,2 \times \text{kapasitas}$) sedangkan untuk baterai asam adalah $0,1C$ ($0,1 \times \text{kapasitas}$) ditambah beban statis (tetap) pada unit pembangkit.

Sebagai contoh jika suatu unit pembangkit dengan baterai jenis alkali kapasitas terpasangnya adalah 200 Ah dan arus statisnya adalah 10 Ampere, maka minimum kapasitas arus rectifier adalah :

$$\begin{aligned} &= (0,2 \times 200A) + 10A \\ &= 40A + 10A \\ &= 50 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Jadi kapasitas rectifier minimum yang harus disiapkan adalah sebesar 50 Ampere.

Sumber tegangan AC untuk rectifier tidak boleh padam atau mati. Untuk itu pengecekan tegangan harus secara rutin dan periodik dilakukan baik tegangan inputnya (AC) maupun tegangan outputnya (DC).

1.6.1. Jenis Charger atau Rectifier

Jenis charger atau rectifier ada 2(dua) macam sesuai sumber tegangannya yaitu rectifier 1 fasa dan rectifier 3 fasa

1.Rectifier 1 (Satu) Fasa

Yang dimaksud dengan rectifier 1 fasa adalah rectifier yang rangkaian inputnya menggunakan AC suplai 1 fasa. Melalui MCB sumber AC suplai 1 fasa 220 V masuk ke dalam sisi primer trafo utama 1 fasa kemudian dari sisi sekunder trafo tersebut keluar tegangan AC 110V, kemudian melalui rangkaian penyearah dengan *diode bridge* atau *thyristor bridge*. Tegangan AC tersebut diubah menjadi tegangan DC 110V. Keluaran ini masih mengandung *ripple* cukup tinggi sehingga masih diperlukan rangkaian filter untuk memperkecil ripple tegangan output.

2. Rectifier 3 (Tiga) Fasa.

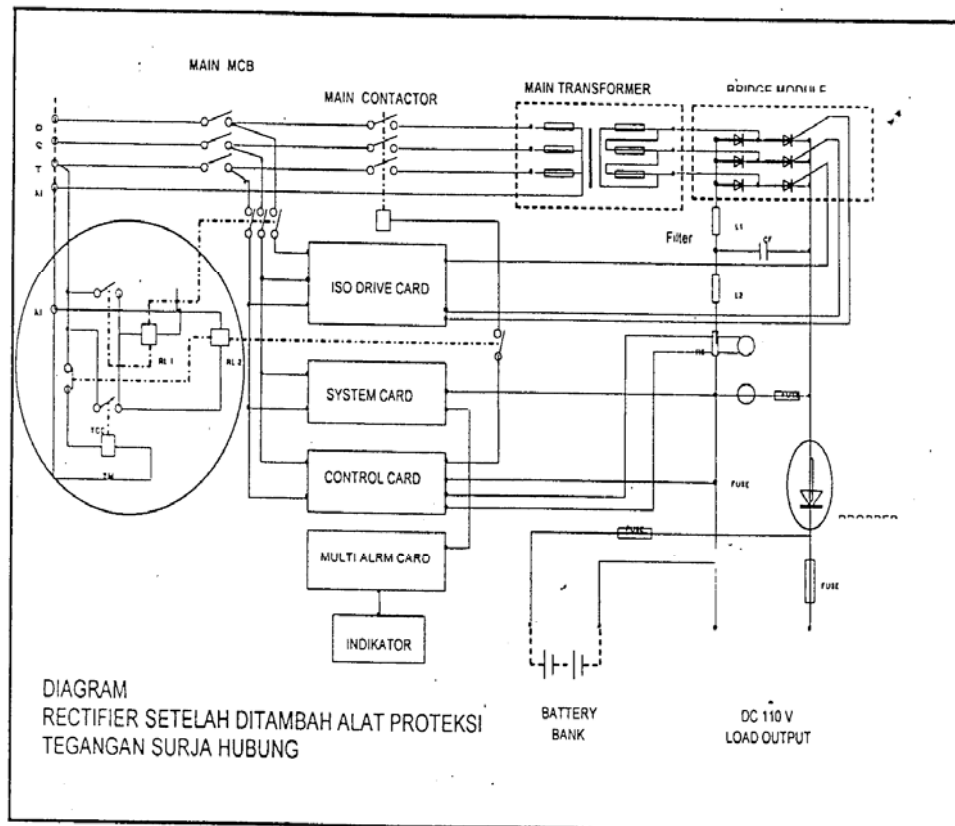
Yang dimaksud dengan rectifier 3 (tiga) fasa adalah rectifier yang rangkaian inputnya menggunakan AC suplai 3 fasa. Melalui MCB sumber AC suplai 3 fasa 380 V masuk ke dalam sisi primer trafo utama 3 fasa kemudian dari sisi sekunder trafo tersebut keluar tegangan AC 110V per fasa kemudian melalui rangkaian penyearah dengan diode bridge atau thyristor bridge, arus AC tersebut dirubah menjadi arus DC 110V yang masih mengandung ripple lebih rendah dibanding dengan ripple rectifier 1 fasa akan tetapi masih diperlukan juga rangkaian filter untuk lebih

memperkecil ripple tegangan input.

1.6.2.Prinsip Kerja Charger

Sumber tegangan AC baik yang 1 fasa maupun 3 fasa yang masuk melalui terminal input trafo *step-down* dari tegangan 380V/220V menjadi tegangan 110V kemudian oleh diode penyearah / thyristor arus bolak balik (AC) tersebut dirubah menjadi arus searah dengan ripple atau gelombang DC tertentu.

Kemudian untuk memperbaiki ripple atau gelombang DC yang terjadi diperlukan suatu rangkaian penyaring (filter) yang dipasang sebelum terminal output.



Gambar 1.22 Contoh Rangkaian Rectifier

1.6.3. Bagian-bagian Charger

Charger yang digunakan pada pembangkit tenaga listrik terdiri dari beberapa peralatan antara lain adalah :

1. Trafo utama

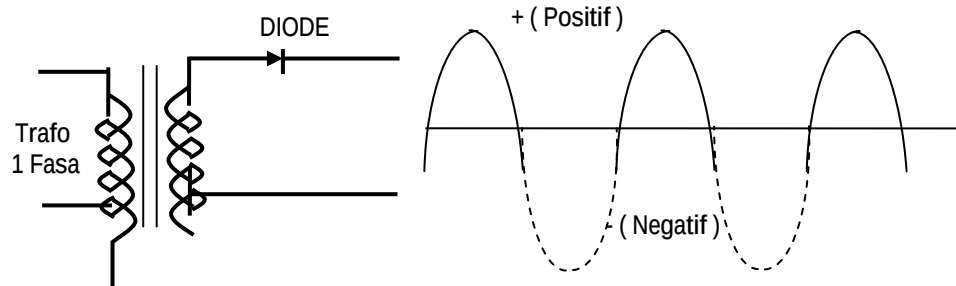
Trafo utama yang terpasang di rectifier merupakan trafo *Step-Down* (penurun tegangan) dari tegangan AC 220/380 Volt menjadi AC 110V. Besarnya kapasitas trafo tergantung dari kapasitas baterai dan beban yang terpasang di unit pembangkit yaitu paling tidak kapasitas arus output trafo harus lebih besar 20 % dari arus pengisian baterai. Trafo yang digunakan ada yang 1 fasa ada juga yang trafo 3 fasa.

2. Penyearah / Diode

Diode merupakan suatu bahan semi konduktor yang berfungsi merubah arus bolak-balik menjadi arus searah. Mempunyai 2 (dua) terminal yaitu terminal positif (Anode) dan terminal negatif (Katode)

Konfigurasi Penyearah ada beberapa macam antara lain:

1. Penyearah Diode ½ Gelombang (Half Wave) 1 fasa



Gambar 1.23. Penyearah Diode ½ Gelombang (Half Wave) 1 fasa

3. Thyristor

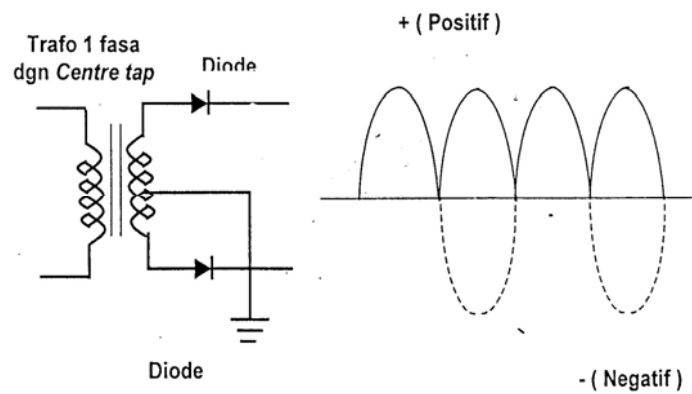
Suatu bahan semikonduktor seperti diode yang dilengkapi dengan satu terminal kontrol, Thyristor berfungsi untuk merubah arus bolak-balik menjadi arus searah.

Thyristor mempunyai 3 (tiga) terminal yaitu :

- Terminal positif (anode)
- Terminal negatif (katode)
- Terminal kontrol (gate).

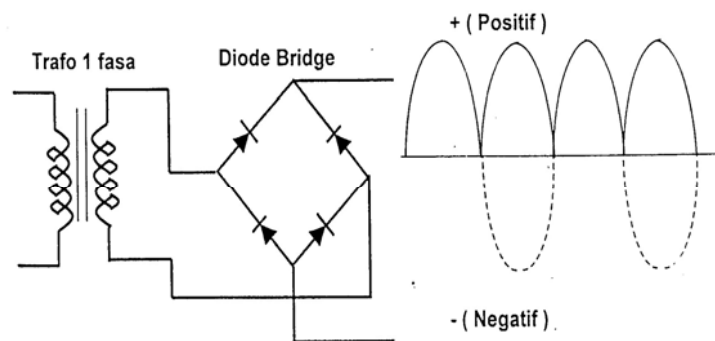
Terminal gate ini terletak diantara katode dan anode yang bilamana diberi trigger signal positif maka konduksi mulai terjadi antara katode dan anode melalui gate tersebut ($\alpha = 30^\circ$) sehingga arus mengalir sebanding dengan besarnya tegangan trigger positif yang masuk pada terminal Gate tersebut.

2. Penyearah Diode Gelombang Penuh dengan *Center Tap* (Full Wave) 1 fase



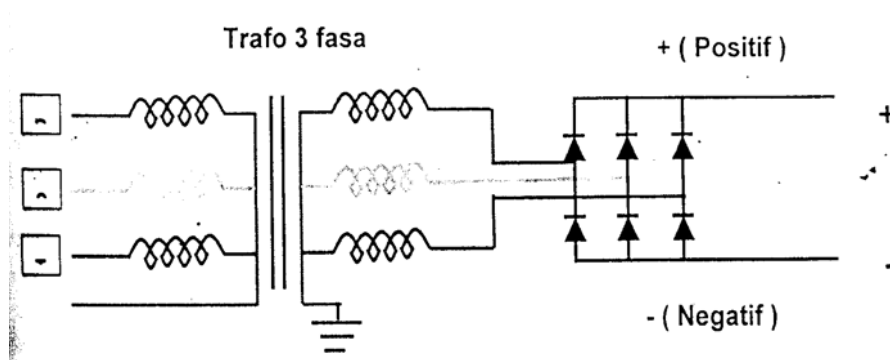
Gambar 1.24. Penyearah Diode Gelombang Penuh dengan *Center Tap*

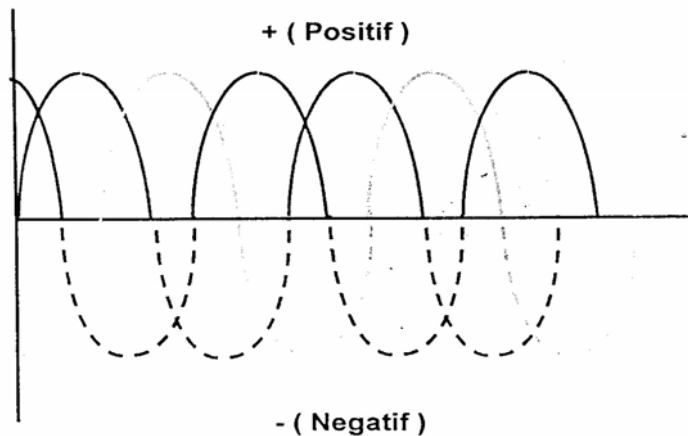
3. Penyearah Diode Gelombang Penuh (Full Wave Bridge) 1 fase



Gambar 1.25. Penyearah Diode Gelombang Penuh

4. Penyearah Diode Gelombang Penuh 3 fase





Gambar 1.26 Penyearah Diode Gelombang Penuh 3 fase

5. Penyearah Dengan thyristor

Penyearah dengan thyristor inilah yang banyak dipakai untuk rectifier-rectifier yang bisa dikontrol besar tegangan dan arus outputnya

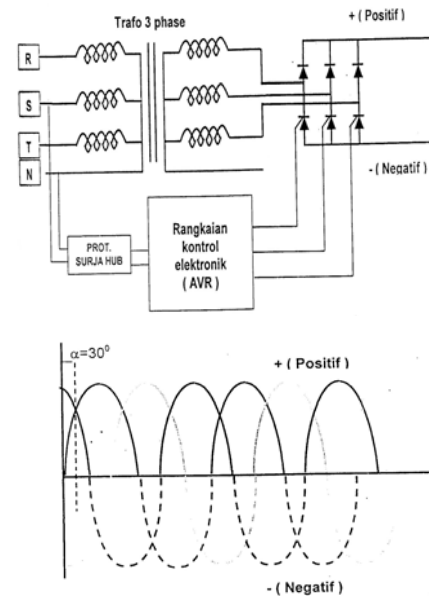


Gambar 1.27. Thyristor

Penyearah Thyristor Gelombang Penuh 3 fase



Gambar 1.28. Penyearah Thyristor 3 Fasa



Gambar 1.29. Penyearah Thyristor Gelombang Penuh 3 fase

1.7. Automatic Voltage Regulator (AVR)

Automatic Voltage Regulator yang terpasang pada rectifier atau charger adalah merupakan suatu rangkaian yang terdiri dari komponen elektronik yang berfungsi untuk memberikan trigger

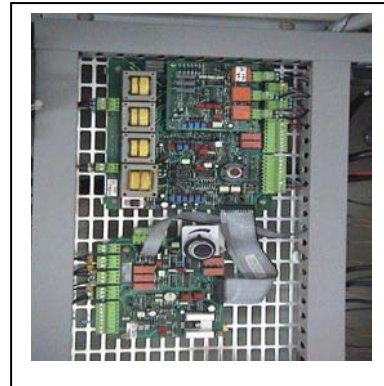
positif pada gate thyristor sehingga pengaturan arus maupun tegangan output suatu rectifier bisa dilakukan sedemikian rupa sehingga pengendalian arus pengisian ke baterai bisa disesuaikan dengan arus kapasitas baterai yang terpasang.

Rangkaian elektronik AVR ini sendiri sangat peka terhadap kenaikan tegangan yang terjadi pada rangkaian input misalnya terjadinya tegangan, Surja Hubung pada setiap kegiatan switching pada PMT 20 kV Incoming Trafo yang langsung mensuplai trafo PS / Sumber AC 3 ϕ 380V.

Sehingga diperlukan suatu alat proteksi terhadap Tegangan Surja Hubung (*Switching Surge*), yaitu berupa rangkaian timer dan kontaktor yang berfungsi untuk menunda masuknya tegangan input rectifier sehingga tegangan surja hubung tidak lagi masuk ke input atau ke rangkaian elektronik (Tegangan Surja Hubung sudah hilang).



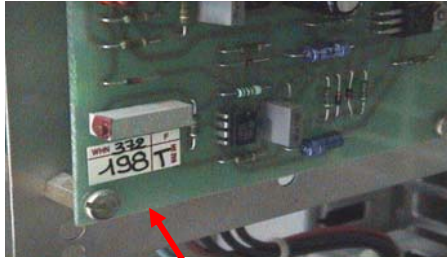
Gambar 1.30 Rangkaian elektronik AVR



Gambar 1.31. Rangkaian kontrol Tegangan (AVR)

1.7.1. Komponen Pengaturan / Setting Tegangan Floating.

Untuk memenuhi standar pengisian baterai secara *floating* maka pengaturan seting tegangannya perlu dilakukan pada rectifier, hal ini dapat dilakukan dengan mengatur *Variabel Resistor* pada PCB rangkaian elektronik AVR, dengan cara memutar ke kiri atau ke kanan sesuai dengan spesifikasi baterai yang terpasang. Biasanya VR tersebut diberi indikasi / tulisan " Floating"



Gambar 1.32. Variable Resistor Floating

1.7.2. Komponen Pengaturan / Setting Tegangan Equalizing

Untuk memenuhi standar pengisian baterai secara *Equalizing* maka pengaturan seting tegangannya perlu dilakukan pada rectifier, hal ini dapat dilakukan dengan mengatur Variabel Resistor pada PCB rangkaian elektronik AVR dengan cara memutar kekiri atau kekanan sesuai dengan spesifikasi, baterai yang terpasang. Biasanya VR tersebut diberi indikasi / tulisan "Equalizing"



Gambar 1.33. Variable Resistor Equalizing

1.7.3. Komponen Pengaturan / Setting Tegangan Boost.

Untuk memenuhi syarat/ standard pengisian baterai secara

Boost maka pengaturan seting tegangannya perlu dilakukan pada rectifier.

Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur Variabel Resistor pada PCB rangkaian elektronik AVR dengan cara memutar ke kiri atau ke kanan sesuai dengan spesifikasi baterai yang terpasang. Biasanya VR tersebut diberi indikasi / tulisan "Boost"



Gambar 1.34. Variable Resistor "Boost"

1.7.4. Komponen Pengaturan / Setting Arus (Current Limiter)

Komponen pengaturan atau seting arus biasanya dilakukan untuk membatasi arus maksimum output rectifier agar tidak terjadi over load atau over charge pada baterai, hal ini dapat dilakukan juga dengan mengatur Variabel Resistor (VR) pada PCB rangkaian elektronik AVR, dengan cara memutar ke kiri atau ke kanan sesuai dengan spesifikasi baterai yang terpasang. Biasanya VR tersebut diberi indikasi / tulisan "Current Limiter".

Filter (Penyaring)

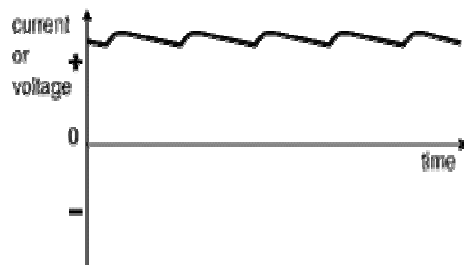
Tegangan DC yang keluar dari rangkaian penyearah masih mempunyai ripple / frekuensi gelombang yang cukup tinggi, maka suatu rangkaian filter (penyaring) berfungsi untuk memperbaiki ripple tersebut agar menjadi lebih kecil sesuai dengan yang direkomendasikan $\leq 2\%$ (Standar SE.032).

Tegangan Ripple merupakan perbandingan antara unsur tegangan output AC terhadap unsur tegangan output DC.

Dibawah ini diperlihatkan rumus untuk mencari ripple, adalah :

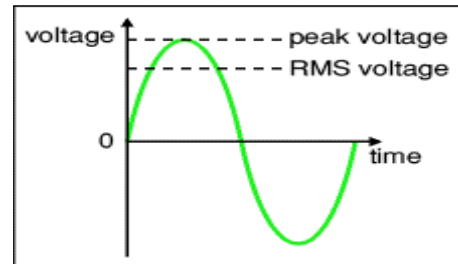
$$r = \frac{\text{Komponen AC}}{\text{Komponen DC}} \times 100\%$$

Sedangkan bentuk gelombang ripple adalah seperti dibawah ini.



Gambar 1.35. Bentuk gelombang ripple

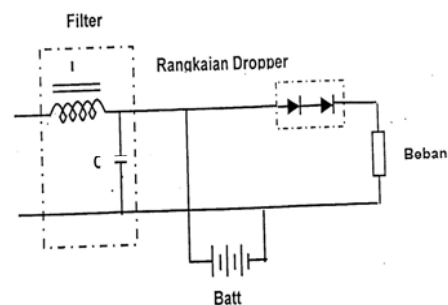
Komponen AC adalah harga *RMS* dari tegangan output AC. Komponen DC adalah harga rata-rata tegangan output



Gambar 1.36. Bentuk gelombang ripple

Tegangan Ripple yang terlalu besar akan mengakibatkan lamanya proses pengisian baterai, sedangkan pada beban dapat menyebabkan kerusakan. Pengukuran tegangan ripple dilakukan pada titik output charger (sesudah *rangkai Filter LC*) dan titik input beban (*Output Voltage Dropper*).

Rangkaian filter ini bisa terdiri dari rangkaian *Induktif*, *kapasitif* atau kombinasi dari keduanya.



Gambar 1.37. Rangkaian Filter untuk memperbaiki Ripple

Untuk rangkaian diatas besarnya ripple dan faktor reduksi filternya adalah sebagai berikut :

$$\text{Tegangan Ripple} = \frac{118}{(L \times C) - 1} \%$$

$$\text{Faktor Reduksi Filter} = \frac{1,76}{(L \times C) - 1}$$

Jadi,

Ripple = Tegangan Ripple x

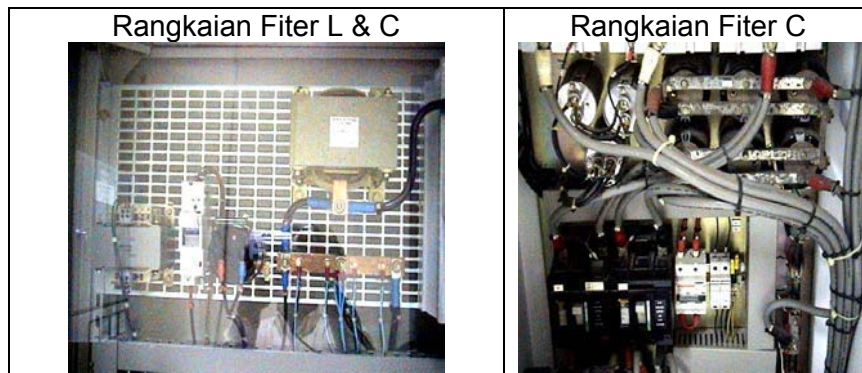
Faktor Reduksi F

Dimana,

L = Induktansi dalam Henry

C = Kapasitansi dalam mikro farad
(μF)

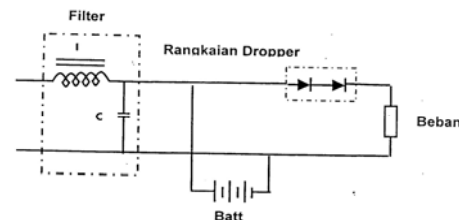
118 dan 1,76 adalah konstanta



Gambar 1.38. Rangkaian Filter LC dan Filter C

1.8. Rangkaian Voltage Dropper

Pada saat rectifier dioperasikan secara Boost atau Equalizing untuk mengisi baterai unit pembangkit, maka tegangan output rectifier tersebut jauh lebih tinggi dari tegangan yang ke beban (bisa mencapai 1.7 Volt per sel baterai atau 135 Volt). Agar tegangan output yang menuju beban tersebut tetap stabil dan sesuai dengan yang direkomendasikan, yaitu sebesar $110 \text{ V} \pm 10\%$, maka diperlukan suatu rangkaian dropper secara seri sebelum ke terminal beban.



Gambar 1.39. Rangkaian Voltage Drop

Rangkaian dropper ini terdiri dari beberapa diode Silicone atau Germanium yang dirangkai secara seri sebanyak beberapa buah sesuai dengan berapa Volt DC yang akan di drop. Sebagai contoh bila kenaikan tegangan Equalizing mencapai 135 V sedangkan tegangan beban harus 122 V, maka tegangan yang didrop sebesar $135 \text{ V} - 122 \text{ V} = 13 \text{ V}$ dc, maka diperlukan diode sebanyak $13 : 0.8 \text{ V} = 16,25$ atau

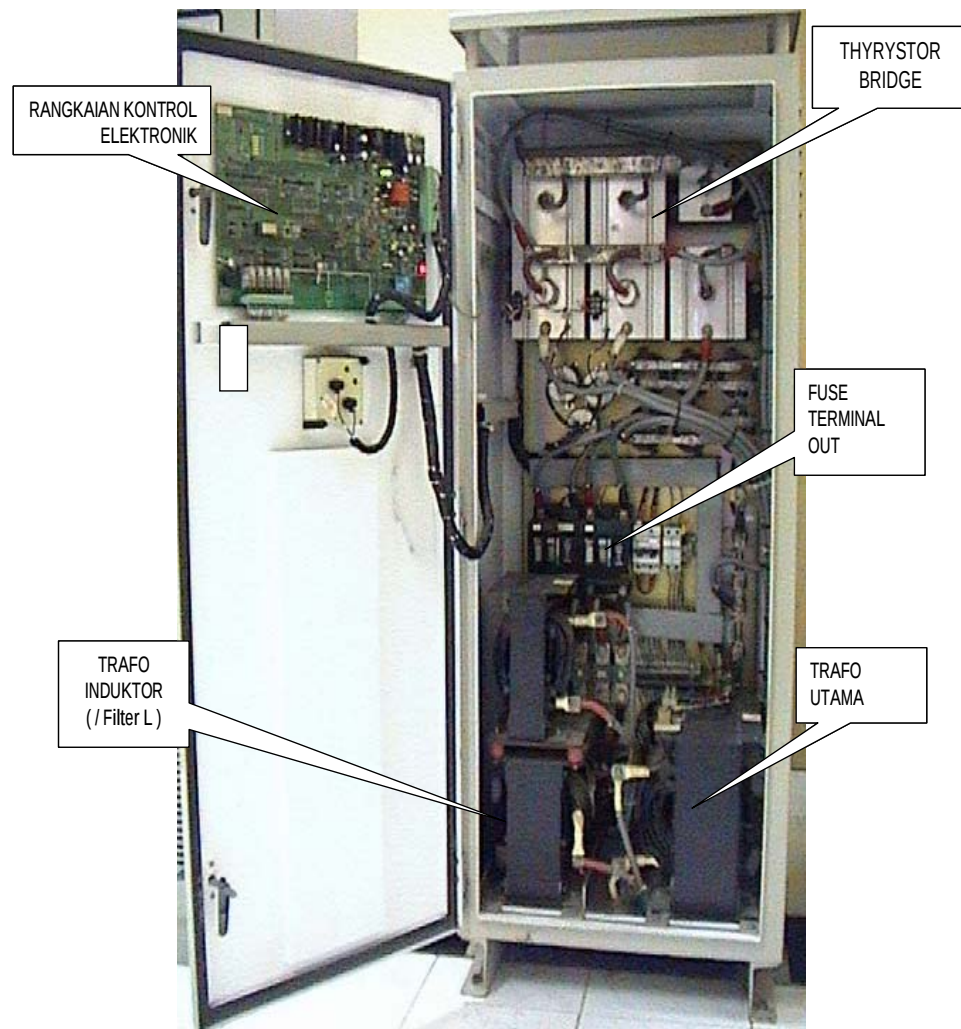
dibulatkan ± 17 buah. Biasanya setiap diode mampu menurunkan (drop) tegangan sebesar antara 0.8 - 0.9 **vd**

1.9. Rangkaian Proteksi Tegangan Surja Hubung

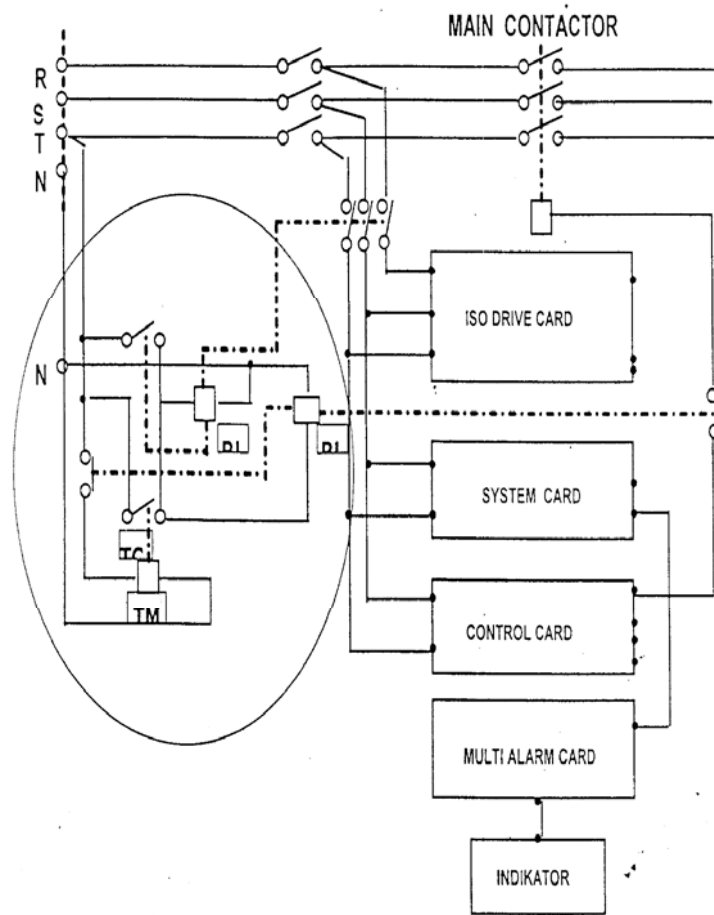
Setiap kegiatan *Switching* pada instalasi tegangan tinggi selalu terjadi kenaikan tegangan secara signifikan dalam waktu yang relatif singkat, kenaikan tegangan tersebut kita sebut "Tegangan Surja Hubung" (*Switching Surge*), tegangan inilah yang sering merusak rangkaian elektronik sebagai rangkaian kontrol pada rectifier sehingga tidak dapat operasi kembali. Sedangkan

perbaikannya memerlukan waktu yang cukup lama dan biaya yang relatif mahal, karena rusaknya Thyristor.

Untuk mencegah adanya kerusakan serupa, maka rectifier harus dipasang alat yang disebut "Alat Proteksi Tegangan Surja Hubung ". Alat ini merupakan rangkaian kontrol yang terdiri dari se buah timer AC 220V dan 2 buah *kontaktor*, *tirner* sebagai sensor dan sekaligus sebagai penunda waktu masuknya sumber AC 3 fasa 380 V ke input rectifier hingga beberapa detik sampai Tegangan surja hubung hilang atau unit normal kembali, melalui 2 buah kontaktor sumber AC 3 fasa masuk ke rangkaian Input rectifier tersebut



Gambar 1.40. Panel untuk Proteksi



Gambar 1.41. Rangkaian Alat Proteksi Tegangan Surja Hubung

1.10. Pengertian Baterai

Baterai atau *akumulator* adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversibel* (dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel, adalah didalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia, pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan didalam sel.

Jenis sel baterai ini disebut juga *Storage Battery*, adalah suatu baterai yang dapat digunakan berulang kali pada keadaan sumber listrik arus bolak balik (AC) terganggu.

Tiap sel baterai ini terdiri dari dua macam elektroda yang berlainan, yaitu elektroda positif dan elektroda

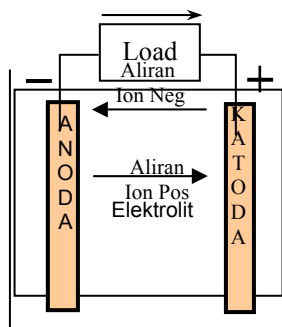
negatif yang dicelupkan dalam suatu larutan kimia.

Menurut pemakaian baterai dapat digolongkan ke dalam 2 jenis :

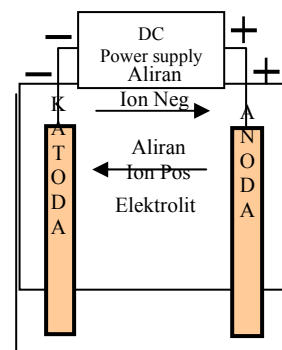
- *Stationary* (tetap)
- *Portable* (dapat dipindah-pindah)

1.10.1.Prinsip Kerja Baterai

- Proses discharge pada sel berlangsung menurut skema Gambar 1.42. Bila sel dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir dari anoda melalui beban ke katoda, kemudian ion-ion negatif mengalir ke anoda dan ion-ion positif mengalir ke katoda.
- Pada proses pengisian menurut skema Gambar 1.43. dibawah ini adalah bila sel dihubungkan dengan power supply maka elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:



Gambar 1.42. Proses Pengosongan (Discharge)



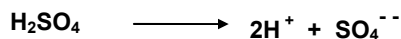
Gambar 1.43. Proses Pengisian (Charge)

- 1). Aliran elektron menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui power supply ke katoda.
- 2). Ion-ion negatif mengalir dari katoda ke anoda
- 3). Ion-ion positif mengalir dari anoda ke katoda

Jadi reaksi kimia pada saat pengisian (charging) adalah kebalikan dari saat pengosongan (discharging)

1.10.2. Prinsip Kerja Baterai Asam - Timah.

Bila sel baterai tidak dibebani, maka setiap molekul cairan elektrolit Asam sulfat (H_2SO_4) dalam sel tersebut pecah menjadi dua yaitu ion hydrogen yang bermuatan positif (2H^+) dan ion sulfat yang bermuatan negatif (SO_4^{--})

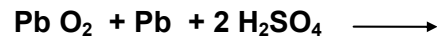


Proses pengosongan

Bila baterai dibebani, maka tiap ion negatif sulfat. (SO_4^{--}) akan bereaksi dengan plat timah murni (Pb) sebagai katoda menjadi timah sulfat (Pb SO_4) sambil melepaskan dua elektron. Sedangkan sepasang ion hydrogen (2H^+) akan beraksi dengan plat timah peroksida (Pb O_2) sebagai anoda menjadi timah sulfat (Pb SO_4) sambil mengambil dua elektron dan bersenyawa dengan satu atom oksigen untuk membentuk air (H_2O). Pengambilan dan pemberian elektron dalam proses kimia ini akan menyebabkan

timbulnya beda potensial listrik antara kutub-kutub sel baterai.

Proses tersebut terjadi secara simultan dengan reaksinya dapat dinyatakan.



Sebelum Proses



dimana :

Pb O_2 = Timah peroksida (kutub positif / anoda)

Pb = Timah murni (kutub negatif/katoda)

$2\text{H}_2\text{SO}_4$ = Asam sulfat (elektrolit)

Pb SO_4 = Timah sulfat (kutub positif dan negatif setelah proses pengosongan)

H_2O = Air yang terjadi setelah pengosongan

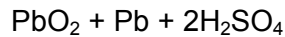
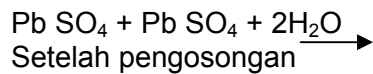
Jadi pada proses pengosongan baterai akan terbentuk timah sulfat (PbSO_4) pada kutub positif dan negatif, sehingga mengurangi reaktifitas dari cairan elektrolit karena asamnya menjadi timah, sehingga tegangan baterai antara kutub-kutubnya menjadi lemah.

1.10.3. Proses Pengisian

Proses ini adalah kebalikan dari proses pengosongan dimana arus listrik dialirkan yang arahnya berlawanan, dengan arus yang terjadi pada saat pengosongan. Pada proses ini setiap molekul air terurai dan tiap pasang ion hydrogen (2H^+) yang dekat plat negatif

bersatu dengan ion negatif Sulfat (SO_4^{--}) pada plat negatif untuk membentuk Asam sulfat. Sedangkan ion oksigen yang bebas bersatu dengan tiap atom Pb pada plat positif membentuk timah peroksida (Pb O_2).

Proses reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut :



Setelah pengisian

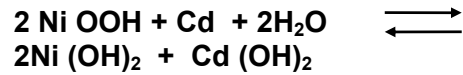
1.10.4.Prinsip Kerja Baterai Alkali

Baterai Alkali menggunakan potasium Hydroxide sebagai elektrolit, selama proses pengosongan (Discharging) dan pengisian (Charging) dari sel baterai alkali secara praktis tidak ada perubahan berat jenis cairan elektrolit.

Fungsi utama cairan elektrolit pada baterai alkali adalah bertindak sebagai konduktor untuk memindahkan ion-ion hydroxida dari satu elektroda ke elektroda lainnya tergantung pada prosesnya, pengosongan atau pengisian, sedangkan selama proses pengisian dan pengosongan komposisi kimia material aktif pelat-pelat baterai akan berubah. Proses reaksi kimia saat pengosongan dan pengisian pada elektroda-elektroda sel baterai alkali sebagai berikut.

Untuk baterai Nickel-Cadmium

Pengosongan

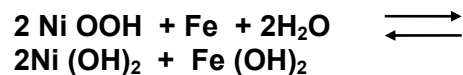


Pengisian

dimana : 2NiOOH = Incomplete
nickelic - hydroxide (Plat
positif atau anoda)
 Cd = Cadmium (Plat negatif atau
katoda)
 2Ni (OH)_2 = Nickelous hydroxide
(Plat positif)
 Cd (OH)_2 = Cadmium hydroxide
(Plat negatif)

Untuk Baterai nickle - Iron

Pengosongan



Pengisian

dimana : 2NiOOH = Incomplete
nickelic - hydroxide
(Plat positif)
 Fe = Iron (Plat negatif)
 2Ni (OH)_2 = Nickelous hydroxide
(Plat positif)
 Fe (OH)_2 = Ferrous hydroxide (Plat
negatif)

1.11. Jenis-jenis Baterai.

Bahan elektrolit yang banyak dipergunakan pada baterai adalah jenis asam (lead acid) dan basa (alkali). Untuk itu dibawah ini akan dibahas kedua jenis bahan elektrolit tersebut.

1. Baterai Asam (Lead Acid Storage Battery)

Baterai asam bahan elektrolitnya adalah larutan asam belerang (Sulfuric Acid = H_2SO_4). Didalam baterai asam, elektroda-elektrodanya terdiri dari plat-plat timah peroksida PbO_2 (Lead Peroxide) sebagai anoda (kutub positif) dan timah murni Pb (Lead Sponge) sebagai katoda (kutub negatif). Ciri-ciri umum (tergantung pabrik pembuat) sebagai berikut :

- Tegangan nominal per sel 2 Volt
- Ukuran baterai per sel lebih besar bila dibandingkan dengan baterai alkali.
- Nilai berat jenis elektrolit sebanding dengan kapasitas baterai
- Suhu elektrolit sangat mempengaruhi terhadap nilai berat jenis elektrolit, semakin tinggi suhu elektrolit semakin rendah berat jenisnya dan sebaliknya.
- Nilai standar berat jenis elektrolit tergantung dari pabrik pembuatnya.
- Umur baterai tergantung pada operasi dan pemeliharaan, biasanya dapat mencapai 10 - 15 tahun, dengan syarat suhu baterai tidak lebih dari $20^{\circ}C$.
- Tegangan pengisian per sel harus sesuai dengan petunjuk operasi dan pemeliharaan dari pabrik pembuat. Sebagai contoh adalah :

- Pengisian awal (Initial Charge) : 2,7 Volt
- Pengisian secara Floating : 2,18 Volt
- Pengisian secara Equalizing : 2,25 Volt
- Pengisian secara Boosting : 2,37 Volt
- Tegangan pengosongan per sel (Discharge) : 2,0 – 1,8 Volt

2. Baterai Alkali (Alkaline Storage Battery)

Baterai alkali bahan elektrolitnya adalah larutan alkali (Potassium Hydroxide) yang terdiri dari :

- Nickel-Iron *Alkaline Battery* (*Ni-Fe battery*)
- Nickel-Cadmium Alkaline Battery (*Ni-Cd battery*)

Pada umumnya yang banyak dipergunakan di instalasi unit pembangkit adalah baterai alkali-cadmium (*Ni-Cd*). Ciri-ciri umum (tergantung pabrik pembuat) sebagai berikut :

- Tegangan nominal per sel 1,2 Volt
- Nilai berat jenis elektrolit tidak sebanding dengan kapasitas baterai
- Umur baterai tergantung pada operasi dan pemeliharaan, biasanya dapat mencapai 15 - 20 tahun, dengan syarat suhu baterai tidak lebih dari $20^{\circ}C$.
- Tegangan pengisian per sel harus sesuai dengan petunjuk

operasi dan pemeliharaan dari pabrik pembuat. Sebagai contoh adalah :

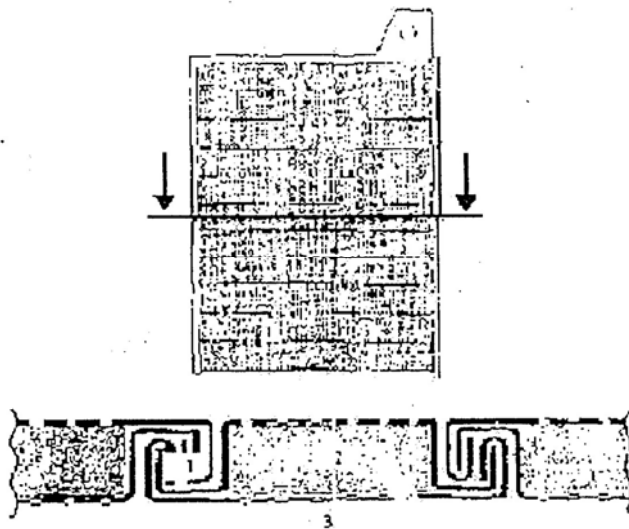
- o Pengisian awal (Initial Charge) = 1,6 – 1,9 Volt
 - o Pengisian secara Floating = 1,40 – 1,42 Volt
 - o Pengisian secara Equalizing = 1,45 Volt
 - o Pengisian secara Boosting = 1,50 – 1,65 Volt
- Tegangan pengosongan per sel (Discharge) : 1 Volt (reff. Hoppeke & Nife)

Menurut Konstruksinya baterai bisa dikelompokkan atas:

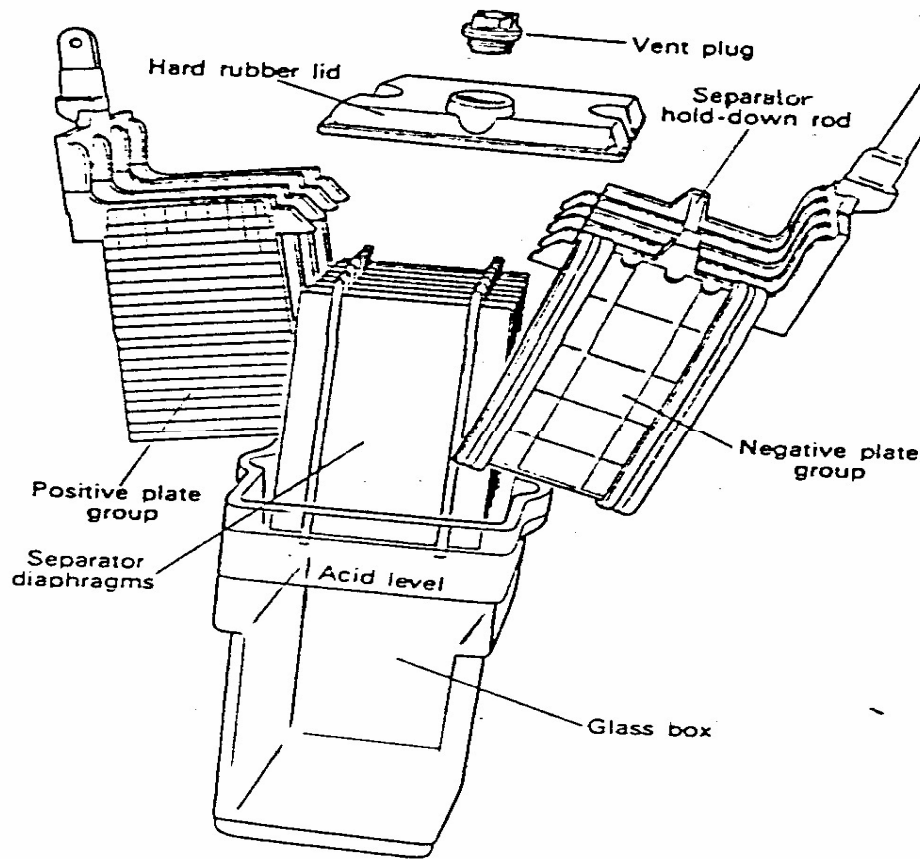
3. Konstruksi Pocket Plate

Baterai dengan konstruksi pocket plate merupakan jenis baterai yang banyak digunakan di PLN (sekitar 90%). Baterai NiCd pertama kali diperkenalkan pada tahun 1899 dan baru diproduksi secara massal tahun 1910. Konstruksi material aktif yang pertama dibuat adalah konstruksi pocket plate.

Konstruksi ini dibuat dari plat baja tipis berlubang-lubang yang disusun sedemikian rupa sehingga membentuk rongga-rongga atau kantong yang kemudian diisi dengan material aktif seperti terlihat pada gambar 1.44 dibawah ini.



Gambar 1. 44. Baterai dengan konstruksi Pocket Plate



Gambar 1.45. Konstruksi Elektrode Tipe Pocket Plate dalam 1 rangkaian

Dari disain diatas dapat dilihat bahwa material aktif yang akan bereaksi hanya material yang bersinggungan langsung dengan plat baja saja, padahal material aktif tersebut mempunyai daya konduktifitas yang sangat rendah.

Untuk menambah konduktifitasnya, maka ditambahkan bahan graphite di dalam material aktif tersebut. Penambahan ini membawa masalah baru yaitu bahwa material graphite ternyata

secara perlahan bereaksi dengan larutan elektrolit (KOH) kemudian membentuk senyawa baru yaitu Potassium Carbonate (K_2CO_3) Sesuai dengan persamaan :



Senyawa ini justru menghambat daya konduktifitas antar plat (Tahanan dalam baterai makin besar). Reaksi tersebut otomatis juga mengurangi banyaknya graphite sehingga daya konduktifitas material aktif didalam kantong berkurang.

Kejadian tersebut berakibat langsung pada performance sel baterai atau dengan kata lain menurunkan kapasitas (Ah) sel baterai.

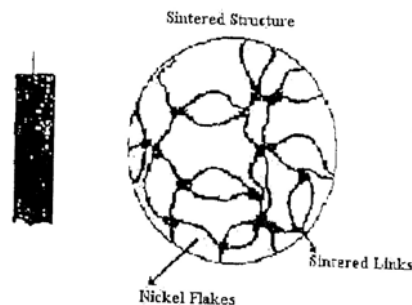
Dalam kasus ini, penggantian elektrolit baterai (rekondisi baterai) hanya bertujuan memperbaiki atau menurunkan kembali tahanan dalam (Rd) baterai namun tidak dapat memperbaiki atau mengganti bahan graphite yang hilang.

Pembentukan Potassium Carbonate (K_2CO_3) juga dapat terjadi antara larutan elektrolit (KOH) dengan udara terbuka, namun proses pembentukannya tidak secepat proses diatas dan dalam jumlah yang relatif kecil. Perhatian terhadap pembentukan Potassium Carbonate (K_2CO_3)

karena udara luar perlu menjadi pertimbangan serius dalam masalah penyimpanan baterai yang tidak beroperasi.

4. Konstruksi Sintered Plate

Sintered Plate ini merupakan pengembangan konstruksi dari baterai NiCd tipe pocket plate, Baterai Sintered Plate ini pertama kali diproduksi tahun 1938. Konstruksi baterai jenis ini sangat berbeda dengan tipe pocket plate. Konstruksi sintered plate dibuat dari plat baja tipis berlubang yang dilapisi dengan serpihan nickel (*Nickel Flakes*). Kemudian pada lubang - lubang plat tersebut diisi dengan material aktif seperti pada Gambar 1. 46



Gambar 1.46. Sintered Plate Electrode

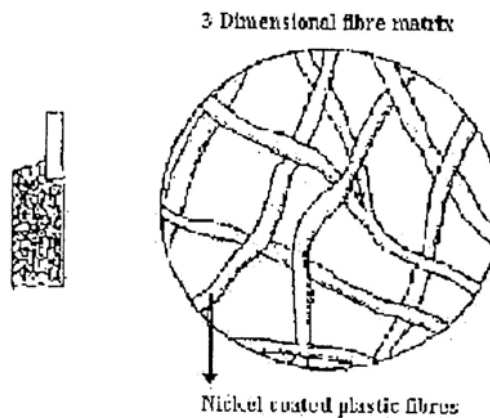
Konstruksi ini menghasilkan konduktifitas yang baik antara plat baja dengan material aktif. Namun karena plat baja yang digunakan sangat tipis (sekitar 1.0 mm s/d 1.5 mm), maka diperlukan plat yang sangat luas untuk menghasilkan kapasitas sel baterai yang tidak terlalu besar (dibandingkan dengan tipe pocket plate).

Karena lapisan Nickel Flake pada plat baja sangat getas maka sangat mudah pecah pada saat plat baja berubah atau memuai. Hal ini terjadi pada saat baterai mengalami proses charging atau discharging. Akibatnya baterai jenis ini tidak tahan lama dibandingkan dengan baterai jenis pocket plate.

5. Konstruksi Fibre Structure

Fibre structure pertama kali diperkenalkan pada tahun 1975 dan baru diproduksi secara massal tahun 1983. Baterai jenis ini merupakan perbaikan dari tipe-tipe baterai yang terdahulu. Konstruksi baterai ini dibuat dari campuran plastik dan nickel yang memberikan keuntungan :

1. Konduktifitas antar plat yang tinggi dengan tahanan dalam yang rendah.
 2. Plat elektrode yang elastis sehingga tidak mudah patah / pecah
 3. Tidak memerlukan bahan tambahan (seperti graphite pada baterai jenis Pocket Plate)
 4. Dimensi elektrode yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan tipe Pocket Rate untuk kapasitas baterai yang sama
 5. Pembentukan K_2CO_3 hanya terjadi karena kontaminasi dengan udara (sangat kecil)
- Konstruksi baterai tipe Fibre Structure digambarkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 1.47. Fibre Nickel Cadmium Electrode

6. Menurut Karakteristik Pembebanan.

Yang dimaksud tipe baterai menurut karakteristik pembebanan adalah sebagai berikut :

Tipe X : Very High Loading.

Tipe ini adalah untuk jenis pembebanan dengan arus yang

tinggi yaitu diatas 7 CnA (kapasitas nominal arus) dengan waktu yang singkat ± 2 menit. Tegangan akhir per sel 0,8 Volt. Tipe ini belum pernah digunakan di PLN.

Tipe H : High Loading

Tipe ini adalah untuk jenis pembebanan dengan arus yang tinggi yaitu antara 3,5 - 7 CnA

dengan waktu yang singkat, lama waktu pembebanan ± 4 menit. Tipe ini biasanya digunakan di pembangkit-pembangkit untuk start up mesin pembangkit. Tegangan akhir per sel adalah 0,8 Volt.

Tipe M : Medium Loading

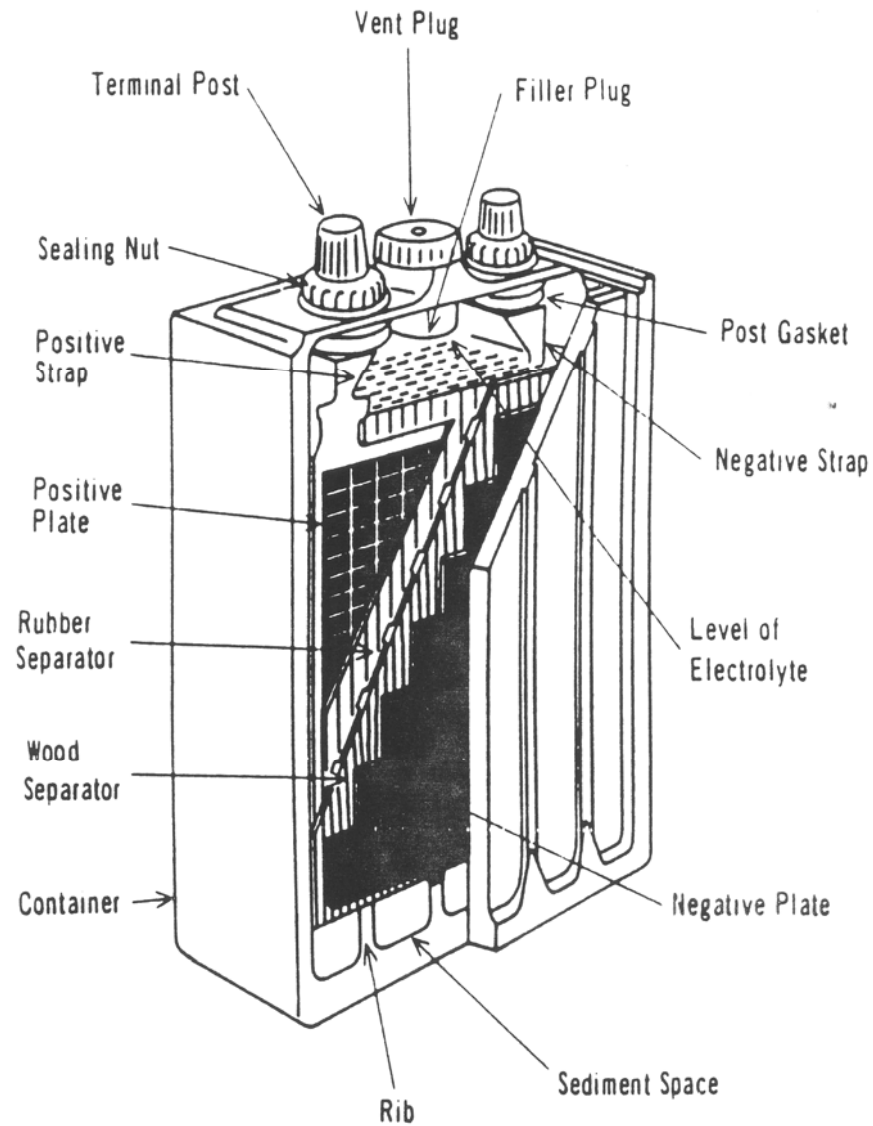
Tipe ini adalah untuk jenis pembebanan dengan arus yang tinggi yaitu antara 0,5 - 3,5 CnA dengan waktu yang singkat, lama waktu pembebanan ± 40 menit, biasanya digunakan di gardu-gardu

induk. Tegangan akhir per sel adalah 0,9 Volt.

Tipe L : Low Loading

Tipe ini adalah untuk jenis pembebanan dengan arus kecil yaitu sebesar 0,5 CnA, lama waktu pembebanan 5 jam, biasanya digunakan di gardu-gardu induk. Tegangan akhir 1 Volt per sel.

1.12. Bagian-bagian Utama Baterai



Gambar 1.48. Bagian-bagian Baterai

1. Elektroda

Tiap sel baterai terdiri dari 2 (dua) macam elektroda, yaitu **elektroda positif (+)** dan **elektroda negatif (-)** yang direndam dalam suatu larutan kimia (gambar 1.49).

Elektroda-elektroda positif dan negatif terdiri dari :

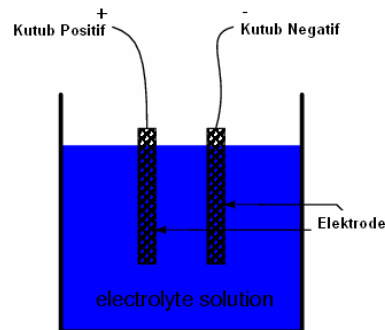
- **Grid**, adalah suatu rangka besi atau fiber sebagai tempat material aktif.
- **Material Aktif**, adalah suatu material yang bereaksi secara kimia untuk menghasilkan energi listrik pada waktu pengosongan (discharge)

2. Elektrolit

Elektrolit adalah Cairan atau larutan senyawa yang dapat menghantarkan arus listrik, karena larutan tersebut dapat menghasilkan muatan listrik positif dan negatif. Bagian yang bermuatan positif disebut ion positif dan bagian yang bermuatan negatif disebut ion negatif. Makin banyak ion-ion yang dihasilkan suatu elektrolit maka makin besar daya hantar listriknya.

Jenis cairan elektrolit baterai terdiri dari 2 (dua) macam, yaitu:

1. Larutan Asam Belerang (H_2SO_4), digunakan pada baterai asam.
2. Larutan Alkali (KOH), digunakan pada baterai alkali.



Gambar1. 49. Bentuk Sederhana Sel Baterai

3. Sel Baterai

Sesuai dengan jenis bahan bejana (container) yang digunakan terdiri dari 2 (dua) macam :

- a. Steel Container
- b. Plastic Container

4. Steel Container

Sel baterai dengan bejana (container) terbuat dari steel ditempatkan dalam rak kayu, hal ini untuk menghindari terjadi hubung singkat antar sel baterai atau hubung tanah antara sel baterai dengan rak baterai

5. Plastic container

Sel baterai dengan bejana (container) terbuat dari plastik ditempatkan dalam rak besi yang diisolasi, hal ini untuk menghindari terjadi hubung singkat antar sel baterai atau hubung tanah antara sel baterai dengan rak baterai apabila terjadi kerusakan atau kebocoran elektrolit baterai.

1.13. Instalasi Sel Baterai.

Sel baterai dibagi dalam beberapa unit atau group yang terdiri dari 2 sampai 10 sel per unit dan tergantung dari ukuran sel baterai tersebut. Baterai tidak boleh ditempatkan langsung di lantai sehingga memudahkan dalam melakukan pemeliharaan dan tidak terdapat kotoran dan debu diantara sel baterai. Baterai jangan ditempatkan pada lokasi yang mudah terjadi proses karat dan banyak mengandung gas, asap, polusi serta nyala api.

Instalasi baterai sesuai penempatannya dibagi dalam 2 (dua) macam juga, sama dengan bahan bejana yaitu :

1. Steel Container
2. Plastic Container

1.13.1. Steel Container

Sel baterai dengan bejana (container) terbuat dari baja (steel) ditempatkan dalam rak dengan jarak isolasi secukupnya. Setiap sel baterai disusun pada rak secara paralel sehingga memudahkan untuk melakukan pemeriksaan batas (level) tinggi permukaan elektrolit serta pemeliharaan baterai lainnya.

Plastic Container

Sel baterai dengan bejana (container) terbuat dari plastik biasanya dihubungkan secara seri dalam unit atau grup dengan suatu "*plastic button plate*". Sel baterai disusun memanjang satu baris atau lebih tergantung jumlah sel baterai dan kondisi ruangan. Sel baterai

ditempatkan pada stairs rack sehingga memudahkan dalam melaksanakan pemeliharaan, pengukuran dan pemeriksaan level elektrolit.

Agar ventilasi cukup dan memudahkan pemeliharaan maka harus ada ruang bebas pada rangkaian baterai sekurang-kurangnya 25 cm antara unit atau grup baterai lainnya serta grup atau unit baterai paling atas. Instalasi baterai dan charger ditempatkan pada ruangan tertutup dan dipisahkan, hal dimaksudkan untuk memudahkan pemeliharaan dan perbaikan.

1.13.2. Terminal dan Penghubung Baterai.

Sel baterai disusun sedemikian rupa sehingga dapat memudahkan dalam menghubungkan kutub-kutub baterai yang satu dengan yang lainnya. Setiap sel baterai dihubungkan menggunakan *nickel plated steel* atau *copper*. Sedangkan penghubung antara unit atau grup baterai dapat berbentuk *nickel plated steel* atau berupa *kabel yang terisolasi* (insulated flexible cable).

Khusus untuk kabel penghubung berisolasi, drop voltage maksimal harus sebesar 200 mVolt (Standar dari Alber Corp) seperti terlihat pada Gambar 1.50



Gambar 1.50. Susunan Sel pada Baterai

Demikian pula kekerasan atau pengencangan baut penghubung harus sesuai dengan spesifikasi pabrik pembuat baterai. Hal ini untuk menghindari loss contact antara kutub baterai yang dapat menyebabkan terganggunya sistem pengisian baterai serta dapat menyebabkan terganggunya performance baterai. Oleh karena itu perlu dilakukan pemeriksaan kekencangan baut secara periodik

1.13.4. Ukuran Kabel

Bagian yang terpenting dalam pemasangan instalasi baterai adalah diperolehnya sambungan kabel yang sependek mungkin untuk mendapatkan rugi tegangan (voltage drop) sekecil mungkin. Ukuran kabel disesuaikan dengan besarnya arus yang mengalir. Dengan demikian rumus yang digunakan adalah :

$$U = \frac{0,018 \times I}{A}$$

Dimana :

U = rugi tegangan (single conductor) dalam volt / meter

I = Arus dalam ampere

1.13.5. Rangkaian Baterai

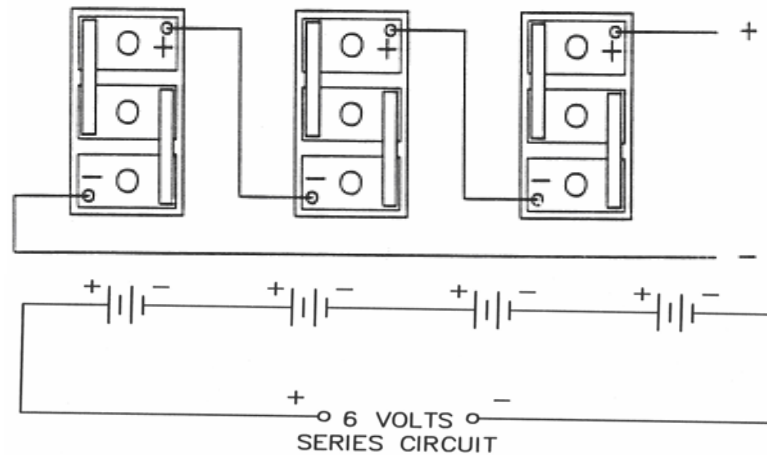
Dikarenakan tegangan baterai per sel terbatas, maka perlu untuk mendapatkan solusi agar tegangan baterai dapat memenuhi atau sesuai dengan tegangan kerja peralatan yang maupun untuk menaikkan kapasitas dan juga kehandalan pemakaian dengan merangkai (meng-koneksi) beberapa baterai dengan cara :

1. Hubungan seri
2. Hubungan paralel
3. Hubungan Kombinasi
 - a. Seri Paralel
 - b. Paralel Seri

1. Hubungan Seri

Koneksi baterai dengan hubungan seri ini dimaksudkan untuk dapat *menaikkan tegangan* baterai sesuai dengan tegangan kerja yang dibutuhkan atau sesuai tegangan peralatan yang ada. Sebagai contoh jika kebutuhan tegangan baterai pada suatu unit pembangkit adalah 220 Volt maka akan dibutuhkan baterai dengan kapasitas 2,2 Volt sebanyak 104 buah dengan dihubungkan secara seri.

Kekurangan dari hubungan seri ini adalah jika terjadi gangguan atau kerusakan pada salah satu sel baterai maka suplai sumber DC ke beban akan terputus.



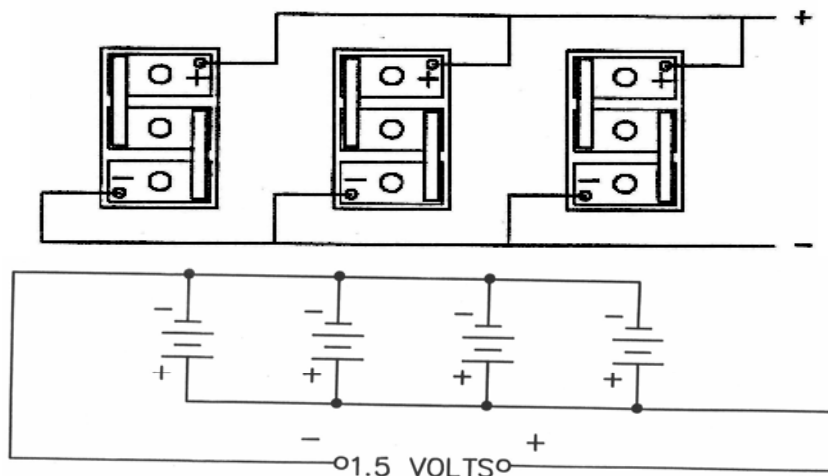
Gambar 1.51. Hubungan Baterai Secara Seri

2. Hubungan Paralel

Koneksi baterai dengan hubungan paralel ini dimaksudkan untuk dapat *menaikkan kapasitas* baterai atau Ampere hour (**Ah**) baterai, selain itu juga dapat memberikan keandalan beban DC pada sistem. Mengapa bisa demikian?

Hal ini disebabkan jika salah satu sel baterai yang dihubungkan

paralel mengalami gangguan atau kerusakan maka sel baterai yang lain tetap akan dapat mensuplai tegangan DC ke beban, jadi tidak akan mempengaruhi suplai secara keseluruhan sistem, hanya kapasitas daya sedikit berkurang sedangkan tegangan tidak terpengaruh



Gambar 1.52. Hubungan Baterai Secara Paralel

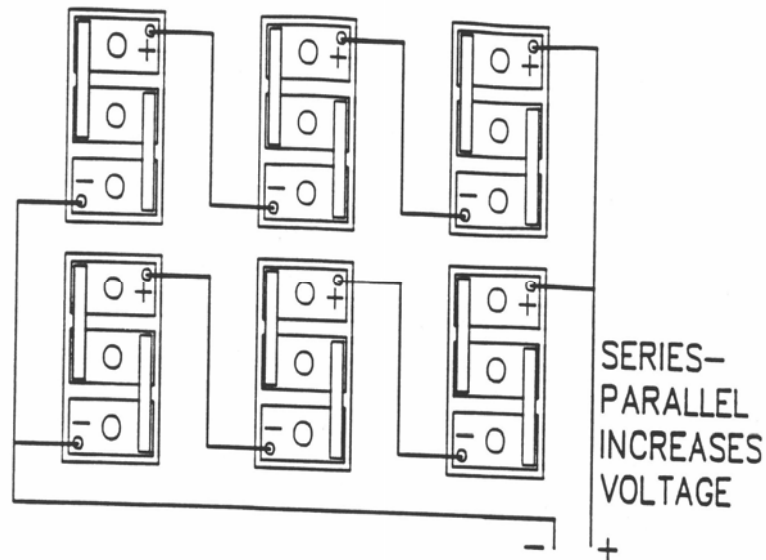
3. Hubungan Kombinasi

Pada hubungan kombinasi ini terbagi menjadi 2 macam yaitu seri paralel dan paralel seri. Hubungan ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan ganda baik dari sisi kebutuhan akan tegangan dan arus yang sesuai maupun keandalan sistem yang lebih baik. Hal ini disebabkan karena hubungan seri akan meningkatkan tegangan sedangkan hubungan paralel akan meningkatkan arus dan keandalan sistemnya.

4. Hubungan Seri Paralel

Pada hubungan Seri Paralel seperti gambar 1.53, jika tiap baterai tegangannya 2,2 Volt dan Arusnya 20 Ampere maka akan didapat : Tegangan dibaterai adalah $= 2,2 + 2,2 + 2,2 = 6,6$ Volt, sedangkan arusnya adalah $= 20 + 20 = 40$ Ampere, sehingga kapasitas baterai secara keseluruhan adalah 6,6 Volt dan 40 Ampere.

Dari perhitungan tersebut maka yang mengalami kenaikan signifikan adalah tegangannya.



Gambar 1.53. Hubungan Baterai Secara Seri Paralel

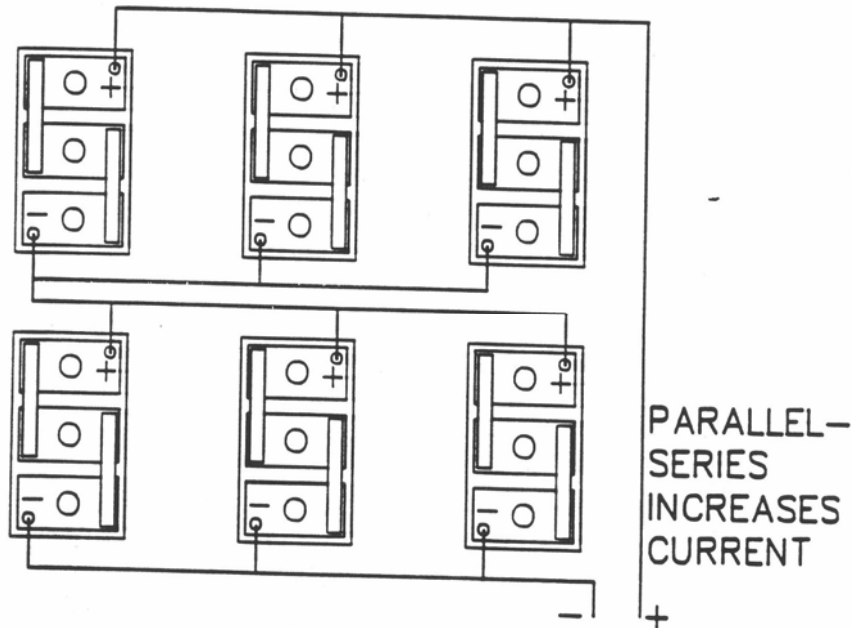
5. Paralel Seri

Pada hubungan Paralel Seri seperti gambar dibawah ini, jika tiap baterai tegangannya 2,2 Volt dan Arusnya 20 Ampere maka akan didapat :

Tegangan dibaterai adalah = $2,2 + 2,2 = 4,4$ Volt, sedangkan arusnya

adalah = $20 + 20 + 20 = 60$ Ampere, sehingga kapasitas baterai secara keseluruhan adalah 4,4 Volt dan 60 Ampere.

Dari perhitungan tersebut maka yang mengalami kenaikan signifikan adalah tegangannya



Gambar 1.54. Hubungan Baterai Secara Seri Paralel

1.14. Ventilasi Ruang Baterai

Pada pemasangan baterai di ruangan tertutup, maka perlu adanya sirkulasi udara yang cukup di ruangan baterai tersebut. Untuk harus dilengkapi dengan ventilasi atau lubang angin atau exhaust fan. Dalam hal ini keadaan ventilasi harus baik untuk membuang gas yang berupa campuran hydrogen dan oxygen (eksplosif) yang timbul akibat proses operasi baterai. Jika

ingin menjaga kondisi temperatur dan kelembaban yang lebih baik maka perlu dipasang pendingin ruangan atau Air Conditioning (AC) dengan suhu yang sesuai standar yang berlaku.

Sesuai dengan Standar DIN 0510 maka **suhu ruangan baterai** untuk jenis baterai asam tidak boleh lebih dari 38°C dan untuk baterai alkaline tidak boleh lebih dari 45°C .

Sedangkan untuk ventilasi atau volume udara yang mengalir dirancang sebagai berikut :

- Untuk Instalasi di Darat (Land Instalation) :

$$Q = 55 \times n \times I$$

- Untuk Instalasi di Laut (*Marine Instalation*) :

$$Q = 110 \times n \times I$$

Dimana :

Q = Volume Udara (liter/jam)

n = Jumlah Sel Baterai

I = Arus pengisian pada akhir pengisian atau dalam kondisi pengisian Floating.

Bilamana baterai sedang dilakukan pemeriksaan atau pengujian, maka semua pintu dan jendela ruangan baterai harus terbuka.

1.15. Pemeliharaan DC Power

Pemeliharaan adalah serangkaian tindakan atau proses kegiatan untuk mempertahankan kondisi atau meyakinkan bahwa suatu peralatan dapat berfungsi dengan baik sebagai mana mestinya sehingga dapat dicegah terjadinya gangguan yang dapat menimbulkan kerusakan yang lebih fatal.

1.15.1. Tujuan Pemeliharaan

Tujuan Pemeliharaan adalah untuk menjamin keberlangsungan atau kontinuitas dan keandalan penyaluran tenaga listrik pada unit pembangkit, yang meliputi beberapa aspek yaitu :

- Untuk meningkatkan reliability, availability dan efficiency
- Untuk memperpanjang umur peralatan
- Mengurangi resiko terjadinya kegagalan pengoperasian atau kerusakan peralatan
- Meningkatkan keamanan atau safety peralatan
- Mengurangi lama waktu padam akibat sering terjadi gangguan

Faktor terpenting atau paling dominan dalam pemeliharaan instalasi atau peralatan listrik adalah pada sistem isolasi.

Dalam pemeliharaan ini dibedakan menjadi 2 aktifitas atau kegiatan yaitu :

- Pemeriksaan atau monitoring, dan
- Pemeliharaan

Pemeriksaan atau monitoring dalam hal ini adalah melihat, mencatat, meraba (jika memungkinkan) dan mendengarkan. Kegiatan ini dilakukan pada saat unit sedang dalam keadaan beroperasi.

Kemudian untuk pemeliharaan meliputi kalibrasi, pengujian, koreksi, resetting, perbaikan dan membersihkan peralatan. Kegiatan ini dilakukan pada saat unit sedang tidak beroperasi atau waktu inspection atau overhaul.

1.15.2. Jenis-jenis Pemeliharaan

Jenis-jenis pemeliharaan yang ada adalah :

1. Predictive Maintenance (Condition Base Maintenance)
2. Preventive Maintenance (Time Base Maintenance)
3. Corrective Maintenance (Curative Maintenance)
4. Breakdown Maintenance

1. Predictive Maintenance

Predictive Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan cara memprediksi kondisi suatu peralatan, kemungkinan-kemungkinan apakah dan kapan peralatan tersebut menuju kerusakan atau kegagalan operasi. Dengan memprediksi kondisi tersebut maka dapat diketahui gejala kerusakan secara dini. Metode yang biasa digunakan adalah dengan memonitor kondisi peralatan secara online baik saat

peralatan beroperasi maupun tidak beroperasi.

Untuk itu diperlukan peralatan dan personil yang ditugaskan khusus untuk memonitor dan menganalisa peralatan tersebut atau ditugaskan pada bagian tertentu yang berkaitan dengan peralatan tersebut. Pemeliharaan ini disebut juga pemeliharaan berdasarkan kondisi peralatan atau Condition Base Maintenance.

2. Preventive Maintenance

Preventive Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan secara tiba-tiba dan untuk mempertahankan unjuk kerja peralatan yang optimal sesuai umur teknis yang telah ditentukan oleh pabrikan.

Kegiatan pemeliharaan ini dilakukan secara berkala dengan berpedoman pada Instruction Manual dari pabrik pembuat peralatan tersebut. Disamping itu juga menggunakan standar yang ditetapkan oleh badan standar Nasional maupun Internasional (seperti SNI, IEEC dan lain-lain) dan data-data yang diambil dari pengalaman operasi di lapangan.

Pemeliharaan ini disebut juga pemeliharaan berdasarkan waktu operasi peralatan atau Time Base Maintenance

3. Corrective Maintenance

Corrective Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan berencana pada waktu-waktu tertentu ketika peralatan mengalami kelainan atau unjuk kerja rendah saat menjalankan fungsinya.

Hal ini dimaksudkan untuk mengembalikan peralatan pada kondisi semula (sebelum rusak) dengan perbaikan-perbaikan, pengujian dan penyempurnaan peralatan. Pemeliharaan ini bisa dilakukan dengan cara trouble shooting atau penggantian komponen atau part atau bagian yang rusak atau kurang berfungsi yang dilakukan dengan terencana. Pemeliharaan ini disebut juga pemeliharaan berdasarkan kondisi peralatan atau Curative Maintenance.

4. Breakdown Maintenance

Breakdown Maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan jika terjadi kerusakan mendadak yang waktunya tidak dapat diprediksi atau tidak tertentu dan sifatnya darurat atau emergency.

1.15.3. Pelaksanaan Pemeliharaan

Pelaksanaan pemeliharaan peralatan ini dibagi 2 (dua) macam yaitu :

1. Pemeliharaan berupa monitoring yang dilakukan oleh petugas operator setiap hari

atau setiap minggu oleh petugas patroli unit pembangkit.

Kegiatan pemeliharaan ini merupakan pengamatan secara visual terhadap kelainan, kebersihan, indikasi yang muncul, arus beban, tegangan pada panel, level air pada baterai dan lain-lain yang terjadi pada peralatan dicatat pada daftar ceklist harian atau mingguan yang kemudian dilaporkan kepada atasan.

2. Pemeliharaan yang berupa pembersihan dan pengukuran yang dilakukan setiap bulan atau pengujian yang dilakukan setiap tahun oleh petugas pemeliharaan.

1.15.4. Kegiatan Pemeliharaan

Kegiatan Pemeliharaan pada sistem DC Power ini meliputi pemeliharaan dari mulai sumber listrik untuk input charger (panel listrik ac 380V), charger, instalasi listriknya, baterai dan ruangan baterai, panel listrik DC, inverter (jika ada) dan instalasi listrik yang ke beban-beban DC. Dari hasil survey dan wawancara di lapangan yang sering mengalami gangguan adalah di sisi instalasi listrik yaitu DC ground, baterai dan charger.

Untuk pemeliharaan instalasi listrik dan perangkat pendukungnya seperti panel-panel, meter indikator, lampu indikator dan sebagainya cukup dilakukan secara visual dan

dilakukan pembersihan jika ada kotoran dan penggantian-penggantian pada lampu atau meter indikator.

1. Pemeliharaan Instalasi DC.

Ada beberapa langkah dalam pemeliharaan Instalasi DC anatar lain :

2. Pengukuran Tegangan dan Arus Beban

Dengan dilakukannya pengukuran tegangan dan arus beban diharapkan dapat diperoleh data-data aktual mengenai besaran tegangan dan arus beban, sehingga dapat mengantisipasi perubahan besaran tegangan dan arus beban.

Cara Pelaksanaan Pengukuran

1. Mempersiapkan Pengukuran
 - Mempersiapkan Material dan Peralatan Kerja yang diperlukan.
 - Mempersiapkan Dokumen dan Peralatan K3.
2. Melakukan pengukuran
 - Ukur dan catat tegangan tiap MCB beban.
 - Ukur dan catat arus beban setiap MCB jika memungkinkan
 - Membersihkan Panel Pembagi
 - Periksa suhu tiap MCB dengan Thermovisi
 - Periksa dan kencangkan baut-baut pada terminal MCB
 - Ukur dan catat arus DC ground

3. Standar Pengukuran

Bandingkan hasil pengukuran dengan laporan/catatan sebelumnya atau laporan hasil komisioning.

4. Pemeriksaan Fuse atau MCB

Dengan dilakukannya pemeriksaan fuse dan MCB diharapkan dapat diperoleh data-data aktual mengenai kondisi secara fisik peralatan tersebut sehingga dapat dihindari terjadinya "Mal-Function" peralatan lain akibat terputus pasokan tegangan dan arus.

5. Cara Pelaksanaan Pemeriksaan Fuse atau MCB

1. Mempersiapkan Pemeriksaan
 - Material dan peralatan kerja dipersiapkan
 - Dokumen dan peralatan K3 dipersiapkan
2. Melakukan pemeriksaan
 - Membersihkan panel Fuse dan pengaman baterai.
 - Periksa suhu tiap MCB dengan Thermovisi
 - Periksa dan kencangkan baut-baut pada terminal MCB
 - Ukur dan catat arus DC ground
 - Periksa label atau marker masing-masing panel fuse baterai dan kabel baterai

6. Standar Pemeriksaan Fuse atau MCB

Bandingkan hasil pengukuran dengan laporan/catatan

sebelumnya atau laporan hasil komisioning.

7. Pengukuran Keseimbangan Tegangan

Tujuan Pengukuran Keseimbangan Tegangan

Dengan dilakukannya pengukuran keseimbangan tegangan diharapkan dapat diperoleh data-data aktual apakah terjadi penyimpangan keseimbangan tegangan. Apabila terjadi penyimpangan tegangan $- 5\%$ dan $+ 5\%$, itu berarti menunjukkan adanya DC ground.

Cara Pelaksanaan Pengukuran Keseimbangan Tegangan

1. Mempersiapkan Pengukuran
 - Mempersiapkan Material dan Peralatan Kerja yang diperlukan.
 - Mempersiapkan Dokumen dan Peralatan K3.
2. Melakukan Pengukuran
 - Membersihkan Rangkaian Output Rectifier/Charger.
 - Membersihkan Panel Fuse dan Pengaman Baterai
 - Ukur dan catat besaran tegangan antara :
 - Kutub Positif terhadap Negatif,
 - Kutub Positif terhadap Ground,
 - Kutub Negatif terhadap Gound

1.15.5. Pemeliharaan Charger

Seperti halnya peralatan pada umumnya charger juga harus dipelihara. Hal ini harus dilakukan agar charger dapat beroperasi secara andal dan optimal. Dalam pemeliharaan charger ini ada beberapa hal yang harus dilakukan seperti dijelaskan pada uraian berikut ini.

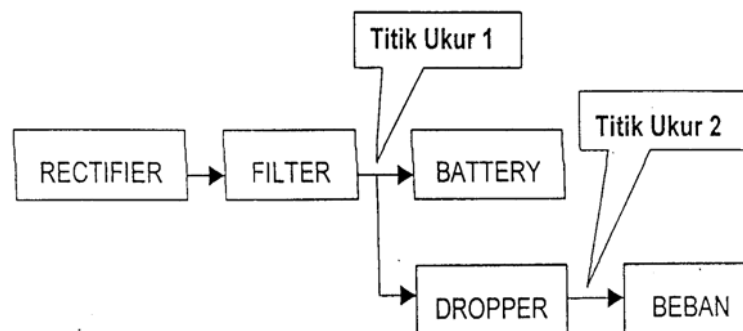
1. Pengukuran Ripple

Tujuan pengukuran Tegangan Ripple pada charger untuk mengetahui mutu tegangan DC yang dihasilkan. Tegangan ripple yang tinggi, kemungkinan disebabkan oleh beberapa hal antara lain :

- Rangkaian rectifier (thyristor) bekerja tidak seimbang, mungkin salah satu Thyristor bekerja tidak stabil / tidak normal.
- Rangkaian Filter LC yang kurang baik (Kapasitor atau Induktor bocor).

2. Cara Pengukuran

Pengukuran tegangan ripple dilakukan pada titik output charger atau sesudah rangkaian filter LC (lihat gambar dibawah ini yaitu pada *titik ukur 1*) dan pada titik input beban atau output voltage dropper (*titik ukur 2*). Pengukuran tegangan ripple menggunakan alat ukur Ripple Voltage Meter atau Oscilloscope.



Gambar 1.55. Skema Pengukuran Tegangan Ripple

Dari contoh pembacaan hasil pengukuran diatas nilainya adalah 0,386 volt, kalau tegangan DC-nya adalah 110V maka prosentase ripplanya adalah :

$$\begin{aligned}\text{Tegangan Ripple} &= \frac{0,386}{110\%} \times 100 \% \\ &= 0,351 \%\end{aligned}$$

3. Standard Tegangan Ripple

Standard tegangan ripple yang diizinkan untuk semua merk atau type charger adalah $\leq 2 \%$ (Sesuai SE. 032).

4. Pengukuran Tegangan dan Arus Input

Pengukuran tegangan dan arus input dilakukan pada titik input charger bertujuan untuk mengetahui besarnya tegangan dan arus masing-masing fasa.

Cara Pengukuran

Pelaksanaan pengukuran dilakukan pada rangkaian input charger. Cara pelaksanaan pengukuran tegangan menggunakan Voltmeter AC standar.

Standar Tegangan input adalah 380 volt AC $\pm 10\%$
Frekuensi tegangan input 50 hz $\pm 6\%$

5. Pengukuran Tegangan dan Arus Output

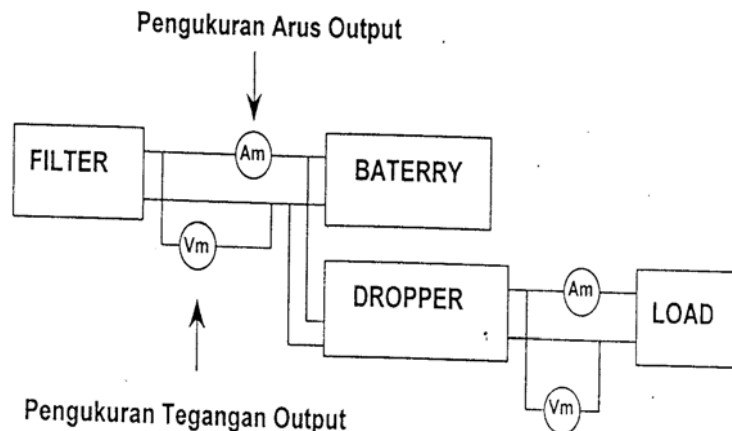
Tegangan output dari charger digunakan untuk mensuplai beban DC dan juga digunakan untuk pengisian baterai. Pada rangkaian control

charger dilengkapi dengan rangkaian sensor arus dan tegangan yang akan mendeteksi arus pengisian dan tegangan output. Tujuan pengukuran tegangan dan arus output charger adalah :

- Mengetahui besaran tegangan dan arus output pada setiap mode operasi.
- Pembeding hasil pengukuran meter terpasang.

Cara Pengukuran pengukuran tegangan dan arus output dilakukan pada saat *floating*, *equalizing* dan *boosting*. Pengukuran dilakukan pada titik-titik terminal baterai dan terminal beban atau output dropper (lihat gambar 1.55).

Pelaksanaan pengukuran dilakukan dengan cara :



Gambar 1.55. Pengukuran Tegangan dan Arus Output

1. Pengisian floating

- Posisikan selector switch "mode operasi" pada posisi floating,
- Catat hasil pengukuran pada logsheet,
- Bandingkan hasil pengukuran dengan setting floating,
- Lakukan reseting apabila tidak sesuai

2. Pengisian equalizing

- Posisikan selector switch "mode operasi" pada posisi equalizing,
- Catat hasil pengukuran pada logsheet,
- Bandingkan hasil pengukuran dengan setting equalizing,
- Lakukan reseting apabila tidak sesuai

3. Pengisian boosting

- Posisikan selector switch "mode operasi" pada posisi boosting,
- Catat hasil pengukuran pada logsheet,
- Bandingkan hasil pengukuran dengan setting boosting,
- Lakukan reseting apabila tidak sesuai setting boosting

Pelaksanaan pengukuran dan reseting floating, equalizing dan

boosting pada pemeliharaan tahunan dilakukan saat rectifier tidak berbeban dan untuk pemeliharaan bulanan pengukuran dan reseting floating dan equalizing dilakukan pada saat berbeban .

Apabila tegangan output pengisian terlalu rendah, kemungkinan penyebabnya antara lain :

- Terjadi gangguan pada rangkaian tenaga DC.
- Pada untai jembatan Thyristor, ada salah satu thyristor yang penyulutannya tidak normal.
- Rangkaian *Pulse Generator* tidak bekerja dengan baik.
- Kerusakan pada rangkaian *Control Charger*.

Pengukuran tegangan output sangat tergantung pada merk dan type baterai yang dilayani, dalam pelaksanaan menggunakan standar IEC 623 atau sesuai dengan buku manual seperti pada tabel Tegangan per Sel pada bahasan baterai, sebagai contoh kita lihat tabel dibawah ini standar untuk baterai alkali merk saft.

Tabel . 1. 6. Pengisian boosting

Jenis / Merk Baterai ALKALI	Tegangan Baterai (Volt)					
	Nominal	Float	Equal	Boost	Initial Baterai	Akhir Discharge
Saft	1,2	1,40 - 1,42	1,50 - 1,55	1,65 - 1,70	1,65 - 1,70	1

Arus keluaran charger tergantung pada beban atau dibatasi oleh arus maksimum charger

Keseimbangan Tegangan

Tujuan pengukuran keseimbangan tegangan adalah untuk mengetahui keseimbangan antara tegangan positif ke *ground* dengan negatif ke *ground*. Hal ini dapat terjadi akibat ketidakseimbangan tegangan output charger atau ketidakseimbangan tegangan pada beban karena adanya hubungan singkat antara positif ke *ground* atau negatif ke *ground*.

Cara Pengukuran untuk melaksanakan pengukuran ini dilakukan pada titik output charger ke beban, caranya yaitu dengan mengukur tegangan antara positif dengan *ground*, kemudian ukur tegangan negatif dengan *ground*.

Dari hasil pengukuran ini, perhatikan apakah sudah sama (toleransi dari pabrik) antara besaran tegangan positif ke *ground* dengan besaran tegangan negatif ke *ground*. Apabila hasil pengukuran diketahui sama, berarti, tegangan output charger sudah seimbang dan tidak terjadi hubungan singkat pada beban. Apabila terjadi ketidakseimbangan maka perlu dilakukan pengecekan lebih lanjut (lihat pokok bahasan troubleshooting)

Standard hasil pengukuran keseimbangan tegangan masing-masing antara positif dan negatif ke *ground* adalah 50 persen dari tegangan output charger. (toleransi $\pm 12,5\%$)

1.15.6. Pengukuran Arus Output Maksimum

Tujuan pengukuran adalah untuk mengetahui apakah charger masih dapat bekerja optimal dengan arus output sesuai dengan yang dibutuhkan (kapasitas baterai). Pengukuran arus maksimum juga dilakukan saat komisioning untuk mengetahui apakah arus maksimum charger sudah sesuai spesifikasi.

Apabila hasil pengukuran terjadi perbedaan antara besaran arus, output dengan arus yang dibutuhkan, maka perlu dilakukan pengaturan ulang (resetting) pada charger.

Cara pengukuran arus output maksimum atau sesuai kebutuhan baterai dilakukan dengan cara :

1. Lepaskan charger dari baterai dan beban
2. Kosongkan energi baterai dengan dummy load.
3. Pasang amperemeter secara seri pada titik output charger.
4. Posisikan charger pada mode Boost
5. Hubungkan charger dengan baterai yang telah dikosongkan atau menggunakan dummy load.
6. Amati besaran arus pada amperemeter.
7. Apabila terdapat perbedaan antara hasil pengukuran dengan besarnya arus output yang dibutuhkan (sesuai kapasitas baterai), maka lakukan penyetelan arus output charger sesuai kebutuhan.

Untuk charger type BCT, penyetelan dilakukan pada rangkaian kontrol charger, yaitu dengan mengatur trimpot VR1 dan VR2 (besar arus maksimum yang diizinkan 110 % dari arus nominal).

Untuk charger type ABB 626 170, penyetelan dilakukan pada circuit card A1, yaitu pengaturan *potensiometer* R5.

Standard masing-masing type I merk charger telah mempunyai standar kapasitas arus maksimum yang diizinkan. Sebagai contoh, charger type ABB 162 170 standar kapasitas arus maksimum adalah 105 % dari arus keluaran ($105\% \times 100 \text{ A} = 105 \text{ A}$) dan charger dari PT Catu daya Data Prakasa, mempunyai standar arus maksimum 110 % dari arus keluaran charger ($110\% \times 80 \text{ A} = 88 \text{ A}$).

Pengukuran Rangkaian Dropper

Untuk mengetahui apakah rangkaian Dropper dapat bekerja normal. Cara pengukuran tegangan dropper dilakukan dengan pengecekan tegangan rangkaian ke beban untuk masing-masing posisi selector switch, seperti sebagai berikut :

1. Tentukan besaran tegangan yang diperlukan pada rangkaian ke beban (misalnya 110 volt).
2. Hubungkan voltmeter pada output charger (sebelum rangkaian dropper) dan rangkaian ke beban (setelah rangkaian dropper).
3. Posisikan selector switch pada Floating, amati tegangan pada

rangkaian ke beban (tegangan pada rangkaian ke beban harus tetap).

4. Posisikan selector switch pada Equalizing, amati tegangan pada rangkaian 'ke beban (tegangan pada rangkaian ke beban harus tetap).
5. Posisikan selector switch pada Boosting, amati tegangan pada rangkaian ke beban (tegangan pada rangkaian ke beban harus tetap)

Apabila hasil pengukuran tegangan pada rangkaian ke beban saat posisi floating, equalizing dan boosting tetap ($\pm 10 \%$) maka rangkaian dropper bekerja normal.

Pada saat ini pengukuran rangkaian tegangan dropper mengacu pada pengalaman lapangan dan buku manual masing-masing merk, seperti :

- Charger type ABB 162 1 70 besarnya tegangan dropper adalah 80 % dari tegangan keluaran, yaitu sE kitar 10 VDC.
- Charger dari PT Catudaya Data Prakasa, menggunakan dropper diode. 3 step, dengan range tegangan 24 VDC pada arus 80 A.
- Charger BCT menggunakan 2 buah dropper diode, masing-masing besarnya adalah 24 VDC.

Pengecekan Meter-meter

Tujuan pengecekan meter adalah untuk mengetahui akurasi dari meter-meter terpasang (arus baterai, arus beban dan tegangan beban) Pada charger *baterai*

umumnya memiliki tiga buah alat ukur terdiri dari meter untuk pengukuran arus *baterai*, arus beban, dan tegangan beban.

Pengecekan dilakukan dengan cara sebagai berikut :

Ukur besaran tegangan dan arus di terminal meter menggunakan alat ukur standar.

1. Bandingkan hasil pengukuran antara alat ukur standar dengan hasil penunjukkan meter terpasang.
2. Apabila perbedaan hasil pengukuran antara alat ukur standar dengan meter terpasang di atas 5% (+5%) atau dibawah 5% (-5%) sesuai dengan klas meternya, maka meter tersebut harus dikalibrasi.

Standar akurasi meter sesuai dengan klas meter yang dipakai, misal : 0,5% - 5%

Pemeriksaan Fisik

Pemeriksaan secara fisik bertujuan untuk mengetahui kondisi cubicle charger dan *fuse box* apakah dalam keadaan baik dan bersih. Cara pelaksanaan pemeriksaan fisik adalah sebagai berikut :

1. Buka pintu panel charger
2. Perhatikan kondisi kebersihan peralatan elektronik, meter-meter dan fuse.
3. Bersihkan apabila jika terdapat kotoran baik debu atau sarang laba-laba.
4. Pembersihan dilakukan dengan menggunakan alat pembersih dan

cairan pembersih. Khusus untuk peralatan elektronika, gunakanlah kompressor udara dengan tekanan maksimum 3 bar.

5. Periksa kondisi baut-baut jika perlu dikencangkan. Gunakanlah alat yang sesuai dengan peruntukannya.

Standard pemeriksaan fisik pada peralatan adalah secara visual ataupun bisa juga dengan diraba yaitu peralatan dalam kondisi baik dan bersih.

1.16. Jadwal dan Chek list Pemeliharaan Charger

Agar periode dan objek pemeliharaan charger sama, maka perlu membuat jadwal dan cheklist pemeliharaan charger.

Pembuatan jadwal dan *cheklist* pemeliharaan charger, disesuaikan dengan buku petunjuk peralatan yang dikeluarkan oleh pabrik pembuat peralatan atau instrument tersebut.

1.16.1. Pemeliharaan Baterai

Pengukuran tegangan pada sel baterai bertujuan untuk mengetahui sebagai berikut :

- Kondisi tegangan sel baterai, apakah kondisi operasi normal
- Tegangan pengisian ke baterai (Tegangan output charger)
- Kondisi open sirkit pada rangkaian baterai.
- Keseimbangan tegangan baterai terhadap tanah.

1.16.2. Cara Pelaksanaan Pengukuran Tegangan.

Pengukuran tegangan baterai per sel dan keseluruhan sel dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

Pengukuran Tegangan per Sel

- Rangkaian Baterai ke Rectifier di-off-kan
- Siapkan AVO meter (diajurkan menggunakan AVO meter digital)
- Sesuaikan selektor switch pada AVO meter pada skala yang kecil, misalnya pada skala 10 volt.
- Ukur tegangan sel baterai sesuai polaritasnya (positif warna merah dan negatif warna hitam) mulai dari sel no. 1 sampai dengan sel terakhir.
- Catat hasil pengukuran pada lembar kerja pengukuran tegangan.

b) Pengukuran tegangan seluruh sel :

- Rangkaian Baterai ke Rectifier di-off-kan.
- Siapkan AVO meter (diajurkan menggunakan AVO meter digital).
- Ubah posisi selektor switch pada AVO meter pada skala yang sesuai.
- Ukur tegangan sel baterai sesuai polaritasnya, warna merah pada kutub positif pada sel no.1 dan warna hitam pada kutub negatif pada sel terakhir.
- Catat hasilnya pada lembar kerja pengukuran tegangan.
- Koreksi besaran hasil ukur tegangan tersebut dan bandingkan dengan standard tegangan.

Tabel 1.7. Tegangan per Sel.

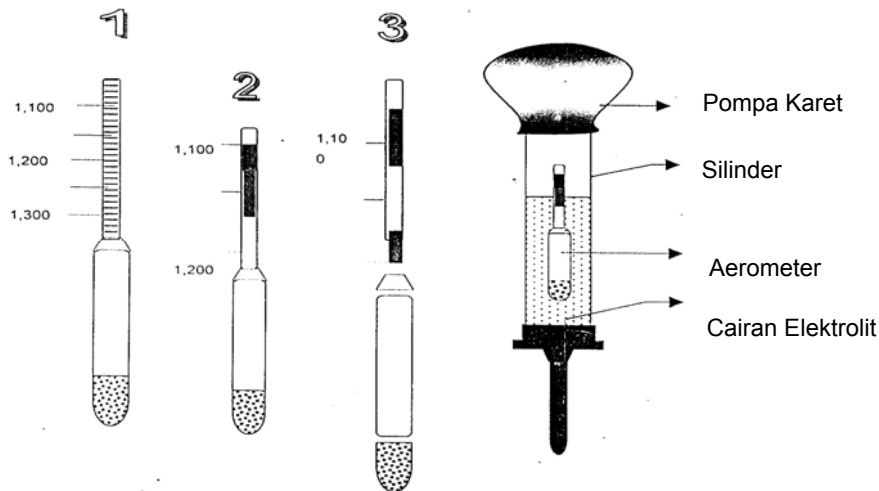
Jenis / Merk Baterai Alkali	Tegangan Baterai (Volt)					
	Nominal	Floating	Equalizing	Boost	Initial Baterai	Akhir Dischrage
Saft	1,2	1,40 - 1,42	1,50 - 1,55	1,65 - 1,70	1,65 - 1,70	1
Nife	1,2	1,40 - 1,42	1,55	1,70	1,65	1
Hoppecke / FNC	1,2	1,40 - 1,45	1,50 - 1,65	1,70	1,70	1
Friwo / TS	1,2	1,40 - 1,42	-	1,70	1,70	1,15
Alcad	1,2	1,45 - 1,47	1,50 - 1,60	1,70	1,70	1
Furukawa	1,2	1,40 - 1,42	-	-	-	1
Emisa / LP, MP	1,2	1,40 - 1,45	1,50 - 1,60	1,70	1,70	1

Jenis / Merk Baterai Asam	Tegangan Baterai (Volt)					
	Nominal	Floating	Equalizing	Boost	Initial Baterai	Akhir Dischrage
Rocket	2	2,3	2,4	-	2,3	1,8
SAFT NIFE / Lead Line	2	2,27	-	-	2,3	1,8
Fiam / SMG	2	2,23	-	-	2,35	1,8
Furukawa	2	-	-	-	-	-
Yuasa	2	-	-	-	-	-
Gould	2	-	-	-	-	-
Fulmen / EHP	2	2,27	-	-	2,40	1,8
DRYFIT / A600 OpzV	2	2,3	-	-	-	1,8
DRYFIT / PzS	2	2,3	-	-	-	1,8
HOPPEKE / OPzS	2	2,23 - 2,24	2,24	-	-	1,8
Cloride Powersafe	2	2,25 - 2,27	2,4	-	2,3 - 2,4	1,8

1.16.3. Pengukuran Berat Jenis Elektrolit

Tujuan melakukan pengukuran adalah untuk mengetahui kondisi elektrolit. Hal ini sangat penting karena elektrolit pada baterai berfungsi sebagai konduktor atau sebagai media pemindah elektron.

Oleh karena itu agar proses kimia didalam sel baterai bekerja baik, maka perlu dilakukan pemeriksaan atau pengukuran berat jenis elektrolit. Alat ukur yang digunakan adalah **Hydrometer**, seperti gambar 1-57



Gambar 1. 57. Hydromete

Aerometer yang biasa dipakai atau yang beredar dipasaran terdiri dari 3 (tiga) macam, yaitu :

1. Aerometer yang bertuliskan angka-angka berwarna putih, biasanya pada baterai merk Hoppecke (buatan Jerman)..
2. Aerometer yang dilengkapi dengan warna : Merah, Hijau, Kuning (buatan RRC). Arti dari warna-warna tersebut adalah :
 - Merah : Dead Batery, adalah muatan baterai tidak ada atau mati
 - Hijau : Half Charge, kapasitas baterai sudah 50%

a) Pada Baterai Asam :

$$Bd_{(s)} = Bd_{(hs)} + \frac{(t_s - 15)}{1,5} \times 0,001$$

Dimana :

$Bd_{(s)}$ = Harga berat jenis sebenarnya

$Bd_{(hs)}$ = Pembacaan berat jenis pada hydrometer (gr/cm^3)

t_s = Temperatur larutan asam belerang ($^{\circ}C$)

b. Pada baterai alkali

$$Bd_{(a)} = Bd_{(ha)} + \frac{(t_a - 15)}{2} \times 0,001$$

Diman

a :

$Bd_{(a)}$ = Harga berat jenis Sebenarnya

$Bd_{(ha)}$ = Pembacaan berat jenis larutan alkali pada hydrometer (gr/cm^3)

– T_a = Temperatur larutan asam belerang Kuning : Full Charge, kapasitas baterai sudah 90–100%

3. Aerometer yang dilengkapi warna : Merah, Putih, Hijau (buatan

Taiwan), arti warna-warna tersebut adalah :

- Merah : Recharge
- Putih : Fair
- Hijau : Good

- Siapkan alat ukur berat jenis (hydrometer).

- Gunakan alat / hydrometer sesuai jenis baterai yang akan diukur (jangan tertukar dengan hydrometer untuk baterai jenis yang lain.)

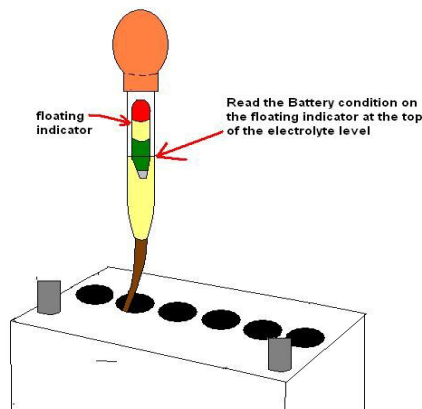
- Pada saat pengukuran posisi hydrometer harus tegak lurus.

- Pompakan cairan elektrolit secara maksimal / sampai penuh seperti gambar 1-58.

- Baca skala pada areometer sesuai permukaan cairan elektrolit.

- Catat hasil pengukuran.

- Pembacaan berat jenis (Bd) dipengaruhi oleh perubahan temperatur maka diperlukan koreksi pembacaan berat jenis dengan ketentuan sebagai berikut:
($^{\circ}\text{C}$)



Gambar 1.58. Cara Pelaksanaan Pengukuran Berat Jenis

Tabel 1-8. Standar Berat Jenis Elektrolit

Jenis Baterai	Kondisi Elektrolit (temp. 20°C)	Berat Jenis (gr / cm^3)
ALKALI	Elektrolit baru	1,20
	Kondisi terisi penuh	1,18
	Berat jenis minimum	1,16

ASAM	Elektrolit baru	1,190
	Kondisi terisi penuh	1,215
	Berat jenis minimum	1,16

1.16.4. Pengukuran Suhu Elektrolit

Tujuan pengukuran suhu elektrolit adalah untuk mengetahui kondisi elektrolit baterai ketika baterai sedang diisi (charge) maupun ketika sedang terjadi kondisi tidak normal, mengingat pengaruhnya sangat besar terhadap operasional baterai maka perlu dilakukan pemeriksaan atau pengukuran suhu pada sel baterai.

Cara Pelaksanaan pelaksanaan pengukuran suhu elektrolit dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Siapkan alat ukur suhu elektrolit yang bersih dan dianjurkan menggunakan thermometer jenis alkohol.
- Yakinkan bahwa termometer berfungsi dengan baik.
- Masukkan alat ukur ke dalam sel baterai sampai terendam cairan elektrolit.
- Tunggu beberapa saat dan amati sampai ada perubahan suhu.
- Catat hasil ukur ke dalam lembar kerja yang telah disediakan.

Standar suhu elektrolit pada baterai alkali maupun asam adalah sebagai berikut :

- Suhu maksimum pada normal operasi : 25 - 35 °C (suhu ruangan)
- Suhu maksimum yang diijinkan pada saat pengisian / pengosongan : 45 °C.

Tujuan pengukuran arus pengisian pada baterai adalah :

- Untuk mengetahui besarnya arus pengisian dari rectifier ke baterai, pada saat baterai *floating*. Arus pengisian ini mendekati nol.
- Untuk mengetahui besarnya arus pengisian dari rectifier ke baterai, pada saat baterai *equalizing*.
- Untuk mengetahui besarnya arus pengisian dari rectifier ke baterai, pada saat baterai *boosting*. Apabila Rectifier tidak dilengkapi dengan Dropper

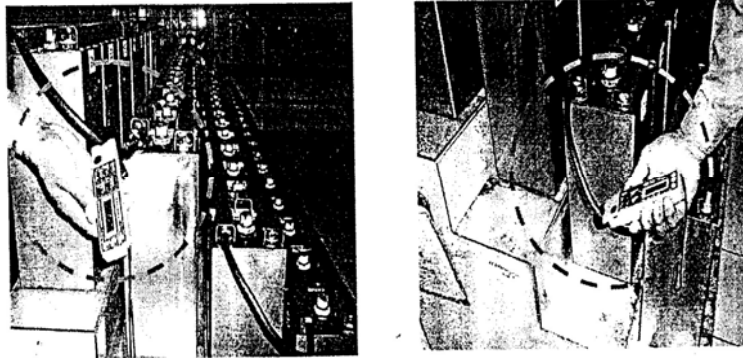
Untuk melakukan pengukuran arus pengisian pada baterai dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Siapkan Tang Ampere DC
- Posisikan saklar atau selector switch untuk pengukuran arus searah (DC)
- Sesuaikan posisi range arus pada tang ampere
- Lakukan pengukuran pada :
- Kabel dari rectifier ke baterai

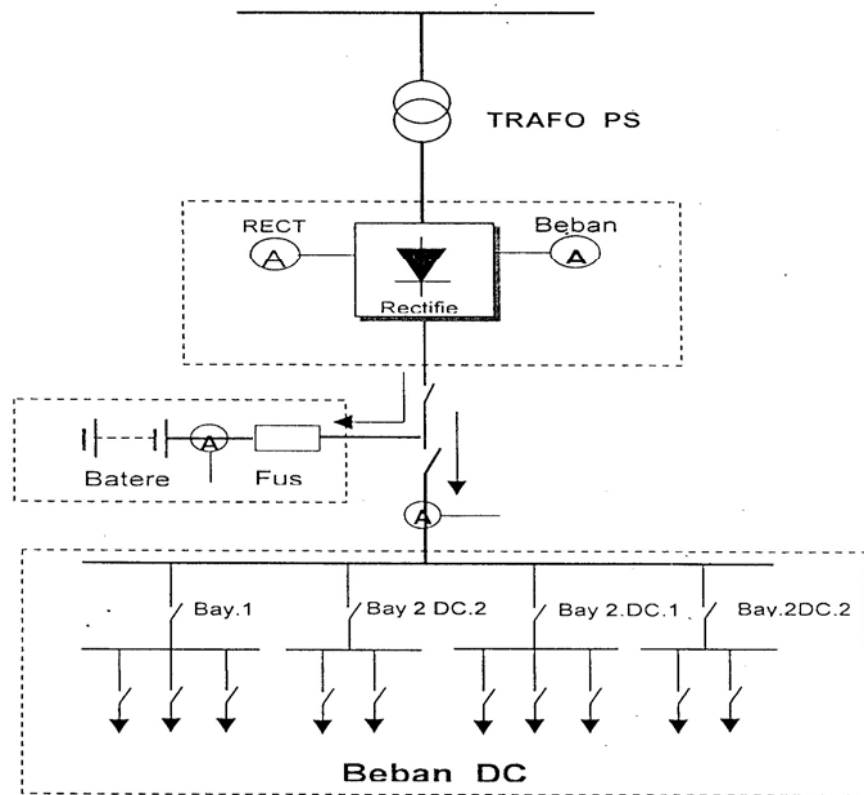
- Kabel konektor antar rak baterai
- Yakinkan penunjukan arus harus konstan
- Catat hasil pengukuran
- Cocokkan hasil pengukuran tersebut dengan penunjukkan

arus pada ampere meter yang terpasang pada rectifier.

Contoh pengukuran arus pada baterai dapat dilihat pada gambar 1.59.



Gambar 1.59. Pengukuran arus pada Rangkaian Sel Baterai



Gambar 1.60. Diagram Titik Ukur Arus Pengisian Pada Baterai

Besarnya arus pengisian adalah sebagai berikut :

- Baterai Alkali : $0,2 \times C$ ($0,2 \times$ kapasitas baterai)
- Baterai Asam : $0,1 \times C$ ($0,1 \times$ kapasitas baterai)
- Pada operasi floating arus yang mengalir ke baterai relatif kecil

1.16.5. Jadwal Pemeliharaan Periodik Baterai

Pedoman yang diterapkan untuk melakukan pemeliharaan pada peralatan Instalasi adalah berdasarkan pada SUPLEMEN,

Surat Edaran dari PLN Pusat No. 032/PST/1984, tentang uraian Kegiatan Pemeliharaan Peralatan Listrik.

Periodik Pemeliharaan Baterai adalah sebagai berikut :

- Mingguan
- Bulanan
- Tahunan

Namun demikian pemeriksaan baterai secara rutin tiap hari tetap dilakukan oleh patroli operator namun hanya bersifat fisik atau secara visual, tidak menggunakan meter-meter yang rumit.

Tabel 1-9. Pemeliharaan Mingguan (dalam keadaan operasi)

No	Peralatan Yang Dipelihara	Kegiatan	Peralatan / Material yang digunakan
1	Sel Baterai	Periksa kebersihan sel baterai. Bila kotor bersihkan sel dan klemnya. Ukur Tegangan dan Berat jenis pada sel yang dipilih atau ambil contoh / sampel dari beberapa sel Periksa arus pengisian dan ukur tegangan total baterai.	- Check List - Kuas Cat - Sikat - Lap Kaos -Vaseline Netral - Multi meter -Pengukur tinggi Elektrolit -Thermometer
2	Ruang Baterai	Periksa kipas ventilasi, apakah normal, jika tidak normal segera di perbaiki	
3	Elektrolit	Periksa level dan suhu cairan elektrolit, apakah normal? Jika tidak normal sesuaikan dengan standar yang telah ditentukan	
4	Sekring / NFB	Periksa apakah ada yang putus atau trip	

Tabel 1- 10. Pemeliharaan Bulanan (dalam keadaan operasi)

No.	Peralatan Yang Dipelihara	Kegiatan	Peralatan / Material yang digunakan
1	Sel Baterai	Ukur Tegangan dan Berat jenis di seluruh sel pada kondisi charger Off (tidak operasi). Ukur tegangan total. Periksa kebersihan sel baterai, bila kotor bersihkan dan lapisi dengan vaseline netral. Lakukan pengisian dengan mode Equalizing.	- Check List - Kuas Cat - Sikat - Lap Kaos -Vaseline Netral - Multi meter

2	Rangkaian Baterai	Charger di Off-kan, ukur tegangan total baterai untuk menguji open circuit (sirkuit terbuka)	
---	-------------------	--	--

Tabel 1- 11. Pemeliharaan Tahunan (dalam keadaan tidak operasi)

No.	Peralatan Yang Dipelihara	Kegiatan	Peralatan / Material yang digunakan
1	Sel Baterai	Lakukan Pengujian Kapasitas : ▪ Pengisian kembali dengan mode Boosting ▪ Rekondisi elektrolit baterai bila hasil test kapasitas tidak baik (bila diperlukan) ▪ Pengujian kadar potassium karbonat, khusus pada baterai yang telah berusia lebih dari 5 tahun.	- Check List - Kuas Cat - Lap Kaos -Vaseline Netral - Multi meter -Tang amper DC - Alat Uji Kapasitas - Alat Uji kadar Potassium Karbonate

1.17. Pengujian dan shooting pada DC Power

Sistem DC Power pada unit pembangkit yang sering mengalami permasalahan adalah pada baterai. Terutama baterai jenis asam karena didalamnya terdapat larutan kimia (elektrolit) yang tentu jika dipengaruhi kondisi lingkungan yang berubah-ubah akan mempengaruhi berbagai unsur baik level air, berat jenis, temperatur elektrolitnya dan sebagainya. Untuk peralatan lain seperti sistem instalasi, panel-panel, meter indikator, lampu indikator, charger dan inverter biasanya jarang terjadi masalah.

1.17.1. Pengujian Indikator Charger

Pengujian pada charger meliputi beberapa hal antara lain : *Low Baterai Indicator*, *AC Power Failure*, *Over Voltage Bateria*, *Charger Failure*, *DC Fuse Failure*, *Earth Fault*, dan lain-lain. Pengujian indikator bertujuan untuk mengetahui apakah indikator tersebut bekerja sesuai dengan fungsinya ataukah tidak sesuai. Beberapa pengujian yang dapat dilakukan pada indikator charger antara lain :

Low Bateria Indicator . Untuk pengujian ini dilakukan dengan cara menurunkan tegangan keluaran

melalui rangkaian control charger sampai indikasi muncul.

Over Voltage Bateria. Untuk pengujian ini dilakukan dengan cara menaikkan tegangan keluaran melalui rangkaian control charger sampai indikasi muncul.

AC Power Failure Untuk pengujian ini dilakukan dengan cara melepas (meng-off-kan) MCB input AC ke charger

Charger Failure 'Untuk pengujian ini dilakukan dengan cara melepas (meng-off-kan) MCB output DC ke baterai.DC Fuse

Failure, 'Untuk pengujian dilakukan dengan cara melepas (meng-off-kan) fuse output DC ke baterai.

Earth Fault Untuk pengujian ini dilakukan dengan cara memindahkan posisi switch pengujian DC Ground pada charger.

Dalam pelaksanaan di lapangan, alarm indikasi charger dapat dikatakan sesuai dengan standar apabila pada saat dilakukan pengujian (simulasi gangguan) pada salah satu bagian charger tersebut, alarm dapat muncul dengan baik.

Tabel 1 . 12 Trouble Shooting pada Charger

ALARM	PENYEBAB	CARA MENGATASI
AC Power Failure	Input circuit breaker (MCCB) trip	On-kan kembali saklar. MCCB mungkin trip karena adanya arus Lebih (lonjakan arus sesaat). Pada kasus ini: On-kan charger dengan kontrol manual dan arus di set ke nol (sesuai buku petunjuk pengoperasian)
Under Voltage Bateray	Charger trip	On-kan charger. Periksa semua phasa dan perbaiki sistem suplay AC
	Suplay AC lepas	Periksa semua phasa dan perbaiki sistem suplay AC.
	AC MCCB trip	On-kan MCCB. Jalankan charger dengan control manual, dan seting arus pada level nol.
	Mini Fuse putus	Ganti fuse, bila fuse putus , perbaiki hubungan antar PCB
Under Voltage Bateray	Tegangan output tidak sesuai	Bandingkan tegangan output charger dengan nilai yang ditunjukkan data sheet. Bila tidak sesuai, setting ulang nilai tegangannya.
	Pemakaian Beban DC terlalu tinggi	Hitung ulang pemakaian beban DC. Putuskan pemakaian beban DC. Ganti charger dengan kapasitas arus output DC yang lebih tinggi.
	Baterai habis	Isi baterai, periksa level elektrolit baterai Periksa baterai untuk gangguan short circuit internal
Over Voltage Bateray	Tidak berfungsi - nya charger, karena suplay tegangan yang terlalu besar dari rangkaian beban ke baterai	Periksa seting charger. Putuskan rangkaian beban dari sumber tegangan.
Charger Failure	Charger mati	On-kan charger

	Suplay utama putus / hilang	Periksa semua phasa dan perbaiki sistem suplay AC
	MCCB suplay AC trip	On-kan kembali MCCB. On-kan charger dengan kontrol manual dan arus diset ke nol (sesuai buku petunjuk pengoperasian)
DC Fuse Failure	Mini Fuse putus	Ganti fuse. Bila fuse putus lagi, periksa hubungan antar PCB. Bila rusak, maka perbaiki. Periksa semua fuse dan cari fuse yang putus dan cari penyebabnya
	DC Fuse putus	Ganti Fuse-nya

1.17.2. Pengujian Kapasitas baterai

Kapasitas suatu baterai adalah menyatakan besarnya arus listrik (Ampere) baterai yang dapat disuplai atau dialirkan ke suatu rangkaian luar atau beban dalam jangka waktu (jam) tertentu, unt uk memberikan tegangan tertentu. Kapasitas baterai (Ah) dinyatakan sebagai berikut :

$$C = I \times t$$

Dimana :

C = Kapasitas baterai (Ah)

I = Besar arus yang mengalir (Ampere)

t = Waktu pemakaian (Jam).

Pengujian kapasitas baterai menggunakan kode atau istilah dengan **C_{..}**. Kode yang biasa digunakan adalah **C₃**, **C₅** dan **C₁₀**. Hal ini menyatakan besarnya kapasitas baterai dalam Ah yang tersedia, yaitu

- o untuk **C₃** , waktunya selama 3 jam
- o untuk **C₅** , waktunya selama 5 jam
- o untuk **C₁₀**, waktunya selama 10 jam

Waktu pengujian kapasitas baterai ini biasanya dilakukan pada :

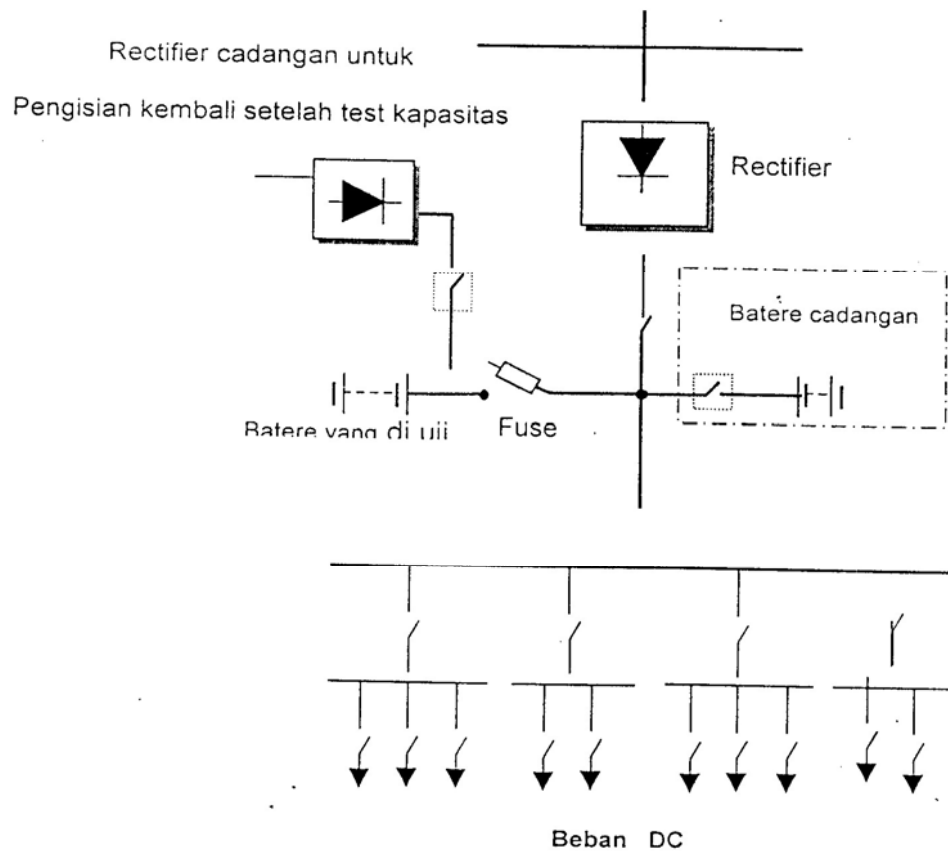
- o Saat komisioning baterai (Initial Charge)
- o Setelah 5 (lima) tahun beroperasi.
- o Berikutnya dilakukan setiap 1 tahun sekali.

Pada baterai alkali nickel-cadmium (NiCd) umumnya kapasitas baterai dinyatakan dalam **C₅** dan untuk baterai Asam adalah **C₁₀**., tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kapasitas baterai yang sesungguhnya.

Pelaksanaan pengujian kapasitas baterai yang pada unit pembangkit yang terpasang 1 (satu) unit baterai adalah sebagai berikut :

1. Mencatat data-data baterai yang akan diuji.
2. Menyiapkan peralatan kerja dan alat uji.
3. Menyiapkan baterai cadangan dan yakinkan siap operasi.
4. Siapkan Rectifier uji.

5. Melakukan manuver pemindahan pasokan sumber DC (Gambar 1.61) dengan uraian manuver sebagai berikut
 - Masukkan NFB baterai cadangan (paralel).
 - Buka Fuse baterai yang akan diuji.
 - Baterai siap diuji.
6. Melepas kabel pada terminal Positif dan Negatif baterai.
7. Pertahankan level elektrolit baterai.
8. Kencangkan mur/baut yang kendur pada seluruh sel baterai.
9. Sambungkan alat uji ke baterai (lihat gambar 1.62 dan 1.63).
10. Pelaksanaan Pengujian (Discharge) menggunakan alat BCT2000 atau BTS100.
11. Ukur suhu pada sampel sel baterai secara random.
12. Khusus bila menggunakan alat uji Merk ISA, BTS 100 catat penurunan tegangan per sel pada seluruh sel baterai.
13. Bila tegangan per sel < 1 volt (mendekati nol), maka sel baterai diindikasikan rusak.
14. Bila hasil uji kapasitas baterai < 50% maka lakukan pengisian kembali sebesar 140 % x kapasitas, setelah penuh off-kan charger dan tunggu selama 2 jam.
15. Mengukur besarnya arus pengisian ke baterai atau menyetel besarnya arus/tegangan output charger.
16. Mencatat tegangan seluruh sel baterai selama pengisian berlangsung.
17. Memeriksa/ mengukur temperatur sel baterai selama berlangsung pengisian (charging). Pengisian dihentikan apabila temperatur sel baterai telah mencapai 45°C, tunggu sampai suhu baterai menurun dan lanjutkan pengisian.
18. Pelaksanaan Pengujian (discharge) tahap 2.
19. Selanjutnya lakukan seperti urutan pekerjaan nomor 11 s/d 13
20. Bila hasil uji Ekapasitas baterai < 50 % maka lakukan pengecekan potasium karbonat
21. Bila kandungan potasium karbonat < 75 gram/liter lakukan rekondisi, jika > 75 gram/liter baterai harus diganti. (Lihat Tabel Standar Batas maksimum kadar K_2CO_3)
22. Bila hasil uji kapasitas baterai > 50 % maka baterai dapat dioperasikan kembali / masuk ke sistem.



Gambar 1.61. Pengujian pada baterai yang terpasang 1 unit

Pelaksanaan pengujian kapasitas baterai yang pada unit pembangkit yang terpasang 2 (dua) unit baterai adalah sebagai berikut :

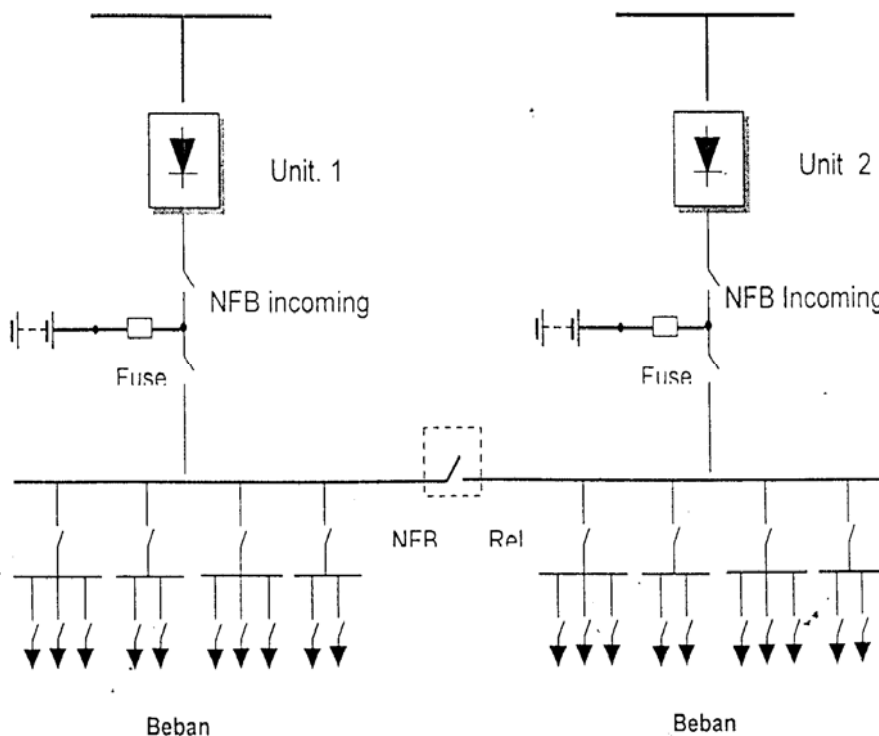
1. Mencatat data-data baterai yang akan diuji.
2. Menyiapkan peralatan kerja dan alat uji.
3. Melakukan manuver pemindahan pasokan sumber DC dengan cara bergantian. Bila Unit 1 di uji, maka unit 2 memasok sumber DC ke beban (lihat

gambar 1.62) dengan uraian manuver sebagai berikut :

Manuver Pembebasan Baterai Unit 1 yang akan di uji kapasitasnya yaitu:

- Masukan NFB Rel DC (Rectifier Unit 1 dan 2 paralel sesaat)
- Keluarkan NFB out going Unit 1
- Keluarkan NFB incoming Unit 1
- Off-kan Rectifier Unit 1

(Baterai Unit 1 bebas tegangan dan siap dilakukan test kapasitas).



Gambar 1.62. Pengujian pada Baterai yang terpasang 2 Unit.

4. Membuka fuse baterai.
5. Melepas kabel pada terminal Positif dan Negatif baterai.
6. Memeriksa level cairan elektrolit seluruh sel baterai
7. Memeriksa kekecangan mur baut pada seluruh sel baterai.
8. Penyambungan alat uji ke baterai
9. Pelaksanaan Pengujian (Discharge) menggunakan alat BCT2000 atau BTS100
10. Ukur suhu pada sampel sel baterai secara random.
11. Khusus bila menggunakan alat uji Merk ISA, BTS 100 catat penurunan tegangan per sel pada seluruh sel baterai.
12. Bila tegangan per sel < 1 volt (mendekati nol), maka sel baterai diindikasikan rusak.
13. Bila hasil uji kapasitas baterai $< 50\%$ maka takukan pengisian kembali sebesar $140\% \times$ kapasitas, setelah penuh off-kan charger dan tunggu selama 2 jam.
14. Mengukur besarnya arus pengisian ke baterai atau menyetel besarnya arus / tegangan output charger.

15. Mencatat tegangan seluruh sel baterai selama pengisian berlangsung.
16. Memeriksa / mengukur temperatur sel baterai selama berlangsung pengisian (charging).
17. Pengisian dihentikan apabila temperatur sel baterai telah mencapai 45°C, tunggu sampai suhu baterai menurun dan lanjutkan pengisian.
18. Pelaksanaan Pengujian (Discharge) tahap 2.
19. Selanjutnya lakukan seperti urutan pekerjaan nomor 9 sld 11
20. Bila hasil uji kapasitas baterai < 50 % maka lakukan pengecekan potasium karbonat
21. Bila kandungan potasium karbonat < 75 gram/liter lakukan rekondisi, jika > 75 gram / liter baterai harus diganti.
22. Bila hasil uji kapasitas baterai > 50 % maka baterai dapat dioperasikan kembali / masuk ke sistem.

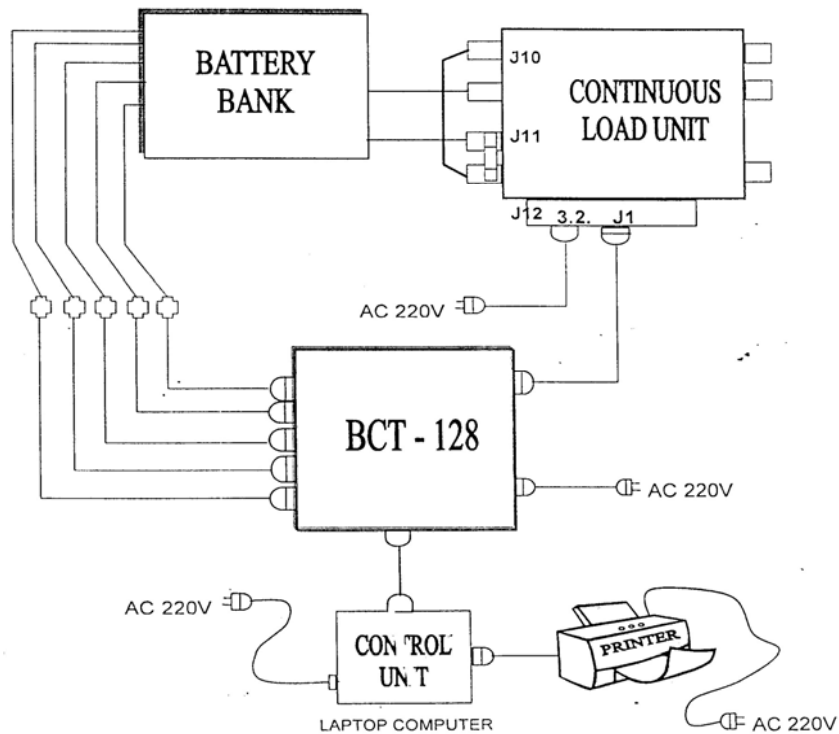
Standar yang digunakan dalam melaksanakan pengujian kapasitas baterai mengacu pada karakteristik baterai yang akan diuji antara lain sebagai berikut :

a) Parameter Test

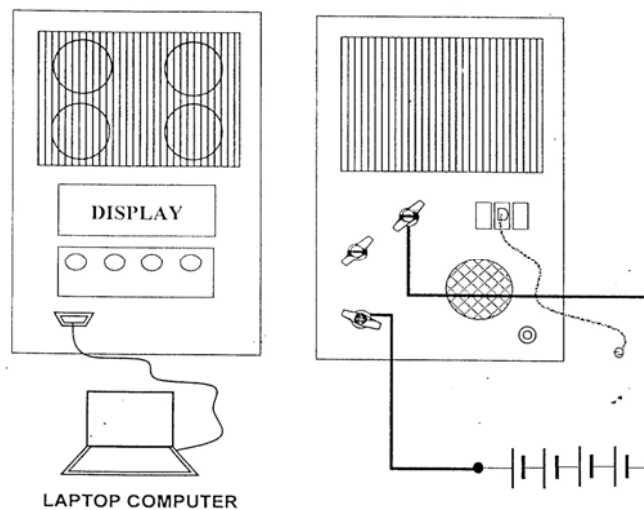
- Besarnya arus pengosongan / discharge, contoh untuk baterai alkali : 0,2 x kapasitas baterai dan baterai asam : 0,1 x kapasitas baterai.
- Setting waktu pengosongan, contoh untuk baterai alkali : 5 jam dan untuk baterai asam : 10 jam.
- Tegangan akhir pengosongan per-sel, contoh untuk baterai alkali : 1 volt dan untuk baterai asam : 1,8 volt
- Baterai alkali sebesar 1 volt dan untuk baterai asam sebesar 1,8 Volt.

Standar Kapasitas

- Baterai baik : 80 %
- Baterai kurang baik : < 80%



Gambar 1.63. Penyambungan alat uji ke baterai menggunakan alat uji Merk Albert - type BCT-128



Gambar 1.64. Penyambungan alat uji ke baterai menggunakan alat uji Merk ISA - type BTS-100 Plus

1.17.3. Pengujian kadar Potassium Carbonate (K_2CO_3)

Dalam melaksanakan pemeliharaan tahunan pada baterai diantaranya adalah pengujian kapasitas, dari hasil test tersebut belum menjadi jaminan bahwa kondisi baterai tidak baik, sehingga perlu ada usaha lain yang perlu dilakukan yaitu dengan cara melakukan pengisian kembali dan menguji ulang baterai tersebut. Apabila masih tetap kondisi tidak baik idealnya baterai tersebut diganti, tetapi hal ini dianggap tidak efisien. Salah satu upaya yang dilakukan sebelum baterai diganti adalah dengan melaksanakan rekondisi pada baterai atau mengganti cairan elektrolitnya.

Dalam melaksanakan rekondisi seringkali juga masih didapatkan hasil yang tidak memuaskan sehingga tidak berdaya guna dalam meningkatkan kondisinya, oleh karena itu dari hasil pengujian kandungan potassium karbonat (K_2CO_3) pada cairan elektrolit baterai dapat ditentukan apakah baterai bila direkondisi dapat meningkat kondisinya atau tidak, sebelum mengganti baterai dengan yang baru.

Adapun Tujuan pengujian kandungan potassium carbonate (K_2CO_3) adalah untuk memperoleh informasi apakah elektrolit baterai masih efektif. untuk direkondisi atau sudah tidak efektif lagi untuk direkondisi.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

- 1 bh Pipet ukuran 5 ml dan pipet filler
- 1 bh pipet kecil
- 1 bh gelas Berker ukuran 250 ml
- 1 bh gelas Erlenmeyer ukuran 500 ml
- 1 bh corong diameter 5 cm
- 1 bh washing bottle uk. 1000 ml
- 1 bh sarung tangan karet
- 1 bh gelas Burette kapasitas 25ml
- 1 tube obat tetes mata (untuk P3K)

1. Bahan Kimia yang Digunakan

Bahan kimia yang digunakan dalam pengujian ini adalah :

- 1 botol ukuran @ 250 ml phenolphthalein (Reagent A)
- 1 botol ukuran @ 250 ml methyl orange (Reagent B)
- 1 botol ukuran @ 1000 ml Hydro Chloric Acid (HCl)
- 1 liter air distillate (H_2O)

2. Pelaksanaan Pengukuran

Untuk satu unit baterai, sampel diambil dengan cara mengambil beberapa tetes larutan elektrolit tiap sel baterai hingga terkumpul sekitar ± 200 ml elektrolit.

Pembuatan 50 ml larutan HCL 10 %

- Dengan memakai gelas ukur 250 ml, masukkan 50 ml air murni ke gelas Erlenmeyer

- Kemudian dengan memakai pipet 5 ml, masukkan 5 ml HCL pekat ke gelas erlenmeyer lalu aduk secukupnya
- Larutan tersebut cukup untuk satu kali pengujian
- Untuk pembuatan larutan yang lebih banyak dapat dilakukan dengan ketentuan setiap 10 bagian H₂O ditambah dengan 1 bagian HCL.

3. Pengukuran

Prosedur pengukuran dilaksanakan sebagai berikut :

- Isilah gelas burette dengan HCL 10 % sampai penuh (larutan sampai pada batas titik nol)
- Dengan menggunakan pipet, teteskan 5 ml larutan sampel (Potassium hydroxide) ke gelas erlenmeyer
- Masukkan 50 ml (Dengan menggunakan pipet) air murni (H₂O) ke dalam gelas Erlenmeyer
- Tambahkan beberapa tetes phenolphthalein ke dalam larutan tersebut hingga berubah warna menjadi ungu.
- Sambil mengocok perlahan gelas Erlenmeyer, perlahan teteskan HCL 10 % dari gelas burette sampai larutan dalam gelas Erlenmeyer berubah warna menjadi bening (tanpa warna)
- Bacalah jumlah HCL 10 % yang telah dipakai pada gelas burette dan catatlah batas

permukaannya dengan tanda "p"

- Tambahkan sedikit bubuk methyl orange ke dalam larutan bening pada gelas Erlenmeyer hingga berubah warna menjadi kuning jernih
- Sambil mengocok perlahan gelas Erlenmeyer, perlahan teteskan HCL 10 % dari gelas burette sampai larutan dalam gelas Erlenmeyer berubah warna menjadi 'orange
- Bacalah jumlah HCL 10 % yang telah dipakai pada gelas burette dan catatlah batas permukaannya dengan tanda "m"
- Dari langkah - langkah tersebut kandungan K₂CO₃ dari sampel dapat diketahui dengan rumus :

$$(m-p) \times 2 \times \frac{69,1}{5} \text{ (gr/liter)}$$

Untuk memudahkan dan mempercepat penghitungan pada langkah 10 ini, disediakan Tabel Standar Kandungan K₂CO₃ sehingga hanya perlu diketahui nilai titik "m" dan "p" saja.

Langkah-langkah pengujian kadar K₂CO₃ sebagai berikut :

- Isilah gelas burette dengan HCL 10% sampai penuh (larutan sampai pada batas titik nol)
- Masukkan 50 ml air murni (H₂O) pada gelas berker, kemudian teteskan 5 ml

larutan sampel yang diambil dari sel baterai dengan menggunakan pipet filter. Setelah diaduk secukupnya tuangkan ke gelas Erlenmeyer.

- c. Tambahkan beberapa tetes phenolphthalein kedalam larutan tersebut hingga berubah warna menjadi ungu.
- d. Sambil mengocok perlahan gelas Erlenmeyer, teteskan HCl 10% dari gelas burette perlahan-lahan sampai larutan dalam gelas Erlenmeyer berubah warna menjadi bening (tak berwarna lagi).
- e. Segera tutup kran gelas burette setelah larutan pada gelas Erlenmeyer berubah menjadi bening.
- f. Hitung dan catat banyaknya HCl 10% yang terbuang dan tandai dengan titik dan ketik "p".
- g. Bubuhkan sedikit Methyl Orange kedalam gelas Erlenmeyer sehingga larutan berubah warna menjadi kuning bening.
- h. Kocok perlahan agar larutan yang baru berubah warna menjadi lebih homogen.
- i. Teteskan kembali larutan HCl 10% dari gelas burette kedalam gelas Erlenmeyer hingga larutan berubah warna menjadi orange.
- j. Segera tutup kran pada gelas burette setelah larutan pada

gelas Erlenmeyer berubah warna menjadi orange.

- k. Hitung dan catat kembali banyaknya HCl 10% yang terbuang dan tandai dengan titik dan ketik "m"
- l. Masukkan angka yang didapat kedalam rumus yang sudah tersedia dan hitung kandungan pottasium carbonate (K_2CO_3).

Dari hasil pengukuran kandungan pottasium carbonate (K_2CO_3), dapat memberikan informasi dan pertimbangan bahwa jika hasil ukur kadar pottasium carbonate (K_2CO_3) ≥ 100 gr/liter, maka rekondisi elektrolit baterai adalah langkah yang tepat. Namun jika hasil uji kadar pottasium carbonate (K_2CO_3) ≤ 100 gr/liter, maka langkah yang tepat adalah usulan penggantian baterai dengan baterai yang baru.

4. Hasil Pengukuran

Untuk menentukan kadar Pottasium Carbonate (K_2CO_3) dari hasil nilai (m - p) dapat dilihat pada tabel dihalaman berikut ini.

Tabel 1. 13. Kandungan Pottasium Carbonate (K_2CO_3) pada elektrolit baterai.

Nilai (m – p)	Kandungan K_2CO_3 (gr / liter)	Nilai (m – p)	Kandungan K_2CO_3 (gr / liter)
0,1	2,764	2,6	71,864
0,2	5,528	2,7	74,628
0,3	8,292	2,8	77,392
0,4	11,056	2,9	80,156
0,5	13,82	3	82,920
0,6	16,584	3,1	85,684
0,7	19,348	3,2	88,448
0,8	22,112	3,3	91,212
0,9	24,876	3,4	93,976
1	27,64	3,5	96,740
1,1	30,404	3,6	99,504
1,2	33,168	3,7	102,268
1,3	35,932	3,8	105,032
1,4	38,696	3,9	107,796
1,5	41,46	4	110,560
1,6	44,224	4,1	113,324
1,7	46,988	4,2	116,088
1,8	49,752	4,3	118,852
1,9	52,516	4,4	121,616
2	55,28	4,5	124,380
2,1	58,044	4,6	127,144
2,2	60,88	4,7	129,908
2,3	63,572	4,8	132,672
2,4	66,336	4,9	135,436
2,5	69,1	5	138,2

Setiap produsen pembuat baterai menentukan standar maksimum yang diijinkan terhadap kadar Pottasium Carbonate (K_2CO_3) seperti pada tabel 1.14 berikut :

Tabel 1.14. Standar maksimum yang diijinkan terhadap kadar Pottasium Carbonate (K_2CO_3)

Produsen	Standar Kadar Maksimum
Furukawa Battery	75 gram / liter
Friwo Battery	75 gram / liter
Saft	100 gram / liter
Nife	100 gram / liter
Sab Nife	100 gram / liter

5. Rekondisi Baterai

Tujuan rekondisi baterai adalah suatu usaha untuk meningkatkan kembali kapasitas baterai atau memperbaiki dan mengembalikan proses kimia didalam sel baterai dengan cara melakukan penggantian elektrolit. Dari hasil overhaul tersebut diharapkan dapat mengembalikan ke karakteristik semula atau dapat memperpanjang masa pakai atau usia baterai.

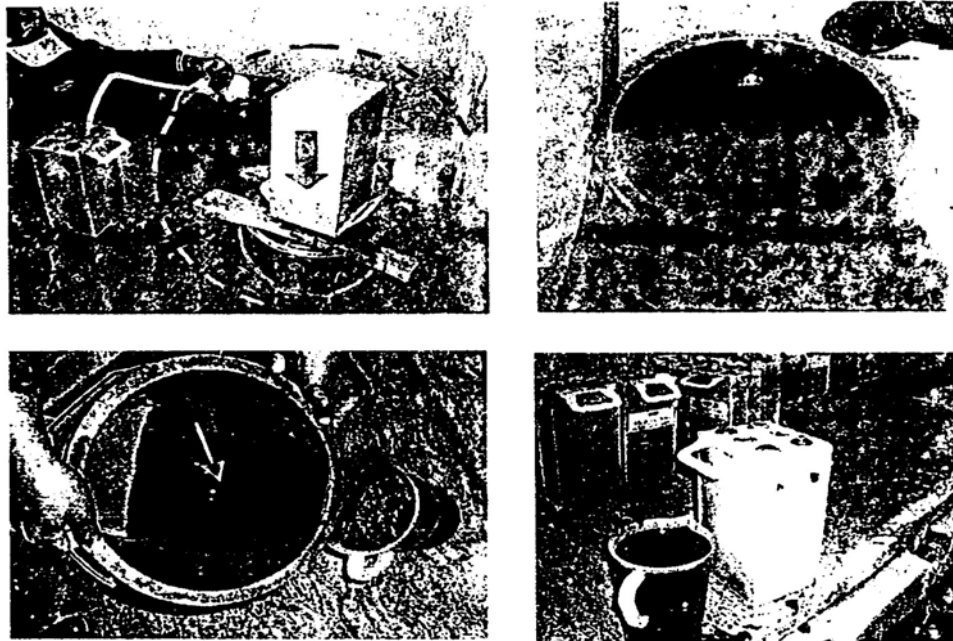
6. Cara Pelaksanaan.

Tahapan Pelaksanaan R'ekondisi Baterai adalah sebagai berikut :

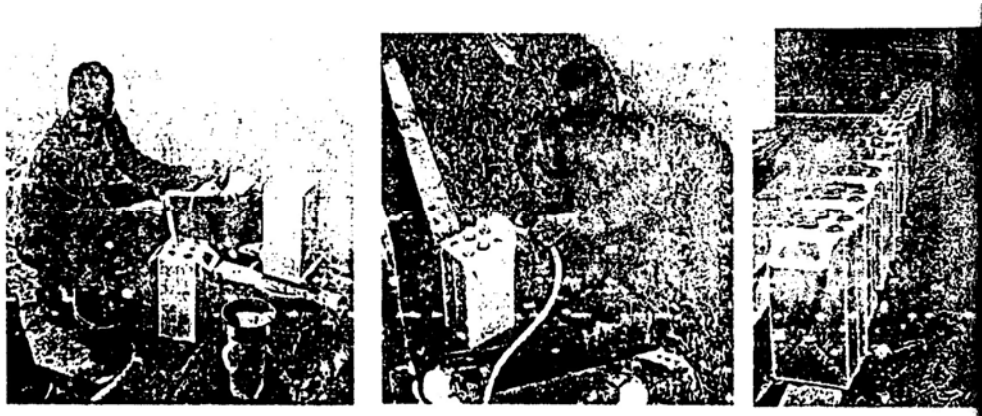
- Mempersiapkan cairan elektrolit
- Pengosongan energi sampai tegangan akhir per sel.
- Apabila, setelah cairan elektrolit dibuang tidak akan disimpan

lama (selama 20 menit) atau langsung akan diganti elektrolit, maka tidak perlu pengosongan energi. (Referensi dari : *Nife Nickel Cadmium Battery*)

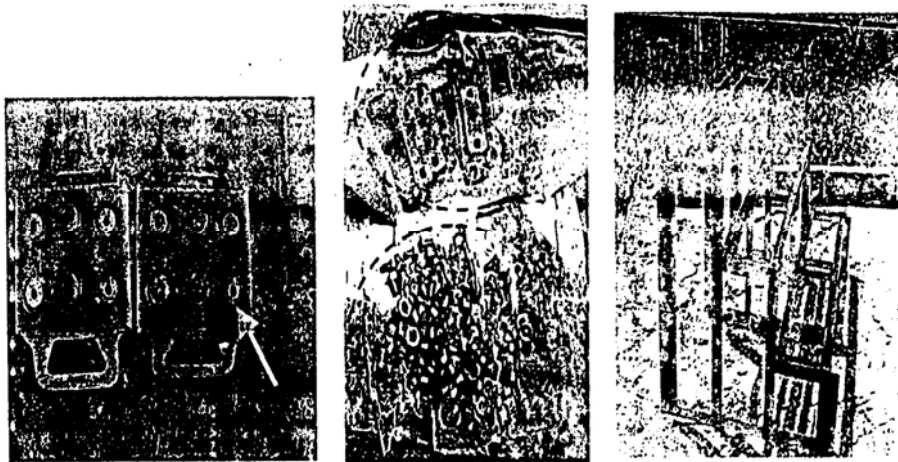
- Pembongkaran sel baterai.
- Membersihkan kontainer, konektor antar sel atau rak dan membersihkan rak baterai.
- Pembuangan dan penggantian cairan elektrolit satu persatu.
- Merangkai kembali baterai pada raknya.
- Pengisian kembali (140% x kapasitas)
- Test kapasitas (Discharge).
- Pengisian kembali (140% x kapasitas)
- Pengoperasian ke sistem.



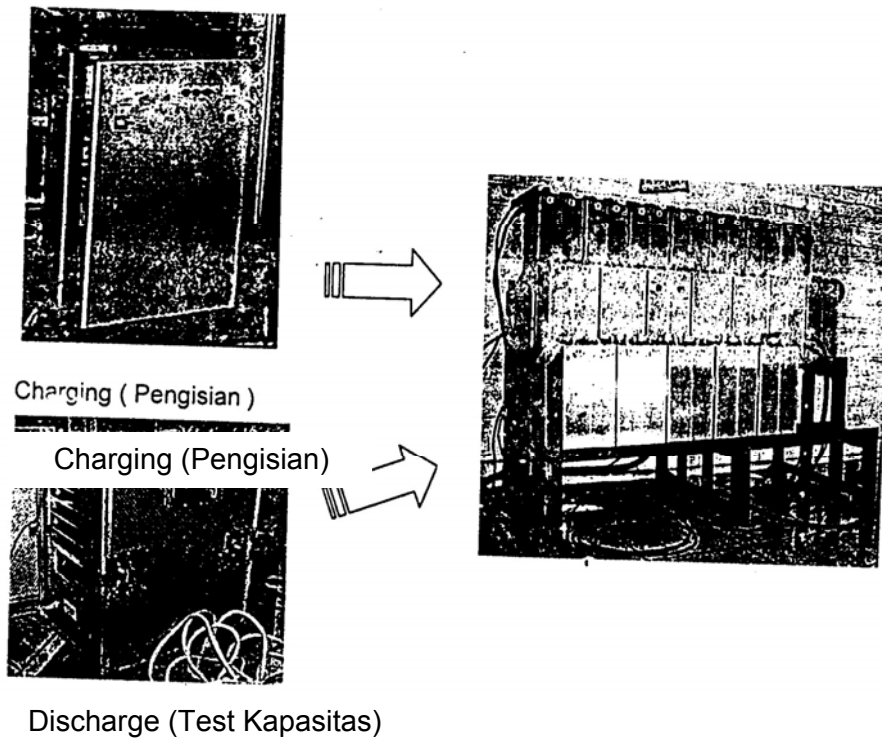
Gambar 1.60. Pembuangan cairan elektrolit baterai



Gambar 1.61. Penggantian Elektrolit, Membersihkan Kontainer Baterai dan Pengeringan



Gambar 1. 62. Pembersihan Terminal Sel Baterai, Klem, Baut dan Pengecatan Rak



Gambar 1.63 Pengisian (Charging) dan Test Kapasitas setelah Rekondis

7. Standar Rekondisi Baterai

Pelaksanaan rekondisi baterai didasarkan pada beberapa kriteria pemeriksaan, sehingga dapat dijadikan standar atau acuan sebelum dilakukan rekondisi pada baterai antara lain sebagai berikut :

- a. Hasil Test Kapasitas dinyatakan baik (**Standard** > 80%)
- b. Charger Discharge minimal 2 kali, hal ini bertujuan untuk meyakinkan apakah baterai kondisi tidak baik atau under charge.
- c. Pengukuran berat jenis elektrolit
- d. Pemeriksaan fisik.
- e. Pemeriksaan kondisi elektrolit dengan cara pengujian kadar potasium karbonat. (Rekomendasi dari baterai merk Friwo : Bila tiap 1 liter cairan elektrolit sudah mengandung karbon seberat 75 gram, maka elektrolit harus diganti.
- f. Kondisi Plat-plat aktif sel baterai.
- g. Hasil pengukuran temperatur elektrolit pada saat charging.
- h. Usia baterai dll.

Pemeriksaan fisik baterai

Tujuan melakukan pemeriksaan fisik pada baterai adalah untuk mengetahui keadaan sel baterai berikut sambungan antar sel dimana

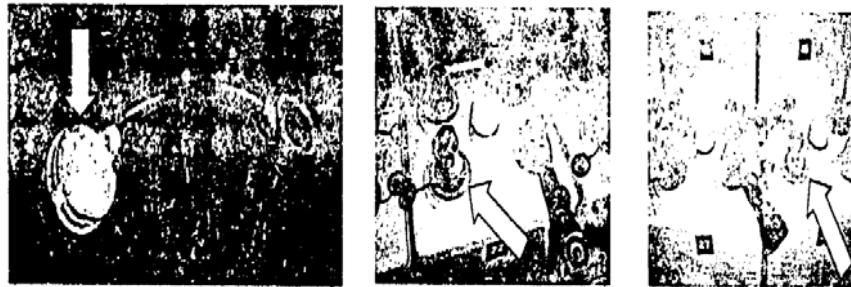
kerusakan pada sel tersebut dapat mempengaruhi keamanan dan keandalan operasional baterai. Umumnya kerusakan pada sel baterai antara lain :

- a) Retak pada bagian atas sel
- b) Cairan elektrolit Bocor
- c) Korosif pada terminal atau sambungan kabel Drat pada terminal baterai rusak

Cara Pelaksanaan

Pelaksanaan pemeriksaan fisik pada baterai dilakukan secara visual pada kontainer atau pada komponen sel baterai yaitu :

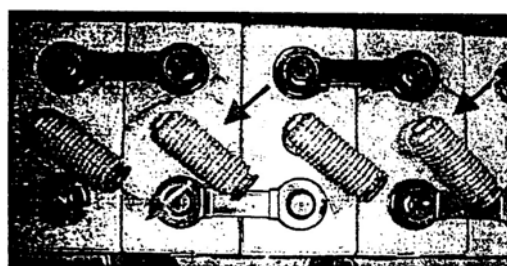
- a. Kontainer
- b. Mur baut terminal baterai (terminasi)
- c. Kabel sambungan antar rak baterai.



Contoh baut terminal yang korosif



Terminal sel baterai menonjol akibat desakan dari dalam sel



Kontainer Sel Baterai Retak



Gambar 1.64. Beberapa Contoh Temuan pada Sel Baterai yang Abnormal
Kontainer Sel Baterai Pecah

1.18. Trouble Shooting

Untuk melacak kerusakan baterai dapat dilakukan dengan urutan seperti tabel 1.15. berikut.

Tabel 1.15 Trouble Shooting

Masalah	Kemungkinan Penyebab	Cara Penanggulangan
Penurunan Kapasitas	Kandungan Karbon dalam elektrolit Float charging dalam waktu lama Permukaan elektrolit terlalu rendah	Lakukan pengosongan baterai dan ganti elektrolit rendah & lakukan rekondisi Lakukan pelatihan, bila kapasitas < 80 % lakukan rekondisi Tambahkan aquades hingga level antara Min – Max, lakukan pelatihan atau rekondisi
Penurunan kapasitas atau gagal total	Satu atau beberapa sel open sirkuit Konektor antar sel, konektor antar rak atau terminal sel berkarat atau putus Kerusakan pengaman lebur / pemisah	Ganti dengan sel yang baru Bersihkan permukaan kontak Kencangkan konektor antar sel dengan 16Nm. Kencangkan konektor antar rak dengan 20 Nm atau ganti konektor dengan yang baru. Perbaiki dan ganti dengan yang baru.
Penguapan terlalu berlebihan Penguapan sel terlalu berlebihan atau mendidih	Vent-plug bocor, sel bocor Tegangan Charging terlalu tinggi. Tegangan sel tidak merata	Kencangkan Vent-plug, ganti dengan sel yang baru Turunkan tegangan floating hingga 1,4 -1,45 Volt per Sel Batasi boost charging tidak lebih dari 7 jam. Lakukan rekondisi
Tegangan sel tidak merata Elektrolit berhamburan keluar	Float charging dalam waktu lama Level elektrolit terlalu tinggi pada saat charging awal.	Lakukan boost charging, bila diperlukan lakukan pelatihan atau rekondisi. Batasi level Min - Max setelah charging awal selesai.

Berbusa selama charging Tampak benda asing didalam elektrolit atau perubahan warna elektrolit	Densitas elektrolit rendah akibat penambahan aquades yang berlebihan. Aquades tidak bersih atau bahkan tercemar asam.	Lakukan pengosongan baterai sesuaikan BJ elektrolit, kemudian lakukan rekondisi, bila tetap berbusa, ganti dengan sel yang baru Lakukan pengosongan pada baterai dan ganti elektrolit atau lakukan rekondisi.
Tampak rontokan material aktif didalam sel	Densitas elektrolit terlalu pekat karena penam bahan elektrolit dengan KOH	Lakukan pengosongan pada baterai dan ganti elektrolit dan lakukan rekondisi.
Meledak atau terjadi deformasi	Suhu elektrolit terlalu tinggi pada saat pengisian(charging) Elektrolit kosong, charger gagal sehingga terjadi tegangan lebih. Vent-plug tersumbat terminal kendor dan terjadi arching	Sesuaikan kapasitas charger dengan kapasitas baterai. Perhatikan batasan arus charging & suhu maksimum yang diijinkan oleh pembuat baterai Periksa dan perbaiki charger dan ganti dengan sel yang baru.
Terjadi hubung tanah DC	Terdapat sel yang bocor.	Keringkan Rak baterai dan ganti sel yang bocor.

1.18.1. Kinerja Baterai

Kerusakan Peralatan pada instalasi Gardu Induk dan Transmisi setiap saat bisa terjadi baik yang disebabkan oleh sumber gangguan dari luar (uncontrollable) atau sumber gangguan pada peralatan itu sendiri (controllable), atau bila dilihat dari jenis penyebabnya dapat terjadi karena

kerusakan pada auxelery dan alat-alat bantu elektrik serta kerusakan pada sisi TT/TM.

Kerusakan peralatan instalasi yang sifatnya controllable tersebut dipicu oleh suatu kondisi pengoperasian yang kurang sempurna atau manajemen pemeliharaan yang tidak terlaksana dengan terpadu antara perencanaan dan pelaksana (lihat

diagram manajemen pemeliharaan).

Bila ditinjau dari akibat kerusakan pada peralatan instalasi Gardu Induk dan Transmisi maka kerusakan yang terjadi dapat dikelompokkan menjadi kerusakan besar/parah (major) dan kerusakan kecil/ringan (minor).

1. Kerusakan Major

Adalah kerusakan internal baterai yang mengakibatkan penurunan kapasitas baterai sampai 50% dari kapasitas awal berdasarkan hasil pengujian, dengan kondisi tersebut menyebabkan baterai tidak dapat optimal melayani beban.

Misalnya : Kerusakan pada sel baterai, kandungan potasium dalam elektrolit tidak sesuai, elektroda rontok.

2. Kerusakan Minor

Adalah kerusakan Kecil yang menyebabkan kapasitas baterai turun sampai dengan 80% atau terjadi kerusakan fisik pada sel baterai tetapi tidak mengganggu operasi. Misalnya :

- Keretakan casing
- Kerusakan terminal
- Terjadi benjolan pada dinding sel
- Elektroda menonjol
- Sel baterai pecah / meledak

- Permukaan terminal korosif/terlepas.
- Bagian atas sel retak/berlubang
- Sel baterai bocor
- Ring isolasi antara elektroda dengan body
- Mur baut pada terminal berkarat atau drat rusak
- Permukaan pada terminal tidak rata/rusak akibat loncatan bunga api.

Dengan data-data tersebut, maka untuk periode pemantauan yang ditentukan dapat dihitung :

- Jumlah peralatan yang terpasang per merk [Satuan]
- Jumlah total kerusakan yang pernah terjadi untuk setiap merk sampai dengan periode pemantauan [Kali]

3. Historical Alat / Sejarah Alat

Sejarah alat adalah file yang sangat diperlukan untuk mengetahui unjuk kerja atau tingkat keberhasilan produksi alat dan pemeliharaan pada alat tersebut (dalam hal ini baterai) atau secara umum adalah sistem DC Power.

Manajemen aset dan manajemen gangguan yang terpadu dan selalu online sangat diperlukan untuk mengumpulkan data yang diperlukan karena sejarah alat adalah kumpulan data mencatat baterai

mulai dari mulai factory test di pabrik sampai dengan saat dioperasikan terakhir kalinya, sehingga dari data tersebut dapat dilakukan evaluasi analisa dan pengkajian dan tindakan untuk menghindari atau mencegah terjadinya kerusakan mayor atau minor pada baterai tersebut.

Sejarah alat atau baterai mencatat hal-hal sebagai berikut :

1. Data factory test baterai di pabrik I vendor
2. Data pengiriman dan pembongkaran di side
3. Data proses comisioning
4. Data TBM atau pemeliharaan rutin
5. Data pemeriksaan rutin
6. Data troubleshooting/kerusakan minor/ mayor termasuk recondisioning.
7. Data biaya pemeliharaan

Bila data sejarah tersebut dapat dilihat secara on line maka manajemen pemeliharaan dapat melakukan evaluasi dan kajian thd kinerja baterai tersebut dan menyimpulkan hal sebagai berikut :

- Tingkat kerusakan baterai setiap merk
- Jenis kerusakan baterai setiap merk
- Penurunan kinerja baterai setiap merk

- Tindakan pencegahan kerusakan baterai
- Tindakan kebijakan pola pemeliharaan
- Merekomendasikan pengadaan baterai baru
- Strategi efisiensi biaya

4. Komisioning Baterai Baru

Untuk menjaga mutu terhadap baterai yang diterima oleh PLN, maka harus dilakukan pengujian kapasitas, hal tersebut dimaksudkan untuk mengantisipasi apabila terjadi kelainan pada baterai sebelum diterima, selain itu juga untuk mengetahui kebenaran karakteristiknya.

5. Lingkup Pekerjaan

Pelaksanaan komisioning pada baterai baru meliputi kegiatan sebagai berikut :

- Pemeriksaan fisik sel baterai
- Merangkai baterai
- Pengisian muatan (Charging)
- Pengosongan muatan (Discharge / Test Kapasitas)
- Pengisian Muatan kembali.
- Pembongkaran
- Pengepakan.

6. Karakteristik Test

Parameter Test yang dilaksanakan dalam pengujian baterai baru berbeda dengan pengujian seperti pada baterai yang sudah beroperasi yaitu harus mengacu pada : persyaratan teknis

yang ditentukan sesuai yang tertuang dalam surat perjanjian / kontrak antara lain :

- Besarnya arus pengosongan (discharge)
- Waktu / lama pengujian
- Tegangan Akhir penyujian per-sel.

7. Pelaksanaan Pekerjaan

Pelaksanaan komisioning pada baterai baru meliputi kegiatan sebagai berikut :

- a. Pengangkutan baterai dari gudang kelokasi test
- b. Pembongkaran dari peti kemas
- c. Merangkai baterai
- d. Charging (Pengisian)
- e. Discharge (Test Kapasitas)
- f. Pengepakan (Kemas)

Standar

Standar Quality Control pada baterai baru adalah sebagai berikut :

- a. Hasil Test kapasitas : 80%
- b. Karakteristik pembebanan sesuai type / jenis baterai.
- c. Fisik sel baterai baik / tidak ada tanda-tanda kerusakan.
- d. Temperatur sel baterai pada saat charge discharge normal (sesuai brosur). Apabila hasil pemeriksaan tidak memenuhi standar, maka sebelum diterima oleh PLN sel tersebut harus diganti.

1.19 KESELAMATAN KERJA

Untuk itu keselamatan dan kesehatan kerja pada bab ini secara khusus membahas hal-hal yang berkaitan dengan keselamatan dan kesehatan kerja pada Pemeliharaan DC Power, yang meliputi peralatan-peralatan pengaman yang diperlukan pada pekerjaan-pekerjaan untuk instalasi listrik dan panel listrik DC, charger dan baterai. Disamping itu disampaikan juga aturan-aturan yang berlaku secara umum. Namun untuk mengingatkan kembali akan kami berikan beberapa tentang keselamatan dan kesehatan kerja.

1. Dasar-dasar Keselamatan Kerja

Dasar-dasar Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di PT PLN (Persero) adalah berdasarkan :

- Undang-Undang K3 No.1 Tahun 1970
- Pengumuman Direksi PLN No. 023/PST/75
- Surat Edaran (SE) Direksi PLN No. 005/PST/82
- Instruksi Direksi No. 002/84.

2. Definisi Keselamatan Kerja

Keselamatan kerja adalah suatu kegiatan untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja di lingkungan kerja dan dalam keadaan bekerja.

3. Definisi Kecelakaan kerja

Kecelakaan kerja adalah suatu kecelakaan yang terjadi pada seseorang karena hubungan kerja dan memungkinkan disebabkan

oleh bahaya yang berkaitan dengan pekerjaan.

Peralatan pengaman (safety) yang harus disiapkan untuk keselamatan kerja ini antara lain:

- Sepatu Pengaman (Safety Shoes)
- Topi Pengaman (Helmet)
- Kacamata Pengaman
- Masker
- Sarung Tangan Karet

Sedangkan aturan keselamatan kerja yang harus dipatuhi dan ditaati oleh setiap personil didalam pelaksanaan pekerjaan yang sifatnya rutin maupun non rutin adalah :

- a. Siapkan peralatan sesuai dengan kebutuhan dan penggunaannya.
- b. Siapkan Dokumen yang diperlukan guna kepentingan keselamatan kerja.
- c. Pastikan langkah-langkah yang akan dilakukan sudah siap dan sesuai dengan prosedur yang ditetapkan.
- d. Gunakan perlengkapan keselamatan kerja seperti disebutkan diatas, baik sepatu, helm, kacamata, masker dan sarung tangan karet.
- e. Gunakan peralatan kerja yang ada isolasinya dan dijamin keselamatanya.
- f. Jangan pernah bekerja seorang diri, setidaknya berdua
- g. Pastikan rangkaian listrik tidak bertegangan (power off) jika bekerja pada area yang harus aman dari arus listrik.

- h. Sebagai tindakan pencegahan, lakukan grounding peralatan ataupun discharge circuit sebelum memulai pekerjaan.
 - i. Lakukan pengamatan, pemeriksaan dan analisa sebelum melakukan suatu pekerjaan atau tindakan.
 - j. Harus mengetahui efek dari pekerjaan yang akan kita lakukan.
 - k. Mengetahui tempat penyimpanan kelengkapan fire fighting dan bisa menggunakannya saat diperlukan.
 - l. Sudah familiar dengan peralatan kerja yang akan digunakan, baik secara prosedur maupun cara pemakaiannya.
 - m. Bersihkan alat kerja dan tempat kerja setelah selesai melakukan pemeliharaan atau pemeriksaan
 - n. Letakkan peralatan kerja sesuai dengan tempatnya masing-masing setelah selesai melakukan pekerjaan.
 - o. Patuhi dan taati aturan dan prosedur yang berlaku demi keselamatan dan kesehatan kerja kita.
- peralatan harus dicuci dengan air biasa / air hangat
 - c. Pastikan ruangan pengujian mempunyai ventilasi yang baik
 - d. Gunakan selalu peralatan keselamatan kerja karena bahan - bahan kimia yang digunakan sangat berbahaya dan beracun bagi makhluk hidup
 - e. Jangan membuang limbah hasil pengukuran disembarang tempat karena limbah tersebut tetap beracun bagi makhluk hidup
 - f. Sesudah pengujian simpan bahan - bahan kimia tersebut ditempat yang kering, terlindung dari sinar matahari langsung, dan tertutup rapat.

4. Prosedur Keselamatan Kerja

- a. Seluruh peralatan, bahan kimia dan prosedur pengukuran ini hanya untuk Batere NiCd saja, tidak untuk Batere asam
- b. Sebelum dan sesudah pengujian dilakukan semua

BAB II

PENGUKURAN LISTRIK

2.1. Pengertian Pengukuran

Pengukuran adalah suatu perbandingan antara suatu besaran dengan besaran lain yang sejenis secara eksperimen dan salah satu besaran dianggap sebagai standart. Dalam pengukuran listrik terjadi juga perbandingan, dalam perbandingan ini digunakan suatu alat Bantu (alat ukur). Alat ukur ini sudah dikalibrasi, sehingga dalam pengukuran listrikpun telah terjadi perbandingan. Sebagai contoh pengukuran tegangan pada jaringan tenaga listrik dalam hal ini tegangan yang akan diukur diperbandingkan dengan penunjukkan dari Volt meter.

Pada pengukuran listrik dapat dibedakan dua hal :

- a. Pengukuran besaran listrik, seperti arus (ampere), tegangan (Volt), daya listrik (Watt), dll
- b. Pengukuran besaran non listrik, seperti suhu, kuat cahaya, tekanan , dll.

Dalam melakukan pengukuran , pertama harus ditentukan cara pengukurannya. Cara dan pelaksanaan pengukuran itu dipilih sedemikian rupa sehingga alat ukur yang ada dapat digunakan dan diperoleh hasil dengan ketelitian seperti yang dikehendaki. Juga cara itu harus semudah mungkin, sehingga diperoleh efisiensi setinggi-tingginya. Jika cara pengukuran dan alatnya sudah ditentukan, penggunaannya harus

dengan baik pula. Setiap alat harus diketahui dan diyakini cara kerjanya. Dan harus diketahui pula apakah alat-alat yang akan digunakan dalam keadaan baik dan mempunyai klas ketelitian sesuai dengan keperluannya.

Jadi jelas pada pengukuran listrik ada tiga unsur penting yang perlu diperhatikan yaitu :

- cara pengukuran
- orang yang melakukan pengukuran
- alat yang digunakan

Sehubungan dengan ketiga hal yang penting ini sering juga harus diperhatikan kondisi dimana dilakukan pengukuran, seperti suhu, kelembaban, medan magnet, dll. Mengenai alat ukur itu sendiri penting diperhatikan mulai dari pembuatannya sampai penyimpanannya. Karena sejak pembuatannya, alat itu ditentukan ketelitiannya sesuai dengan yang dikehendaki. Setelah itu dalam pemakaian, pemeliharaan dan penyimpanan memerlukan perhatian kita agar ketelitiannya tetap terpelihara.

Hal-hal yang penting diperhatikan pada pengukuran listrik

- Cara pengukuran → harus benar

Pada pengukuran listrik terdapat beberapa cara ⇒ Pilih cara yang ekonomis

- Alat ukur, harus dalam keadaan baik :
- Secara periodik harus dicek (kalibrasi)
- Penyimpanan, transportasi alat harus diperhatikan
- Operator (Orang) → Harus teliti
- Keadaan dimana dilakukan pengukuran harus diperhatikan
- Jika diperlukan laporan , maka pencatatan hasil pengukuran perlu mendapat perhatian
- Untuk catatan digunakan buku tersendiri
- Gunakan FORMULIR tertentu

2.2. Besaran ,satuan dan dimensi

Alat ukur adalah alat yang dapat digunakan untuk mendapatkan / mengetahui hasil perbandingan antara suatu besaran / ukuran yang ingin diketahui dengan standar yang dipakai. Fungsi penting dari alat ukur baik alat ukur listrik maupun mekanik adalah untuk mengetahui nilai yang telah ditentukan sebagai batasan laik atau tidaknya peralatan / jaringan akan dioperasikan.

Dalam pengukuran kita membandingkan suatu besaran dengan besaran standard. Sehingga dalam pengukuran perlu mengetahui besaran, satuan dan dimensi.

Besaran

Besaran adalah sesuatu yang dapat diukur. Besaran terdiri dari :

- Besaran dasar : besaran yang tidak tergantung pada besaran lain

- Besaran turunan: besaran yang diturun- kan dari besaran-besaran dasar. Jadi merupakan kombinasi dari besaran dasar.
- Besaran pelengkap : besaran yang diperlukan untuk membentuk besaran turunan.

Satuan

Satuan adalah ukuran dari pada suatu besaran. Sistem satuan dapat dibagi menjadi 2 (dua) yaitu :

Sistem satuan metrik (universal), yaitu :

Satuan **Panjang** dalam meter (m). Satu meter (1 m) didefinisikan sepersepuluh juta bagian dari jarak antara kutub dan katulistiwa sepanjang meredian yang melewati Paris.

Pada tahun 1960 satuan panjang meter didefinisikan kembali lebih teliti dan dinyatakan dalam standard optik yang disebut radiasi merah jingga dari sebuah atom Krypton. Sehingga Satu (1) meter sama dengan 1.650.763,73 panjang gelombang radiasi merah jingga dari atom Krypton-86 dalam ruang hampa.

- Satuan **Massa** dalam gram (g).
Satu gram (1 gram) didefinisikan massa 1 cm kubik air yang telah disuling dengan suhu 4 derajat Celcius (C) dan pada tekanan udara normal (760 mm air raksa atau Hg).
- Satuan **Waktu** dalam sekon (s).
Satu sekon (1sekon) didefinisikan sebagai 1/ 86400 hari matahari rata-rata.

Satuan lainnya dijabarkan dari ketiga satuan dasar diatas yaitu panjang, massa dan waktu. Semua pengalihan dari satuan dasar diatas adalah dalam sistem desimal (lihat Tabel 2.1.) Sistem absolut **CGS** atau sistem centi gram sekon ini dikembangkan dari sisem metrik **MKS** atau meter kilogram sekon.

Sistem Internasional

Dalam sistem internasional (SI) digunakan enam sistem satuan dasar. Keenam besaran dasar SI dan satuan-satuan pengukuran beserta simbolnya diberikan pada Tabel 2.2.

Satuan Arus

Nilai ampere Internasional didasarkan pada endapan elektrolit perak dari larutan perak nitrat. 1 Ampere Internasional didefinisikan sebagai arus yang mengendapkan perak dengan laju kecepatan sebesar 1,118 miligram per sekon dari satu larutan perak nitrat Standard.

Nilai Ampere absolut dilakukan dengan menggunakan keseimbangan arus yakni dengan mengukur gaya-gaya antara dua konduktor yang sejajar. 1 Amper didefinisikan sebagai arus searah konstan, yang jika dipertahankan dalam konduktor lurus yang sejajar dan konduktor tersebut ditempatkan pada jarak satu meter di dalam ruang hampa akan menghasilkan gaya antara kedua konduktor

tersebut sebesar $\frac{2}{10.000.000}$ Newton per satuan panjang.

Satuan Temperatur

Derajat Kelvin (K) telah ditetapkan dengan mendefinisikan temperatur termodinamik dari titik tripel air pada temperatur tetap sebesar $273,160^{\circ}\text{K}$.

Titik tripel air ialah suhu keseimbangan antara es dan uap air. Skala praktis internasional untuk temperatur adalah derajat Celcius ($^{\circ}\text{C}$) dengan simbol "t". Skala Celcius mempunyai dua skala dasar yang tetap yaitu :

- Titik triple air yang sebenarnya $0,01^{\circ}\text{C}$
- Titik didih air yang besarnya 100°C , keduanya pada tekanan 1 atmosfer .

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(^{\circ}\text{K}) - T_0$$

Dimana $T_0 = 273,16^{\circ}\text{derajat}$

Intensitas Penerangan

Intensitas penerangan disebut **lilin (candela)**. 1 lilin didefinisikan sebagai $\frac{1}{60}$ intensitas penerangan setiap centimeter kuadrat radiator sempurna.

Radiator sempurna adalah benda radiator benda hitam atau Planck Standard Primer untuk intensitas penerangan adalah sebuah radiator sempurna pada temperatur pembekuan platina (kira-kira 2024°C)

Tabel 2.1. Perkalian faktor 10 (Satuan SI)

Faktor Perkalian dari Satuan	Sebutan	
	Nama	Simbol
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10	deca	d
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	mm
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	fento	f
10^{-18}	atto	a

Dimensi

Dimensi adalah cara penulisan dari besaran-besaran dengan menggunakan simbol-simbol (lambang-lambang) besaran dasar.

Contoh :

Dimensi Gaya (F) →

$$F = m.a = M.L.T^{-2}$$

Dimensi Kecepatan (v) →

$$v = \frac{\text{panjang}}{\text{waktu}} = \frac{\text{meter}}{\text{detik}} = .L.T^{-1}$$

Kegunaan dimensi adalah :

- Untuk menurunkan satuan dari suatu besaran.
- Untuk meneliti kebenaran suatu rumus atau persamaan.

Tabel 2.2. Besaran Dasar dan Satuan SI

No.	Besaran	Simbol Dimensi	Satuan	Simbol
1.	Panjang	L	meter	m
2.	Massa	M	kilogram	kg
3.	Waktu	T	sekon	s (det)
4.	Kuat Arus	I	Ampere	A
5.	Temperatur	Θ	derajat	K
6.	Intensitas Cahaya	J	Kelvin	
	Besaran Pelengkap		lilin	
a.	Sudut dasar (plane angle)	-	(Kandela)	Cd
b.	Sudut ruang (solid angle)	-	Radian	Rad
			Steradian	Sr

Kita mengenal berbagai besaran-besaran listrik antara lain :

Tabel 2.3. Besaran Dasar dan Satua SI

BESARAN LISTRIK	SATUAN	ALAT UKUR
Tegangan	volt	Voltmeter
Tahanan	ohm	Ohmmeter
Arus	ampere	Amperemeter
Daya	watt	Wattmeter
Energi	wattjam (kWh)	kWhmeter
Frekuensi	hertz	Frekuensimeter
Induktansi	henry	Induktasimeter
Kapasitansi dll	farad	Kapasitasmeter

2.3. Karakteristik dan klasifikasi alat ukur. Karakteristik.

Karakteristik dari suatu alat ukur adalah :

- Ketelitian
- Kepekaan
- Resolusi (deskriminasi)
- Repeatability
- Efisiensi

Ketelitian

Ketelitian ini didefinisikan sebagai persesuaian antara pembacaan alat ukur dengan nilai sebenarnya dari besaran yang diukur. Ketelitian alat ukur diukur dalam derajat kesalahannya.

Kesalahan (Error)

Kesalahan ialah selisih antara nilai pembacaan pada alat ukur dan nilai sebenarnya .

Dalam rumusan dapat ditulis :

$$E = I - T \quad \text{atau dalam}$$

$$\% \quad E = \frac{I - T}{T} \times 100\%$$

Dimana :

E = Kesalahan

I = Nilai pembacaan

T = Nilai sebenarnya

Kesalahan (Error)

Koreksi ialah selisih antara nilai sebenarnya dari besaran yang diukur dan nilai pembacaan pada alat ukur.

$$C = T - I$$

atau dalam %

$$C = \frac{T - I}{T} \times 100\%$$

Dimana :

C = Koreksi

Dari kedua rumus diatas yaitu kesalahan dan koreksi dapat dilihat bahwa :

$$C = - E$$

Kesalahan pada alat ukur umumnya dinyatakan dalam klas ketelitian yang dinyatakan dengan klas 0,1; 0,5 ; 1,0 dst. Julat ukur dinyatakan mempunyai ketelitian klas 0,1 bila kesalahan maksimum ialah $\pm 1\%$ dari skala penuh efektif. Tergantung dari besar kecilnya ketelitian tersebut alat-alat ukur dibagi menjadi :

- Alat cermat atau alat presisi, alat ukur dengan ketelitian tinggi ($< 0,5\%$).
- Alat kerja, alat ukur dengan ketelitian menengah ($\pm 1 \div 2\%$).
- Alat ukur kasar, alat ukur dengan ketelitian rendah ($\geq 3\%$).

Alat cermat / alat persisi :

Alat ukur yang mempunyai salah ukur dibawah 0,5% termasuk golongan alat cermat / alat persisi. Alat ukur ini sangat mahal harganya dan hanya dipakai untuk pekerjaan yang memerlukan kecermatan yang tinggi, umpamanya dilaboraturium. Alat ukur cermat / alat persisi dibuat dalam bentuk transportable dan untuk menjaga terhadap perlakuan-perlakuan yang kasar, maka alat tersebut dimasukan dalam peti/kotak dan dibuat dalam bentuk dan rupa yang bagus sekali, yang tujuannya untuk memperingatkan sipemakai bahwa alat yang tersimpan dalam kotak yang bagus tersebut adalah alat berharga dan harus diperlakukan secara hati-hati.

Alat kerja :

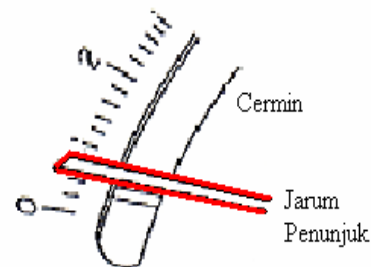
Alat ukur dengan kesalahan ukur diatas 0,5% termasuk golongan alat kerja. Untuk alat ukur

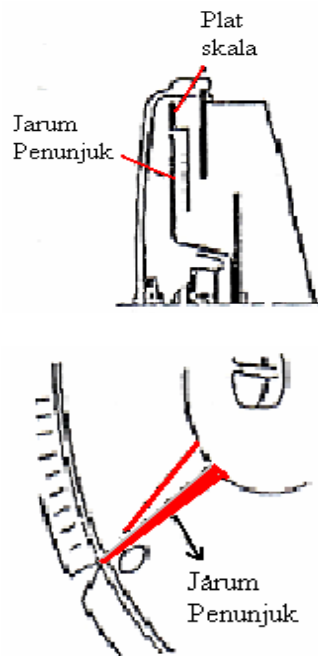
kerja yang mempunyai kesalahan ukur $\pm 1 - \pm 2\%$ juga dibuat dalam bentuk transportable dan dipakai dibengkel-bengkel, pabrik-pabrik dan lain-lain. Untuk alat kerja dengan kesalahan ukur $\pm 2 - 3\%$ dipakai untuk pengukuran pada papan penghubung baik dipusat-pusat tenaga listrik, pabrik-pabrik dan lain-lain.

Alat Ukur Kasar :

Alat ukur yang mempunyai kesalahan ukur $> 3\%$ termasuk golongan alat kasar dan hanya digunakan sebagai petunjuk umpama arah aliran untuk melihat apakah accumulator dari sebuah mobil yang sedang diisi atau dikosongkan.

Pada beberapa alat ukur yang akan ditempatkan pada panel-panel maka untuk mengurangi kesalahan membaca karena paralaks, jarum petunjuk dan skala pembacaan ditempatkan pada bidang-bidang yang sama seperti yang diperlihatkan dalam gambar 2.1.





Gambar 2.1 Skala dan Plat skala pada alat ukur

Ketelitian hasil ukur ditentukan oleh 2 (dua) hal, yaitu :

- Kondisi alat ukur, yaitu ketelitiannya harus sesuai dengan yang dipersyaratkan untuk pengukuran pada pemeliharaan kubikel.

- Ketelitian alat ukur dapat berkurang disebabkan antara lain, umur alat ukur yang memang sudah melebihi yang direncanakan sehingga mengalami kerusakan atau sumber listrik yang harusnya terpasang dengan kondisi tertentu, sudah tidak memenuhi seperti yang dipersyaratkan.
- Operator atau pengguna alat ukur tidak memahami cara yang benar, sehingga terjadi kesalahan pemakaian atau cara membaca skala salah padahal alat ukur pada kondisi yang baik.
- Alat ukur yang dimaksud disini selain merupakan alat yang menghasilkan nilai dengan satuan listrik maupun mekanik, ada alat yang hanya menunjukkan indikasi benar atau tidaknya suatu rangkaian / sirkuit. Alat seperti ini disebut dengan indikator.

Tabel 2.4. Klas ketelitian alat ukur dan penggunaannya.

Klas	Kesalahan yang diijinkan (%)	Penggunaan	Keterangan
0,1	$\pm 0,1$	Laboratorium	Presisi
0,2	$\pm 0,2$	Laboratorium	Presisi
0,5	$\pm 0,5$	Laboratorium	Menengah
1,0	$\pm 1,0$	Industri	Menengah
1,5	$\pm 1,5$	Industri	Menengah
2,0	$\pm 2,0$	Industri	Menengah
2,5	$\pm 2,5$	Industri	Menengah
3,0	$\pm 3,0$	Hanya untuk cek	Rendah
5,0	$\pm 5,0$	Hanya untuk cek	Rendah

Kepekaan

Kepekaan ialah perbandingan antara besaran akibat (response) dan besaran yang diukur. Kepekaan ini mempunyai satuan, misalnya mm / μ A. Sering kepekaan ini dinyatakan sebagai sebaliknya. Jadi besarannya / satuannya menjadi μ A / mm atau disebut faktor penyimpangan (kebalikan dari kepekaan).

Resolusi (Deskriminasi)

Resolusi dari suatu alat ukur adalah pertambahan yang terkecil dari besaran yang diukur yang dapat dideteksi alat ukur dengan pasti. Misalnya suatu Volt meter mempunyai skala seragam yang terbagi atas 100 bagian dan berskala penuh sama dengan 200 V. Satu perseratus jelas, maka deskriminasi alat ukur sama dengan 1/100 atau 2 V.

Repeatability

Banyak alat ukur mempunyai sifat bahwa nilai penunjukannya bertendensi bergeser, yaitu dengan satu nilai masukan yang sama, nilai pembacaan berubah dengan waktu. Hal tersebut disebabkan antara lain oleh :

- a. Fluktuasi medan listrik disekitarnya. Untuk mencegah hal ini harus dipasang pelindung.
- b. Getaran mekanis. Untuk menghindari hal ini dipasang peredam getaran.
- c. Perubahan suhu. Dalam hal ini ruangan diusahakan suhunya tetap dengan cara pemasangan alat pendingin (AC).

Sehingga dalam pengukuran sebaiknya perlu diperhatikan kondisi alat ukur dengan memperhatikan syarat-syarat dari alat ukur, yaitu :

- Alat ukur tidak boleh membebani / mempengaruhi yang diukur atau disebut mempunyai impedansi masuk yang besar
- Mempunyai keseksamaan yang tinggi, yaitu alat harus mempunyai ketepatan dan ketelitian yang tinggi (mempunyai accuracy error dan precision error yang tinggi)
- Mempunyai kepekaan (sensitifitas) yang tinggi, yaitu batas input signal yang sekecil-kecilnya sehingga mampu membedakan gejala-gejala yang kecil
- Mempunyai stabilitas yang tinggi sehingga menolong dalam pembacaan dan tidak terganggu karena keadaan yang tidak dikehendaki
- Kemampuan baca (readibilitas) yang baik, hal ini banyak tergantung dari skala dan alat penunjuknya serta piranti untuk menghindari kesalahan paralak.
- Kemantapan (realibilitas) alat yang tinggi, yaitu alat yang dapat dipercaya kebenarannya untuk jangka waktu yang lama.

Efisiensi Alat Ukur

Efisiensi dari alat ukur didefinisikan sebagai perbandingan antara nilai pembacaan dari alat ukur dan daya yang digunakan alat ukur pada saat bekerja untuk pengukuran tersebut. Biasanya

diambil dalam keadaan pengukuran pada skala penuh. Adapun satuannya adalah besaran yang diukur per Watt. Efisiensi suatu alat ukur harus sebesar mungkin. Pada Voltmeter efisiensi dinyatakan dalam Ohm per Volt.

$$E_{vm} = \frac{V_{fs}}{P_{fs}} = \frac{I_{fs} \cdot R_m}{I_{fs} \cdot V_{fs}} = \frac{R_m}{V_{fs}}$$

Dimana : E_{vm} = Efisiensi Volt meter

V_{fs} = Penunjukkan Volt meter pada skala penuh

P_{fs} = Daya yang diperlukan pada penunjukkan Volt meter pada skala penuh.

I_{fs} = Arus yang mengalir pada penunjukkan volt meter pada skala penuh.

R_m = Tahanan dalam dari volt meter.

Efisiensi biasanya tidak dinyatakan pada spesifikasi suatu alat ukur, tetapi dapat dihitung, jika impedansi dari alat ukur dan arus yang mengalir pada skala penuh diketahui atau tegangan yang dipasang diketahui.

Volt meter dengan efisiensi yang tinggi misalnya disyaratkan pada pengukuran rangkaian elektronik, dimana arus dan daya biasanya terbatas.

Macam-macam alat Ulat ukur dan pengukurannya.

Menurut macam arus :

- Arus searah

- Arus bolak balik
- Arus searah dan arus bolak balik

Menurut tipe / jenis

- Tipe Jarum Petunjuk

Harga / nilai hasil ukur yang dibaca adalah yang ditunjuk oleh jarum petunjuk, harga tersebut adalah harga sesaat pada waktu meter tersebut dialiri arus listrik

- Tipe Recorder

Harga / nilai hasil ukur yang dibaca adalah harga yang ditulis / dicatat pada kertas, pencatat ini dilakukan secara otomatis dan terus menerus selama meter tersebut dialiri arus listrik.

- Tipe Integrator

Harga / nilai hasil ukur yang dibaca adalah harga dari hasil penjumlahan yang dicatat pada selang waktu tertentu selama alat tersebut digunakan

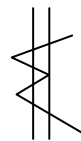
- Digital

Harga / nilai hasil ukur yang dibaca adalah harga sesaat

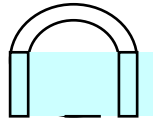
Menurut prinsip kerja :

Besi putar, tanda (S)

Prinsip kerja : gaya elektromagnetik pada suatu inti besi dalam suatu medan magnet. (kumparan tetap, besi yang berputar) penggunaan pada rangkaian AC/DC.

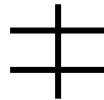


Kumparan putar, tanda (M)



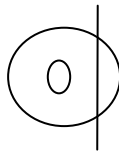
Prinsip kerja : gaya elektromagnetik antar medan magnet suatu tetap dan arus (kumparan berputar magnet tetap), penggunaan pada rangkaian DC, alat ukur yang menggunakan sistem ini VA/Ω .

Elektrodinamik, tanda (D)



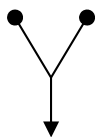
Prinsip kerja: gaya elektromagnetik antar arus-arus. (kumparan tetap & kumparan berputar), pemakaian pada rangkaian AC/DC, alat yang menggunakan sistem ini $V/A / W / F$.

Induksi, tanda (I)



Prinsip kerja : gaya elektromagnetik yang ditimbulkan oleh medan magnet bolak-balik dan arus yang terimbas oleh medan magnet, (arus induksi dalam hantaran).

Kawat panas



Prinsip kerja : gerakan jarum diakibatkan oleh pemuatan panas dan tarikan pegas, (pemakaian pada rangkaian AC/DC, alat yang

menggunakan sistem ini $A/V/$.

Menurut sumber tegangan :

=	Pengukur untuk kebesaran-kebesaran arus searah	DC
≈	Pengukur untuk kebesaran arus bolak-balik	AC
= ≈	Pengukur untuk kebesaran arus searah dan bolak-balik	DC/AC
3 ≈	Pengukur phasa tiga	AC 3

Menurut tegangan pengujiannya :



Tegangan uji 2 kv



Tegangan uji 3 kv



Tegangan uji 4 kv

Menurut Posisi Pengoperasian

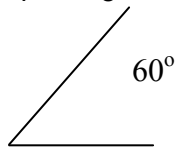
Dipasang untuk posisi mendatar .



Di pasang dengan posisi tegak.



Di pasang dengan posisi miring 60°



Menurut sifat penggunaannya Portable

Alat ini mudah dipergunakan dan dibawa pergi kemana-mana sesuai kehendak hati kita dalam pengukuran.

Papan hubung/panel

Alat ini dipasang pada panel secara permanent atau tempat-tempat tertentu, sehingga tidak dapat dibawa pergi untuk mengukur ditempat lain.

Menurut besaran yang diukur

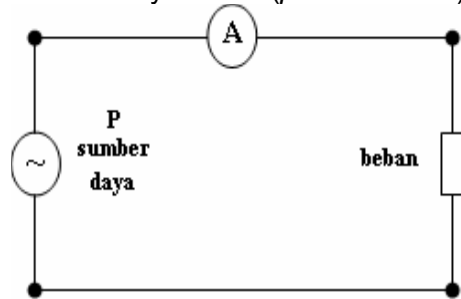
Nama Alat Ukur	Besaran yang diukur	Tanda Satuan	Rangkaian Penggunaan	Keterangan
Amper Meter	Arus	A	AC & DC	V/R
Volt Meter	Tegangan	V	AC & DC	I.R
Watt Meter	Daya	W	AC & DC	V.I
Ohm Meter	Tahanan	Ohm	DC	V/I
kWh Meter	Energi	kWh	AC & DC	V.I.t cosφ
kVArh Meter	Energi	kVArh	AC & DC	V.I.t sinφ
Frekwensi	Getaran/detik	Hz	AC	-
Cos Phi Meter	Faktor Kerja	Cos phi	AC	-

Menurut pengawatannya Ampere-meter .

Alat ukur ini digunakan untuk mengetahui besarnya arus/aliran listrik baik berupa :

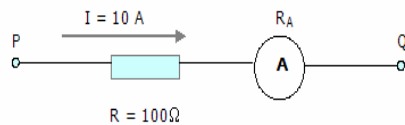
- Arus listrik yang diproduksi mesin pembangkit
 - Arus listrik yang didistribusikan ke jaringan distribusi
- Cara penyambungan dari ampere meter adalah dengan

menghubungkan seri dengan sumber daya listrik (*power source*).



Gambar 2.2 Pemasangan Amperemeter

Amperemeter harus dihubungkan seri dengan rangkaian yang akan diukur karena mempunyai tahanan dalam (R_A) yang kecil sehingga apabila amperemeter dihubungkan paralel akan terjadi dua aliran (I_1 dan I_2), karenanya pengukuran tidak benar (salah) akan tetapi merusak amperemeter karena dihubungkan singkat dengan baterai/tegangan sumber alat ukur tersebut.



Gambar 2.3 Amperemeter dan tahanan

1. Amperemeter 1 (A_1) $\Rightarrow$

$$R_A = 100 \Omega$$

Tegangan antara P dan Q tetap 1000 volt

$$R_{eq} = 100 \Omega + 100 \Omega = 200 \Omega$$

$\Rightarrow$

$$I = \frac{1000}{200} = 5 \text{ Amper}$$

2. Amperemeter 2 (A_2) $\Rightarrow$

$$R_A = 10 \Omega$$

Tegangan antara P dan Q tetap 1000 volt

$$R_{eq} = 100 \Omega + 10 \Omega = 110 \Omega$$

$\Rightarrow$

$$I = \frac{1000}{110} = 9.09 \text{ Amper}$$

3. Amperemeter 3 (A_3) $\Rightarrow$

$$R_A = 0,1 \Omega$$

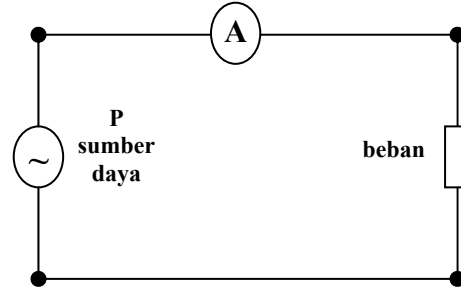
Tegangan antara P dan Q tetap 1000 volt

$$R_{eq} = 100 \Omega + 0,1 \Omega = 100,1 \Omega$$

$$\Rightarrow I = \frac{1000}{100,1} = 9,99 \text{ Amper}$$

Tahanan amperemeter harus kecil, agar pengaruh terhadap rangkaian kecil. Juga harus kecil agar daya yang hilang menjadi kecil

$$P_{losses} = I^2 R_A$$



Gambar 2.4 Amperemeter dan Beban

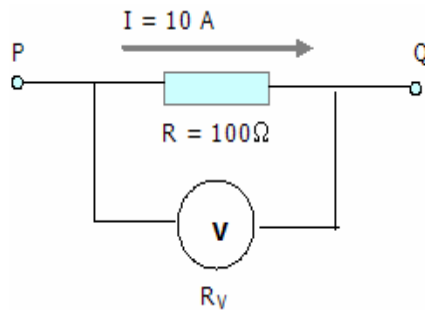
Volt-meter Meter .

Alat ukur ini digunakan untuk mengetahui besarnya tegangan

Cara penyambungan dari Volt-meter adalah dengan menghubungkan paralel dengan sumber daya listrik (*power source*)

Voltmeter harus dihubungkan paralel dengan rangkaian yang

akan diukur karena mempunyai tahanan dalam (R_A) yang besar.



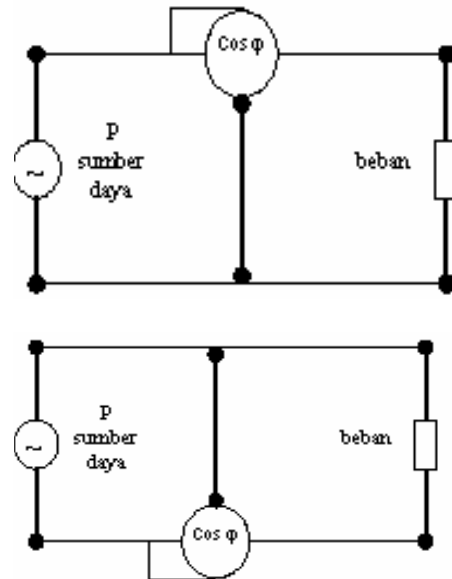
Gambar 2.5 Volt-meter

Tahanan voltmeter harus besar , agar tidak mempengaruhi sistem pada saat digunakan, juga agar daya yang hilang pada voltmeter itu kecil.

$$P_{Losses} = \frac{E^2}{R_V}$$

Cosphi meter ($\cos \phi$).

Alat ini digunakan untuk mengetahui, besarnya factor kerja (power factor) yang merupakan beda fase antara tegangan dan arus. Cara penyambungan adalah tidak berbeda dengan watt meter sebagaimana gambar dibawah ini :



Gambar 2.7 Cosphi meter

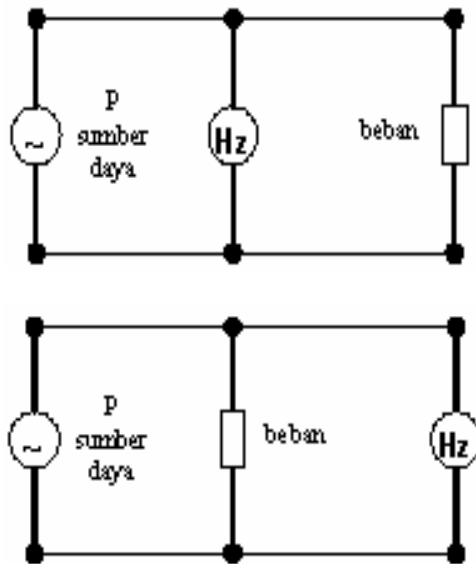
Cos phi meter banyak digunakan dan terpasang pada :

- Panel pengukuran mesin pembangkit
- Panel gardu hubung gardu induk
- Alat pengujian, alat penerangan, dan lain-lain.

2.4. Frekwensi Meter

Frekwensi meter digunakan untuk mengetahui frekwensi (berulang) gelombang sinusoidal arus bolak-balik yang merupakan jumlah siklus sinusoidal tersebut perdetiknya (cycle / second).

Cara penyambungannya adalah sebagai berikut :

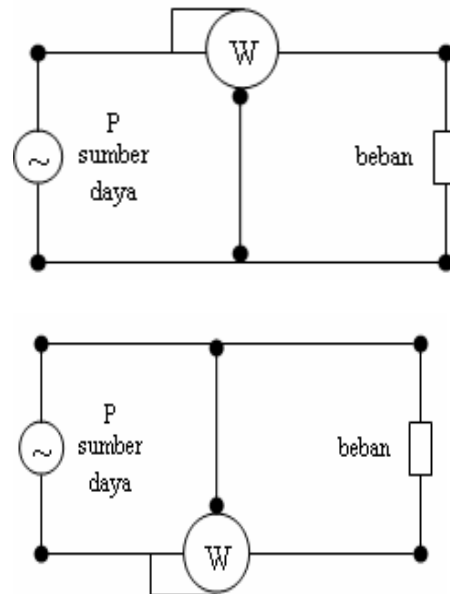


Gambar 2.8 Pemasangan Frekwensi meter

Frekwensi meter mempunyai peranan cukup penting khususnya dalam mensinkronisasikan (memparalelkan) 2 unit mesin pembangkit dan stabilnya frekwensi merupakan petunjuk kestabilan mesin pembangkit.

Watt Meter

Alat ukur ini untuk mengetahui besarnya daya nyata (daya aktif). Pada watt meter terdapat spoel/belitan arus dan spoel/ belitan tegangan, sehingga cara penyambungan watt pada umumnya merupakan kombinasi cara penyambungan volt meter dan ampere meter sebagaimana pada gambar dibawah ini :

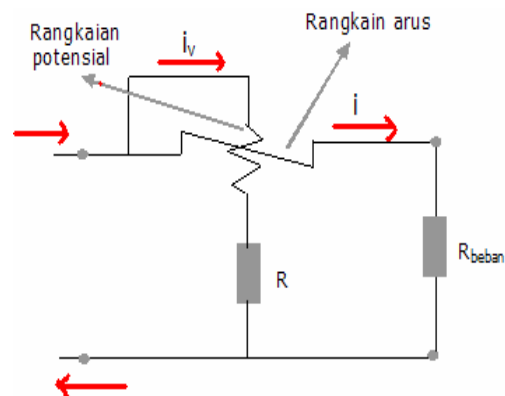


Gambar 2.9 Pemasangan Watt meter

Jenis lain dari watt meter berdasarkan besarnya adalah :

- kW – meter (kilo watt meter)
- MW – meter (mega watt meter)

Alat untuk mengukur daya pada beban atau pada rangkaian daya itu adalah nilai-nilai rata-rata dari perkalian $e \cdot i$, yaitu nilai sesaat dari tegangan dan arus pada beban atau rangkaian tersebut



Gambar 2.10 Rangkaian wattmeter

Rangkaian potensial wattmeter dibuat bersifat resistif, sehingga arus dan

tegangan pada rangkaian tersebut satu fasa i_v satu fasa dengan e karena

$$Z_v = R_v$$

Wattmeter yang didasarkan atas instruments elektrodinamik .

Torsi pada alat ini adalah

$$\tau_d = K \cdot \frac{dM}{d\theta} \cdot i_1 i_2$$

Maka

$$\tau_d = K \cdot \frac{dM}{d\theta} \cdot i_v \cdot i$$

$$\text{dimana } i_v = \frac{e}{Z_v} = \frac{e}{R_v} \Rightarrow$$

$$i \tau_d = K \cdot \frac{dM}{d\theta} \cdot \frac{e}{R_v}$$

Nilai rata-rata dalam 1 (satu) Siklus (Cycle) :

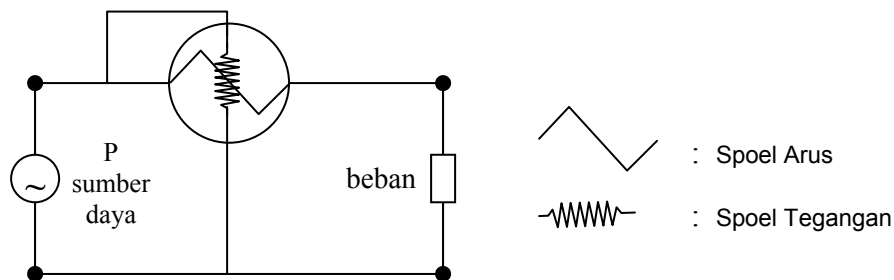
$$\tau_d \text{ rata-rata} = \frac{1}{T} \int_0^T K \cdot \frac{dM}{d\theta} \cdot \frac{e \cdot i}{R_v} \cdot dt$$

2.5. KWH – Meter

Kwh meter digunakan untuk mengukur energi arus bolak balik, merupakan alat ukur yang sangat penting, untuk Kwh yang diproduksi, disalurkan ataupun kWh yang dipakai konsumen-konsumen listrik. Alat ukur ini sangat populer dikalangan masyarakat umum, karena banyak terpasang pada rumah-rumah penduduk (konsumen listrik) dan menentukan besar kecilnya rekening listrik si pemakai.

Mengingat sangat pentingnya arti kWh meter ini baik bagi PLN ataupun sipemakai, maka agar diperhatikan benar cara penyambungan alat ukur ini.

Gambar penyambungan adalah sebagai berikut



Gambar 2.12 KWH – Meter

2.6 Megger

Megger dipergunakan untuk mengukur tahanan isolasi dari alat-alat listrik maupun instalasi-instalasi, output dari alat ukur ini

umumnya adalah tegangan tinggi arus searah, yang diputar oleh tangan.

Besar tegangan tersebut pada umumnya adalah : 500, 1000, 2000

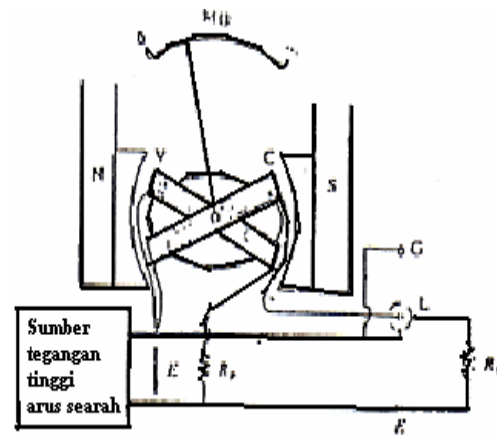
atau 5000 volt dan batas pengukuran dapat bervariasi antara 0,02 sampai 20 meter ohm dan 5 sampai 5000 meter ohm dan lain-lain sesuai dengan sumber tegangan dari megger tersebut.

Dengan demikian, maka sumber tegangan megger yang dipilih tidak hanya tergantung dari batas pengukur, akan tetapi juga terhadap tegangan kerja (sistem tegangan) dari peralatan ataupun instansi yang akan diuji isolasinya.

Dewasa ini telah banyak pula megger yang mengeluarkan tegangan tinggi, yang didapatkannya dari baterai sebesar 8 – 12 volt (megger dengan sistem elektronis). Megger dengan baterai umumnya membangkitkan tegangan tinggi yang jauh lebih stabil dibanding megger dengan generator yang diputar dengan tangan. Gambar rangkaian dasar megger adalah seperti gambar 2.13

Megger ini banyak digunakan petugas dalam mengukur tahanan isolasi anata lain untuk

- Kabel instalasi pada rumah-rumah / bangunan
- Kabel tegangan rendah
- Kabel tegangan tinggi
- Transformator, OCB dan peralatan listrik lainnya.



Gambar 2.13 Rangkaian dasar megger

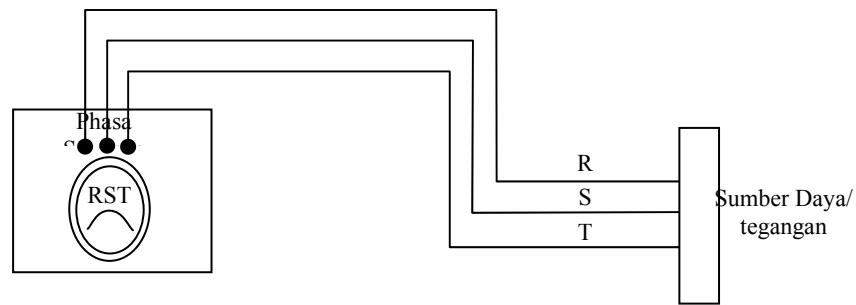
2.7. Phasa Squence

Alat ukur ini digunakan untuk mengetahui benar/tidaknya urutan phasa sistem tegangan listrik tiga - phasa. Alat ini sangat penting arti khususnya dalam melaksanakan penyambungan gardu-gardu ataupun konsumen listrik, karena kesalahan urutan phasa dapat menimbulkan :

- Kerusakan pada peralatan/ mesin antara lain putaran motor listrik terbalik
- Putaran piringan kWh meter menjadi lambat ataupun terhenti sama sekali, dll

Cara penyambungannya phasa squence

Adalah sebagaimana terlihat pada gambar 2.14 .berikut ini



Gambar 2.14. Cara penyambungan phasa squence

Sesuai dengan keterangan diatas alat ukur ini sangat diperlukan petugas dalam melaksanakan penyambungan listrik pada :

- Pusat-pusat pembangkit, gardu hubung, Gardu induk, gardu distribusi, konsumen listrik lainnya.

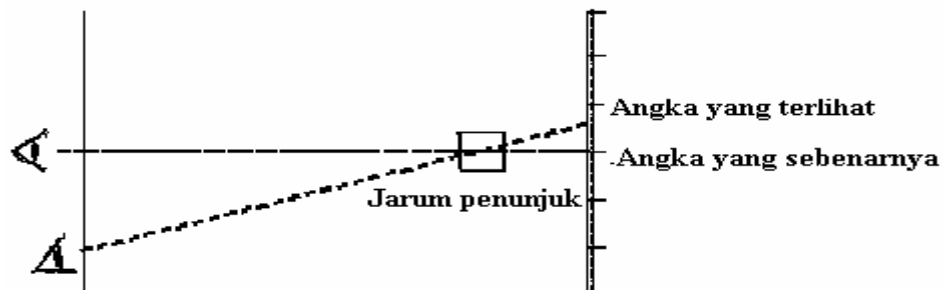
Cara pengukuran

Untuk mengetahui dan bagaimana memilih alat ukur yang akan dipergunakan sesuai dengan kebutuhan lapangan, berikut dijelaskan tentang cara pembacaan

dan pengertian simbol-simbol maupun kode non teknis yang terdapat pada alat ukur.

Posisi pembacaan

Pembacaan harga pada alat ukur secara cermat harus dilakukan dengan melihat tepat diatas jarum penunjuk. Dengan demikian dibaca harga pada garis skala yang tertulis tepat dibawah runcing jarum. Bila tidak melihat tepat diatas penunjuk akan terbaca harga sebelah kiri atau disebelah kanan dari garis sebenarnya, kesalahan ini disebut paralaks.

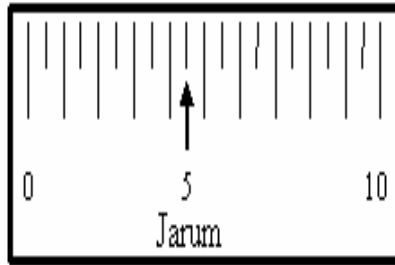


Gambar 2.15 Posisi pembacaan meter

Untuk menghindari paralaks tersebut runcing jarum dari alat cermat dibuat berupa sayap tipis dan dipasang cermin kecil dibawah

runcing jarum skala. Dalam posisi baca yang benar, maka jarum runcing dan bayangannya pada cermin harus tepat satu garis tipis.

Contoh cara membaca skala pada alat ukur :



Gambar 2.15 pembacaan meter

2.8. pengukuran besaran listrik

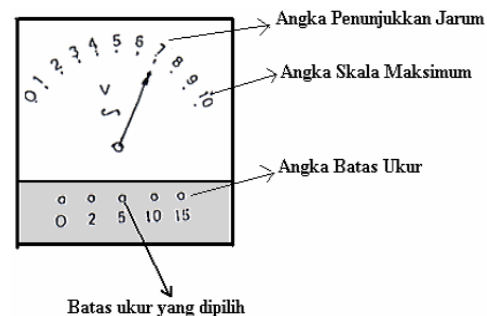
Setiap alat ukur mempunyai batas ukur tertentu, yang artinya alat ukur tersebut hanya mampu mengukur sampai harga maksimal tertentu dimana jarum petunjuk akan menyimpang penuh sampai pada batas maksimal dari skala.

Alat-alat ukur yang terpasang tetap pada panel pada umumnya mempunyai satu macam batas ukur saja dikarenakan besaran yang akan diukur nilainya tidak akan berubah dari nilai yang ada pada batas ukur meter tersebut, sedangkan alat ukur kerja menyediakan beberapa pilihan batas ukur, karena besaran yang akan diukur belum diketahui sebelumnya.

Cara merubah batas ukur dilakukan dengan menambah atau mengurangi tahanan dari resistor sebelum besaran listrik masuk ke komponen utama alat ukur dengan perbandingan nilai tertentu terhadap nilai tahanan alat ukur, sehingga besaran sebenarnya yang masuk pada komponen utama alat ukur tetap pada batas semula.

Perubahan batas ukur arus dilakukan dengan cara memasang secara paralel Resistor, sehingga arus yang terukur dibagi dengan perbandingan tertentu antara yang melewati resistor dan yang melewati komponen utama alat ukur. Semakin kecil nilai resistor, maka batas ukur menjadi lebih besar.

Sedangkan untuk merubah batas ukur tegangan dilakukan dengan cara memasang secara seri resistor, sehingga nilai tegangan sebelum masuk ke dalam alat ukur dapat lebih besar. Semakin besar nilai resistor, maka batas ukur menjadi semakin besar



Gambar.2. 16 batas ukur meter

Petunjuk jarum petunjuk pada angka 7. skala maksimum 10. seandainya kita tentukan batas ukur pada angka 5 maka harga sebenarnya yang ditunjuk oleh angka 7 adalah sebagai berikut

$$Hs = \frac{P}{SM} \times BU$$

Jadi
$$Hs = \frac{7}{10} \times 5V = 3,5V$$

Dimana : Hs = harga sebenarnya
 BU = batas ukur.
 P = penunjuk jarum.
 SM = skala maksimum

Prinsip kerja alat ukur

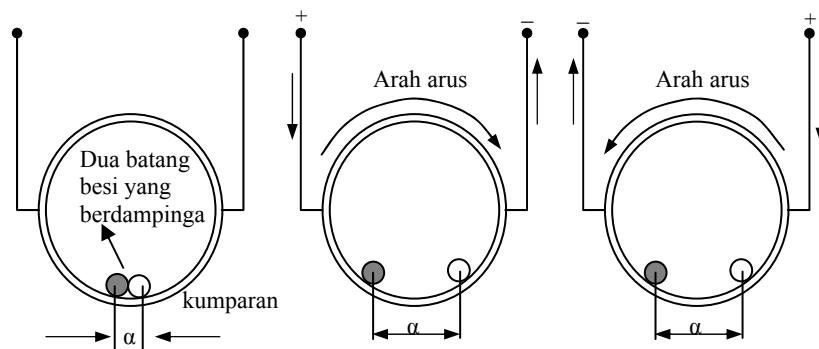
Prinsip kerja yang paling banyak dari alat – alat ukur tersebut adalah :

- kWh dan kVAh meter : sistem induksi
- kW /kVA maksimum meter : sistem elektro dinamis
- Volt meter : sistem elektro magnet, kumparan putar, besi putar
- Amper meter : sistem elektro magnet, kumparan putar

Prinsip kerja besi putar

Alat ukur dengan prinsip kerja besi putar atau disebut juga sistem elektro magnet adalah sesuatu alat ukur yang mempunyai kumparan

tetap dan besi yang berputar. Bila sebuah kumparan dan didalamnya terdapat besi, maka besi tersebut akan menjadi magnet. Jika di dalam kumparan tersebut diletakkan dua batang besi maka kedua-duanya akan menjadi magnet sehingga kedua batang besi tersebut akan saling tolak menolak, karena ujung-ujung kedua batang besi tersebut mempunyai kutub yang senama. Prinsip kerja tersebut diterapkan pada sistem elektro magnet dengan mengganti besi tersebut dengan 2 buah plat besi yang satu dipasang tetap (diam) sedang yang lain bergerak dan dihubungkan dengan jarum petunjuk.



Gambar 2-18 Prinsip kerja besi putar

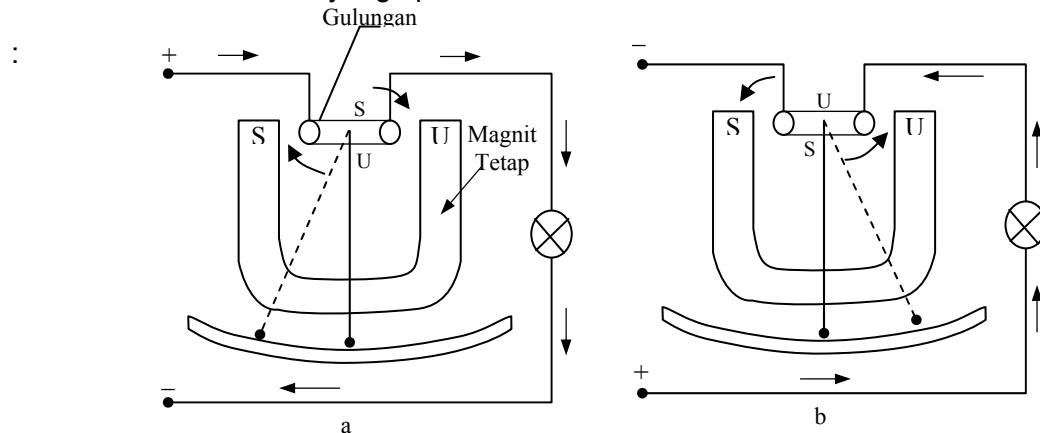
Arus yang diukur melalui kumparan yang tetap dan menyebabkan terjadinya medan magnet. Potongan besi ditempatkan di medan magnet, magnet tersebut dan menerima gaya elektromagnetis. Alat ukur dengan tipe besi putar ini adalah sederhana dan kuat dalam konstruksi, murah dan dengan demikian mendapatkan penggunaan-penggunaan yang

sangat besar, sebagai alat pengukur untuk arus dan tegangan pada frekwensi-frekwensi yang dipakai pada jaring-jaring distribusi yang didapat di kota-kota.

Suatu keuntungan lain bahwa alat pengukur ini dapat pula dibuat sebagai alat pengukur yang mempunyai sudut yang sangat besar.

2.9. Prinsip kerja kumparan putar

Alat ukur sistem kumparan putar ini adalah alat ukur yang mempunyai kutub magnet permanent dan kumparan yang berputar. Besi magnet adalah permanent berbentuk kaki kuda yang pada



Gambar 2-19 Prinsip kerja kumparan putar

Alat ukur kumparan putar adalah alat ukur penting yang dipakai untuk kumparan bermacam arus, tidak hanya untuk arus searah, akan tetapi dengan alat pertolongan lainnya, dapat pula dipakai untuk arus bolak-balik.

Pemakaian dari alat ukur kumparan putar adalah sangat luas, mulai dari alat-alat ukur yang ada di laboratorium sampai pada alat ukur di dalam pusat-pusat pembangkit listrik.

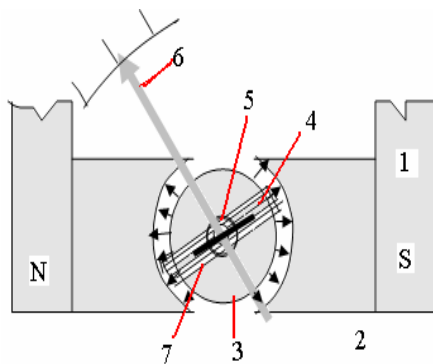
Pada gambar 2.20 berikut ini diperlihatkan adanya magnet yang permanen (1), yang mempunyai kutub-kutub (2), dan diantara kutub-kutub tersebut ditempatkan suatu silinder inti besi (3).

Penempatan silinder inti besi (3), tersebut diatas ini, diantara kedua kutub magnet, utara dan selatan, akan menyebabkan bahwa,

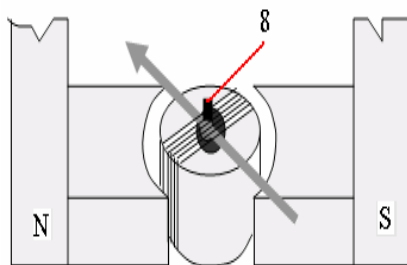
kutub-kutubnya dilengkapi dengan lapis-lapis kutub, dan di dalam lapang magnetis antara lapisan kutub tersebut dipasang sebuah kumparan yang dapat berkeliling poros. Arus yang dialirkan melalui kumparan akan menyebabkan kumparan tersebut berputar

dicelah udara antara kutub-kutub magnet dan silinder inti besi akan berbentuk medan magnet yang rata, yang masuk melalui kutub-kutub tersebut. Kedalam silinder, secara radial sesuai dengan arah-arah panah. Dalam selah udara ini ditempatkan kumparan putar (4), yang dapat berputar melalui sumbu (8).

Bila arus searah yang tidak diketahui besarnya mengalir melalui kumparan tersebut, suatu gaya elektromagnetis f yang mempunyai arah tertentu akan dikenakan pada kumparan putar sebagai hasil interaksi antar arus dan medan magnet. Arah dari gaya f dapat ditentukan menurut ketentuan tangan dari Fleming (lihat gambar berikutnya)

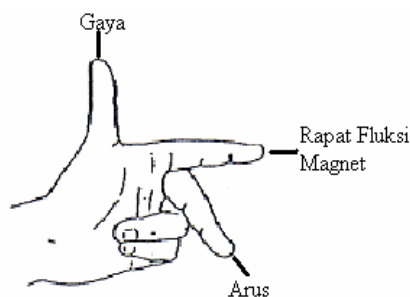


Gambar 2. 20 Bahagian meter

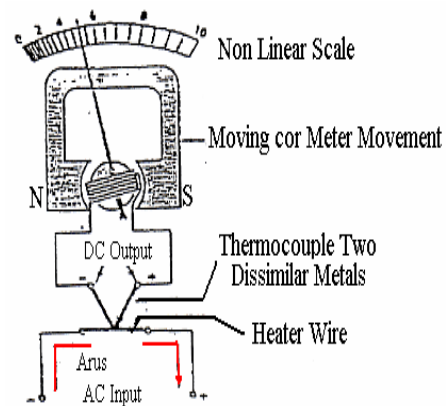


Gambar 2.21. Prinsip kerja alat ukur jenis kumparan putar

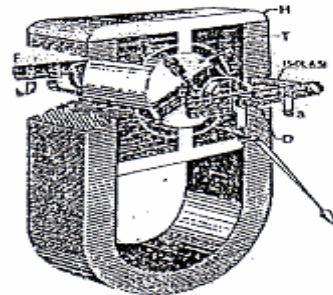
- | | |
|--------------------------|-------------------|
| 1. Magnet tetap | 5. Pegas spiral |
| 2. Kutub sepatu | 6. Jarum penunjuk |
| 3. Inti besi lunak | |
| 4. Kumparan putar | |
| 7. Rangka kumparan putar | |
| 8. Tiang poros | |



Gambar 2.22. Prinsip kerja meter



Gambar 23 Bentuk Lain Konstruksi Kumparan Putar



Gambar 2.24. Konstruksi Kumparan Putar

2. 10. Sistem induksi

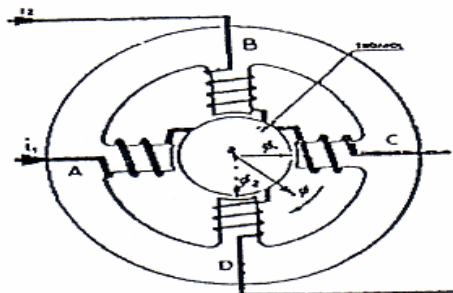
Alat ukur dengan sistem induksi atau dikenal dengan system Ferraris ini mempunyai prinsip kerja sebagai berikut :

Bila pada piringan yang terbuat dari bahan penghantar tetapi non feromagnetik misalnya aluminium atau tembaga ditempatkan dalam medan magnet arus bolak balik, maka akan dibangkitkan arus pusar pada piringan tersebut.

Arus pusar dan medan magnet dari arus bolak balik yang menyebabkannya akan menimbulkan interaksi yang menghasilkan torsi gerak pada

piringan, dan prinsip ini akan mendasari kerja dari pada alat ukur induksi. Atau dengan kata lain bila didalam medan magnet dengan garis gaya magnet dengan arah yang berputar, dipasang sebuah tromol yang berbentuk silinder, tromol tersebut akan turut berputar menurut arah putaran garis-garis gaya magnet tadi, medan magnet ini dinamakan alat ukur medan putar atau alat ukur induksi, bisa juga disebut **alat ukur Ferraris**

Alat ukur ini dapat diklasifikasikan pada medan yang bergerak. Prinsip ini digunakan pada alat ukur energi (kWh meter) arus bolak balik. Gambar tengah menunjukkan arah Φ_1 dan Φ_2 dalam ruangan A, B, C, D, kedua medan itu dilukiskan sebagai vektoris Φ_1 dan Φ_2 pada suatu periode penuh. Dari gambar tersebut tampak jelas bahwa medan magnet total mempunyai arah yang berputar pada poros (a) dengan kecepatan sama dengan arus bolak balik dinding tromol aluminium terpotong. Oleh garis gaya dari medan putar sehingga dalam tromol terbangkit tegangan dan arus induksi atau arus pusar.



Gambar 2.25 Azas Alat Ferraris atau Alat Induksi

Menurut hukum *LENZ* aliran induksi dengan arah sedemikian rupa sehingga selalu melawan penyebabnya, karena induksi itu dibangkitkan oleh pemotong garis-garis gaya yang berputar, maka tromol aluminium akan berputar dengan arah yang sama dengan arah putaran garis-garis gaya tersebut.

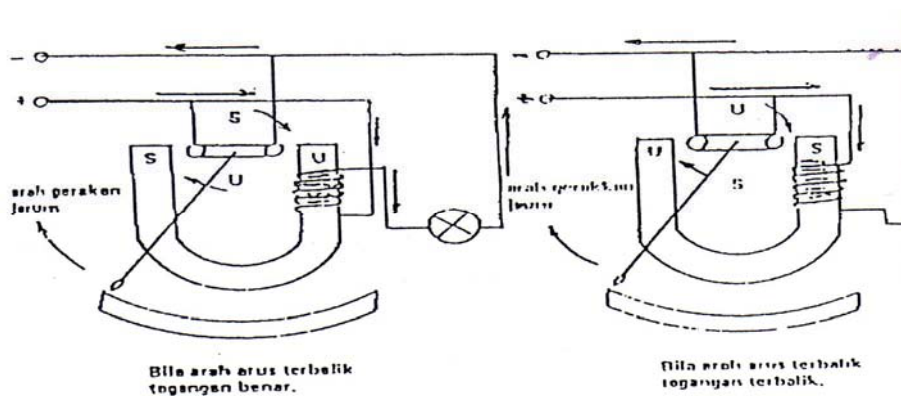
Pada alat ukur jarum putaran tromol ditahan oleh pegas spiral, sehingga putarannya pada jarak tertentu sesuai dengan garis skalanya. Oleh karena sistem induksi ini bekerja dengan medan putar yang dibangkitkan oleh arus bolak-balik, maka jika tanpa alat Bantu atau alat tambahan lainnya maka alat ukur ini hanya dipergunakan pada sumber arus bolak-balik saja.

2.11 Sistem elektro dinamis

Alat ukur elektro dinamis adalah alat ukur yang mempunyai kumparan tetap dan kumparan putar.

Sistem kerjanya sama dengan sistem kumparan berputar tetapi magnet tetap diganti dengan magnet listrik.

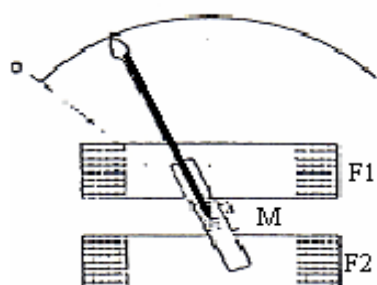
Berdasarkan kaidah tangan kanan pada gambar 2.26 a jarum akan menyimpang kekanan, bila arus dibalik arahnya pada gambar 2.26 b maka jarum akan tetap menyimpang kekanan. Baik arah arus berganti-ganti arah jarum tetap menyimpang ke satu arah



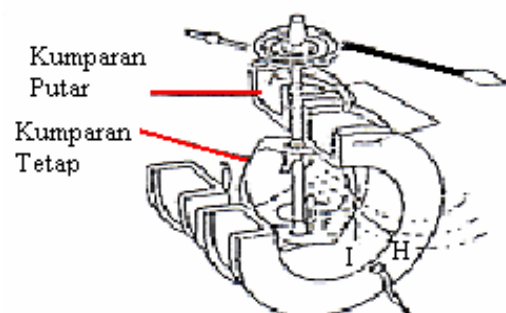
Gambar 2.26.a

Gambar 2.26.b

Alat ukur tipe elektrodinamis ini, dapat dipergunakan untuk arus bolak-balik, atau arus searah, dan dapat dibuat dengan persisi yang baik, dan telah pula banyak dipergunakan dimasa-masa yang lalu. Akan tetapi pemakaian daya sendirinya tinggi, sedangkan alat ukur prinsip yang lain telah dapat pula dibuat dengan persisi tinggi, maka pada saat ini alat ukur elektrodinamis kurang sekali dipergunakan sebagai alat ukur ampere maupun volt, akan tetapi penggunaannya masih sangat luas sebagai alat pengukur daya atau lazim disebut **pengukur watt**.



Gambar 2.27 Jarum Penunjuk



Gambar 2.28 kumparan meter

F = Arah dari gaya
I = Arah dari arus
H = Arah dari Fluksi magnet

Gambar Prinsip suatu alat ukur elektrodinamis

Seperti diperlihatkan dalam gambar diatas suatu kumparan putar M ditempatkan diantara kumparan-kumparan putar F_1 dan F_2 . bila arus I_1 melalui kumparan yang tetap dan arus I_2 melalui kumparan yang berputar, maka kepada kumparan yang berputar akan dikenakan gaya elektromagnetis, yang berbanding lurus dengan hasil kali dari i_1 dan i_2 . Misalkan sekarang, bahwa kumparan yang berputar terdapat

dalam medan magnet hampir-hampir rata yang dihasilkan oleh kumparan-kumparan tetap.

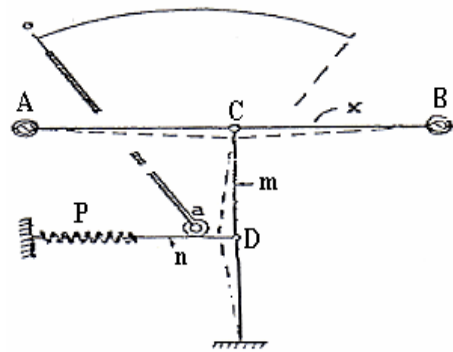
2.12. Prinsip kawat panas

Jika sepotong kawat logam dialiri arus listrik yang cukup besar, kawat tersebut akan menjadi panas, oleh sebab itu akan memuai (menjadi lebih panjang). Pemuaian tersebut digunakan untuk menggerakkan jarum petunjuk. Pada gambar berikut terlihat sepotong kawat logam campuran dari logam platina dan iridium yang direntangkan pada A-B, pada waktu tiada arus ($I = 0$) jarum petunjuk tepat ditengah-tengah (angka 0). Jika kita alirkan arus searah dari A ke B sehingga kawat A – B menjadi memuai dan lebih panjang, ternyata jarum tidak menunjuk 0, tetapi menyimpang kearah kanan. Hal ini disebabkan karena kawat A – B menjadi lebih panjang dan ditarik oleh pegas sehingga memutar poros jarum.

Baik arus searah tersebut mengalir dari A – B maupun dari B ke A jarum tetap menyimpang kearah kanan (lihat gambar bawah).

Kesimpulan :

Prinsip ini dapat dipakai untuk searah dan bolak-balik.



Gambar -2.29 kawat panas

Keterangan :A & B = baut terminal

m = kawat penarik

C = tempat pengikat

n = tali penarik

x = kawat panas

D = ikatan tali

P = pegas

A = poros pengguling

2.13. Alat ukur sistem elektronik

Sesuai dengan perkembangan dan kemajuan teknologi khususnya dalam bidang elektronik tak tertinggal pula kesertaan dari pada alat-alat ukur elektronik, pada laboratorium dan industri-industri banyak menggunakan alat ukur tipe ini, karena memerlukan kecermatan dalam petunjukan, untuk harga relative mahal dibandingkan dengan alat ukur yang bukan elektronik, pada umumnya alat ukur elektronik adalah digital, karena penunjukannya berupa nilai angka, maka penggunaan dalam pembacaan sangat sederhana, mudah dicerna.

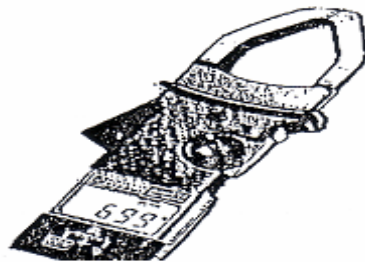
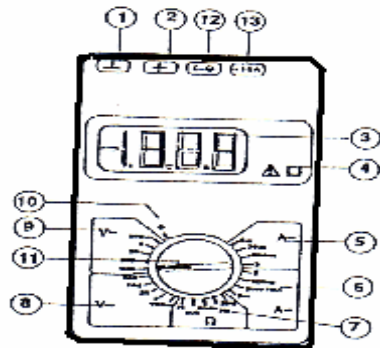
Keuntungan alat ukur elektronik :

- Portable
- Kecermatan tinggi mencapai factor kesalahan 0,1 – 0,5 %

- Kedudukan atau posisi alat ukur tidak mempengaruhi penunjukan.

Kelemahannya.

- Dapat dipengaruhi oleh temperature ruangan yang tinggi
- Tidak boleh ditempatkan pada ruangan yang lembab / basah
- Harga relative mahal



Gambar 2.30 Alat Ukur tang Ampere Digital

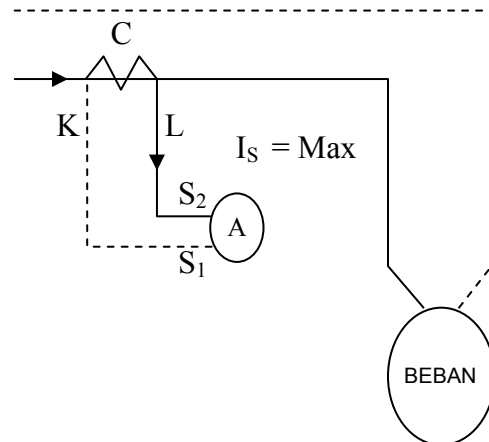
2.14. Alat ukur dengan menggunakan trafo ukur .

Untuk mengukur satuan listrik dengan besaran yang lebih besar, maka alat ukur mempunyai keterbatasan. Karena semakin tinggi besaran yang diukur secara langsung diperlukan peralatan dengan ukuran fisik yang lebih besar. Hal ini tentu tidak dimungkinkan, maka penggunaan alat bantu berupa trafo-ukur sangat diperlukan. Dengan demikian cara

pembacaannya menjadi tidak langsung, karena harus dikalikan dengan perbandingan penurunan besaran listrik yang diakibatkan oleh trafo-ukur tersebut.

Ada 2 (dua) macam trafo ukur yang digunakan untuk pengukuran, yaitu trafo arus dan trafo tegangan .

- Trafo arus digunakan untuk menurunkan arus dengan perbandingan transformasi tertentu dan sekaligus mengisolasi peralatan ukur dari tegangan sistem yang diukur
- Trafo tegangan digunakan untuk menurunkan tegangan sistem dengan perbandingan transformasi tertentu.



Gambar.2.31.Sisitim Pengukuran arus Pakai trafo arus.

$$a. \frac{N_s}{N_p} = \frac{I_p}{I_s}$$

$$b. N_s \cdot I_s = N_p \cdot I_p$$

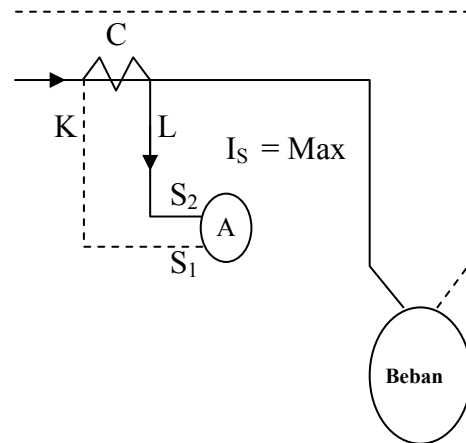
c. $\frac{N_s}{N_p}$ adalah perbandingan teoritis, dimana :

d. $\frac{I_p}{I_s}$ adalah perbandingan praktis,
 dimana : $a = 80$ (lihat gambar)
 karena $N_p = 1$ Jadi $a = 80$
 maka $I_p = N_s \cdot I_s$
 sama juga
 $\frac{N_s}{N_p} = \frac{N_s}{1} = N_s = \frac{I_p}{I_s} = N_s = 80$

$I_p = 80 \cdot 5 = 400 \text{ A}$ (terbukti)

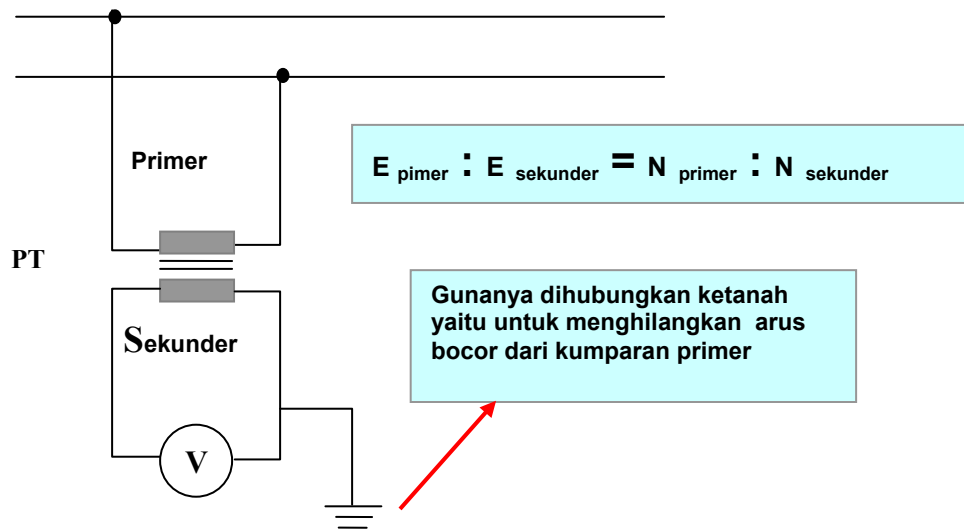
$$a = \frac{N_s}{N_p} = \frac{I_p}{I_s}$$

$a = 1 : 20$
 atau $N_p \cdot I_p = N_s \cdot I_s$
 karena $N_p = 1$
 maka $I_p = N_s \cdot I_s$
 $a = \text{Ratio perbandingan}$

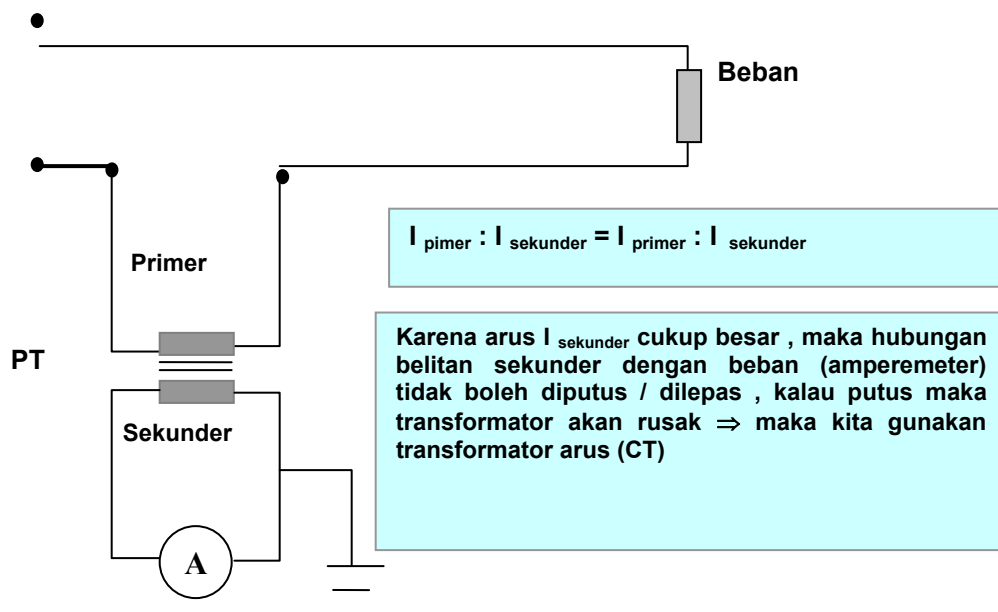


Gambar 2.32 Sisisim Pengukuran arus Pakai trafo arus

Pelaksanaan pengukuran tegangan pada jaringan tegangan tinggi tidak cukup hanya mempergunakan tahanan-tahanan depan yang nilainya besar , tetapi dilaksanakan dengan transformator tegangan (PT) dengan tujuan bahwa memakai pesawat ukur dengan batas normal dapat diukur batas normal dan ukuran yang lebih tinggi, sehingga diperoleh rangkaian pengukuran yang lebih aman



Gambar 2.33 Pelaksanaan pengukuran arus bola-balik untuk tegangan tinggi



Gambar 2.3 Pelaksanaan pengukuran arus bola-balik untuk arus yang besar

2.15. Macam- macam alat ukur untuk keperluan pemeliharaan

Berdasarkan fungsinya pada kegiatan pemeliharaan alat ukur yang digunakan antara lain :

2.15.1. Meter Tahanan Isolasi

Biasa disebut Meger, untuk mengukur tahanan isolasi instalasi tegangan menengah maupun tegangan rendah. Untuk instalasi tegangan menengah digunakan

Meger dengan batas ukur Mega sampai Giga Ohm dan tegangan alat ukur antara 5.000 Volt sampai dengan 10.000 Volt arus searah.

Untuk instalasi tegangan rendah digunakan Meger dengan batas ukur sampai Mega Ohm dan

tegangan alat ukur antara 500 sampai 1.000 Volt arus searah.

Ketelitian hasil ukur dari meger juga ditentukan oleh cukup tegangan baterai yang dipasang pada alat ukur tersebut.



Gambar 2.34 Meter Tahanan Isolasi

2.15.2. Meter Tahanan Pentanahan

Biasa disebut dengan Meger Tanah atau Earth Tester, digunakan untuk mengukur tahanan pentanahan kerangka kubikel dan pentanahan kabel. Terminal alat ukur terdiri dari 3 (tiga) buah,

1 (satu) dihubungkan dengan elektroda yang akan diukur nilai tahanan pentanahannya dan 2 (dua) dihubungkan dengan elektroda bantu yang merupakan bagian dari alat ukurnya. Ketelitian hasil tergantung dari cukupnya energi yang ada pada baterai.



Gambar.2.35 Meter Tahanan Pentanahan

Meter Tahanan Kontak

Biasa disebut dengan Micro Ohm meter dan digunakan untuk mengukur tahanan antara terminal masuk dan terminal keluar pada alat hubung utama kubikel. Nilai yang dihasilkan adalah dalam besaran micro atau sepersatu juta ohm.

Dua terminal alat ukur yang dihubungkan ke terminal

masuk dan keluar akan mengalirkan arus searah dengan nilai minimal 200 Amper. Sebenarnya yang terukur pada alat ukurnya adalah jatuh tegangan antara 2 (dua) terminal yang terhubung dengan alat ukur, tetapi kemudian nilainya dikalibrasikan menjadi satuan micro ohm.



Gambar 2.36 Micro Ohm meter.

2.15,3. Tester Tegangan Tinggi Arus Searah (HVDC Test)

Test terhadap bagian yang bertegangan terhadap kerangka / body kubikel dengan tegangan listrik arus searah 40 kV selama 1 menit. Kubikel dinyatakan laik operasi bila arus yang mengalir tidak lebih dari 1 mili amper.



Gambar 2. 37 Tester Tegangan Tinggi Arus Searah Tester 20 kV
Untuk memeriksa adanya tegangan pada kabel masuk / keluar kubikel



Gambar 2. 38 Tester Tegangan Tinggi

Test Keserempakan Kontak Alat Hubung

Alatnya disebut Breaker Analyzer , yaitu untuk mengukur waktu pembukaan atau penutupan Kontak ketiga fasa Alat Hubung.



Gambar 2. 39 Breaker Analyzer

2.15.4. Test Tegangan Tembus (Dielectricum Test)

Untuk menguji tegangan tembus minyak isolasi bagi PMT atau LBS yang menggunakan media peredam berupa minyak. Kemampuan Alat Test minimal sampai 60 kV arus searah dengan arus minimal 1 mA



Gambar 2. 40 Test Tegangan Tembus

Alat ukur mekanik .

1. Manometer

Untuk mengukur tekanan Gas SF₆ yang berada didalam tabung Alat Hubung LBS atau PMT. Dapat dilakukan bila disediakan Klep / pentil dan indikator penunjuk tekanan tidak ada.



Gambar 2. 41 Manometer

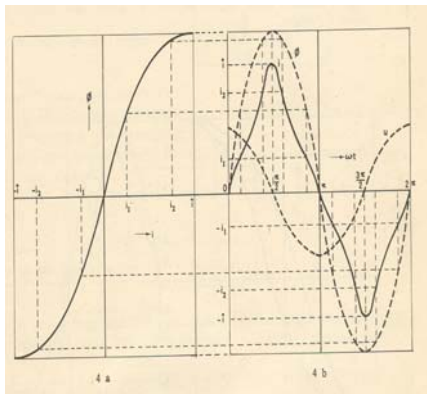
BAB III.

TRANSFORMATOR TENAGA

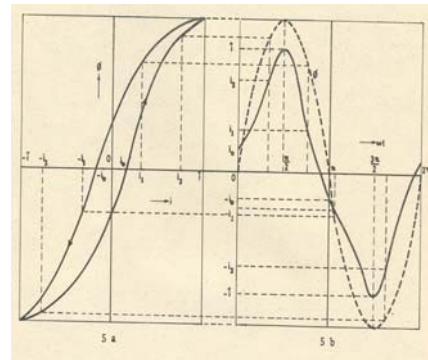
Transformator adalah alat yang digunakan untuk memindahkan energi listrik arus bolak balik dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain dengan prinsip kopel magnetik. Tegangan yang dihasilkan dapat lebih besar atau lebih kecil dengan frekuensi yang sama .

3.1. Prinsip Induksi.

Hukum utama dalam transformator adalah hukum induksi faraday. Menurut hukum ini suatu gaya listrik melalui garis lengkung yang tertutup, adalah berbanding lurus dengan perubahan persatuan waktu dari pada arus induksi atau flux yang dilingkari oleh garis lengkung itu (Lihat gambar 3.1. dan 3.2).

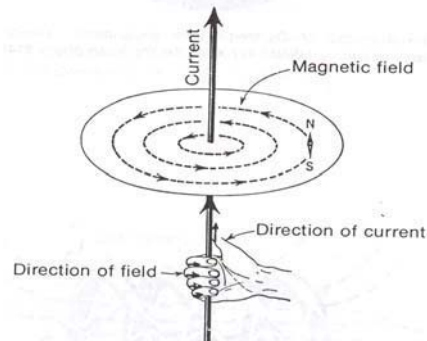


Gambar 3.1. Arus magnitisasi secara grafis tanpa memperhitungkan rugi-rugi besi.



Gambar 3.2. Arus magnitisasi secara grafis dengan memperhitungkan rugi-rugi besi.

Selain hukum Faraday, transformator menggunakan hukum Lorenz seperti terlihat pada gambar 3.3. berikut ini :

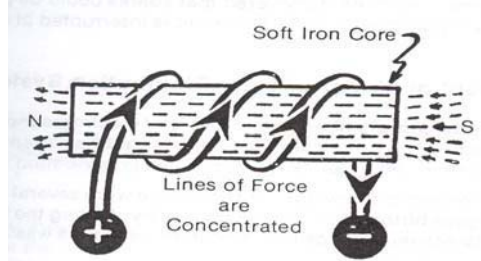


Gambar 3.3. Hukum Lorenz

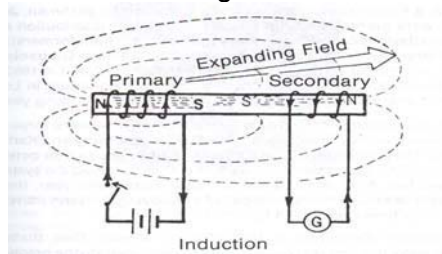
Dasar dari teori transformator adalah sebagai berikut :

Apabila ada arus listrik bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet (seperti gambar 3.4.) dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan mengelilingi magnet,

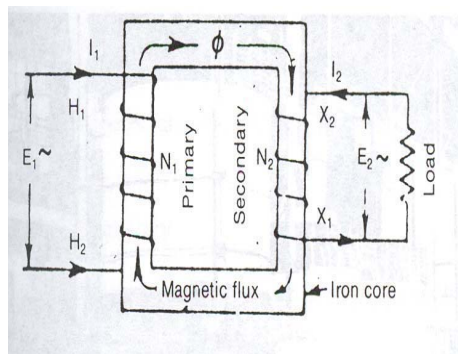
maka akan timbul gaya gerak listrik (GGL). Dari prinsip tersebut di atas dibuat suatu transformator seperti gambar 3.6. di bawah ini



Gambar 3.4. Suatu arus listrik mengelilingi inti besi maka besi itu menjadi magnet



Gambar 3.5. Suatu lilitan



Gambar 3.6. Prinsip Dasar dari Transformator.

Rumus tegangan adalah:

$$E_1 = 4,44 N_1 f_1 \cdot \Phi_{\max} 10^{-8}$$

Maka untuk transformator rumus tersebut sebagai berikut:

$$E_1 = 4,44 N_1 f_1 \cdot \Phi_{\max} 10^{-8}$$

$$E_2 = 4,44 N_2 f_2 \cdot \Phi_{\max} 10^{-8}$$

karena $f_1 = f_2$

maka

$$E_1 : E_2 = N_1 : N_2$$

$$E_1 N_2 = E_2 N_1$$

$$E_2 = (N_2 / N_1) \times E_1$$

Dimana ;

E_1 = tegangan primer

E_2 = tegangan sekunder

N_1 = belitan primer

N_2 = belitan sekunder

$$VA \text{ primer} = VA \text{ sekunder}$$

$$I_1 \times E_1 = I_2 \times E_2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad \text{maka} \quad I_1 = I_2 \frac{E_2}{E_1}$$

Dimana ;

I_1 = Arus primer

I_2 = Arus sekunder

E_1 = tegangan primer

E_2 = tegangan sekunder

Rumus umum menjadi :

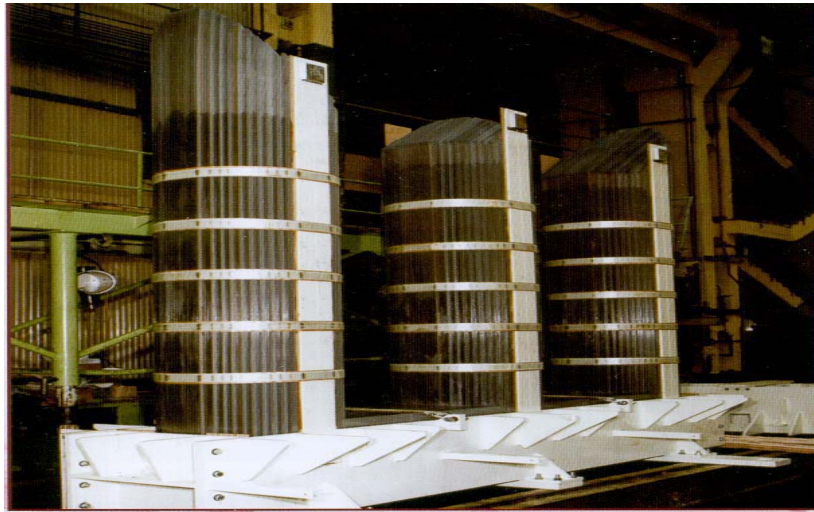
$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Bagian-bagian Transformator

Transformator terdiri dari :

Bagian Utama.

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh Eddy Current (gambar 3.7).

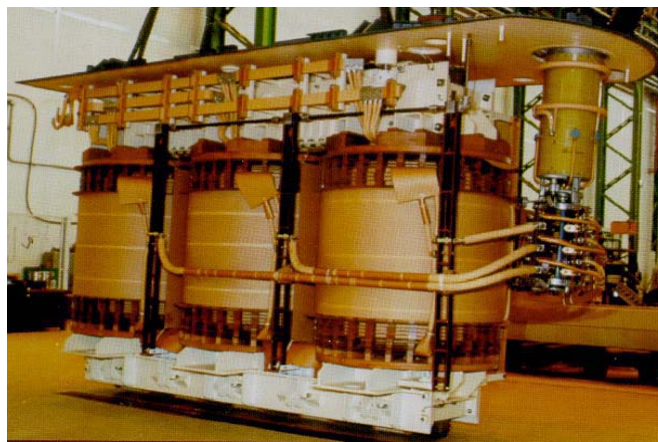


Gambar 3.7. Inti Besi dan Laminasi yang diikat Fiber Glass

3.2. Kumparan Transformator

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik

terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus.



Gambar 3.8. Kumparan Phasa RST

3.3. Minyak Transformator

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebahagian bahan isolasi minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak diharapkan akan mampu melindungi transformator dari gangguan.

Minyak transformator mempunyai unsur atau senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam minyak transformator ini adalah senyawa hidrokarbon parafinik, senyawa hidrokarbon naftenik dan senyawa hidrokarbon aromatik. Selain ketiga senyawa diatas minyak transformator masih mengandung senyawa yang disebut zat aditif meskipun kandungannya sangat kecil.

Minyak transformator adalah cairan yang dihasilkan dari proses pemurnian minyak mentah. Selain itu minyak ini juga berasal dari bahan organik, misalnya minyak piranol dan silikon, berapa jenis minyak transformator yang sering dijumpai di lapangan adalah minyak transformator jenis Diala A, diala B dan Mectrans.

Kenaikan suhu pada transformator akan menyebabkan terjadinya proses hidrokarbon pada minyak, nilai tegangan tembus dan kerapatan arus konduksi merupakan beberapa indikator atau variable yang digunakan untuk

mengetahui apakah suatu minyak transformator memiliki ketahanan listrik yang memahami persyaratan yang berlaku.

Secara analisa kimia ketahanan listrik suatu minyak transformator dapat menurun akibat adanya pengaruh asam dan pengaruh tercampurnya minyak dengan air. Untuk menetralkan keasaman suatu minyak transformator dapat menggunakan potas hidroksida (KOH). Sedangkan untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat dalam minyak tersebut yaitu dengan cara memberikan suatu bahan higroskopis yaitu selikagel.

Dalam menyalurkan perannya sebagai pendingin, kekentalan minyak transformator ini tidak boleh terlalu tinggi agar mudah bersirkulasi, dengan demikian proses pendinginan dapat berlangsung dengan baik. Kekentalan relatif minyak transformator tidak boleh lebih dari 4,2 pada suhu 20°C dan 1,8 dan 1,85 dan maksimum 2 pada suhu 50°C . Hal ini sesuai dengan sifat minyak transformator yakni semakin lama dan berat operasi suatu minyak transformator, maka minyak akan semakin kental. Bila kekentalan minyak tinggi maka sulit untuk bersirkulasi sehingga akan menyulitkan proses pendinginan transformator.

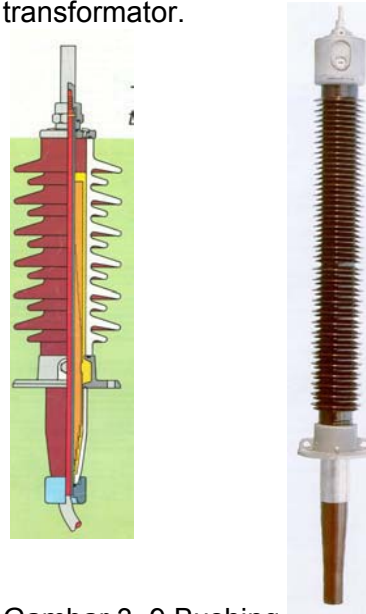
Sebagai bahan isolasi minyak transformator memiliki beberapa kekentalan, hal ini sebagai mana dijelaskan dalam SPLN(49-1:1980) Adapun persyaratan yang harus dipenuhi oleh minyak transformator adalah sebagai berikut:

1. Kejernihan
Kejernihan minyak isolasi tidak boleh mengandung suspensi atau endapan (sedimen)
2. Massa jenis.
Massa jenis dibatasi agar air dapat terpisah dari minyak isolasi dan tidak melayang
3. Viskositas Kinematika
Viskositas memegang peranan penting dalam pendinginan, yakni untuk menentukan kelas minyak.
4. Titik Nyala .
Titik nyala yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi zat gas yang mudah terbakar
5. Titik Tuang.
Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi .
6. Angka kenetralan .
Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusutan asam minyak dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan perubahan kimia atau indikasi perubahan kimia dalam bahan tambahan .
7. Korosi belerang
Korosi belerang kemungkinan dihasilkan dari adanya belerang bebas atau senyawa belerang yang tidak stabil dalam minyak isolasi .
8. Tegangan tembus
Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran atau partikel konduktif dalam minyak

9. Kandungan air .
Adanya air dalam dalam isolasi menyebabkan menurunnya tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi akan mempercepat kerusakan kertas pengisolasi.

3.4. Bushing.

Hubungan antara kumparan transformator dan ke jaringan luar melalui sebuah bussing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator yang konstruksinya dapat dilihat pada gambar 3.9. Bushing sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki transformator.



Gambar 3. 9 Bushing

Pada bushing dilengkapi fasilitas untuk pengujian kondisi bushing yang sering disebut center tap.

3.5. Tangki Konservator

Tangki Konservator berfungsi untuk menampung minyak

cadangan dan uap/udara akibat pemanasan trafo karena arus beban. Diantara tangki dan trafo dipasang relai bucholz yang akan meyerap gas produksi akibat kerusakan minyak .

Untuk menjaga agar minyak tidak terkontaminasi dengan air, ujang masuk saluran udara melalui

saluran pelepasan dan masuknya udara kedalam konservator perlu dilengkapi media penyerap uap air pada udara sering disebut denga silicagel dan dia tidak keluar mencemari udara disekitarnya. Seperti gambar 3.10.



Gambar 3. 10. konservator minyak trafo

3.6. Peralatan Bantu Pendinginan Transformator

Pada inti besi dan kumparan – kumpaan akan timbul panas akibat rugi-rugi tembaga. Maka panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, ini akan merusak isolasi, maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut transformator perlu dilengkapi dengan alat atau sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa: Udara/gas, Minyak dan Air.

Pada cara alamiah, pengaliran media sebagai akibat adanya perbedaan suhu media dan untuk mempercepat pendinginan dari media-media (minyak-udara/gas) dengan cara melengkapi transformator dengan sirip-sirip (radiator). Bila diinginkan penyaluran panas yang lebih cepat lagi, cara manual dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa pompa sirkulasi minyak, udara dan air, cara ini disebut pendingin paksa (*Forsed*). Macam macam sistim pendingin transformator dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Macam-macam sistem pendingin

No	Macam sistem pendingin	MEDIA			
		Didalam transformator		Diluar transformator	
		Sirkulasi alami	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi alami	Sirkulasi Paksa
1	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	Udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7	OFWF	-	Minyak	-	air
8	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

Contoh sistim pendinginan transformator dapat dilihat pada gambar 3. 11 dibawah ini ;

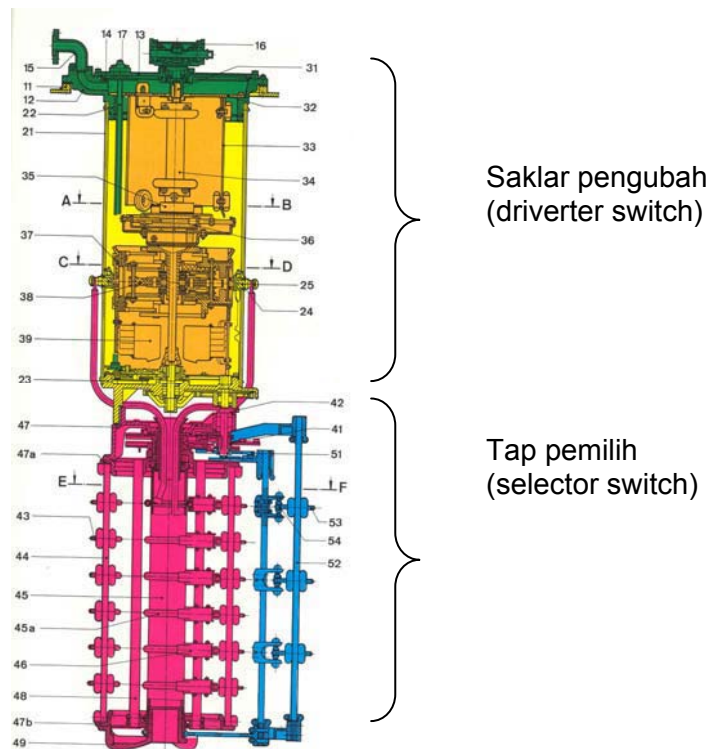


Gambar 3. 11 pendingin trafo type ONAF

3.7. Tap Changer (On Load Tap Changer)

Kualitas operasi tenaga listrik jika tegangannya nominal sesuai ketentuan, tapi pada saat operasi terjadi penurunan tegangan sehingga kualitasnya menurun untuk itu perlu alat pengatur tegangan agar tegangan selalu pada kondisi terbaik, konstan dan kontinyu. Untuk itu trafo dirancang sedemikian rupa sehingga

perubahan tegangan pada salah satu sisi input berubah tetapi sisi outputnya tetap. Alat ini disebut sebagai sadapan pengatur tegangan tanpa terjadi pemutusan beban maka disebut On Load Tap Changer (OLTC). Pada umumnya OLTC tersambung pada sisi primer dan jumlahnya tergantung pada perancang dan perubahan sistem tegangan pada jaringan, yang konstruksinya dapat dilihat pada gambar 3.12 .



Gambar 3.12 : On Load Tap Changer (OLTC)

3.8. Alat pernapasan (Dehydrating Breather)

Sebagai tempat penampungan pemuaian minyak isolasi akibat panas yang timbul maka minyak

ditampung pada tangki yang sering disebut sebagai konservator. Pada konservator ini permukaan minyak diusahakan tidak boleh bersinggungan dengan udara karena kelembaban udara yang

mengandung uap air akan mengkontaminasi minyak walaupun prosesnya berlangsung cukup lama.

Untuk mengatasi hal tersebut udara yang masuk kedalam tangki konservator pada saat minyak menjadi dingin diperlukan suatu media penghisap kelembaban yang digunakan biasanya adalah silicagel. Kebalikan jika trafo panas maka pada saat menyusut maka akan menghisap udara dari luar masuk kedalam tangki dan untuk menghindari terkontaminasi oleh kelembaban udara maka diperlukan suatu media penghisap kelembaban yang digunakan biasanya adalah silicagel yang secara khusus direncang untuk maksud tersebut diatas. Kontruksi alat pernapasan transformator dapat dilihat pada gambar 3.13



Gambar 3.13 Kontruksi alat pernapasan transformator

3. 9. Indikator-indikator :

1. Thermometer,

Alat ini berfungsi untuk mengukur tingkat panas dari trafo

baik panasnya kumparan primer dan sekunder juga minyak. Thermometer ini bekerja atas dasar air raksa (mercuri/Hg) yang tersambung dengan tabung pemuaian dan tersambung dengan jarum indikator derajat panas. Beberapa thermometer dikombinasikan dengan panas dari resistor khusus yang tersambung dengan tansformator arus, yang terpasang pada salah satu fasa (fasa tengah) dengan demikian penunjukan yang diperoleh adalah relatif terhadap kebenaran dari panas yang terjadi. Gambar kontruksi Thermometer dapat dilihat pada gambar 3.14.



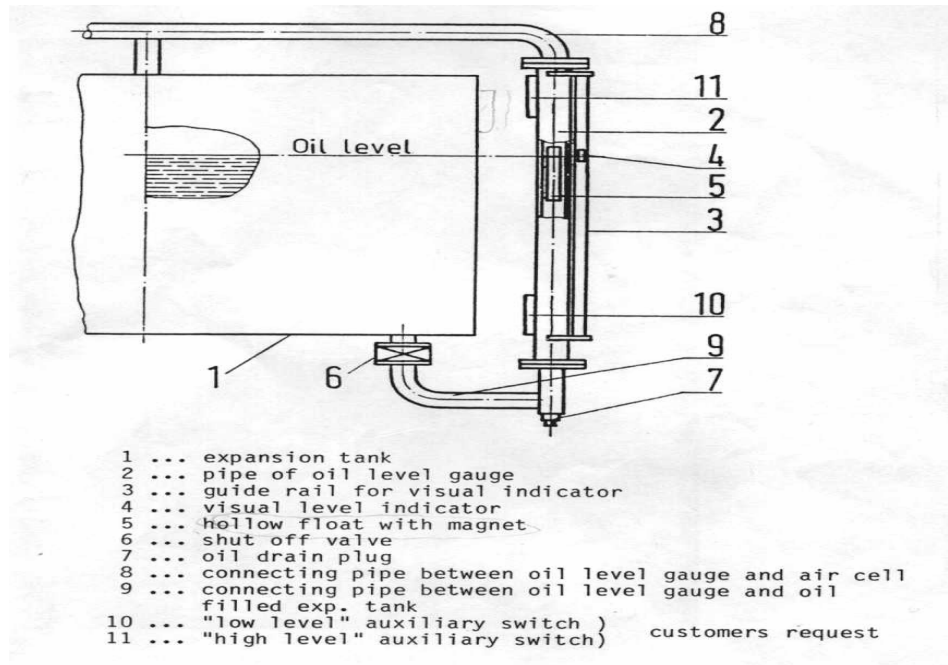
Gambar 3. 14 Thermometer

2. Permukaan minyak

Alat ini berfungsi untuk penunjukan tinggi permukaan minyak yang ada pada konservator. Ada beberapa jenis penunjukan seperti penunjukan langsung yaitu dengan cara memasang gelas penduga pada salah satu sisi konservator sehingga akan mudah mengetahui level minyak. Sedangkan jenis lain jika konservator dirancang sedemikian rupa dengan melengkapi semacam

balon dari bahan elastis dan diisi dengan udara biasa dan dilengkapi dengan alat pelindung seperti pada sistem pernapasan sehingga pemuaian dan penyusutan minyak

udara yang masuk kedalam balon dalam kondisi kering dan aman. Gambar konstruksinya dapat dilihat pada gambar 3.15



Gambar 3.15. Alat ukur penunjukan tinggi permukaan minyak

3.10. Peralatan Proteksi Internal.

1. Relai Bucholz

Penggunaan relai deteksi gas (Bucholtz) pada Transformator terendam minyak yaitu untuk mengamankan transformator yang didasarkan pada gangguan Transformator seperti : arcing, partial discharge, over heating yang umumnya menghasilkan gas. Gas-gas tersebut dikumpulkan pada ruangan relai dan akan mengerjakan kontak-kontak alarm.

Relai deteksi gas juga terdiri dari suatu peralatan yang tanggap

terhadap ketidaknormalan aliran minyak yang tinggi yang timbul pada waktu transformator terjadi gangguan serius. Peralatan ini akan menggerakkan kontak trip yang pada umumnya terhubung dengan rangkaian trip Pemutus Arus dari instalasi transformator tersebut. Ada beberapa jenis relai buchholtz yang terpasang pada transformator,

Relai sejenis tapi digunakan untuk mengamankan ruang On Load Tap Changer (OLTC) dengan prinsip kerja yang sama sering disebut dengan Relai Jansen. Terdapat beberapa jenis antara lain

sema seperti relai buhcoltz tetapi tidak ada kontrol gas, jenis tekanan ada yang menggunakan membran/selaput timah yang lentur sehingga bila terjadi perubahan tekanan kerana gangguan akan berkerja, disini tidak ada alarm akan tetapi langsung trip dan dengan prinsip yang sama hanya menggunakan pengaman tekanan atau saklar tekanan. Gambar kontruksi Relai Bucholz seperti gambar 3.16.



Gambar 3.16. Relai Bucholz

2. Jansen membran

Alat ini berfungsi untuk Pengaman tekanan lebih (Explosive Membrane) / Bursting Plate yang kontruksinya seperti gambar 3.17.



Gambar 3.17. Jansen membran

Relai ini bekerja karena tekanan lebih akibat gangguan didalam transformator, karena tekanan melebihi kemampuan membran yang terpasang, maka mamran akan pecah dan minyak akan keluar dari dalam transformator yang disebabkan oleh tekanan minyak

3. Relai tekanan lebih (*Sudden Pressure Relay*)

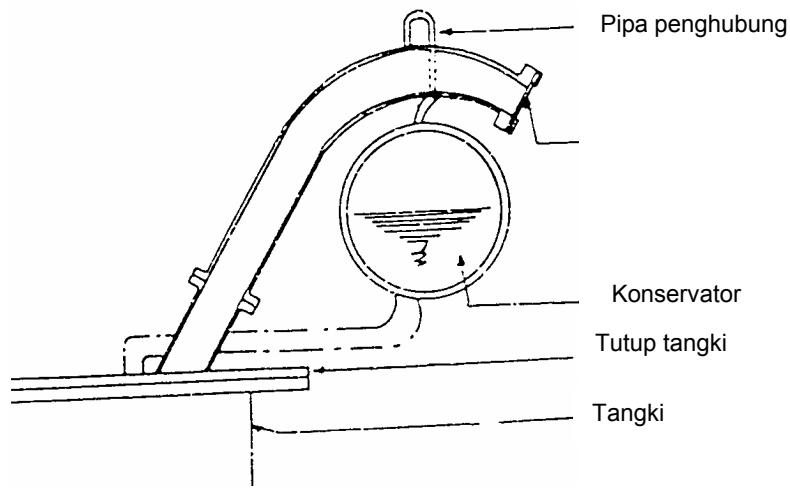
Suatu flash over atau hubung singkat yang timbul pada suatu transformator terendam minyak, umumnya akan berkaitan dengan suatu tekanan lebih didalam tangki, karena gas yang dibentuk oleh decomposisi dan evaporasi minyak. Dengan melengkapi sebuah pelepasan tekanan pada trafo maka tekanan lebih yang membahayakan tangki trafo dapat dibatasi besarnya. Apabila tekanan lebih ini tidak dapat dieliminasi dalam waktu beberapa millidetik, tangki trafo akan meledak dan terjadi panas lebih pada cairan, konsekuensinya pada dasarnya harus memberikan suatu peralatan pengaman. Peralatan pengaman harus cepat bekerja mengevakuasi tekanan tersebut. Gambar kontruksi relai tekanan lebih dapat dilihat pada gambar 3.18.

4. Relai pengaman tangki

Relai bekerja sebagai pengaman jika terjadi arus mengalir tangki akibat gangguan fasa ke tangki atau dari instalasi bantu seperti motor kipas, srkulasi dan motor-motor bantu yang lain, pemanas dll. Arus ini sebagai pengganti relai diferensial sebab sistim relai pengaman tangki

biasanya dipasang pada trafo yang tidak dilengkapi trafo arus disisi

primer dan biasanya pada trafo dengan kapasitas kecil.



Gambar3.18. Relai tekanan lebih

Trafo dipasang diatas isolator sehingga tidak terhubung ke tanah kemudian dengan menggunakan kabel pentanahan yang dilewatkan melali trafo arus dengan tingkat isolasi dan ratio yang kecil kemudian tersambung pada relai tangki tanah dengan ratio Trafo arus antara 300 s/d 500 dengan sisi sekunder hanya 1 Amp.

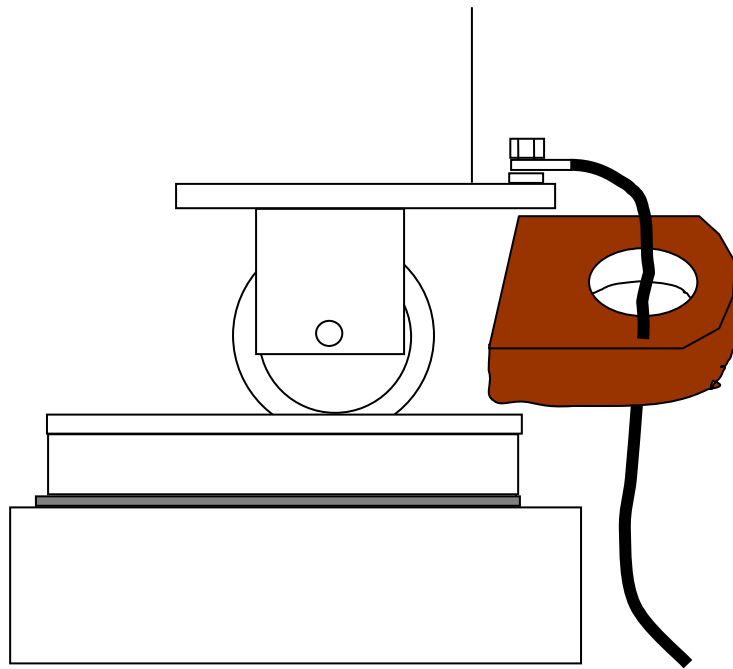


Gambar 3.19 : Rureele Sudden pressure



5. Neutral Grounding Resistance

Neutral Grounding Resistance Adalah tahanan yang dipasang antara titik neutral trafo dengan pentanahan dimana berfungsi untuk memperkecil arus gangguan yang terjadi sehingga diperlukan proteksi yang praktis dan tidak terlalu mahal karena karakteristik relai dipengaruhi oleh sistem pentanahan titik netral.



Gambar 3.20. Neutral Grounding Resistance (NGR)

Neutral Grounding Resistance atau Resistance Pentanahan Trafo, yaitu resistance yang dipasang pada titik neutral trafo yang dihubungkan Y (bintang). NGR biasanya dipasang pada titik netral trafo 70 kV atau 20 kV, sedangkan pada titik neutral trafo 150 kV dan 500 kV digrounding langsung (solid)

NILAI NGR

Tegangan 70 kV 40 Ohm
 Tegangan 20 kV 12 Ohm, 40 Ohm, 200 Ohm dan 500 Ohm

Jenis Neutral Grounding Resistance

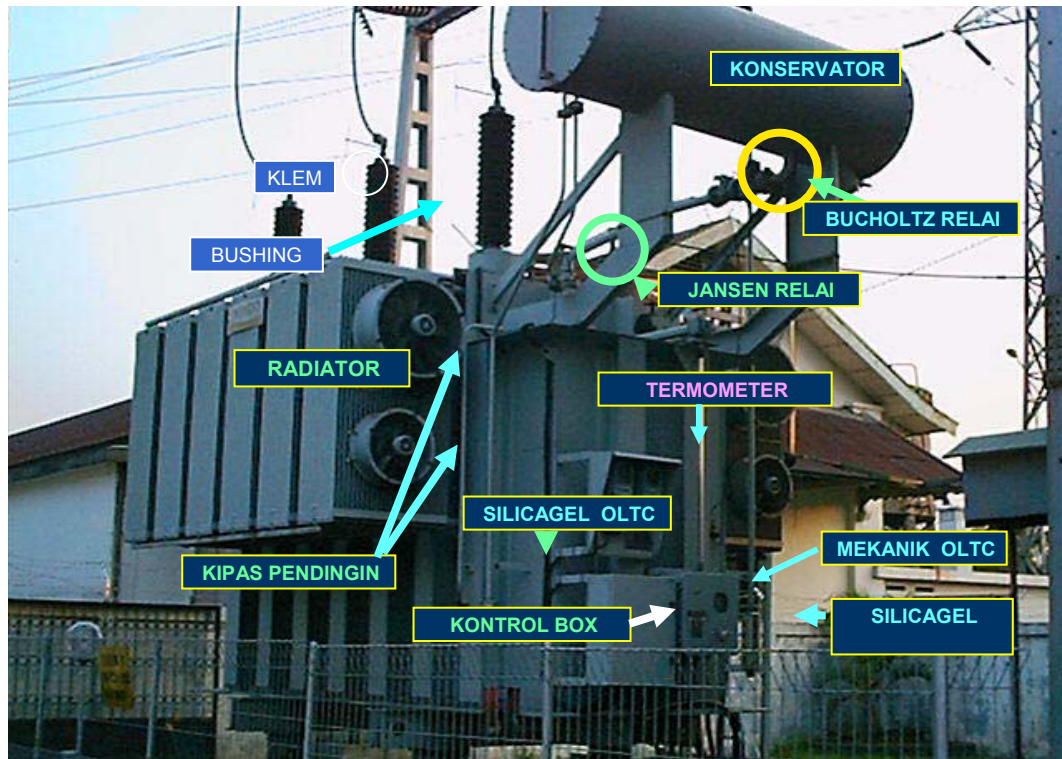
Resistance Liquit (Air), yaitu bahan resistance adalah air murni .

Untuk memperoleh nilai Resistance yang diinginkan ditambahkan garam KOH .

Resistance Logam, yaitu bahannya terbuat dari logam nekelin dan dibuat dalam panel dengan nilai resistance yang sudah ditentukan. Cara pengukuran resistansi pentanahan transformator dapat dilihat pada gambar 3.21. Sedangkan gambar Perlengkapan Transformator dapat dilihat pada gambar 3 22 .



Gambar 3.21. Pengukuran Neutral Grounding Resistance



Gambar 3.22 Perlengkapan Transformator

3.11. Peralatan Tambahan untuk Pengaman Transformator.

1. Pemadam kebakaran (transformator - transformator besar)

Sistem pemadam kebakaran yang modern pada transformator saat sekarang sudah sangat diperlukan. Fungsi yang penting untuk mencegah terbakarnya trafo. Penyebab trafo terbakar adalah karena gangguan hubung singkat pada sisi sekunder sehingga pada trafo akan mengalir arus maksimumnya. Jika proses tersebut berlangsung cukup lama karena relai tidak beroperasi dan tidak beroperasinya relai juga sebagai akibat salah menyetel waktu pembukaan PMT, relai rusak, dan

sumber DC yang tidak ada serta kerusakan sistem pengawatan ..

Sistem pemadam kebakaran yang modern yaitu dengan sistem mengurangi minyak secara otomatis sehingga terdapat ruang yang mana secara paksa gas pemisah oksigen diudara dimasukkan kedalam ruang yang sudah tidak ada minyaknya sehingga tidak ada pembakaran minyak, sehingga kerusakan yang lebih parah dapat dihindarkan, walaupun kondisi trafo menjadi rusak. Gambar aliran minyak pendingin trafo dapat dilihat pada gambar 3.23.

Proses pembuangan minyak secara grafitasi atau dengan menggunakan motor pompa DC adalah suatu kondisi yang sangat berisiko sebab hanya

menggunakan katup otomatis yang dikendalikan oleh pemicu dari saklar akibat panasnya api dan menutupnya katup otomatis pada katup pipa minyak penghubung tanki (konservator) ke dalam trafo (sebelum relai bucholz) serta adanya gas pemisah oksigen (gas nitrogen yang bertekanan tinggi) diisikan melalui pipa yang disambung pada bagian bawah trafo kemudian akan menuju keruang yang tidak terisi minyak. Dengan demikian mencegah terbakarnya minyak didalam trafo dapat dihindarkan. Gambar kontruksi alat pemadam kebakaran dapat dilihat pada gambar 3.24.



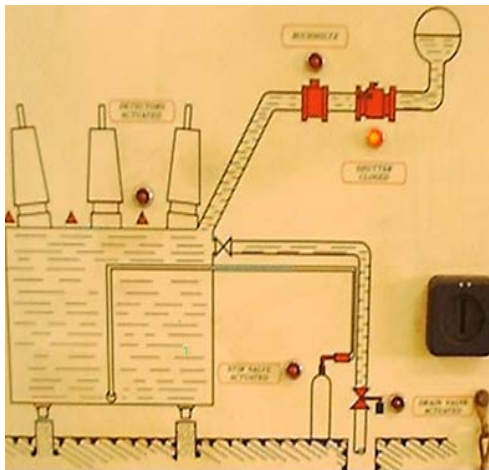
Gambar 3.24 alat pemadam kebakaran tranformator

2. Thermometer pengukur langsung.

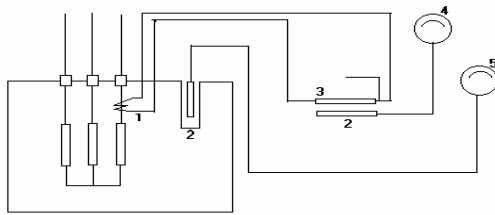
Thermometer pengukur langsung banyak digunakan pada instalasi tegangan tinggi/Gardu Induk , seperti pada ruang kontrol, ruang relai, ruang PLC dll. Suhu ruangan dicatat secara periodik pada formulir yang telah disiapkan (contoh formulir terlampir) dan dievaluasi sebagai bahan laporan.

3. Thermometer pengukur tidak langsung

Termometer pengukur tidak langsung banyak digunakan pada instalasi tegangan tinggi/transformator yang berfungsi untuk mengetahui perubahan suhu minyak maupun belitan transformator. Suhu minyak dan belitan trafo dicatat secara periodik pada formulir yang telah disiapkan (contoh formulir terlampir) dan dievaluasi sebagai laporan. Skema peralatan ukur dimaksud dapat dilihat pada gambar 3.25 dibawah ini.



Gambar 3.23 Aliran minyak pendingin trafo



Keterangan :

1. Trafo arus
2. Sensor suhu
3. Heater
4. Thermometer Winding
5. Thermometer oil

gambar 3.25 Skema peralatan pengukuran tidak langsung

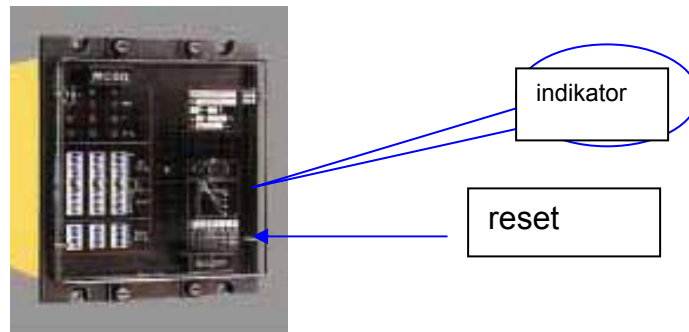
3.12. Relai Proteksi trafo dan fungsinya .

Jenis relai proteksi pada trafo tenaga adalah sebagai berikut :

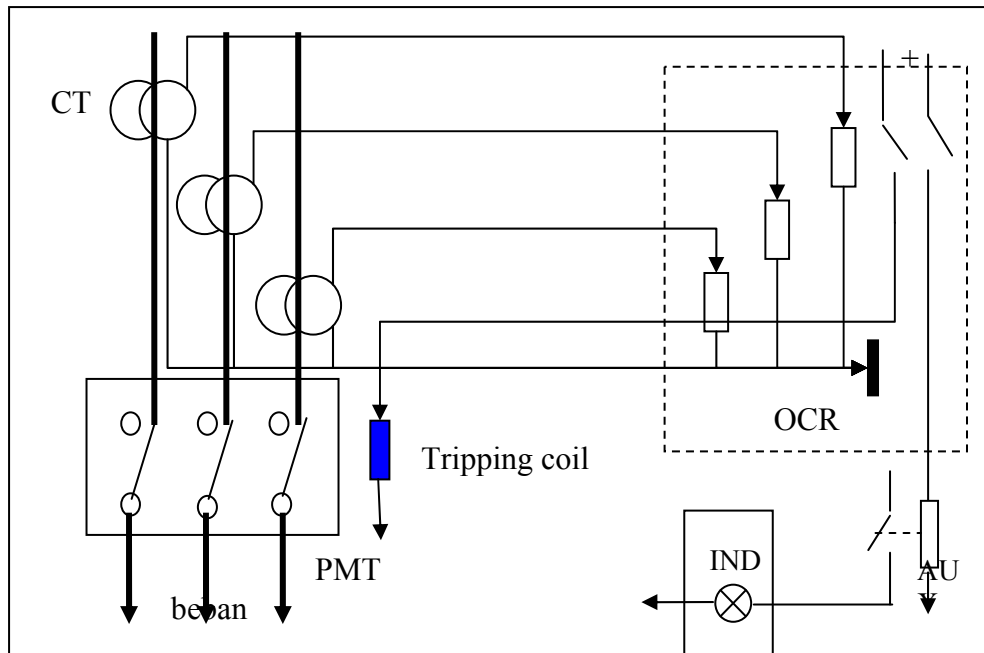
1. Relai arus lebih (*over current relay*)

Relai ini berfungsi untuk mengamankan transformator

terhadap gangguan hubung singkat antar fasa didalam maupun diluar daerah pengaman transformator Juga diharapkan relai ini mempunyai sifat komplementer dengan relai beban lebih. relai ini berfungsi pula sebagai pengaman cadangan bagi bagian instalasi lainnya. bentuk relai ini dapat dilihat pada gambar 3.26. dan gambar 3.27



Gambar 3.26: Relai arus lebih dan hubung tanah (OCR/GFR)

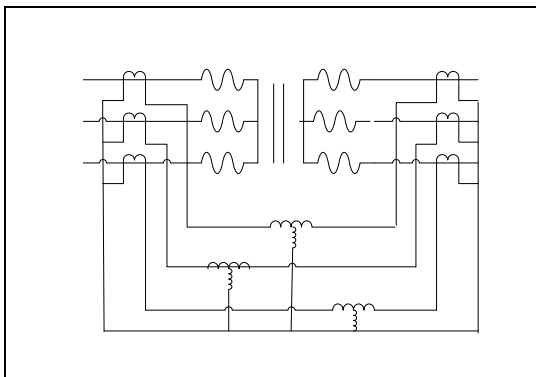


Gambar 3.27: sistem pengawatan OCR.

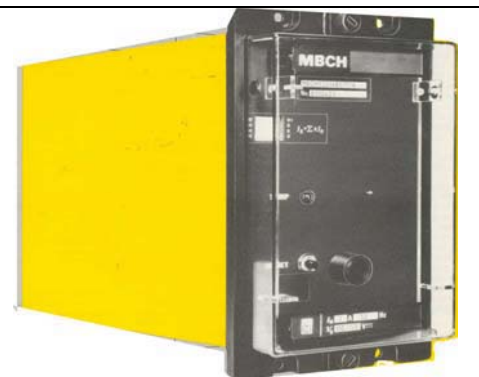
2. Relai Difrensial

Relai ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat

yang terjadi didalam daerah pengaman transformator dapat dilihat pada gambar 3.28 a.dan gambar 3.28.b



Gambar 3,28 a: Diagram relai differensial

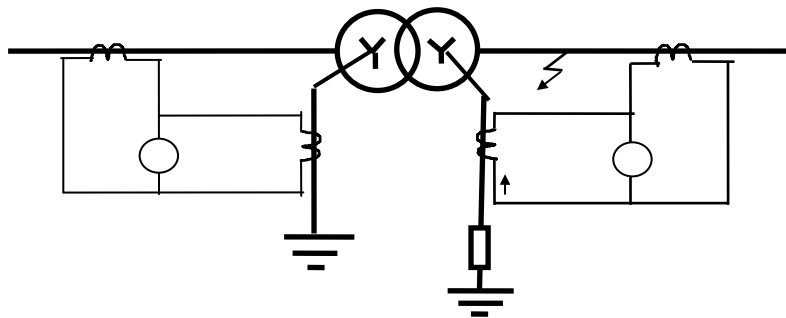
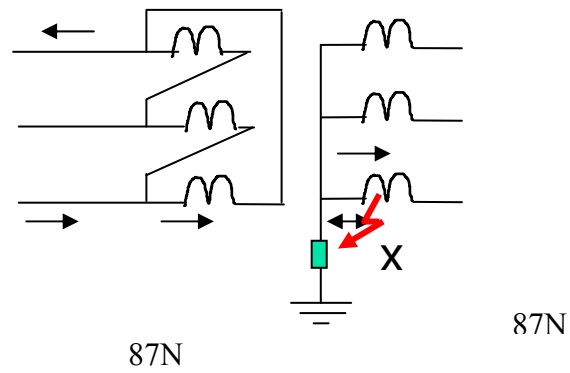


Gambar 2.28.b: Relai differensial, REF dan SBEF

3. Relai gangguan tanah terbatas (*Restricted Earth fault Relay*)

Relai ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap tanah didalam daerah

pengaman transformator khususnya untuk gangguan didekat titik netral yang tidak dapat dirasakan oleh relai differensial dapat dilihat pada gambar 3.29



Gambar 3.29: single line diagram relai differensial dan REF

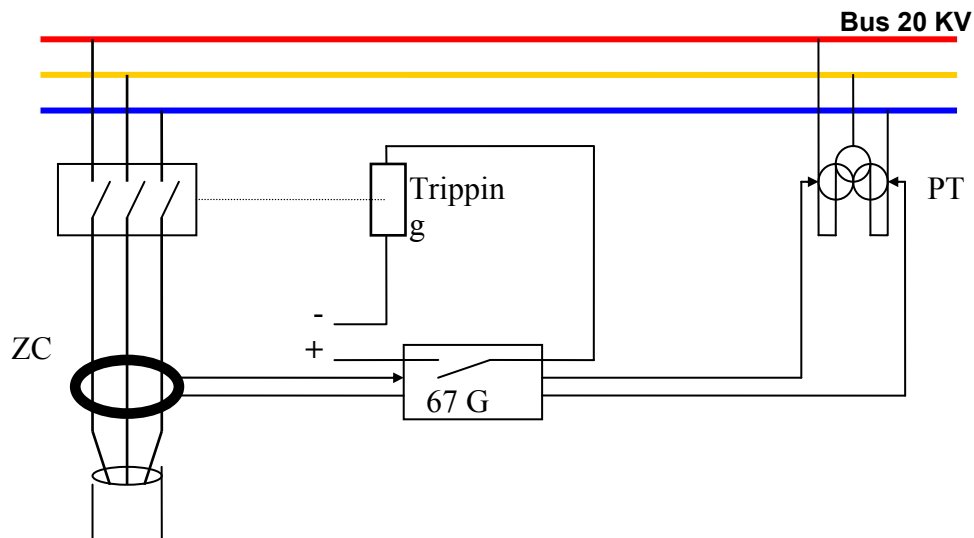


Gambar 3.30. Restristant earth fault detector

4. Relai arus lebih berarah

Directional over current Relai atau yang lebih dikenal dengan Relai arus lebih yang mempunyai arah tertentu merupakan Relai Pengaman yang bekerja karena adanya besaran arus dan tegangan yang dapat membedakan arah arus gangguan.

Relai ini terpasang pada jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah juga pada pengaman transformator tenaga dan berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik akibat adanya gangguan fasa-fasa maupun Fasa ketanah.



Gambar 3.31: Diagram Situasi Pemasangan Relai 67 G

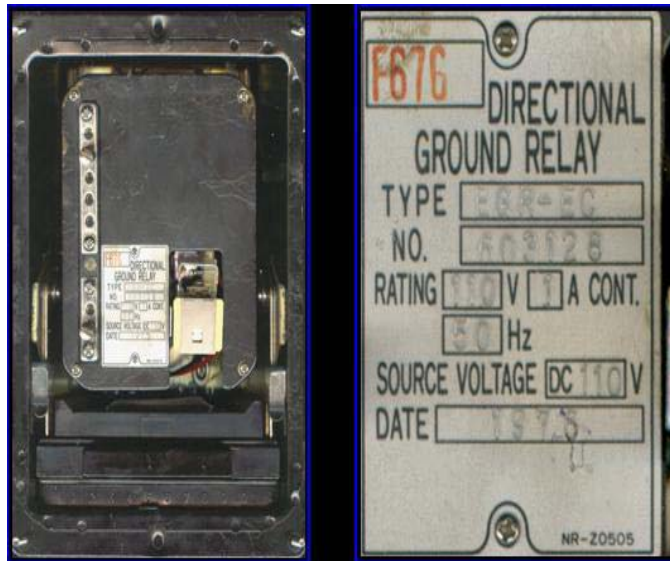
Relai ini mempunyai 2 buah parameter ukur yaitu tegangan dan arus yang masuk ke dalam relai untuk membedakan arah arus ke depan atau arah arus ke belakang. Pada pentanahan titik netral trafo dengan menggunakan tahanan, relai ini dipasang pada penyulang 20 KV. Bekerjanya relai ini berdasarkan adanya sumber arus dari ZCT (Zero Current Transformer) dan sumber tegangan dari PT (Potential Transformers).

Sumber tegangan PT umumnya menggunakan rangkaian Open-Delta, tetapi tidak menutup kemungkinan ada yang menggunakan koneksi langsung 3 Fasa.

Untuk membedakan arah tersebut maka salah satu fasa dari arus harus dibandingkan dengan Tegangan pada fasa yang lain.

5. Relai connections

Adalah sudut perbedaan antara arus dengan tegangan masukan relai pada power faktor satu. Relai maximum torque angle Adalah perbedaan sudut antara arus dengan tegangan pada relai yang menghasilkan torsi maksimum.



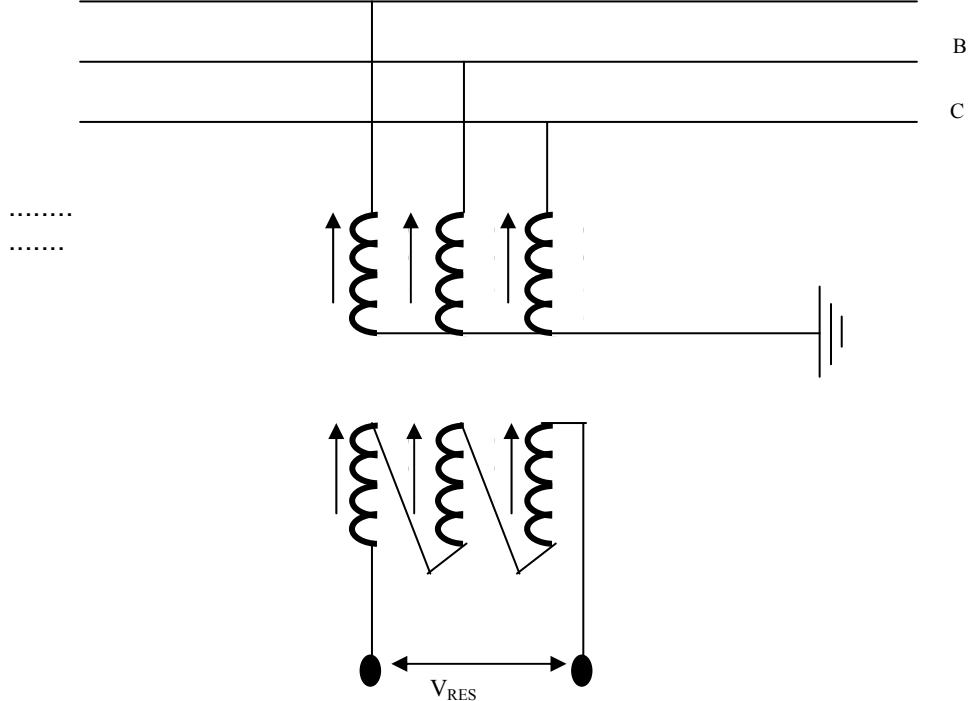
Gambar 3. 32. Relai arus lebih berarah.

6. Relai gangguan tanah .

Relai ini berfungsi untuk mengamankan transformator gangguan hubung tanah, didalam dan diluar daerah pengaman transformator. Relai arah hubung tanah memerlukan operating signal dan polarising signal. Operating signal diperoleh dari arus residual

melalui rangkaian trafo arus penghantar ($I_{op} = 3I_o$) sedangkan polarising signal diperoleh dari tegangan residual.

Tegangan residual dapat diperoleh dari rangkaian sekunder open delta trafo tegangan seperti pada Gambar 3.32



Gambar 3.33: Rangkaian open delta trafo tegangan



Gambar 3.33. Relai gangguan tanah

6. Relai tangki tanah

Relai ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap hubung singkat antara kumparan fasa dengan tangki transformator dan transformator yang titik netralnya ditanahkan.

Relai bekerja sebagai pengaman jika terjadi arus mengalir dari tangki akibat gangguan fasa ke

tangki atau dari instalasi bantu seperti motor kipas, sirkulasi dan motor-motor bantu, pemanas dll. Pengaman arus ini sebagai pengganti relai diferensial sebab sistem relai pengaman tangki biasanya dipasang pada trafo yang tidak dilengkapi trafo arus disisi primer dan biasanya pada trafo dengan kapasitas kecil. Trafo dipasang diatas isolator sehingga

tidak terhubung ke tanah kemudian dengan menggunakan kabel pentanahan yang dilewatkan melalui trafo arus dengan tingkat isolasi dan ratio yang kecil

kemudian tersambung pada relai tangki tanah dengan ratio Trafo Arus(CT) antara 300 s/d 500 dengan sisi sekunder hanya 1 Amp.



Gambar 3.34 : relai hubung tanah pada trafo

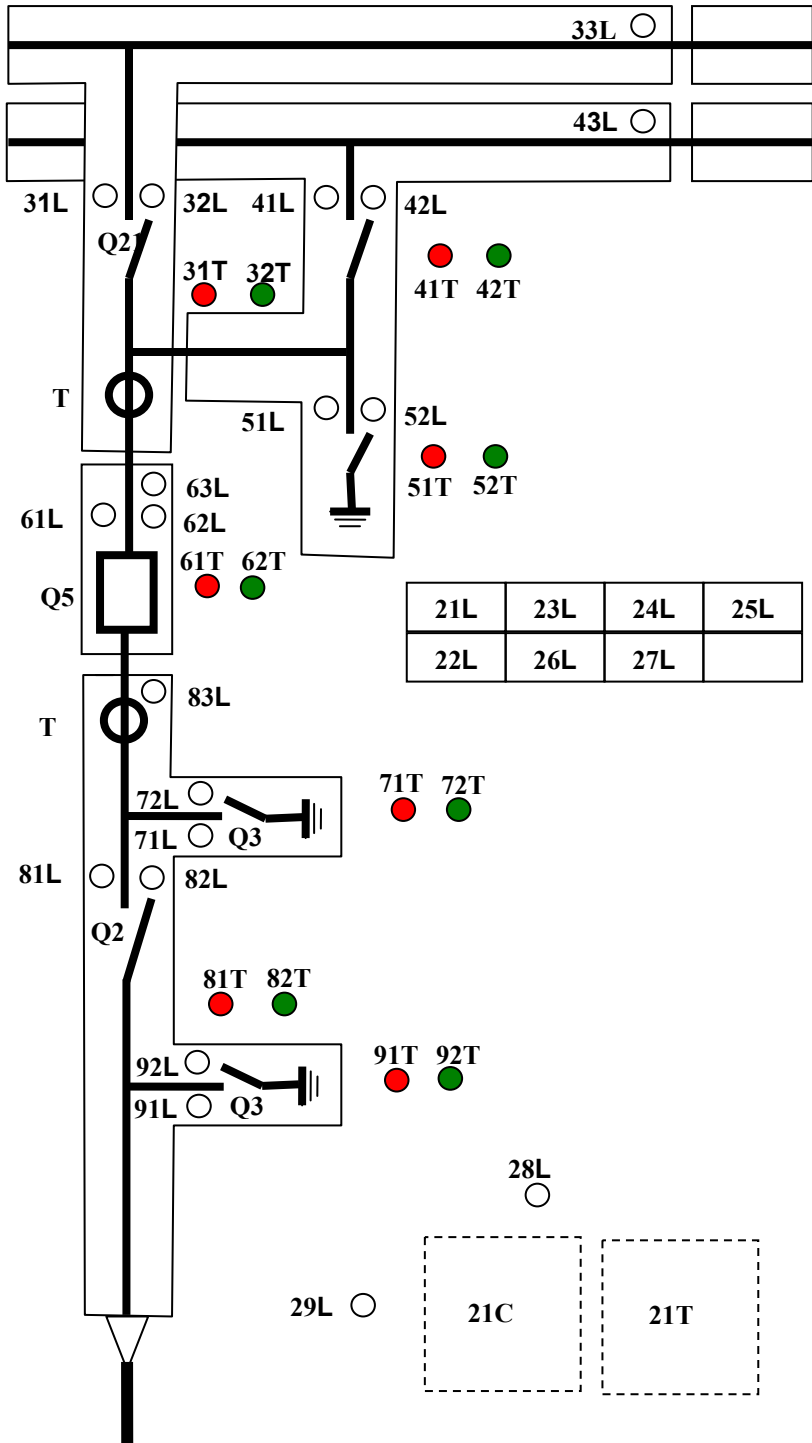
3.13, Annunciator Sistem Instalasi Tegangan Tinggi.

Annunciator adalah indikator kejadian pada saat terjadi ketidak normalan pada sistem instalasi tegangan tinggi, baik secara individu maupun secara bersama. Annunciator terjadi bersamaan dengan relai yang bekerja akibat sesuatu yang terjadi ketidak normalan pada peralatan tersebut. Annunciator biasanya berbentuk petunjuk tulisan yang pada kondisi normal tidak ada penunjukan, bila terjadi ketidaknormalan maka lampu didalam indikator tersebut menyala sesuai dengan kondisi sistem pada saat tersebut.

Kumpulan indikator-indikator tersebut biasanya disebut sebagai annunciator.

Annunciator yang terlengkap pada saat sekarang adalah pada instalasi gardu induk SF6, sebab pada system GIS banyak sekali kondisi yang perlu di pantau seperti tekanan gas, kelembaban gas SF6 disetiap kompartemen, posisi kontak PMT, PMS baik PMS line, PMS Rel maupun PMS tanah dll. Untuk itu pembahasan tentang annunciator akan diambil dari sistem annunciatornya gardu induk SF6. seperti. Annunciator pada bay penghantar (SUTT maupun SKTT), Transformator dan Koppel.

Pemasangan lampu indikator pada transformator dapat dilihat pada gambar 3.20 .



Gambar 3.35. Pemasangan lampu indikator pada transformator

Indikator berupa lampu dapat dilihat pada table 3.2

Tabel 3.2 Indikator berupa lampu

Kode	
21LA	Pasokan Pemanas gagal/trip.
22LA	Pasokan Motor PMT gagal/trip.
23LA	Pasokan Motor PMS dan PMS Tanah gagal/trip.
24LA	Pasokan rangkaian trip 1 gagal/trip
25LA	Pasokan rangkaian trip 2 gagal/trip
26LA	Pasokan saklar control PMS dan PMS tanah gagal/trip
27LA	Pasokan untuk signaling gagal/trip.
28LA	Posisi control remote.
29LA	Posisi control Lokal.
31LA	Posisi PMS Q21 Membuka/Open.
32LA	Posisi PMS Q21 menutup /Close
33LA	Tekanan gas SF6 pada kompartemen G1 gangguan.

Kode	Indikator
41LA	Posisi PMS Q22 terbuka/open
42LA	Posisi PMS Q22 menutup/close..
43LA	Tekanan gas SF6 pada kompartemen G2 gangguan.
51LA	Posisi PMS TANAH Q35 terbuka/open
52LA	Posisi PMS TANAH Q35 menutup/close..
61LA	Posisi PMT Q50 terbuka/open
62LA	Posisi PMT Q50 menutup/close..
63LA	Tekanan gas SF6 pada kompartemen G0 gangguan
71LA	Posisi PMS TANAH Q30 terbuka/open
72LA	Posisi PMS TANAH Q30 menutup/close..
73LA	Tekanan gas SF6 pada kompartemen G5 gangguan (ada PT)
81LA	Posisi PMS LINE Q28 terbuka/open
82LA	Posisi PMS LINE Q28 menutup/close..
83LA	Tekanan gas SF6 pada kompartemen G9 gangguan
91LA	Posisi PMS TANAH Q38 terbuka/open
92LA	Posisi PMS TANAH Q38 menutup/close..

Bentuk dan kode saklar dan saklar tekan (push button)

Kode	Indikator
21CV	Kunci selektor switch untuk kontrol lokal dan remote.
21TO	Saklar tekan (on/off) untuk mengecek lampu pada panel kontrol
31TO	Saklar tekan untuk menutup PMS REL Q21.
32TO	Saklar tekan untuk membuka PMS REL Q21.
41TO	Saklar tekan untuk menutup PMS REL Q22.

42TO	Saklar tekan untuk membuka PMS REL Q22.
51TO	Saklar tekan untuk menutup PMS TANAH Q35.
52TO	Saklar tekan untuk membuka PMS TANAH Q35.
61TO	Saklar tekan untuk menutup PMT Q50.
62TO	Saklar tekan untuk membuka PMT Q50.
71TO	Saklar tekan untuk menutup PMS TANAH Q30.
72TO	Saklar tekan untuk membuka PMS TANAH Q30.
81TO	Saklar tekan untuk menutup PMS LINE Q28.
82TO	Saklar tekan untuk membuka PMS LINE Q28.
91TO	Saklar tekan untuk menutup PMS TANAH Q38.
92TO	Saklar tekan untuk membuka PMS TANAH Q38.

3.14. Parameter/pengukuran transformator.

Parameter/pengukuran transformator dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Parameter/pengukuran transformator

Indikasi	keterangan
Oil level transformer low alarm	Indikasi ini menunjukkan bahwa minyak transformator yang ada di dalam tangki trafo berkurang, sehingga alat ukur permukaan minyak (level) mengerjakan kontak dan mengirim alarm ke panel kontrol ,dan di panel kontrol muncul sinyal oil level transformer low alarm serta membunyikan bel(kontak penggerak untuk memberikan sinyal dan alarm bekerja).
Oil level OLTC low alarm	Indikasi ini menunjukkan bahwa minyak yang ada di dalam tangki tap changer berkurang, sehingga alat ukur permukaan minyak (level) mengerjakan kontak dan mengirim alarm ke panel kontrol ,dan di panel kontrol muncul sinyal oil level OLTC low alarm serta membunyikan bel (kontak penggerak untuk memberikan sinyal dan alarm bekerja).
Bucholtz Alarm	Indikasi ini menunjukkan bahwa kontak relai Bucholtz untuk Alarm bekerja (kontak relai bucholtz ada dua ,satu alarm dan yang satunya trip). Bekerjanya disebabkan beberapa kejadian yaitu : Jika didalam trafo ada gas yang disebabkan oleh adanya panas lebih sehingga terjadi gelembung-gelembung gas yang terakumulasi sampai nilai tertentu ($300 - 350 \text{ Cm}^3$).Gas tersebut menekan pelampung untuk kontak alarm, dan mengirim sinyal ke panel kontrol dan dipanel timbul sinyal Bucholtz alarm dan bel berbunyi .

	Jika didalam trafo terjadi partial discharge pada isolasi, maka akan terjadi gelembung gas (seperti diatas) maka timbul Bucholtz alarm dan bel berbunyi. Jika minyak didalam trafo bocor sehingga sampai tingkat permukaan relai bucholtz, maka apabila pelampung atas sudah tidak terendam minyak, maka kontak bucholtz alarm akan tertutup dan memberikan sinyal bucholtz alarm dan bel berbunyi.
Winding temperature alarm	Winding primer Indikasi ini menunjukkan bahwa suhu (temperature) kumparan primer panas melebihi setting alarm termometer (misalnya 85 °C) dan suhu trafo mencapai 85 ° C, maka kontak alarm pada termometer (termostat) akan tertutup dan mengirim sinyal alarem ke panel kontrol winding primer alarm serta bel berbunyi. Winding sekunder Indikasi ini menunjukkan bahwa suhu (temperature) kumparan primer panas melebihi setting alarm termometer (misalnya 85 °C) dan suhu trafo mencapai 85 ° C ,maka kontak alarm pada termometer (termostat) akan tertutup dan mengirim sinyal alarm ke panel kontrol winding sekunder alarm serta bel berbunyi.
Winding temperature alarm	Winding primer Indikasi ini menunjukkan bahwa suhu (temperature) kumparan primer panas melebihi setting alarm termometer (misalnya 85°C) dan suhu trafo mencapai 85° C ,maka kontak alarm pada termometer (termostat) akan tertutup dan mengirim sinyal alarm ke panel kontrol winding primer alarm serta bel berbunyi. Winding sekunder Indikasi ini menunjukkan bahwa suhu (temperature) kumparan primer panas melebihi setting alarm termometer (misalnya 85°C) dan suhu trafo mencapai 85° C, maka kontak alarm pada termometer (termostat) akan tertutup dan mengirim sinyal alarem ke panel kontrol winding sekunder alarm serta bel berbunyi.

OLTC voltage regulator alarm	Pengaturan setting tegangan pada peralatan regulator tidak sesuai dengan tegangan yang diminta ,maka relai regulator tegangan akan memberikan sinyal ke panel kontrol dan memberi sinyal OLTC voltage regulator alarm serta bel berbunyi.
Transformer cooling fault alarem	Indikasi ini menunjukkan bahwa sistem pendingin (kipas atau pompa minyak sirkulasi ada gangguan) yaitu : saklar termis untuk pasokan motor kipas pendingin trip (lepas) sehingga motor tidak berputar dan saklar termis tersebut kontak bantuannya tertutup dan memberikan sinyal ke panel kontrol Transformer cooling fault alarem dan bel berbunyi. Pompa sirkulasi minyak tidak berputar/bekerja saklar termis untuk pasokan motor pompa minyak pendingin trip (lepas) sehingga motor tidak berputar dan saklar termis tersebut kontak bantuannya menutup dan memberikan sinyal ke panel kontrol Transformer cooling fault alarm dan bel berbunyi.
Marshalling kios fault alarem	Indikasi tersebut menunjukkan terjadi gangguan sumber arus bolak-balik 220/380 V, yaitu saklar sumber tegangan AC 220/380 V trip, sehingga bay tersebut tidak ada pasokan AC, dan saklar tersebut kontak bantuannya menutup dan mengirim sinyal gangguan ke panel kontrol sehingga timbul sinyal Marshalling kios fault alarem dan bel berbunyi.
Fire protection out of service alarem	Indikasi ini menunjukkan bahwa sistem pemadam api transformator tidak siap bekerja (out of service), yaitu akibat saklar DC 110 V sumber pasokan untuk sistem instalasi pemadam api trip (tidak masuk), sehingga kontak bantuannya menutup dan mengirim sinyal ke panel kontrol dengan indikasi Fire protection out of service alarem dan bel berbunyi.
Bucholtz trip	a. Indikasi ini menunjukkan bahwa relai bucholtz bekerja menjatuhkan PMT (trip) yang disebabkan oleh :gangguan yang serius atau hubung singkat lilitan trafo/kumparan trafo sehingga terjadi penguraian minyak dan bahan isolasi lain serta menimbulkan gas dan aliran minyak

	dari trafo ke relai bucholtz, sehingga kontak relai bekerja mengirim sinyal trip ke PMT primer dan sekunder, memberikan sinyal alarm bucholtz trip dan membunyikan bel. b. Gangguan minyak trafo bocor sehingga terjadi penurunan permukaan minyak sampai level yang minimum (sebelumnya terjadi alarm bucholtz) ,sehingga kontak relai bekerja mengirim sinyal trip ke PMT primer dan sekunder,memberikan sinyal alarm bucholtz trip dan bel berbunyi. c. Terjadi gangguan alam ,misalnya gempa bumi yang besar ,sehingga terjadi guncangan minyak didalam terfo maupun relai bucholtz,dan kontak relai menutup memberikan sinyal trip PMT primer dan sekunder dan sinyal bucholtz trip bel atau klakson bunyi.
Oil temperature trip	Indikasi ini menunjukkan bahwa minyak trafo panas yang melebihi setting pengaman temperatur, sehingga kontak termometer untuk trip menutup memberikan sinyal untuk menjatuhkan PMT primer dan sekunder dan mengirim sinyal ke panel kontrol bucholtz trip dan bel bunyi
winding temperature trip	Indikasi ini menunjukkan bahwa winding atau kumparan trafo panas yang melebihi setting pengaman temperatur, sehingga kontak termometer untuk trip menutup memberikan sinyal guna menjatuhkan PMT primer dan sekunder dan mengirim sinyal ke panel kontrol bucholtz trip dan bel bunyi.
Protection device OLTC trip	Indikasi ini menunjukkan relai Jansen dan atau pengaman OLTC bekerja , akibat terjadi breakdown isolasi pada wadah tap changer atau ketidaknormalan operasi tap changer atau terjadi tahanan pengalih putus , maka akan memberikan sinyal trip PMT primer dan sekunder dan sinyal ke panel protection device OLTC trip dan bel/klakson bunyi.
Pressure relief device transformer trip	Indikasi ini menunjukkan terjadi gangguan didalam trafo ,misalnya hubung singkat lilitan /kumparan sehingga terjadi tekanan hidraulik di dalam trafo. Tekanan ini didistribusikan ke semua arah didalam trafo yang akan mendorong dinding trafo, jika tekanan yang

	terjadi melebihi kemampuan gaya dorong relai sudden pressure (misalnya 10 psi) maka katup piringan akan terdorong dan mengerjakan limit switch relai, memberikan sinyal trip ke PMT primer dan sekunder , serta sinyal ke panel kontrol pressure relief device dan bel/klakson bunyi
Fire protection operated trip	Indikasi menunjukkan ada gangguan fire protection trafo bekerja, yaitu indikasi ada kebakaran trafo,dan PMT trafo trip, bucholtz bekerja, fire detector bekerja ,maka pemadam api memberikan sinyal untuk mengerjakan sistem pemadam api bekerja yaitu membuang sebagian permukaan minyak, kurang lebih 15 cm dari deksel atas, menutup shutter,memasukan nitrogen bertekanan dan mengaduk minyak didalam tangki trafo, yang akhirnya api yang berkobar dapat padam.dan mengirim sinyal ke panel kontrol pemadam atau panel kontrol fire protection operated bel bunyi.
Circuit breaker 20 kV open	Indikasi ini menunjukkan bahwa pada kubikel 20 kV ada yang trip, PMT yang trip tersebut memberikan sinyal ke panel kontrol circuit breaker 20 kV open bel bunyi.
DC supply failure	Indikasi menunjukkan ada saklar DC 110 V panel kontrol atau proteksi pada panel trafo trip , dan kontak bantu saklar DC tersebut memberikan sinyal DC supply failure dan bel berbunyi
Main protection operated	Indikasi ini menunjukkan relai utama pengaman trafo (diferensial) bekerja, sehingga kontak relai diferensial menutup dan mengirim sinyal untuk mentriapkan PMT primer dan sekunder serta mengirim sinyal ke panel kontrol Main protection operated bel /klakson berbunyi.
Back up protection operated	Indikasi ini menunjukkan relai cadangan (back up) pengaman trafo (OCR,REF,SBEF) bekerja ,sehingga kontak relai (OCR,REF, SBEF) menutup dan mengirim sinyal untuk mentriapkan PMT primer dan sekunder serta mengirim sinyal ke panel kontrol Back up protection operated bel / klakson berbunyi.
Breaker failure operated	Indikasi menunjukkan relai breaker failure bekerja,kontak relai breaker menutup memberi sinyal trip pada PMT dan PMT yang

	lain yang satu rel(bus) dan mengirim sinyal ke panel kontrol Breaker failure operated dan bel/klakson berbunyi.
Healty trip 1-2 alarem	Indikasi menunjukkan ada gangguan sistem pemantau rangkaian trip PMT melihat ada ketidaknormalan (coil trip putus,) dan mengirim alarm ke panel kontrol Healty trip 1-2 alarm dan bel berbunyi
Transformer fault alarem stage	Indikasi menunjukkan ada gangguan pada pengaman trafo (bucholtz, suhu tinggi, permukaan minyak) dan kontak relai tersebut mengirim sinyal alarem ke panel kontrol Transformer fault alarem stage dan bel berbunyi.
Transformer fault tripping stage	Indikasi menunjukkan ada gangguan pada pengaman trafo (bucholtz, suhu tinggi, permukaan minyak, jansen, sudden pressure) dan kontak relai tersebut mengirim sinyal trip ke PMT primer dan sekunder dan sinyal ke panel kontrol Transformer fault tripping stage dan bel berbunyi.
Auto reclose in progress	Indikasi menunjukkan relai recloser bekerja pada waktu ada gangguan , kontak relai memberikan indikasi ke panel kontrol Auto reclose in progress dan bel/klakson berbunyi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernad Grad (2002) *Basic Electronic* Mc Graw Hill Colage New- York
- David E Johnson (2006) *Basic Electric Circuit Analisis* John Wiley & Sons.Inc New- York
- Diklat PLN Padang . (2007) *Transmisi Tenaga Listrik* Padang
- Diklat PLN Pusat . (2005) *Transmisi Tenaga Listrik* Jakarta
- Fabio Saccomanno (2003) *Electric Power System and Control* John Wiley & Sons.Inc New- York
- John D. McDonald (2003) *Electric Power Substation Engginering* CRC Press London
- Jemes A.Momoh (2003) *Electric Power System* CRC Press London
- Luces. M . (1996) *Electric Power Distribution and Transmision* Prantice Hall New- York
- Oswald (2000) *Electric Cables for Pewer Transmision* John Wiley & Sons.Inc New- York
- Paul M Anderson (2000) *Analisis of Faulted Power System* John Wiley & Sons.Inc New- York
- Panagin.R.P (2002) *Basic Electronic* Mc Graw Hill Colage New- York
- Stan Stawart (2004) *Distributet Swichgear* John Wiley & Sons.Inc New- York
- Stepen L. Herman (2005) *Electrical Transformer* John Wiley & Sons.Inc New- York
- Hutauruk (2000)*Tranmisi Daya listrik* Erlangga Jakarta.

ISBN 978-979-060-159-8
ISBN 978-979-060-160-4

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 18.018,00