

LAPORAN PRAKTEK LAPANGAN INDUSTRI (PLI)

**PERBAIKAN FAKTOR DAYA DENGAN KAPASITOR BANK 5U1Q32Q6
INDARUNG V PT. SEMEN PADANG**

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Mata Kuliah Praktek Lapangan Industri
(PLI) Program Studi Pendidikan Teknik Elektro (S1) Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang*



Disusun oleh :

DEVA NUR AVIVAH

NIM. 19063042

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2023

**HALAMAN PENGESAHAN PERUSAHAAN
LAPORAN PRAKTEK LAPANGAN INDUSTRI
PT. SEMEN PADANG**

Pada Tanggal 2 Januari 2023 s/d 24 Februari 2023

Oleh:

Deva Nur Avivah

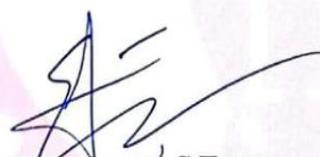
1903042

Teknik Elektro

Telah disetujui dan disahkan oleh:

Ka. Urusan KCM V

Pembimbing


Arry Ardyanto S.T.

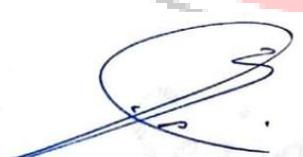
NIP. 7798137


Ega Giovanni Yanitra, S.T.

NIP. 8711214

**Ka. Unit Pemeliharaan Listrik dan
Instrumen I**

Ka. Sie. RKC V-VI PLI I


Santoro, S.T.

NIP. 8409024


Angga Dwi Permana Putra, S. T.

NIP. 8714016

HALAMAN PENGESAHAN FAKULTAS

Laporan Ini Disampaikan untuk Memenuhi Sebagian dari Persyaratan Penyelesaian

Pengalaman Lapangan Industri

Semester Januari-Juni 2023

Oleh

DEVA NUR AVIVAH

2019/19063042

Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Diperiksa dan disahkan oleh:

Dosen Pembimbing



Dr. Hanihali, M.Kes
NIP. 196205081987031004



Dekan FT - UNP

Kepala Unit Hubungan Industri



Dr. Ali Basrah Pulungan, S.T., M.T.
NIP. 197412122003131002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT karena dengan anugerah dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan praktek lapangan industri ini. Adapun maksud dan tujuan penyusunan laporan praktek lapangan industri ini adalah untuk melengkapi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan sarjana pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan kerja praktek ini, diantaranya:

1. Kedua orang tua serta keluarga yang menjadi motivator terbesar penulis untuk dapat menyelesaikan laporan ini.
2. Bapak Risfendra, S.Pd., M.T., Ph.D. Selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Universitas Negeri Padang.
3. Dr. Hansi Effendi, S.T., M.Kom. Selaku Ka Prodi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Padang
4. Bapak Ir. Ali Basrah Pulungan, S.T., selaku koordinator Praktek Lapangan Industri Fakultas Teknik.
5. Bapak Hamdani, S.Pd., M.Pd.T., selaku koordinator Praktek Lapangan Industri Jurusan Teknik Elektro.
6. Bapak Drs. Hambali, M.Kes. Selaku Dosen Pembimbing Praktek Lapangan Industri Teknik Elektro Universitas Negeri Padang.
7. Bapak Santoro, S.T. Selaku Ka, Unit Pemeliharaan Listrik & Instrumen I.
8. Bapak Angga Dwi Permana Putra, S.T. Selaku Ka. Sie PLI *Raw Mill, Kiln* dan *Coal Mill V & VI*.
9. Bapak Arry Ardyanto S.T. Selaku Kepala Urusan KCM V PT Semen Padang.
10. Bapak Dery Suwandi S.T Selaku Kepala KCM V PT Semen Padang
11. Bang Ega dan Bang M. Rusdiansyah Putra selaku pembimbing lapangan penulis di KCM Indarung V PT Semen Padang.
12. Bang Rahmad Ardyanto dan Bang Rafki Budiman yang telah banyak membimbing dan memberikan banyak ilmu pengetahuan dan membantu penulis dalam menyelesaikan laporan.

13. Segenap Karyawan PT. Semen Padang khususnya keluarga CCR Indarung V yang telah banyak memberikan nasehat, ilmu, serta pengalaman kepada penulis selama melaksanakan Praktek Kerja Lapangan di PT. Semen Padang.
14. Seluruh karyawan Unit Pemeliharaan Listrik dan Instrumen I Indarung V yaitu Bapak Adeniel, Bapak Adi, Bapak Surya, Bang Rivaldi, terimakasih karena telah banyak membantu dan meluangkan waktunya untuk membimbing dan berbagi ilmunya kepada penulis.
15. Teman teman seperjuangan magang, Nurwidya Anggreini.M, Aisha Fadhila, Aisyah Amini, Sukma Angraini Nauli Harahap, Harisa Ramadani, dan Indah Mulia Hati yang telah banyak membantu penulis selama ini.
16. Serta seluruh pihak yang telah banyak membantu dalam menyusun laporan praktek lapangan industri yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam laporan ini. Oleh karenanya penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Akhir kata semoga laporan praktek lapangan industri ini dapat bermanfaat bagi kalangan civitas akademika maupun bagi PT. Semen Padang.

Padang, Februari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN PERUSAHAAN	i
HALAMAN PENGESAHAN FAKULTAS	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Ruang Lingkup.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II	4
GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN	4
2.1 Sejarah PT. Semen Padang.....	4
2.2 Visi dan Misi PT. Semen Padang	7
2.3 Struktur Organisasi PT. Semen Padang	7
2.4 Logo PT Semen Padang	10
2.5 Proses Pembuatan Semen.....	11
2.6 Produk-produk yang Dihasilkan	22
2.7 Kapasitas Produksi.....	26
2.8 Sumber Energi Listrik PT. Semen Padang.....	27
2.9 Sistem Kontrol di PT Semen Padang.....	37
2.10 Pemeliharaan dan <i>Maintenance</i>	40
BAB III	42
LANDASAN TEORI	42
3.1 Tinjauan Umum	42
3.2 Beban Listrik.....	43
3.2.1 Resistif.....	43
3.2.2 Induktif	43

3.2.3	Kapasitif	44
3.3	Perbaikan Faktor Daya	44
3.3.1	Daya.....	45
3.3.2	Faktor Daya.....	48
3.3.3	Kompensasi Daya.....	49
BAB IV	.....	55
PEMBAHASAN	.....	55
4.1	<i>Sub-station</i> SS 448.....	55
4.2	Kapasitor Bank.....	56
4.2.1	Komponen Kapasitor Bank.....	57
4.2.2	Prinsip Kerja Kapasitor Bank	62
4.2.3	Metode Pemasangan Kapasitor Bank.....	63
4.3	Panel Kapasitor Bank MDB 5U1Q32Q6	64
4.4	Sistem Pengontrolan Kapasitor Bank.....	66
4.5	Beban yang terhubung MDB 5U1Q32Q1	69
4.6	Perhitungan Kapasitor Bank yang Akan Ditambah.....	69
4.6.1	Analisa.....	72
4.7	Pemeliharaan Kapasitor Bank.....	74
BAB V	.....	75
PENUTUP	.....	75
5.1.	Kesimpulan	75
5.2.	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. PT Semen Padang	4
Gambar 2. Struktur Organisasi PT Semen Padang	8
Gambar 3. Logo Semen Padang.....	11
Gambar 4. Batu Kapur.....	14
Gambar 5. Batu Silika	14
Gambar 6. Tanah Liat.....	15
Gambar 7. Pasir Besi.....	15
Gambar 8. Gypsum	16
Gambar 9. Diagram Alir Pembuatan Semen Dengan Proses Basah.....	16
Gambar 10. Diagram Alir Pembuatan Semen Dengan Proses Kering.....	17
Gambar 11. <i>Raw Mill</i> Indarung V.....	18
Gambar 12. <i>Kiln</i> Indarung V	19
Gambar 13. <i>Silo Cement Mill</i>	21
Gambar 14. Semen <i>Portland</i> Tipe I	23
Gambar 15. Semen <i>Portland</i> Tipe II.....	23
Gambar 16. Semen Portland Tipe III	24
Gambar 17. Semen Portland Tipe V	24
Gambar 18. Portland Pozzolan Cement	25
Gambar 19. Portland Composit Cement.....	25
Gambar 20. Oil Well Cement	26
Gambar 21. Gardu Induk Indarung V	30
Gambar 22. HTDB	34
Gambar 23. MDB.....	34
Gambar 24. NDB	35
Gambar 25. MCC	36
Gambar 26. Transformator	36
Gambar 27. Sistem Kontrol Indarung V.....	38
Gambar 28. Beban Resistif.....	43
Gambar 29. Beban Induktif	43
Gambar 30. Beban Kapasitif.....	44
Gambar 31. Perbaikan Faktor Daya Dengan Kapasitor	45

Gambar 32. Segitiga Daya	46
Gambar 33. Faktor Daya	48
Gambar 34. <i>Substation</i> 448.....	55
Gambar 35. <i>Main Switch</i>	57
Gambar 36. <i>Magnetic contactor</i>	58
Gambar 37. <i>Reactive Power Regulator</i>	58
Gambar 38. <i>Capacitor Breaker</i>	59
Gambar 39. Kapasitor Bank	60
Gambar 40. Relai	61
Gambar 41. <i>Current Transformer</i>	61
Gambar 42. Pemasangan kapasitor bank secara <i>global compensation</i>	63
Gambar 43. Pemasangan kapasitor bank secara <i>sectoral compensation</i>	63
Gambar 44. Pemasangan kapasitor bank secara <i>individual compensation</i>	64
Gambar 45. Panel kapasitor bank 5U1Q32Q6.....	65
Gambar 46. Kapasitor bank shizuki	66
Gambar 47. Sistem kontrol kapasitor bank	67
Gambar 48. Pfc EPCOS	67
Gambar 49. Struktur program <i>controller</i>	68
Gambar 50. Kapasitor bank panel per step.....	73

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kompensasi Daya.....	51
Tabel 2. Beban yang terhubung MDB 5U1Q32Q6.....	69

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bangsa Indonesia selalu menerapkan sebuah sistem pendidikan nasional yang lebih mengarah kepada pengembangan dan peningkatan sumber daya manusia (SDM), dimana seluruh warga negara Indonesia diharapkan memiliki wawasan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK), yang nantinya akan dapat membangun bangsa Indonesia untuk lebih maju dan sejahtera. Untuk mencapai tujuan tersebut, perlu dilaksanakan suatu program pendidikan dan pelatihan secara berkesinambungan. Hal ini dimaksudkan agar memiliki keterkaitan yang baik antara dunia pendidikan dengan dunia usaha atau industri demi tercapainya Pembangunan Internasional.

Program Studi S1 Teknik Elektro Universitas Negeri Padang sebagai salah satu lembaga pendidikan, mengemban tugas dan amanat untuk mengembangkan pendidikan, agar menghasilkan lulusan yang memahami ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK), yang siap pakai dan mampu bekerja memenuhi kebutuhan industri. Agar mencapai tujuan tersebut, maka program studi S1 Teknik Elektro Universitas Negeri Padang menugaskan mahasiswa untuk melaksanakan PLI (Praktek Lapangan Industri) di perusahaan. Tujuan pelaksanaan kerja praktek ini agar mahasiswa prodi S1 Teknik Elektro Universitas Negeri Padang dapat mengetahui dan menerapkan ilmu yang diperoleh selama PLI di dunia industri.

Sehubungan dengan kewajiban mahasiswa untuk melaksanakan praktek Kerja Lapangan tersebut, penulis memilih PT. Semen Padang sebagai tempat melaksanakan Praktek Kerja Lapangan. Kami meninjau PT. Semen Padang memiliki andil yang cukup besar dalam peningkatan laju ekonomi dalam bidang produksi semen. Adanya keterkaitan program studi yang penulis tempuh dengan proses kegiatan di PT. Semen Padang menjadi alasan bagi penulis untuk melaksanakan kegiatan praktek industri di PT. Semen Padang. PT. Semen Padang merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi semen berstandar internasional di Indonesia. Perusahaan yang telah bergerak sejak tahun 1910 dan memiliki aset sejumlah 6 instalasi pabrik.

Dengan diadakannya kerja praktek yang dilakukan oleh mahasiswa, diharapkan adanya hubungan kerja sama antara pekerja dan pihak pembimbing pada khususnya dan perusahaan pada umumnya. Sehingga ilmu yang diperoleh di dunia kerja dapat disinergikan dan diaplikasikan untuk memperoleh sumber daya manusia yang terampil dan kompeten sehingga akan mendapat *feedback* positif bagi kemajuan bangsa dan negara.

B. Ruang Lingkup

Ruang lingkup kerja praktek adalah mempelajari berbagai aspek dalam perusahaan, baik secara langsung maupun dari informasi yang diperoleh. Dimana ruang lingkup kerja praktek di laksanakan di PT. Semen Padang khususnya **“Perbaikan Faktor Daya Dengan Kapasitor Bank 5U1Q32Q6 di Indarung V PT Semen Padang”**

C. Tujuan

Adapun tujuan pelaksanaan kerja praktek ini, adalah:

1. Meningkatkan kemampuan sekaligus memberi pengalaman bekerja secara langsung di dunia industri.
2. Diharapkan adanya *linkand match* antara dunia industri dan akademik sehingga diperoleh kesesuaian antara kebutuhan industri dan kompetensi lulusan yang dihasilkan oleh perguruan tinggi.
3. Mengetahui fungsi dan kegunaan kapasitor bank
4. Mengetahui perbaikan faktor daya dengan kapasitor bank

D. Tempat dan Waktu Pelaksanaan

1. Tempat Kegiatan

Pelaksanaan Kegiatan Pengalaman Lapangan Industri (PLI) ini dilakukan di **Pemeliharaan Listrik dan Instrument I Indarung V PT. Semen Padang.**

2. Waktu Pelaksanaan

Kegiatan Pratek Lapangan Industri (PLI) ini dilaksanakan selama lebih kurang 40 hari yang dimulai dari tanggal **2 Januari 2023** sampai dengan **24 Februari 2023.**

E. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan laporan ini adalah sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini terdiri dari latar belakang, ruang lingkup, tujuan, waktu dan tempat pelaksanaan, metodologi pengumpulan data dan sistematika penulisan.

BAB II Gambaran Umum Perusahaan

Pada bab ini berisikan tentang sejarah singkat PT. Semen Padang, daerah operasi, struktur organisasi dan area perusahaan.

BAB III Dasar Teori

Pada bab ini membahas tentang pengertian, prinsip kerja, serta teori pendukung lainnya yang berhubungan dengan pembahasan.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Menganalisa data-data yang didapatkan dari hasil penelitian.

BAB V Penutup

Berisi kesimpulan dan saran dari penulis setelah melakukan kerja praktek.

BAB II

GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN

A. Sejarah PT. Semen Padang



Gambar 1. PT Semen Padang

PT. Semen Padang merupakan salah satu badan usaha milik negara dan merupakan pabrik semen yang tertua di Indonesia, yang didirikan pada tanggal 18 Maret 1910 dengan nama *NV. Nedeerlandsch Indische Portland Cement Maatschapij* seperti pada Gambar 2.1. Pabrik mulai dibangun karena ditemukannya bahan batuan yang dapat dijadikan semen, yang ditemukan oleh kolonial Belanda yang bertugas di Sumatera Barat yang bernama Carel Cristhoper Lau yang menemukan deposit batu kapur yang sangat besar disekitar Indarung atau yang dinamakan Karang Putih.

Sejarah perkembangan PT. Semen Padang sejak didirikan sampai sekarang dapat disusun menurut periode-periode berikut:

1. Periode I : tahun 1910-1942
2. Periode II : tahun 1942-1945
3. Periode III : tahun 1945-1947
4. Periode IV : tahun 1947-1958

- 5. Periode V : tahun 1958-1961
- 6. Periode VI : tahun 1961-1972
- 7. Periode VII : tahun 1972-1995
- 8. Periode VIII : tahun 1995-sekarang

1. Periode I : tahun 1910-1942

Disaat PT. Semen Padang dibangun tahun 1910 yang dipimpin oleh Christoper, kapasitas produksi sekitar 50 ton/hari, sehingga produksi pada tahun 1913 mencapai 22.000 ton/tahun dan pernah mencapai produksi sebesar 170.000 ton/tahun pada tahun 1939, yang merupakan produksi tertinggi pada saat itu.

2. Periode II : tahun 1942-1945

Pada saat ini merupakan perang dunia II dimana jepang menguasai Indonesia dan pabrik diambil alih dengan manajemen *Asano Cement*, dikarenakan kondisi perang ini banyak mesin-mesin yang rusak dan produksi kurang sekali.

3. Periode III : tahun 1945-1947

Pada periode ini merupakan perang kemerdekaan RI, pabrik diambil alih kembali oleh pemerintahan Indonesia sendiri dan mengganti nama perusahaan menjadi kilang Semen Indarung. Hasil-hasil produksi boleh dikatakan tidak ada karena perbaikan serta penggantian mesin-mesin yang rusak akibat perang.

4. Periode IV : tahun 1947-1958

Periode ini adalah pada saat agresi militer Belanda I tahun 1947. Pabrik diambil alih oleh Belanda dan namanya diganti menjadi *NV. Padang Portland Cement Maatscaijj* (NV. PPCM) dan mulai memproduksi pada tahun 1949. Produksi tertinggi pada tahun 1958 sebesar 154.000 ton/tahun.

5. Periode V : tahun 1958-1961

Berhubung dengan pengembalian Irian Barat ke RI pada tanggal 5 Juli 1958 keluarlah keputusan Presiden RI No.50/1958 yang menyatakan bahwa pabrik semen diambil alih oleh pemerintahan Indonesia yang dikelola oleh BAPPIT, produksi tertinggi tahun 1959 sebesar 120.714 ton/tahun.

6. Periode VI : tahun 1961-1972

Setelah 3 tahun dikelola oleh BAPPIT, berdasarkan peraturan pemerintah No.135 tahun 1961 status perusahaan diubah menjadi PN (perusahaan negara), akhirnya pada tahun 1971 melalui peraturan pemerintah No.7 menetapkan status semen padang menjadi PT. Semen Padang dengan Akta Notaris 5 tanggal 4 juli 1972 produksi tertinggi sebesar 172.071 ton/tahun.

7. PeriodeVII : tahun 1972-1995

Pada tanggal 19 juli 1973 rehabilitasi pabrik diresmikan oleh presiden H.M. Soeharto dan kapasitas produksi naik menjadi 220.000 ton/tahun dan melampaui target tahun 1973 dengan produksi 248.278 ton/tahun. Rehabilitas kedua diresmikan oleh menteri perindustrian Moh. Yusuf dan produksi semakin meningkat sejalan dengan peresmian selesainya rehabilitas kedua, diresmikan pelaksanaan Indarung II dan dilanjutkan dengan proyek Indarung IIIA dan IIIB (sekarang menjadi Indarung III dan Indarung II), dimana Indarung III diresmikan pada tanggal 29 Desember 1983, sedangkan Indarung II diresmikan pada tanggal 23 Juli 1987 dengan kapasitas produksi 600.000 ton/tahun.

8. Periode VIII : tahun 1995-sekarang

Pada masa ini PT. Semen Padang mulai merealisasikan program peningkatan kapasitas produksi dengan memulai program pembangunan Indarung VI, dengan dibangunnya pabrik Indarung VI maka kapasitas produksi PT. Semen Padang adalah sebagai berikut:

- a. Pabrik Indarung I : tidak beroperasi
- b. Pabrik Indarung II : 660.000 ton/tahun
- c. Pabrik Indarung III : 660.000 ton/tahun
- d. Pabrik Indarung IV : 1.620.000 ton/tahun
- e. Pabrik Indarung V : 2.300.000 ton/tahun
- f. Pabrik Indarung VI : 3.000.000 ton/tahun

Sekarang ini PT. Semen Padang tergabung dalam Holding Semen Indonesia dimana operasioanal company terdiri atas :

- a. PT. Semen Padang
- b. PT. Semen Tonasa
- c. PT. Semen Gresik

d. Semen Thang Long

B. Visi dan Misi PT. Semen Padang

1. Visi PT. Semen Padang adalah :

“ Menjadi Industri Persemenan yang Andal, Unggul, dan Berwawasan Lingkungan di Indonesia Bagian Barat dan Asia Tenggara .”

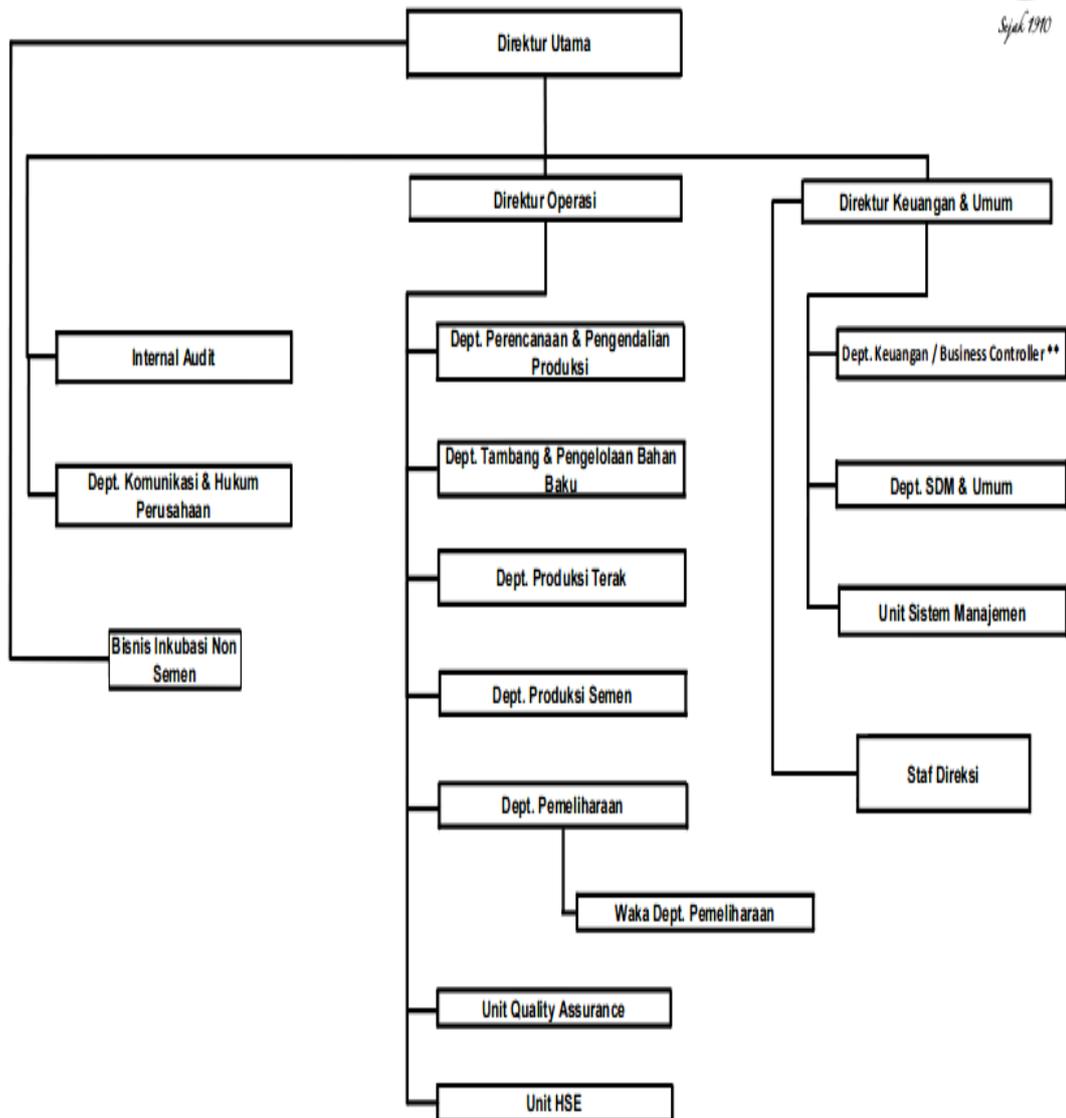
2. Misi PT. Semen Padang adalah :

- a. Memproduksi dan memperdagangkan semen serta produk terkait lainnya yang berorientasi pada kepuasan pelanggan.
- b. Mengembangkan SDM yang kompeten, professional, dan berintegritas tinggi.
- c. Meningkatkan rekayasa dan *engineering* untuk mengembangkan industri semen nasional.
- d. Memberdayakan, mengembangkan, dan mensinergikan sumber daya perusahaan yang berwawasan lingkungan.
- e. Meningkatkan nilai perusahaan secara berkelanjutan dan memberikan yang terbaik kepada *stakeholder*.

C. Struktur Organisasi PT. Semen Padang

Melalui struktur organisasi perusahaan, dapat diketahui garis pertanggungjawaban di dalam perusahaan. Setiap unit akan mempertanggungjawabkan semua kegiatan dan usaha yang telah dijalankan sesuai dengan batas wewenang yang diberikan. Makin tinggi tingkatan suatu unit tertentu, maka makin luas bidang tanggung jawabnya.

Puncak kepemimpinan di PT. Semen Padang berada pada Direktur Utama. Jabatan Direktur Utama saat ini dijabat oleh Aris Mukhtar, dimana dalam melaksanakan tugasnya dibantu oleh dua orang Direktur yaitu Direktur Operasi dijabat oleh Indrieffouny Indra dan Direktur Keuangan dijabat oleh Oktoweri. Dalam menjalankan aktivitasnya Direktur Utama dibantu oleh direktur-direktur dan staf ahli bagian pengawasan intern serta program pengendalian mutu terpaduan lembaga-lembaga penunjang lainnya.



Gambar 2. Struktur Organisasi PT Semen Padang

Departemen yang langsung berada di bawah Direktur Utama adalah:

1. Direktur Operasi yang membawahi:
 - a. Departemen Perencanaan & Pengendalian Produksi
 - b. Departemen Tambang & Pengelolaan Bahan Baku
 - c. Departemen Produksi Terak
 - d. Departemen Produksi Semen
 - e. Departemen Pemeliharaan
2. Direktur Keuangan yang membawahi:
 - a. Departemen Keuangan
 - b. Departemen Sumber Daya Manusia & Umum

Kedua direktur ini bertindak langsung sebagai pengelola (Dewan Direksi). Selain departemen diatas Dewan direksi dibantu oleh badan setingkat departemen yang memiliki tanggung jawab langsung terhadap Dewan Direksi, yaitu:

- 1) Satuan Pengawas Intern/ Internal Audit
- 2) Sekretaris Perusahaan

Untuk operasionalnya masing-masing direksi dibantu oleh karyawan yang dibagi atas:

- a) Karyawan Tetap
 - (1) Staf; sebagai kepala departemen, sub – departemen, biro dan kepala bidang.
 - (2) Non – staf; sebagai kepala regu (asisten supervisor sebagai penanggung jawab distribusi dan kelancaran kerja di lingkungan seksinya) beserta bawahannya.
- b) Karyawan Harian

Karyawan harian adalah karyawan yang tidak memiliki nomor induk pegawai perusahaan dan masa kerja seharian.
- c) Karyawan Honor

Karyawan honor sama dengan karyawan harian akan tetapi kedudukannya lebih dan waktu kerja yang sama.

Disamping itu direktur utama bersama direktur lainnya yang disebut Dewan Direksi juga membawahi beberapa Anak Perusahaan dan Lembaga Penunjang (APLP) dan Panitia Pelaksana Keselamatan dan Kesehatan Kerja (P3K3). Anak Perusahaan yang ada sekarang adalah:

- 1) PT. Igaras
- 2) PT. Yasiga Sarana Utama
- 3) PT. Andalas Yasiga Perkasa
- 4) PT. Pasoka Sumber Karya

D. Logo PT Semen Padang

Logo PT. Semen Padang (PTSP) pertama kali dibuat pada 1910, ketika masih bernama *Nederlandsch Indische Portland Cement* (Pabrik Semen Hindia Belanda). Logo itu hanya berumur 3 tahun karena pada 1913 dibuat sebuah logo baru. Logo itu diubah lagi pada 1928. Kata *Nederlandsch* diubah lagi menjadi Padang. Namun, saat Belanda kembali pada 1950, nama NVPPCM muncul kembali Logo PTSP dimodifikasi lagi pada 1958, seiring dengan kebijakan pemerintah pusat tentang nasionalisasi perusahaan asing. Logo PTSP diperbarui lagi pada 1970. Dua lingkaran dihilangkan, sehingga tulisan Padang Portland Cement Indonesia dibuat melingkar sekaligus menjadi pembatasnya. Gambar kerbau hanya menampilkan kepalanya saja dengan posisi menghadap ke depan. Di atas kepala kerbau dibuat pula gambar atap/gonjong (5 buah) rumah adat. Muncul pula moto PTSP yang berbunyi "Kami Telah Berbuat Sebelum yang Lain Memikirkan".

Namun, pada 1972 logo tersebut dimodifikasi dengan memunculkan dua garis lingkaran besar dan kecil. Perubahan terjadi lagi pada 1991, saat tulisan Padang Portland Cement menjadi Padang Cement Indonesia. Pada 1 Juli 2012, PT. Semen Padang kembali melakukan perubahan logo. Pada perubahan kali ini, PT. Semen Padang tidak melakukan perubahan yang bersifat fundamental karena brand perusahaan tertua di Indonesia ini dinilai sudah kuat. Pergantian ini dilakukan dengan pertimbangan, logo yang dipakai sebelumnya memiliki ciri tanduk kerbau kecil dan complicated (rumit).

Pada logo baru disempurnakan menjadi, tanduk kerbau menjadi besar dan kokoh/melindungi, mata kelihatan tajam/tegas, gonjong menjadi sederhana (crown), dan telinga pada posisi "ON" (selalu mendengar). Logo baru ini memiliki kriteria dan karakter yang kokoh (identitas semen), universal (tidak kedaerahan), lebih simpel, dan lebih konsisten (aplicable dalam ukuran terkecil).



SEJARAH PERKEMBANGAN LOGO PT SEMEN PADANG

Gambar 2. Logo Semen Padang

E. Proses Pembuatan Semen

1. Pengertian Semen

Semen adalah suatu zat perekat hidrolis dimana senyawa-senyawa yang dikandungnya akan mempunyai daya rekat terhadap batuan jika semen tersebut sudah bereaksi dengan air. Sifat perekat hidrolis tersebut akan menyebabkan semen bersifat :

- a. Tidak dapat segera mengeras bila tercampur dengan air
- b. Larut dalam air
- c. Dapat mengeras walaupun berada dalam air

2. Sifat-sifat Semen

Beberapa sifat semen yang utama adalah :

a. Sifat Hidrasi Semen

Hidrasi semen adalah reaksi yang terjadi antara komponen/senyawa semen dengan air, menghasilkan senyawa hidrat. Reaksi ini dipengaruhi oleh kehalusan semen, jumlah air, suhu, dan sebagainya. Reaksi hidrasi semen tersebut akan menghasilkan panas yang akhirnya akan mempengaruhi kualitas (mutu) beton.

b. *Setting* dan *Hardening* (Pengikatan dan Pengerasan)

Setting (pengikatan) pada adonan semen dan air adalah sebagai gejala terjadinya kekakuan semen yang biasa dinyatakan dengan waktu pengikatan (*setting time*) yaitu mulai terjadinya adonan sampai semen mulai kaku. *Hardening* (pengerasan) yaitu semen mulai mengeras dan memberikan kekuatan. Jadi *setting* dan *hardening* merupakan suatu rangkaian proses sejak terjadinya adonan semen sampai semen itu mengeras dan memberikan kekuatan.

c. *Kekuatan Tekan (Compressive Strength)*

Kekuatan tekan (*Compressive Strength*) yaitu sifat yang harus dimiliki oleh semen untuk dapat menahan (memikul) beban tekanan. Biasanya beban tekanan (kg/cm^2) dinyatakan pada umur beton 28 hari.

d. Penyusutan (*Srinkage*)

Penyusutan adalah penyusutan volume beton karena adanya penguapan air yang ada dalam adonan semen tersebut. Semen yang baik jika penyusutannya sekecil mungkin.

e. *Ketahanan (Durability)*

Ketahanan adalah ketahanan beton terhadap pengaruh yang merusak oleh kondisi sekitarnya sehingga tidak menimbulkan penurunan kekuatan tekanan. Kerusakan beton biasanya oleh pengaruh asam, pengaruh sifat, dan abrasi (kikisan).

3. Bahan Mentah Semen

Semen terdiri dari berbagai senyawa mineral yang mengandung kalsium aluminat dan kalsium aluminat-ferit, yang berarti senyawa semen berasal dari zat (oksida) kapur, oksida silikat, oksida aluminat, dan oksida besi. Oleh karena itu bahan mentah semen adalah bahan-bahan yang dapat menghasilkan keempat oksida tersebut diatas dan dapat berasal dari satu atau dua jenis bahan mentah, tetapi jika belum cukup perlu ditambah dengan bahan mentah yang lain. Ada lima material dasar pembuat semen yaitu :

1. Batu kapur (*lime stone*) 80%
2. Batu silika (*silika stone*) 10%
3. Tanah liat (*clay*) 8%
4. Pasir besi (*iron sand*) 2%
5. Gypsum (ditambahkan setelah penggilingan)

1. Batu kapur

Batu kapur merupakan sumber kalsium oksida (CaO) dan kalsium dan kalsium karbonat (CaCO_3). Batu ini diambil dari bukit Karang Putih. Tahap penambangan batu kapur ini adalah sebagai berikut :

- a. *Shipping* yaitu pengupasan atau pembukaan lapisan kerak dari batu bukit karang sehingga diperoleh lapisan batu kapur.
- b. *Drilling* yaitu pengeboran dengan menggunakan alat *srewler drill* dan *drill master* dengan tenaga udara tekan dari kompresor. Pengeboran lubang dengan diameter 5,5 inchi ini digunakan untuk menanamkan peledak.
- c. *Blasting* yaitu proses peledakan dengan menggunakan dinamit dan bahan pencampur berupa ammonium nitrat dan *fuel oil* (ANFO).
- d. *Dozing* yaitu proses pengumpulan batu kapur yang telah diledakkan menggunakan dozer untuk selanjutnya ditransportasikan ketempat penampungan.

- e. *Crushing* yaitu memperkecil ukuran material sampai ukuran yang dikehendaki. Proses ini langsung dilakukan di area penambangan.
- f. Pengiriman material kesilo penampungan. Transportasi material menggunakan *belt konveyor*.



Gambar 3. Batu Kapur

2. Batu Silika

Material ini merupakan sumber Silisium Oksida (SiO_2) dan Aluminium Oksida (Al_2O_3). Material ini ditambang di Bukit Ngalau. Penambangannya dilakukan tanpa bahan peledak tetapi diruntuhkan dengan menggunakan *trackcavator* dan dibawa ke *crusher* dengan *shell loader* atau *dump truck* dan kebutuhannya adalah sekitar 9 – 10% dari kebutuhan bahan mentah.



Gambar 4. Batu Silika

4. Tanah Liat

Tanah liat merupakan sumber Aluminium Oksida (Al_2O_3) dan Iron Oksida (Fe_2O_3 dan FeO). Tanah liat ditambang disekitar pabrik (Bukit Atas) dan diambil dengan menggunakan *excavator* dan ditransportasikan dengan *dump truck* dan kebutuhannya adalah 8 – 9% dari total kebutuhan bahan mentah.



Gambar 5. Tanah Liat

5. Pasir Besi

Pasir Besi mempunyai oksida utama berupa Fe_2O_3 yang kebutuhannya hanya sekitar 1 – 2% dari total kebutuhan bahan mentah. PT. Semen Padang tidak memiliki area tambang pasir besi, jadi untuk memenuhi kebutuhan akan pasir besi, PT. Semen Padang didatangkan dari Pulau Bali dan negara Brazil.



Gambar 6. Pasir Besi

6. Gypsum

Gypsum merupakan sumber utama $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Material ini dipakai sebagai penahan agar semen tidak cepat mengering dan

mengeras. Kebutuhan gypsum untuk PT. Semen Padang didatangkan dari Gresik, Australia, dan Thailand.

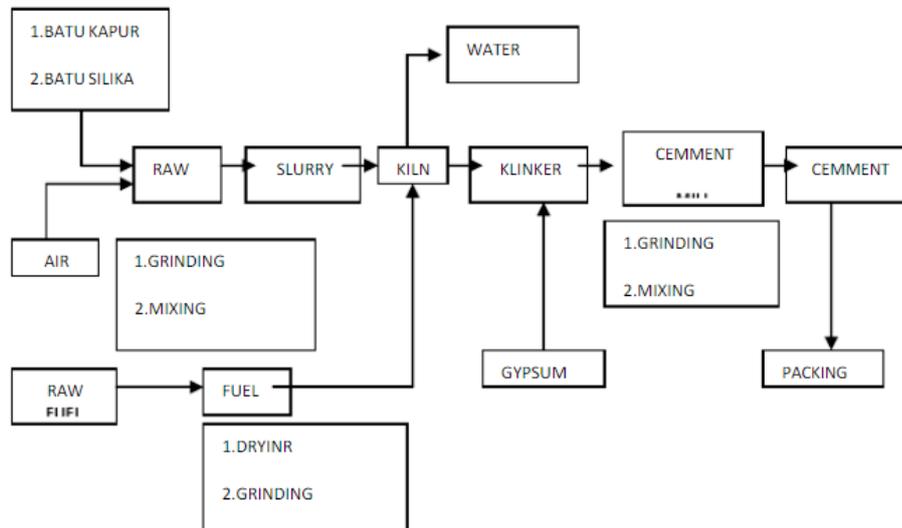


Gambar 7. Gypsum

4. Jenis Proses Semen

a. Proses Basah (*Wet Process*)

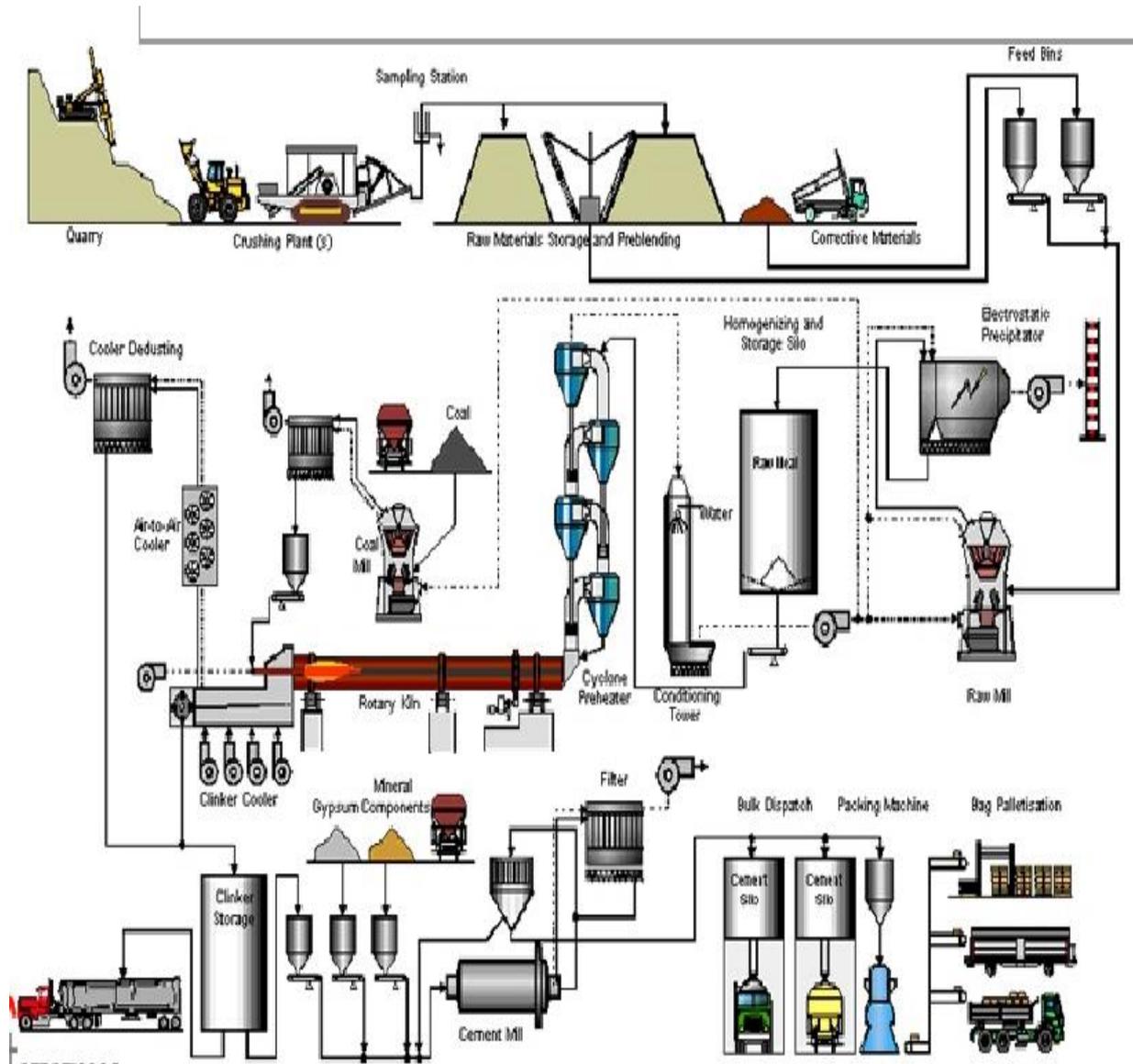
Secara umum proses pembuatan semen dengan proses basah adalah dengan penambahan air sewaktu penggilingan bahan mentah, sehingga hasil gilingan bahan mentah berupa lumpur yang disebut slurry dengan kadar air sekitar 30-36 %.



Gambar 8. Diagram alir pembuatan semen dengan proses basah

b. Proses Kering

Pembuatan semen melalui proses kering yaitu dengan pengeringan bahan mentah sejalan dengan penggilingannya, sehingga hasil gilingan bahan mentah berupa tepung/bubuk, yang disebut *Raw Mix*, dengan kadar airnya kecil 1%.



Gambar 9. Diagram Alir Pembuatan Semen Dengan Proses Kering

Dalam pemilihan jenis proses mana yang akan dipakai tergantung dari beberapa faktor antara lain :

- 1) Kondisi bahan mentah yang meliputi kadar air bahan mentah, komposisi bahan mentah, *grindability* bahan mentah.
- 2) Lokasi pabrik dan biaya operasi
- 3) Jenis produk yang akan dibuat
- 4) Standar teknik di suatu daerah

5. Penggilingan dan Pencampuran Bahan Mentah



Gambar 10. Raw Mill Indarung V

Penggilingan material bertujuan untuk memperkecil ukuran partikel atau memperbesar luas permukaan sehingga mempermudah proses berikutnya. Proses ini dilakukan dalam *Raw Mill* seperti yang terlihat pada gambar 2.10. Pada tahap ini keempat bahan baku yang telah dipersiapkan dengan persentase yang sesuai, digiling sampai menjadi tepung atau mencapai tingkat kehalusan tertentu. Di dalam *Raw Mill* terdapat grinding media, yaitu berupa bola-bola besi dengan diameter 80-90 mm dan 30-40 mm. Penggilingan dilakukan dengan memutar dengan kecepatan konstan sehingga terjadi pukulan antara grinding media. Adapun cara penggilingan bahan mentah ini ada dua jenis proses yaitu dengan proses basah dan proses kering.

a. Proses Basah

Pada proses penggilingan basah, campuran bahan mentah digiling dalam *Raw Mill* dengan menambahkan air dengan kadar tertentu, biasanya berkisar 30-37%. Hasil penggilingan bahan mentah berupa lumpur yang disebut dengan *slurry*. Agar *slurry* yang dihasilkan homogen, maka dilakukan proses *homogenizing*, yaitu mengaduk *slurry* secara mekanik atau menggunakan udara tekan di dalam bak penampungan.

b. Proses Kering

Pada proses ini, disebut dengan *drying, during, grinding*. Untuk mengeringkan material digunakan gas panas yang keluar dari *Kiln* dengan suhu sekitar 350°C. Material keluaran dari *Raw Mill* ini berbentuk bubuk tepung bersuhu 80°C dengan kandungan air < 1% yang disebut dengan *Raw Meal (Raw Mix)*.

Dari *Raw Mill*, *Raw Mix* dibawa ke *separator* untuk dilakukan pemisahan material yang kasar dan halus. Material yang masih kasar diumpukan kembali ke *Raw Mill* untuk digiling kembali dan material yang sudah halus dimasukkan ke dalam silo *Raw Mix*, yaitu tempat penyimpanan sementara dan tempat dilakukannya homogenisasi.

6. Pembakaran (*kiln*)



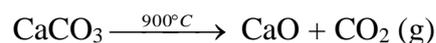
Gambar 11. *Kiln* Indarung V

Setelah melalui proses homogenisasi di dalam silo, Raw Mix di umpankan ke *Kiln Mill* untuk proses pembakaran seperti yang terlihat pada gambar 11. Tujuan utama dari pembakaran adalah untuk menghasilkan reaksi-reaksi kimia dan pembentukan senyawa di antara oksida-oksida yang terdapat pada bahan mentah. Pembakaran ini dilakukan hingga mencapai suhu maksimum, yaitu 1450°C.

Pada tahap pembakaran ini terjadi beberapa proses, yaitu :

- a. Pengeringan
- b. Pemanasan pendahuluan
- c. Kalsinasi
- d. Pemijaran
- e. Pendinginan

Raw Mix dibawa ke *pre-heater* yang disebut dengan *suspention pre-heater*. Di sini dilakukan penguapan lanjutan atau pemanasan awal pada *Raw Mix* dengan gas panas dengan suhu 800°C -900°C. Di samping itu, dilakukan proses penguraian material untuk mendapatkan kapur CaO dari senyawa CaCO₃ atau dikenal dengan kalsinasi, dengan persamaan reaksi :



Dari *pre-heater*, *Raw Mix* diumpankan ke *kiln*. *Kiln* berupa tabung besi dengan diameter 5,6 m dan panjang 84 m. *Kiln* dipasang dengan kedudukan miring kira-kira 30° dan diputar dengan kecepatan konstan (maksimal 5 rpm) agar pembakaran sempurna dan merata.

Bahan bakar yang digunakan untuk pembakaran ini adalah batu bara yang dihaluskan pada *Coal Mill*. Proses penggilingan batu bara juga bertujuan untuk memisahkan material dari udara. Udara yang terpisah di buang untuk sirkulasi, sedangkan material yang halus disimpan pada *Coal Hopper*. Penyaluran serbuk batu bara sebagai bahan bakar dilakukan dengan menggunakan *fan*.

Material yang telah mengalami pemijaran atau pembakaran di dalam *kiln* , selanjutnya didinginkan oleh alat pendingin (*Cooler*) yang terletak pada bagian pangkal *kiln*. *Cooler* yang memiliki panjang 15 m ini mendinginkan material yang panas dengan mengalirkan udara dari luar. Material yang keluar dari *kiln* ini disebut dengan terak/*clinker* yang memiliki suhu $150^{\circ} - 200^{\circ}\text{C}$. *Clinker* ini kemudian disimpan di silo *Clinker* untuk didinginkan.

7. Penggilingan Hasil Pembakaran (*Clinker*) menjadi semen



Gambar 12. Silo Cement Mill

Pada tahap ini, *Clinker* yang telah didinginkan di dalam silo diumpankan bersama Gypsum sekitar 3 – 6 % ke dalam *Cement Mill* (*Tromol Cement*). Fungsi gypsum dalam semen adalah sebagai retarder, yaitu bahan yang dapat mengendalikan reaksi sewaktu pengerasan semen, sehingga semen tidak terlalu cepat mengeras setelah di campur dengan air.

Di dalam *Cement Mill*, *Clinker* yang berukuran 1- 40 mm digiling bersama gypsum sampai mencapai tingkat kehalusan tertentu dengan menggunakan grinding media. Hasil penggilingan dalam *Cement Mill* berupa semen siap pakai yang diangkut menggunakan bucket elevator menuju separator. Pada separator ini, dilakukan pemisahan material yang halus dengan yang kasar. Material yang kasar diumpankan kembali

menuju mill, sedangkan semen yang halus dimasukkan ke dalam *silo* semen dan siap untuk di kantongkan dan ditransportasikan.

8. Pengantongan

Proses pengantongan dilakukan sesuai dengan distribusi yang dibutuhkan. Jadi tidak ada penumpukan atau gudang semen untuk semen yang telah dikantongkan di pabrik ini. Semen yang akan didistribusikan ke wilayah yang relatif dekat, dilayani dengan menggunakan truk seperti Sumatra Barat, Jambi, dan Tapanuli Selatan yang pengantongannya dilakukan di Indarung. Sedangkan pengantongan untuk pemasaran yang akan di transportasikan melalui kapal laut dilakukan di Teluk Bayur. Semen yang diambil dari silo semen langsung menuju unit pengantongan dengan menggunakan alat transportasi *Air Slide Conveyor*. Setelah dikantongkan, semen langsung dibawa dengan *Belt Conveyor* ke atas truk.

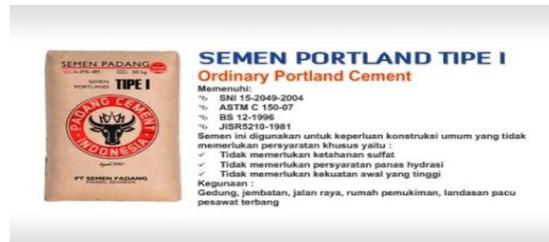
Pengantongan Semen PT. Semen Padang Indonesia dilakukan pada dua tempat yaitu *Packing Plant* Indarung (PPI) dan *Packing Plant* Teluk Bayur (PPTB). Pada PPI terdapat 10 unit *packer* dan di Teluk Bayur terdapat 7 unit *packer*. Setiap unit merupakan *rotary packer* dengan 10 spout dan berkapasitas 80 ton/jam. Pengangkutan semen menuju Teluk Bayur, juga tersedia *Packing Plant* di belawan, Batam, dan Tanjung Priok. Dengan adanya *Packing Plant* di beberapa daerah maka semen dikirimkan dalam bentuk curah.

F. Produk-produk yang Dihasilkan

1. *Portland Cement*

Merupakan perekat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak atau klinker yang kandungan utamanya kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan yaitu berupa kristal senyawa kalsium sulfat. Semen Portland ini ada lima tipe dengan spesifikasi tersendiri yaitu:

a. Semen *Portland* Tipe I



Gambar 13. Semen Portland Tipe I

Standar:

- Standar Nasional Indonesia : SNI 15-2049-1994
- American Society for Testing and Materials : ASTM C 150-95
- British Standard: BS 12 : 1989
- Japanese Industrial Standard : JIS R-5210

Spesifikasi untuk pemakaian umum seperti bangunan yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti rumah pemukiman, gedung-gedung sekolah dan perkantoran, bangunan pabrik dan gedung bertingkat, dan lain-lain.

b. Semen *Portland* tipe II



Gambar 14. Semen Portland Tipe II

Standar :

- Standar Nasional Indonesia : SNI 15-2049-1994
- American Society for Testing and Materials : ATSMC 150-95

Spesifikasi untuk konstruksi dengan ketahanan sulfat sedang (0,1-0,2%) dengan kadar C_3A kurang dari 8%, misalnya untuk bangunan di tepi laut, bangunan di bekas tanah rawa, saluran irigasi beton masa

untuk dam-dam dan landasan jembatan serta bangunan pengolahan limbah.

c. Semen *Portland* Tipe III



Gambar 15. Semen Portland Tipe III

Standar :

- Standar Nasional Indonesia : SNI 15-2049-1994
- American Society for Testing and Materials : ATSMC 150-95

Spesifikasi cepat keras pada umur muda, kandungan C_3S dan C_3A tinggi, butiran halus, dipakai untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kekuatan tekan tinggi seperti bangunan bertingkat, beton pra cetak dan pra tekan serta bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan sulfat.

d. Semen *Portland* Tipe V



Gambar 16. Semen Portland Tipe V

Standart :

- Standar Nasional Indonesia : SNI 15-2049-2004
- American Society for Testing and Materials : ASTM C 150-05

Spesifikasi untuk bangunan yang tahan panas hidrasi rendah seperti instalasi pengolahan limbah dan konstruksi dalam air.

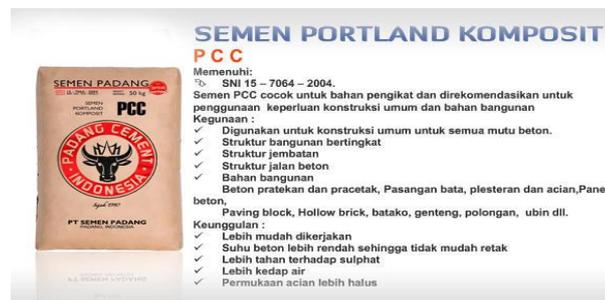
2. Portland Pozzolan Cement (PPC)



Gambar 17. Portland Pozzolan Cement

Merupakan produk baru yang digunakan untuk bangunan rumah, pemukiman, perkantoran dan lain lain yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Kualitas produk ini tidak kalah dengan semen tipe I dan tipe SMC. Produk ini menggunakan pasir *pezzoland* yang didatangkan dari daerah Pariaman.

3. Portland Composit Cement (PCC)



Gambar 18. Portland Composit Cement

Produk ini adalah jenis semen yang menggunakan banyak klinker dan sedikit gypsum untuk pembuatannya, kualitas semen nya pun lebih baik dibandingkan dengan *portland pozzolan cement*. Produksi semen ini pun sangat khusus sesuai dengan pesanan. Semen *portland* komposit ini banyak digunakan untuk konstruksi umum seperti: pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton (*paving block*) dan lain sebagainya.

4. *Oil Well Cement*



Gambar 19. Oil Well Cement

Jenis OWC yang diproduksi oleh PT. Semen Padang adalah class G-HSR yaitu jenis semen yang digunakan untuk pembuatan sumur minyak dengan kedalaman sampai 8.000 kaki dan tahan terhadap sulfat tinggi. Produksi ini memenuhi persyaratan Standar Nasional Indonesia; SNI 15-3600-1994 dan *American Society for Testing and Materials*; ASTM C-91/1993 tipe M.

5. *Super Mansory Cement*

Semen ini termasuk jenis Semen *Portland* Campur yang digunakan untuk konstruksi ringan dengan kuat tekan karakteristik (f_c) setinggi-tingginya 20 Mpa (200 kg/cm^2) pada umur 28 hari.

G. Kapasitas Produksi

Sejak diambil alih oleh Pemerintah Republik Indonesia, PT. Semen Padang terus dikembangkan dengan meningkatkan kapasitas produksinya sebagai berikut:

1. Pada tahun 1970 diadakan rehabilitasi pabrik Indarung I tahap I yang diselesaikan pada tahun 1973 dengan peningkatan kapasitas produksi dari 120.000 ton per tahun menjadi 220.000 ton per tahun.
2. Tahun 1973 dilanjutkan rehabilitasi pabrik Indarung I tahap II yang diselesaikan pada tahun 1976 sehingga peningkatan kapasitas produksinya dari 220.000 ton per tahun menjadi 330.000 ton per tahun.

3. Pada tahun 1977 dimulai proyek Indarung II dengan teknologi pembuatan semen proses kering, bekerja sama dengan F.L. Smidth & co.A/S (Denmark). Proyek ini selesai tahun 1980 dengan kapasitas terpasang 600.000 ton per tahun.
4. Pembangunan Indarung IIIA dilakukan pada tahun 1981 dan selesai pada tahun 1983. Pada tahun 1987 pembangunan Indarung III B juga selesai. Indarung III C dibangun oleh PT. Semen Padang dengan sistem swakelola dan selesai pada tahun 1994. Indarung III A yang akhirnya dinamakan dengan pabrik Indarung III dan Indarung III B dan III C dinamakan pabrik Indarung IV. Dengan adanya proyek optimalisasi, maka kapasitas produksi Indarung IV ini meningkat menjadi 1.620.000 ton per tahun.
5. Pada tahun 1996 dimulai proyek Indarung V dengan kapasitas produksi sebesar 2.300.000 ton per tahun, dan mulai beroperasi secara komersil pada bulan November 1998.
6. Pada 17 Januari 2014 dimulai pembangunan proyek Indarung VI dengan kapasitas produksi 3.000.000 ton per tahun.
PT. Semen Padang (persero) saat ini mempunyai kapasitas terpasang 5.240.000 ton per tahun dengan 5 unit pabrik yaitu:
 - a.Pabrik Indarung I : tidak beroperasi
 - b.Pabrik Indarung II : 660.000 ton per tahun
 - c.Pabrik Indarung III : 660.000 ton per tahun
 - d.Pabrik Indarung IV : 1.620.000 ton per tahun
 - e.Pabrik Indarung V : 2.300.000 ton per tahun
 - f. Pabrik Indarung VI : 3.000.000 ton per tahun

H. Sumber Energi Listrik PT. Semen Padang

PT. Semen Padang yang terdiri dari enam pabrik (Pabrik Indarung I sampai dengan Pabrik Indarung VI) dan pertambangan, dalam operasionalnya menggunakan energi listrik yang cukup besar. Sebagian besar energi listrik digunakan untuk proses produksi, instalasi penerangan dan perkantoran. Total

energi listrik yang dibutuhkan oleh PT. Semen Padang sekitar 139.2 MW yang terdiri dari 1,2 MW untuk operasional non pabrik dan sekitar 138 MW untuk operasional pabrik.

Energi listrik yang dikonsumsi oleh PT. Semen Padang pada awalnya disuplai oleh pembangkit sendiri berupa PLTA dan PLTD. Seiring dengan perkembangan pabrik dan kemajuan teknologi, maka kebutuhan tenaga listrik meningkat dengan cepat dan tidak dapat dipenuhi oleh pembangkit sendiri. Untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, maka PT. Semen Padang melakukan kerja sama (kontrak) dengan PT. PLN (Persero).

1. Perusahaan Listrik Negara (PLN) .

Konsumsi daya listrik PT. Semen Padang yang dikontrak dari PLN saat ini sebesar 48 MW digunakan untuk menjalankan peralatan pada pabrik Indarung II, III, IV, V, VI, kebutuhan tambang dan kebutuhan non pabrik. Untuk itu PLN mensuplai tenaga listrik dari Ombilin dan Solok I yang disalurkan melalui transmisi tegangan tinggi 150 kV.

Untuk keandalan sistem, maka suplai tersebut telah diinterkoneksi agar suplai tidak terputus jika terjadi gangguan pada salah satu suplai tenaga tersebut. Untuk memudahkan pelayanan listrik pada PT. Semen Padang, maka PLN mendirikan dua gardu induk, yaitu :

a. Gardu Induk Indarung (GI Indarung)/GI PLN

GI Indarung digunakan untuk mensuplai kebutuhan daya listrik pada pabrik Indarung II sampai dengan pabrik Indarung IV (kecuali *Kiln Ind IV*) dan tambang. GI Indarung memiliki kapasitas terpasang sebesar 2x30 MVA yang berasal dari saluran transmisi 150 kV dan 2x20 MVA dari saluran transmisi 20 kV digunakan sebagai cadangan atau *back up* apabila kapasitas terpasang 2x30 MVA dari saluran transmisi 150 kV mengalami gangguan. Sebelum didistribusikan tegangan listrik sebesar 150 kV dari GI Indarung diturunkan menjadi 6,3 kV dengan menggunakan trafo *step down* 150 kV/6,3 kV untuk kapasitas terpasang 2x30 MVA dan 20 kV/6,3 kV untuk kapasitas

terpasang 2x30 MVA. Untuk mendistribusikan energi listrik tersebut GI Indarung memiliki 13 *feeder*, yaitu

- | | |
|-----------------|-----------------------------------|
| 1) Feeder I | <i>Lime Stone Crusher</i> |
| 2) Feeder II | <i>Silica Crusher</i> |
| 3) Feeder III | <i>Raw Mill</i> Indarung II |
| 4) Feeder IV | <i>Raw Mill</i> Indarung III A |
| 5) Feeder V | <i>Cement Mill</i> Indarung II |
| 6) Feeder VI | <i>Cement Mill</i> Indarung III A |
| 7) Feeder VII | <i>Raw Mill</i> Indarung III B |
| 8) Feeder VIII | <i>Spart</i> |
| 9) Feeder IX | <i>Kiln</i> Indarung III A |
| 10) Feeder X | <i>Cement Mill</i> Indarung III C |
| 11) Feeder XI | <i>Kiln</i> Indarung II |
| 12) Feeder XII | Indarung I |
| 13) Feeder XIII | Pada panel PLTD II |

b. Gardu Induk PT. Semen Padang (GI IND V-VI)

GI PT. Semen Padang memiliki kapasitas terpasang sebesar 3x30 MVA yang berasal dari saluran transmisi 150 kV. GI PTSP hanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik pabrik Indarung V, yaitu meliputi *Raw Mill & Coal Mill Dept*, *Kiln Dept*, dan *Cement Mill Dept* dan Tambang. Seperti halnya GI Indarung, sebelum didistribusikan tegangan listrik sebesar 150 kV dari GI PTSP diturunkan menjadi 6,3 kV menggunakan trafo *step down* 150 kV/6,3 kV dengan kapasitas 3x30 MVA. Pengaturan tegangan listrik dilakukan dengan sistem OLTC(*On Load Tap Changer*) secara otomatis maupun secara manual, yang bertujuan untuk menstabilkan tegangan 6,3 kV yang keluar dari sisi sekunder trafo.



Gambar 20. Gardu Induk Indarung V

Untuk mendistribusikan tenaga listrik tersebut, GI PTSP memiliki 12 *feeder*, yaitu :

- 1) Feeder XIV *Raw Mill 158*
- 2) Feeder XV *Vertical Mill I 348.1*
- 3) Feeder XVI *Vertical Mill I 348.2*
- 4) Feeder XVII *LS dan SS to Storage 5TB1*
- 5) Feeder XVIII *ESP Dept. 428*
- 6) Feeder XIX *CCR dan Kiln Dept. 731*
- 7) Feeder XX *Cooler Dept. 448*
- 8) Feeder XXI *Raw Mill R4*
- 9) Feeder XXII *Coal Mill Dept. 468*
- 10) Feeder XXIII *Cement Mill I Dept. 548.1*
- 11) Feeder XXIV *Cement Mill II Dept. 548.2*
- 12) Feeder XXV *Cement Silos Dept. 628*

2. Pembangkit Sendiri

Sumber tenaga listrik sendiri yang dimiliki oleh PT. Semen Padang hanya menyediakan kebutuhan listrik bagi *Kiln Dept. Indarung IV*, Kantor Pusat, Rumah Sakit, *Emergency/Inching Kiln Dept. Indarung II/III* dan *Kiln Dept. Indarung V*. Sedangkan kebutuhan listrik untuk unit-unit lainnya, seperti *Raw Mill* dan kebutuhan pabrik diambil dari PLN. Berdasarkan tenaga pembangkitnya, maka pembangkit sendiri yang dimiliki oleh PT. Semen Padang terdiri dari :

a. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

1) PLTA Rasak Bunga

PLTA Rasak Bunga memperoleh sumber air dari Sungai Lubuk Perakudan Sungai Air Baling. Kedua sumber air ini bertemu pada dam airbaling untuk diarahkan ke kanal yang panjangnya sekitar 1,5 km menuju bak penampungan sebagai tempat pengendapan pasir dan kerikil. Kemudian dari bak penampungan ini air tersebut diteruskan ke rumah pembangkit (*Power House*) terdiri dari turbin dan generator. PLTA Rasak Bunga memiliki dua generator dengan kapasitas terpasang 2x690 kVA dengan tegangan yang dibangkitkan 3 kV.

2) PLTA Batu Busuk atau Kuranji

PLTA Kuranji memperoleh sumber air dari Sungai Padang Jernih dan Sungai Padang Keruh yang bertemu pada Dam Patamuan untuk diarahkan ke kanal yang panjangnya sekitar 3,2 km menuju bak penampungan. PLTA Kuranji memiliki 4 generator dengan kapasitas terpasang 3x690 kVA dengan tegangan yang dibangkitkan 3 kV dan 1x5000 kVA dengan tegangan yang dibangkitkan 6 kV.

b. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

PLTD adalah suatu cara untuk membangkitkan tenaga listrik, dimana generatornya mendapatkan energi mekanik dari mesin diesel. Energi ini diperoleh dari pembakaran bahan bakar atau minyak diesel. Bahan bakar yang digunakan adalah solar, dengan pemakaian sebanyak 80 ton/hari. Mesin diesel yang digunakan ada 2 tipe, yaitu :

- Tipe L (*In-Line Engine*)
- Tipe V (*Vee Engine*)

Prinsip kerja kedua tipe ini hampir sama, hanya saja terdapat perbedaan pada konstruksinya. Pada tipe L, silindernya disusun sebaris dan masing-masing silinder berdiri tegak pada tiap barisnya. Sementara itu, pada mesin diesel tipe V silindernya disusun dua buah tiap baris dengan susunan membentuk huruf V. Berikut ini adalah keuntungan mesin diesel tipe V dibandingkan dengan tipe L:

- Ukurannya lebih kecil
- Daya yang dihasilkan lebih besar
- Getaran (vibrasi) lebih rendah

PT. Semen Padang memiliki dua buah pembangkit listrik tenaga diesel, yaitu:

1) PLTD (Pabrik Indarung I)

PLTD I menggunakan mesin diesel tipe L, yang terdiri dari enam unit generator dengan kapasitas terpasang 3x640 kVA, 1x2000 kVA dan 2x3000 kVA, dengan tegangan yang dibangkitkan sebesar 3 kV.

2) PLTD (Pabrik Indarung II)

PLTD II menggunakan mesin diesel tipe V, yang terdiri dari tiga unit generator dengan kapasitas terpasang 3x6250 kVA dan tegangan yang dibangkitkan sebesar 6,3 kV. Unit PLTD di PT. Semen Padang ini, di-start dengan cara kompresi udara. Teknis kerja yang digunakan adalah antara 15 – 30 kg/cm². Start mesin diesel ini menggunakan rangkaian pembantu yang memanfaatkan energi listrik dari PLTA. Tenaga listrik yang dibangkitkan oleh PLTA dan PLTD dikirim dan dikumpulkan pada rel utama Indarung I dan rel utama Indarung II sebelum didistribusikan ke beban.

c. WHRPG (Waste Heat Recovery Power Generation)

Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG) merupakan pembangkit listrik dengan kapasitas 8,5 MW. Proyek ini merupakan hasil kerjasama dengan NEDO Jepang yang bertujuan untuk menghemat energi dan meminimalkan emisi gas CO₂. Cara kerja WHRPG secara umum adalah penggunaan gas buang Kiln pada boiler untuk memanaskan air dan mengubah air tersebut menjadi uap yang sangat panas sekaligus digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan tenaga listrik dari kumparan medan magnet di generator. Sistem pengaturan yang digunakan pada power plant ini menggunakan sistem pengaturan Loop tertutup, dimana air yang digunakan untuk beberapa proses merupakan putaran air yang sama, hanya perlu ditambahkan jika memang level yang ada kurang. Bentuknya saja yang berubah, pada level tertentu berwujud air, tetapi pada level yang lain berwujud uap.

3. Pendistribusian Energi Listrik ke Beban

Secara umum tegangan suplai untuk keperluan pabrik dibagi atas 2, yaitu :

a. Tegangan tinggi (*High Tension*)

Yaitu tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit, baik pembangkit sendiri maupun dari PLN.

b. Tegangan rendah (*Low Tension*)

Untuk melayani beban digunakan bus bar tegangan tinggi dan tegangan rendah. Bus bar yang digunakan untuk melayani beban terbuat dari tembaga dengan bentuk lempengan yang dipasang sepanjang HTDB, MDB dan MCC serta dilengkapi oleh isolator.

1) HTDB (*High Tension Distribution Board*)

Untuk melayani beban bertegangan tinggi berupa trafo dan motor, maka pada masing-masing departemen digunakan HTDB 6,3 kV yang tersusun atas beberapa

cubicle yang dilengkapi dengan peralatan proteksi baik *incoming* maupun beban.



Gambar 21. HTDB

2) **MDB (Main Distribution Board)**

Beban bertegangan rendah sebesar 380 V dilayani melalui MDB dengan suplai dari HTDB yang diturunkan melalui trafo 6,3 kV/380 V. Beban dari MDB adalah berupa MCC dan motor bertegangan rendah dengan kapasitas daya 75 kW sampai dengan 315 kW. MDB terdiri dari beberapa *section* yang berisikan peralatan proteksi untuk beban, baik motor maupun MCC.



Gambar 22. MDB

3) *Non Distribution Board (NDB)*

NDB digunakan untuk mensuplay welding dan penerangan. NDB dilengkapi dengan perawatan matering (KWH-meter) yang digunakan untuk mengetahui jumlah energi yang terpakai untuk peralatan yang tidak digunakan secara langsung untuk proses



Gambar 23. NDB

4) *MCC (Motor Control Centre)*

MCC digunakan untuk melayani beban berupa motor dengan daya kecil dari 90 kW, *welding* dan penerangan. MCC terdiri dari beberapa komponen yang berisikan peralatan proteksi untuk masing-masing beban. Sementara itu, untuk menghubungkan dan memutuskan suplai tegangan ke beban digunakan CB (*circuit breaker*). Jenis yang banyak digunakan adalah jenis OCB, VCB dan SF₆. Oil, Vacuum dan SF₆ merupakan sarana yang digunakan untuk meredam *spark* (loncatan bunga api) yang terjadi saat CB memutuskan arus yang tinggi.



Gambar 24. MCC

5) Transformator

Transformator dapat ditemukan pada setiap energi listrik yang menggunakan Alternating Current (AC), atau arus bolak balik. Transformator adalah perangkat listrik yang digunakan untuk menukar tegangan arus dalam suatu rangkaian, dengan tidak mempengaruhi daya listrik total. Ini berarti dibutuhkan listrik bertegangan tinggi dengan arus kecil yang kemudian diubah menjadi listrik bertegangan rendah dengan arus besar, atau sebaliknya.



Gambar 25. Transformator

6) **OCB (*Oil Circuit Breaker*) , VCB (*Vacuum Circuit Breaker*), GCB (*Gas Circuit Breaker*)**

OCB (*Oil Circuit Breaker*) adalah sebagai alat penghubung dan pemutus beban pada HTDB sistem. Pada sistem ini sebagai media pendingin dan proteksi terhadap loncatan busur api disaat bekerjanya circuit breaker menggunakan media oli. VCB (*Vacuum Circuit Breaker*) adalah sebagai salah satu pemutus kontak, vakum digunakan sebagai peredam terhadap busur api, vakum mempunyai kekuatan isolasi yang tinggi. Pada sistem ini tidak terdapat gas yang dapat berionisasi ketika kontak-kontak terbuka, ketika kontak pemutus dibuka dalam ruang hampa maka akan timbul percikan busur api, electron dan ion saat pelepasan walaupun hanya sesaat maka dengan cepat diredam karena percikan busur api, electron dan ion yang dihasilkan pada saat pemutusan akan segera mengembun pada ruang hampa.

GCB (*Gas Circuit Breaker*) adalah sebuah sistem penghubung dan pemutus jaringan listrik yang dikemas dalam sebuah tabung non-ferro dan menggunakan bahan gas SF₆ sebagai media isolasinya. Gas SF₆ mempunyai sifat elektronegatif yang berperan untuk menghambat busur api yang mungkin terjadi ketika operasi *switch gear*. Gas SF₆ pada GCB berfungsi untuk meredam loncatan bunga api listrik sekaligus mengisolasi antara bagian-bagian yang bertegangan.

I. Sistem Kontrol di PT Semen Padang

Sistem kontrol adalah perlengkapan yang sangat penting dalam proses produksi modern. Keberadaan sistem kontrol dalam proses produksi berpengaruh langsung terhadap kualitas dan kuantitas produksi. Dengan

adanya sistem kontrol, kondisi peralatan pada lapangan dapat di monitor sehingga apabila terjadi gangguan, sistem kontrol akan mengindikasikan gangguan tersebut pada *Operating Station*. Sehingga, sistem kontrol dapat menjaga agar proses produksi dapat berjalan secara optimal. Sistem kontrol yang ada di Indarung V dapat dilihat pada Gambar 27 sbb :



Gambar 26. Sistem Kontrol Indarung V

Secara garis besar, sistem kontrol di PT. Semen Padang terdiri atas 2 sistem kontrol:

a. Sistem Kontrol Manual (*Individual System Control*)

Pada sistem ini belum dikenal pengendalian alat secara terpadu/terpusat pada satu tempat. Pada sistem ini menggunakan rangkaian kontrol yang sederhana. Pada masing-masing peralatan dioperasikan secara manual oleh operator lapangan.

b. Sistem Kontrol Otomatis

Pada sistem ini, semua peralatan di dalam pabrik dikontrol oleh satu ruang pusat pengendalian atau *Central Control Room (CCR)*. Pengontrolan dilakukan dengan menggunakan interlocking system. Suatu alat yang diinterlock dapat berjalan apabila telah memenuhi syarat operasi yang benar. Persyaratan ini meliputi alat-alat yang mendukung peralatan yang di *interlock*. Pada sistem *interlocking* yang digunakan di pabrik ada 5 macam:

1) *Operasional Interlock (OP)*

Operational Interlocking merupakan *interlock* yang dibutuhkan pada kondisi operasi normal. *Interlock* jenis ini mengatur urutan (*sequence*) beroperasinya peralatan sesuai menurut aturan logika proses yang semestinya. Pada kondisi *local test*, *interlocking* jenis ini dapat diabaikan, karena tidak berpengaruh pada peralatan maupun kepada personil. Ketika ada gangguan dalam aliran proses, maka seluruh peralatan utama dalam proses akan berhenti.

2) *Safety Interlock (SA)*

Safety Interlocking merupakan *interlock* yang sangat penting baik bagi mesin maupun bagi keselamatan personil. *Interlocking* jenis ini tidak boleh diabaikan. *Safety Interlocking* dihasilkan oleh proses ataupun peralatan yang berada di luar mesin itu sendiri atau dapat juga dihasilkan oleh peralatan yang melekat pada mesin untuk melindungi mesin itu sendiri. *Interlocking* ini digunakan untuk mengamankan peralatan dari kerusakan terutama gangguan panas pada *bearing*, *winding temperature* dan vibrasi pada peralatan. Ketika gangguan yang timbul melewati batas setting maka peralatan tersebut akan berhenti dan peralatan juga akan berhenti akibat adanya *Operasional Interlock*.

3) *Protective Interlock (PR)*

Protective interlocking merupakan *interlock* yang digunakan untuk melindungi mesin/ motor dan juga personil dari gangguan atau kondisi abnormal yang berasal dari dalam mesin itu sendiri.

4) *Start-up Interlocking (ST)*

Start-up interlocking merupakan syarat – syarat/ *interlocking* yang harus dipenuhi sebelum sebuah mesin di start/ dijalankan. Ketika mesin sudah beroperasi maka *interlock* dapat diabaikan.

5) *Machine Interlock (MACH)*

Machine Interlocking merupakan *interlock* yang digunakan

untuk melindungi mesin atau personil, akan tetapi *interlock* ini hanya aktif pada saat mesin dioperasikan pada mode “*Automatic*” atau mode “*Single start*”.

J. Pemeliharaan dan *Maintenance*

Maintenance adalah tindakan pemeliharaan dan perawatan suatu peralatan yang digunakan. *Maintenance* merupakan suatu aktivitas yang diperlukan untuk menjaga peralatan, agar bisa berfungsi dengan baik dan memperpanjang umur alat. Pada *Kiln* Indarung V banyak terdapat peralatan instrumen seperti sensor – sensor, motor, trafo dan alat kelistrikan lainnya. Sensor–sensor yang digunakan adalah seperti Sensor Temperatur, Sensor Flow, Pressure, Suara, Vibrasi dan Level. Tindakan *maintenance* yang dilakukan adalah berupa pengkalibrasian sensor, pengecekan *transmitter*, perawatan dan pembersihan. Macam – macam pemeliharaan dan *maintenance*:

1. *Preventive Maintenance*

Suatu pengamatan secara sistematis yang disertai analisis teknis – ekonomis untuk menjamin berfungsinya suatu peralatan produksi dan memperpanjang umur peralatan industri. Kegiatan pada *preventive* ini yaitu:

- a. Inspeksi adalah kegiatan pemeliharaan periodik untuk memeriksa kondisi komponen peralatan produksi.
- b. Pemeliharaan berjalan/ *Running maintenance* merupakan kegiatan pemeliharaan tanpa menghentikan peralatan yang sedang beroperasi.
- c. Penggantian komponen apabila terjadi kerusakan *Shut down maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan ketika mesin produksi sedang stop atau sedang berhenti beroperasi.

2. *Time Base Maintenance*

Kegiatan pemeliharaan yang dilaksanakan untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan secara tiba – tiba dan untuk mempertahankan kerja peralatan yang optimum sesuai umur teknisnya. Kegiatan ini dilaksanakan secara berkala dengan berpedoman kepada: *Instruction Manual* dari pabrik, standar – standar yang ada (IEC, CIGRE, dll) dan pengalaman operasi di lapangan. Pemeliharaan ini disebut juga dengan pemeliharaan berdasarkan waktu (*Time Base Maintenance*).

3. *Corrective Maintenance*

Pemeliharaan yang dilakukan dengan berencana pada waktu – waktu tertentu ketika peralatan listrik mengalami kelainan atau untuk kerja rendah pada saat menjalankan fungsinya dengan tujuan untuk mengembalikan pada kondisi semula di sertai perbaikan dan penyempurnaan instalasi. Pemeliharaan ini disebut juga *Corrective Maintenance*, yang bisa berupa *Trouble Shooting*, penggantian part yang rusak yang dilaksanakan dengan terencana.

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Umum

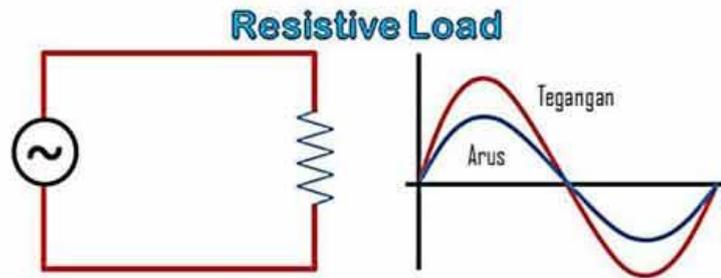
PT Semen Padang merupakan perusahaan yang banyak menggunakan motor listrik dengan daya yang besar. Dalam suatu sistem tenaga listrik, menurunnya nilai faktor daya PF ($\cos\phi$) adalah sebuah masalah yang harus di minimalisir. Sebab dengan menurunnya PF , baik konsumen dan pemasok energi listrik akan mengalami kerugian. Bagi konsumen, kerugiannya antara lain tegangan sistem menjadi turun, pasokan daya listrik tidak bisa dimaksimalkan. Faktor yang mempengaruhi turunnya PF adalah pemakaian beban induktif.

Permasalahan yang ada adalah rendahnya kualitas daya yang disebabkan beban induktif. Beban induktif adalah jenis beban yang memiliki unsur lilitan kawat didalamnya. Peningkatan beban induktif mengakibatkan meningkatnya penggunaan daya reaktif yang mempengaruhi kualitas daya listrik terutama faktor daya. Perbandingan antara daya aktif (W) dan daya tampak (VA) akan menghasilkan faktor daya PF ($\cos\phi$) yang rendah sebagai akibat dari pemakaian beban induktif.

Upaya yang dilakukan untuk mengurangi daya reaktif akibat dari penggunaan beban induktif adalah dengan melakukan kompensasi daya reaktif. Kompensasi daya reaktif yang diberikan akan mengurangi besar daya reaktif pada beban induktif. Kapasitor adalah beban kapasitif yang dapat mengurangi daya reaktif pada beban induktif. Maka penggunaan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif dapat memperbaiki faktor daya yang buruk pada beban. Sehingga penggunaan daya listrik terhadap kebutuhan beban lebih sesuai.

B. Beban Listrik

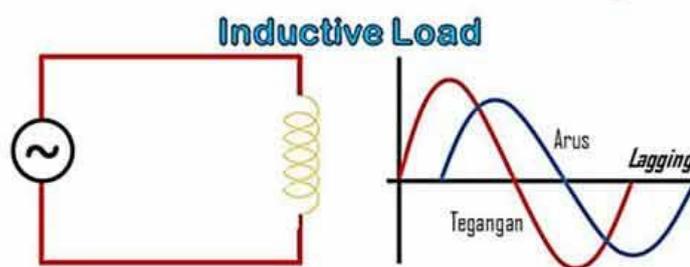
1. Resistif



Gambar 28. Beban Resistif

Beban resistif adalah suatu beban listrik yang memiliki sifat resistif (resistan), sehingga prinsip kerjanya adalah resistansi (hambatan). Beban resistif ini memiliki sifat yang pasif dalam artian beban ini hanya mengkonsumsi energi listrik serta menghambat aliran muatan elektron yang melewatinya sehingga menyebabkan dikonversikannya menjadi energi panas. Karena sifat pasifnya tersebut beban resistif tidak mampu memproduksi energi listrik, sehingga nilai faktor dayanya tetap atau tidak dipengaruhi oleh faktor daya (nilai $\cos\phi$ nya tetap 1).

2. Induktif



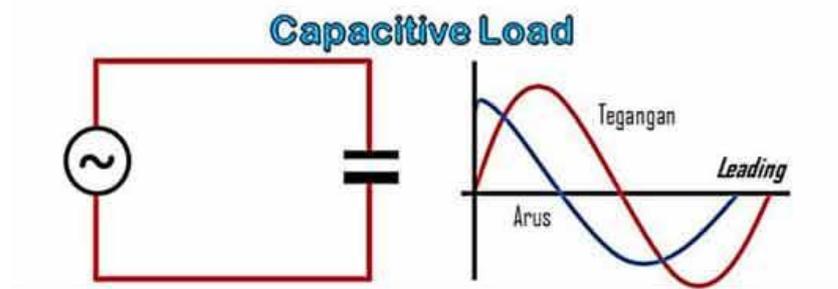
Gambar 29. Beban Induktif

Beban induktif adalah suatu beban listrik yang bersifat induktif (induksi), sehingga prinsip kerjanya adalah sistem induksi magnetik atau medan magnet. Peralatan listrik yang cara kerjanya menggunakan beban induktif, pada umumnya komponen peralatan listrik tersebut terdiri dari bahan induktor yang berupa kawat penghantar yang dibentuk menjadi

kumparan.

Beban induktif dihasilkan oleh lilitan kawat (kumparan) yang terdapat di berbagai alat-alat listrik seperti motor, Transformator, dan *relay*. Kumparan dibutuhkan oleh alat-alat listrik tersebut untuk menciptakan medan magnet sebagai komponen kerjanya. Pembangkitan medan magnet pada kumparan inilah yang menjadi beban induktif pada rangkaian arus listrik AC.

3. Kapasitif



Gambar 30. Beban Kapasitif

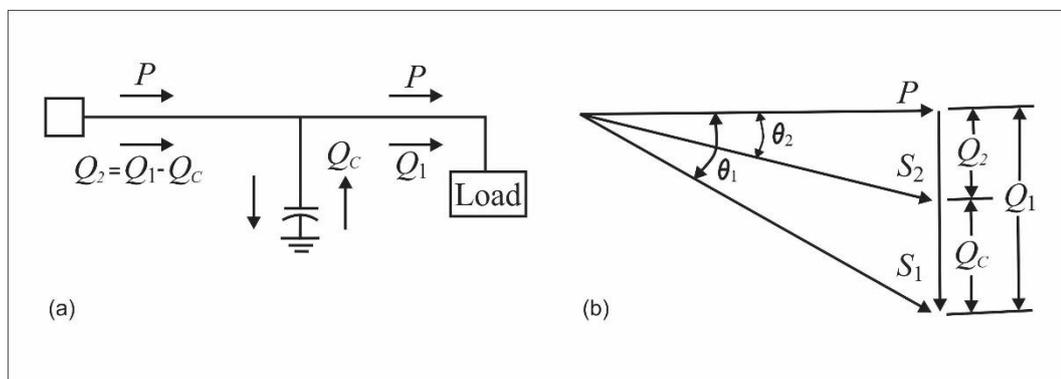
Beban kapasitif adalah suatu beban listrik yang bersifat kapasitif (kapasitansi), sehingga prinsip kerjanya adalah menyimpan energi muatan listrik murni. Cara kerja beban kapasitif ini menyerap dan menyimpan energi listrik dalam waktu sesaat, dan energi tersebut dapat digunakan untuk memperbaiki daya reaktif sehingga jika digunakan pada motor listrik nilai faktor dayanya akan dapat terjaga, namun dalam batasan tertentu. Beban kapasitif merupakan kebalikan dari beban induktif. Jika beban induktif menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik AC, maka beban kapasitif bersifat menghalangi terjadinya perubahan nilai tegangan listrik. Sifat ini menunjukkan bahwa kapasitor bersifat seakan-akan menyimpan tegangan listrik sesaat. [7]

C. Perbaikan Faktor Daya

Perkembangan pemakaian energi listrik umumnya lebih cepat bila dibandingkan dengan kesiapan penyelenggara penyediaan energi listrik. Konsumsi energi listrik kian bertambah pada beban industri, dimana pada

industri akan lebih banyak peralatan listrik yang menghasilkan beban-beban induktif, yang dihasilkan dari motor motor listrik, transformator, alat pengelas, tungku pembakaran perapian/ pembakaran, lampu lampu tabung, dan berbagai jenis peralatan elektronik.

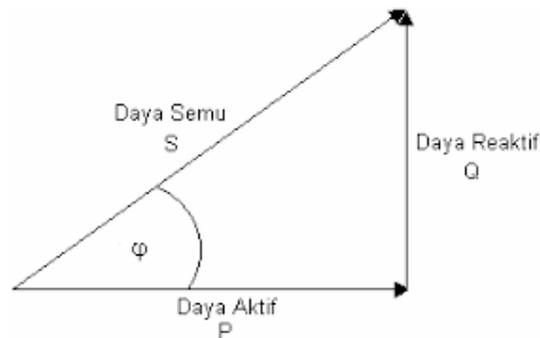
Beban-beban induktif tersebut membutuhkan dua macam arus yaitu arus magnetisasi dan arus yang menghasilkan daya listrik. Arus magnetisasi ini diperlukan membangkitkan medan magnet pada peralatan-peralatan induktif. Arus yang diperoleh dari PLN dialirkan ke motor-motor sinkron dimagnetisasi dengan arus AC dan jala-jala. Motor-motor induksi dan transformator dimagnetisasi dengan arus AC pada sistem daya yang menyebabkan adanya komponen lagging dalam arus listrik. Energi akan di habiskan dalam membangkitkan medan magnetik. Sedangkan arus yang dihasilkan daya adalah arus yang terkonveksi tampak nyata menjadi daya terpakai seperti putaran kipas, pompa air, dan pemanas listrik lainnya. Arus ini disebut juga sebagai arus aktif atau arus daya terpakai.



Gambar 31. Perbaikan Faktor Daya Dengan Kapasitor

1. Daya

Daya listrik ialah total energi yang didapatkan dalam satuan waktu pada sebuah rangkaian, energi listrik dapat membangkitkan tegangan, daya listrik, dan arus, dan beban yang terhubung akan menyerap sebagian energi listrik, yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. [2]



Gambar 32. Segitiga Daya

a. Daya Aktif (P)

Daya aktif adalah energi utama yang dapat dipakai merubah energi listrik menjadi energi lain (gerak, panas, cahaya, dsb). Satuan daya aktif adalah Watt (W) dan daya aktif adalah daya yang mengalir ke beban tanpa adanya arus balik ke sumbernya. [2]

Besarnya daya aktif dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$P = V \times I \cos \varphi \quad (\text{Watt})$$

Untuk tiga fasa digunakan rumus :

$$P = \sqrt{3} V \times I \cos \varphi \quad (\text{Watt})$$

b. Daya Reaktif (Q)

Energi yang diambil oleh beban induktif diartikan sebagai daya reaktif, dan daya reaktif dihasilkan oleh beban kapasitif. Daya reaktif dilambangkan oleh simbol Q dan memiliki satuan VAR (*Volt-Ampere Reactive Power*). Daya reaktif juga berperan dalam menghasilkan medan magnet primer dan medan magnet menginduksi kumparan sekunder. [2]

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

Untuk tiga fasa maka :

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \sin \varphi \quad (\text{VAR})$$

Daya reaktif dibagi menjadi dua bagian yaitu :

- 1) Daya reaktif induktif (*lagging*) adalah daya listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet yang diperlukan oleh alat-alat induksi seperti : motor-motor induksi transformator dan lain-lain. Faktor daya *lagging* apabila arus tertinggal dari tegangan sebesar θ° . Sehingga beban akan menyerap daya reaktif. [3]
- 2) Daya reaktif kapasitif (*leading*) adalah daya listrik yang dihasilkan oleh kapasitor. Daya reaktif kapasitif mempunyai tanda yang berlawanan dengan reaktif induktif. Dari kenyataan ini dapat dianggap bahwa daya reaktif kapasitif dapat mengkompensasi daya reaktif induktif. Faktor daya *leading* apabila arus mendahului tegangan sebesar θ° . Sehingga beban akan memberikan daya reaktif. [3]

c. Daya Semu (S)

Gabungan antara daya aktif dan reaktif adalah daya tampak S dengan satuan VA atau (volt-ampere). Daya tampak (*daya total*) adalah daya yang masuk ke rangkaian ac atau dengan kata lain daya yang sebenarnya diterima dari pemasok sumber tegangan arus ac, merupakan resultan daya antara daya aktif dan daya reaktif. Daya tampak didefinisikan serbagai hasil perkalian dari tegangan dan arus dalam rangkaian ac tanpa memperhatikan selisih sudut fase arus dan tegangan. [2]

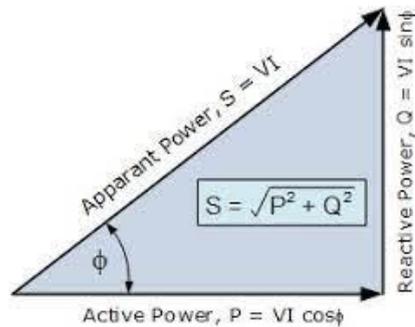
$$S = V \times I$$

Untuk tiga fasa digunakan rumus :

$$S = \sqrt{3} V \times I \text{ (VA)}$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi}$$

2. Faktor Daya



Gambar 33. Faktor Daya

Faktor daya PF merupakan rasio daya nyata terhadap daya tampak merupakan faktor indikator penting tentang bagaimana efektifnya sebuah beban melaksanakan fungsinya sehubungan dengan dispensasi daya, yang didefenisikan sebagai:

$$\begin{aligned} Pf &= \frac{\text{Daya Aktif (P)}}{\text{Daya Semu (S)}} = \frac{kW}{kVA} \\ &= \frac{V.I.COS \varphi}{V.I} \\ &= \cos \varphi \end{aligned}$$

Dalam diagram daya sudut φ adalah sudut yang dibentuk antara sisi daya aktif P dan daya tampak S , sedangkan daya reaktif Q tegak lurus terhadap daya aktif P . Efisiensi daya yang lebih adalah ketika P sama atau mendekati S , yaitu ketika $\cos \varphi = 1$ atau mendekati 1. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi, oleh karena itu dalam perbaikan PF diperlukan keseimbangan antara sifat kapasitif dan induktif dalam rangkaian. [4]

Besarnya pengaruh yang dihasilkan akibat faktor daya yang rendah harus diperbaiki untuk mencapai nilai faktor daya yang baik (mendekati 1) sehingga efisiensi penyaluran daya serta mutu listrik menjadi baik. Salah satu cara untuk memperbaiki faktor daya yang rendah adalah

dengan memasang kompensasi kapasitif menggunakan kapasitor. Pada konsumen level industri istilah ini lebih dikenal dengan sebutan pemasangan power factor correction (PFC). Pemasang PFC disini sama artinya dengan pemasangan PF controller dan capacitor bank(kumpulan dari kapasitor-kapasitor yang dipasang secara paralel).

Kapasitor adalah peralatan listrik yang bisa menghasilkan daya reaktif yang diperlukan oleh konsumen sehingga aliran daya reaktif yang diperlukan oleh konsumen di saluran bisa berkurang. Dengan kata lain, kapasitor bermanfaat untuk menaikkan faktor daya. Dengan memasang kapasitor, konsumen besar bisa terhindar dari tambahan tagihan listrik karena daya reaktif yang berlebih. Semakin mahalnya tarif listrik dan semakin tingginya keinginan untuk mengoperasikan peralatan secara efisien, menyebabkan penggunaan kapasitor semakin banyak dan meluas. Kapasitor dipasang di dekat peralatan yang memerlukan daya reaktif sehingga tidak terjadi adanya aliran daya reaktif melalui kabel, trafo, atau peralatan lainnya.

3. Kompensasi Daya

Kompensasi daya reaktif merupakan suatu cara untuk mengurangi daya reaktif, karena daya reaktif tidak berguna sehingga tidak dapat diubah menjadi tenaga akan tetapi diperlukan untuk proses transmisi energi listrik pada beban, jadi yang menyebabkan pemborosan energi listrik adalah banyaknya peralatan yang bersifat induktif, otomatis dengan banyaknya peralatan yang bersifat induktif maka faktor daya yang diperoleh sangat kecil.

Cara untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan mengurangi daya reaktif induktif. Untuk mengurangi komponen daya reaktif ini dapat dilakukan dengan cara pemasangan daya reaktif kapasitif. Besarnya daya aktif kapasitif tergantung dari besarnya perbaikan faktor daya yang diinginkan. Faktor daya dari setiap sistem dapat diperbaiki dengan menggunakan kapasitor yang dihubungkan paralel dengan beban yang

umumnya bersifat induktif seperti motor induksi, alat las dan sebagainya. Dengan faktor daya maksimum, rugi-rugi daya karena resistansi saluran akan berkurang. Untuk memberikan daya yang sama besar diperlukan arus yang lebih besar bila faktor daya maksimum lebih rendah daripada faktor daya beban yang mempunyai faktor daya lebih tinggi. Perbaikan faktor daya tersebut dikenal sebagai kompensasi fasa. [5]

Terdapat beberapa metode untuk melakukan perhitungan kebutuhan capacitor bank, yaitu :

1. Metode Perhitungan

Data yang diperlukan antara lain adalah daya aktif (P), pf sebenarnya ($\cos \phi_1$), dan pf yang diinginkan ($\cos \phi_2$). Daya reaktif yang dikompensasi oleh capacitor bank (Q_c) adalah:

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2}$$

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2}$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c = P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

2. Metode Tabel Kompensasi

Untuk menghitung besarnya daya reaktif dapat dilakukan melalui tabel kompensasi, tabel ini menyajikan suatu data dengan input pf sebenarnya ($\cos \phi_1$), dan pf yang diinginkan ($\cos \phi_2$) maka besarnya faktor pengali dapat dilihat melalui tabel kompensasi.

Tabel 1. Kompensasi Daya

Sebelum	Kompensasi															
	Sesudah															
Cos θ	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.5	1.11	1.14	1.17	1.19	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.37	1.4	1.44	1.48	1.53	1.59	1.73
0.51	1.07	1.09	1.12	1.15	1.17	1.2	1.23	1.26	1.29	1.32	1.36	1.39	1.44	1.48	1.54	1.69
0.52	1.02	1.05	1.05	1.1	1.13	1.16	1.19	1.22	1.25	1.28	1.31	1.35	1.39	1.44	1.5	1.64
0.53	0.98	1.01	1.08	1.06	1.09	1.12	1.14	1.17	1.2	1.24	1.27	1.31	1.35	1.4	1.46	1.6
0.54	0.94	0.97	1	1.02	1.05	1.07	1.1	1.3	1.16	1.2	1.23	1.27	1.31	1.36	1.42	1.56
0.55	0.9	0.93	0.99	0.98	1.01	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.23	1.27	1.32	1.38	1.52
0.56	0.86	0.89	0.95	0.94	0.97	1	1.02	1.05	1.08	1.12	1.15	1.19	1.23	1.28	1.34	1.48
0.57	0.82	0.85	0.91	0.9	0.93	0.96	0.99	1.02	1.05	1.08	1.11	1.15	1.19	1.24	1.3	1.44
0.58	0.78	0.81	0.87	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	1.01	1.04	1.08	1.11	1.15	1.2	1.26	1.4
0.59	0.75	0.78	0.84	0.83	0.86	0.88	0.91	0.94	0.97	1.01	1.04	1.08	1.12	1.17	1.23	1.37
0.6	0.71	0.74	0.8	0.79	0.82	0.85	0.88	0.91	0.94	0.97	1	1.04	1.08	1.13	1.19	1.33
0.61	0.68	0.71	0.77	0.76	0.79	0.81	0.84	0.87	0.9	0.94	0.97	1.01	1.05	1.1	1.16	1.3
0.62	0.65	0.67	0.73	0.73	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.9	0.94	0.97	1.1	1.06	1.12	1.27
0.63	0.61	0.64	0.7	0.69	0.72	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.9	0.94	0.98	1.03	1.09	1.23
0.64	0.58	0.61	0.67	0.66	0.69	0.72	0.74	0.77	0.81	0.84	0.87	0.91	0.95	1	1.06	1.2
0.65	0.55	0.58	0.63	0.63	0.66	0.68	0.71	0.74	0.77	0.81	0.84	0.88	0.92	0.97	1.03	1.17
0.66	0.52	0.54	0.6	0.6	0.63	0.65	0.68	0.71	0.74	0.78	0.81	0.85	0.89	0.94	1	1.14
0.67	0.49	0.51	0.57	0.57	0.6	0.62	0.65	0.68	0.71	0.75	0.78	0.82	0.86	0.9	0.97	1.11
0.68	0.46	0.48	0.54	0.54	0.57	0.59	0.62	0.65	0.68	0.72	0.75	0.79	0.83	0.88	0.94	1.08
0.69	0.43	0.46	0.51	0.51	0.54	0.56	0.59	0.62	0.65	0.69	0.72	0.76	0.8	0.85	0.91	1.05
0.7	0.4	0.43	0.48	0.48	0.51	0.54	0.56	0.59	0.62	0.66	0.69	0.73	0.77	0.82	0.88	1.02
0.71	0.37	0.4	0.43	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.6	0.63	0.66	0.7	0.74	0.79	0.85	0.99
0.72	0.34	0.37	0.4	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.6	0.64	0.67	0.71	0.76	0.82	0.96
0.73	0.32	0.34	0.37	0.4	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.61	0.64	0.69	0.73	0.79	0.94
0.74	0.29	0.32	0.34	0.37	0.4	0.42	0.45	0.48	0.51	0.55	0.58	0.62	0.66	0.71	0.77	0.91
0.75	0.26	0.29	0.32	0.34	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.59	0.63	0.68	0.74	0.88
0.76	0.24	0.26	0.29	0.32	0.34	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53	0.56	0.6	0.65	0.71	0.86
0.77	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.34	0.37	0.4	0.43	0.47	0.5	0.54	0.58	0.63	0.69	0.83
0.78	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44	0.47	0.51	0.55	0.6	0.66	0.8
0.79	0.16	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.45	0.48	0.53	0.57	0.63	0.78
0.8	0.13	0.16	0.18	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.5	0.55	0.61	0.75
0.81	0.1	0.13	0.16	0.18	0.21	0.24	0.27	0.3	0.33	0.36	0.4	0.43	0.47	0.52	0.58	0.72
0.82	0.08	0.1	0.13	0.16	0.19	0.21	0.24	0.27	0.3	0.34	0.37	0.41	0.45	0.49	0.56	0.7
0.83	0.05	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.38	0.42	0.47	0.53	0.67
0.84	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28	0.32	0.35	0.4	0.44	0.5	0.65
0.85	0	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.22	0.26	0.29	0.33	0.37	0.42	0.48	0.62
0.86		0	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.17	0.2	0.23	0.26	0.3	0.34	0.39	0.45	0.59
0.87			0	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.17	0.2	0.24	0.28	0.32	0.36	0.42	0.57
0.88				0	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.18	0.21	0.25	0.29	0.34	0.4	0.54
0.89					0	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.22	0.26	0.31	0.37	0.51
0.9						0	0.03	0.06	0.09	0.12	0.16	0.19	0.23	0.28	0.34	0.48

3. Metode Kuitansi PLN

Metode ini memerlukan data dari kuitansi PLN selama satu periode (misalnya enam bulan sampai dengan satu tahun). Dari kuitansi PLN tersebut dapat diketahui daya aktif maupun reaktifnya sehingga bisa dihitung faktor daya dan kebutuhan daya reaktif untuk perbaikan faktor daya.

4. Metode Segitiga Daya

Metode ini dipakai jika data yang diketahui adalah Daya aktif (P) dan Daya nyata (S). Perhitungan metoda ini dilakukan dengan segitiga daya. Data yang diperlukan antara lain adalah

daya aktif (kW), faktor daya lama ($\text{Cos } \theta_1$) dan factor daya baru ($\text{Cos } \theta_2$). Daya yang diperoleh dari persamaan :

$$S = P / \text{Cos } \theta_1$$

Keterangan :

S = Daya Nyata (kVA)

P = Daya Aktif (kW)

Daya reaktif dari factor daya lama dan factor daya baru diperoleh dari persamaan :

$$Q_L = P \text{ Tan } \theta_1$$

$$Q_B = P \text{ Tan } \theta_2$$

Keterangan :

Q_L = Daya Reaktif *pf* lama (kVAR)

Q_B = Daya Reaktif *pf* baru (kVAR)

Daya Reaktif yang dikompensasi capasitor bank adalah :

$$Q_C = Q_L - Q_B$$

Untuk menentukan nilai kapasitor bank dari setiap stepnya maka dapat dilakukan dengan perhitungan seperti persamaan :

$$Q_{\text{step}} = \frac{Q_{\text{tot}}}{\text{jumlah step}}$$

Beberapa keuntungan meningkatkan faktor daya:

1. Tagihan listrik akan menjadi kecil (PLN akan memberikan denda *pf* lebih kecil dari 0,85)
2. Kapasitas distribusi sistem tenaga listrik akan meningkat
3. Adanya peningkatan tegangan karena daya meningkat
4. Mengurangi drop disisi beban
5. Mengurangi komponen-komponen induktif arus jala-jala
6. Dapat menghindari trafo kelebihan beban sehingga memberikan tambahan daya yang tersedia.

7. Dapat menghindari kenaikan arus/suhu pada kabel, sehingga mengurangi rugi rugi daya dalam sistem
8. Memperbaiki pengaturan (regulasi) tegangan.
9. Meningkatkan kapasitor dalam alternator.
10. Kapasitas kW dari penggerak mula (prime motor) menjadi lebih baik
11. Efisiensi dan setiap sistem meningkat.
12. Biaya keseluruhan menjadi lebih murah

Jika pf lebih kecil dari 0,85 maka kapasitas daya aktif (kW) yang digunakan berkurang. Kapasitas itu akan terus menurun seiring dengan menurunnya pf sistem kelistrikan. Akibat menurunnya pf maka akan timbul beberapa persoalan diantaranya:

1. Membesarnya penggunaan daya listrik KWH karena rugi-rugi
2. Membesarnya penggunaan daya listrik kVAR
3. Mutu listrik menjadi rendah karena jatuh tegangan (voltage drops)

Denda atau biaya kelebihan daya reaktif dikenakan apabila jumlah pemakaian kVARH yang tercatat dalam sebulan lebih tinggi dari 0,62 jumlah KWH pada bulan yang bersangkutan sehingga pf rata-rata kurang dari 0,85.

Penyebab rendahnya faktor daya :

1. Banyak pemakai arus bolak-balik (AC) menggunakan motor induksi sebagai penggerak utama yang bekerja pada faktor daya lagging dan ini akan menambah laggingnya faktor daya.
2. Transformator-transformator yang mempunyai faktor daya yang sangat rendah karena menghasilkan arus magnetisasi yang menyebabkan arus totalnya menjadi tertinggal terhadap tegangan
3. Penggunaan penyearah sebagai ganti pasangan motor generator untuk mencatu daya arus searah (DC).
4. Pemakaian lampu tabung (neon) yang beroperasi pada daya rendah.
5. Alat-alat las busur listrik yang mempunyai faktor daya rendah

Kerugian akibat faktor daya rendah :

1. Pada faktor daya yang rendah, arus yang mengalir relatif besar yang mengakibatkan rugi-rugi tegangan dan rugi-rugi daya/panas yang besar.
2. Arus yang relative besar akan menyebabkan kenaikan temperature konduktor, hal ini akan menyebabkan umur peralatan menjadi berkurang.
3. Harus menggunakan kabel-kabel suplai dan aparatur yang lebih berat.

BAB IV

PEMBAHASAN

A. Sub-station SS 448

Sub-station (SS) adalah komponen sistem tenaga listrik yang mencakup berbagai peralatan dan berfungsi untuk menaikkan level tegangan untuk transmisi atau mengurangi level tegangan untuk tujuan distribusi. Transformator merupakan bagian yang sangat penting dari sebuah sub-station yang bertanggungjawab untuk mengubah level tegangan.. Peralatan lain dalam sub- station termasuk Pemutus Sirkuit (CB), Transformer Instrumen (Transformator arus dan Potensi transformator), Isolator, Kapasitor Bank, *Lightening arrester*, dll.



Gambar 34. Substation 448

Daya input yang masuk ke substation 448 dari gardu induk yaitu sebesar 6,3 kV, dan berfungsi untuk menurunkan tegangan (step down) ke tingkat yang sesuai untuk distribusi. Peralatan dalam substation 448 diantaranya adalah HTDB, MDB, NDB, MCC, Kapasitor bank dan battery charger. SS Merupakan ruang panel kontrol yang berada di lapangan sebelum power terhubung ke beban.

B. Kapasitor Bank

Kapasitor bank adalah sekelompok unit kapasitor dengan rating tegangan dan rating kVAR tertentu yang diparalelkan untuk mencapai tegangan sistem, dimana capacitor tersebut akan dipasang serta mendapatkan jumlah KVAR sesuai kebutuhan. Jumlah unit yang dibutuhkan (parallel) per-fase-nya dibuat sedemikian rupa, agar jika 1 unit capacitor mengalami masalah dalam satu grup, tidak akan menghasilkan ketidakseimbangan tegangan (unbalanced voltage) lebih dari 110% dari rating tegangan capacitor group yang tersisa.

Kapasitor bank adalah sekumpulan beberapa kapasitor yang disambung secara paralel untuk memperbaiki kualitas daya listrik dengan menaikkan faktor daya ($\cos \phi$ / $\cos \phi$). Besaran yang dipakai untuk kapasitor ini adalah *Kilo Volt Ampere Reaktif* (kVAR). Kapasitor memiliki sifat listrik yang kapasitif sehingga mempunyai sifat mengurangi / menghilangkan terhadap sifat induktif. Dengan dasar inilah nilai faktor daya dapat diperbaiki. Sebelum dipasang kapasitor bank, daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR) yang diserap oleh beban induktif seluruhnya disuplai oleh sentral listrik (Trafo PLN), sehingga daya semu (kVA) dari sentral harus besar. Sesudah pemasangan kapasitor bank, seluruh atau sebagian daya reaktif yang diperlukan oleh beban induktif akan disuplai oleh kapasitor bank. Sehingga tugas sentral listrik akan menjadi lebih ringan karena hanya menyuplai daya aktif saja. [6]

Fungsi Utama Kapasitor Bank :

1. Kapasitor bank menghilangkan denda / kelebihan biaya (kVARh)
2. Menghindari kelebihan beban transformer
3. Memberikan tambahan daya tersedia
4. Menghindari kenaikan arus/suhu pada kabel
5. Kapasitor bank berfungsi memaksimalkan pemakaian daya (kVA)
6. Menghindari Drop Line Voltage
7. Mengawetkan instalasi & Peralatan Listrik

1. Komponen Kapasitor Bank

a. *Emergency Switch*

Emergency switch ini sebagai peralatan kontrol dan isolasi jika ada pemeliharaan panel. Sedangkan untuk pengaman kabel / instalasi sudah tersedia disisi atasnya dari MDB. Emergency switch adalah peralatan pemutus power kontrol kapasitor bank yang digunakan pada saat pengecekan kontrol.



Gambar 35. *Emergency Switch*

b. *Magnetic Contactor*

Magnetic contactor diperlukan sebagai Peralatan kontrol. Beban kapasitor mempunyai arus puncak yang tinggi , lebih tinggi dari beban motor. Untuk pemilihan magnetic contactor minimal 10 % lebih tinggi dari arus nominal dan disesuaikan dengan tipe tegangan koil magnetic kontaktor (pada AC 3 dengan beban induktif/kapasitif). Pemilihan magnetic dengan range ampere lebih tinggi akan lebih baik sehingga umur pemakaian magnetic contactor lebih lama.



Gambar 36. Magnetic contactor

c. Reactive Power Regulator

Alat ini memiliki fungsi agar daya reaktif yang akan disupply ke jaringan/ system dapat bekerja sesuai kapasitas yang dibutuhkan dengan cara mengatur kerja kontaktor . Regulator mengatur kapan dan berapa besar daya reaktif yang diperlukan, berdasarkan pembacaan arus dan tegangan pada sisi utama *Breaker*. Memiliki bermacam *step*, yang digunakan untuk menentukan jumlah *step* yang dibutuhkan, umumnya mulai dari 6 *steps* , 12 *steps* sampai 18 *steps*.



Gambar 37. Reactive Power Regulator

d. Main Circuit Breaker

Komponen digunakan sebagai pengaman pada instalasi kabel yang berasal dari breaker menuju kapasitor bank. Selain itu, kapasitor breaker juga berperan guna membatasi arus listrik dalam panel. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi konsleting (hubungan arus pendek). Kapasitor breaker secara otomatis akan memutuskan suatu arus listrik apabila yang melewatinya telah melebihi batas.



Gambar 38. Main Circuit Breaker

e. Kapasitor Bank

Kapasitor bank terdiri dari beberapa kapasitor yang dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan kapasitansi tertentu. Biasanya kita kenal Kapasitor yang digunakan pada kapasitor bank ini adalah kapasitor daya dengan satuan farad guna untuk memperbaiki faktor daya.



Gambar 39. Kapasitor Bank

f. Relai

Relai merupakan alat yang digunakan sebagai alat bantu yang dihubungkan ke kontaktor yang berfungsi untuk on off atau saklar otomatis. Relai terhubung ke ampere beban dengan tujuan supaya beban bisa dikontrol selama set delay. Dalam memperbaiki faktor daya time delay tidak bisa dipisahkan dari kontaktor (switching otomatis) kecuali jika perasinya secara manual. Kontak utama berfungsi untuk melayani arus beban yang terdiri dari kontak NO dan NC, sedangkan kontak bantu berfungsi untuk melayani arus kontrol yang nilainya relatif rendah.



Gambar 40. Relai

g. Current transformer (CT)

Current Transformer (CT) adalah alat listrik perubah arus, yang dapat mengubah besaran arus dari besar menjadi kecil dan sebaliknya sesuai dengan kebutuhan. *Current Transformer CT* berfungsi untuk mengubah besaran arus pada system menjadi lebih kecil agar dapat dibaca oleh panel metering atau alat ukur yang terhubung.



Gambar 41. *Current Transformer*

- h. Peralatan tambahan yang biasa digunakan pada panel kapasitor antara lain:
- a. *Push button on* dan *push button off* yang berfungsi mengoperasikan kontaktor secara manual.
 - b. *Selektor auto – off – manual* yang berfungsi memilih system operasional auto darimodul atau manual dari push button.
 - c. *Exhaust fan* + thermostat yang berfungsi mengatur temperature dalam ruang panel kapasitor. Karena kapasitor, kontaktor dan kabel penghantar mempunyai disipasi daya panas yang besar maka temperature ruang panel meningkat.setelah setting dari thermostat terlampaui maka *exhust fan* akan otomatic berhenti.

2. Prinsip Kerja Kapasitor Bank

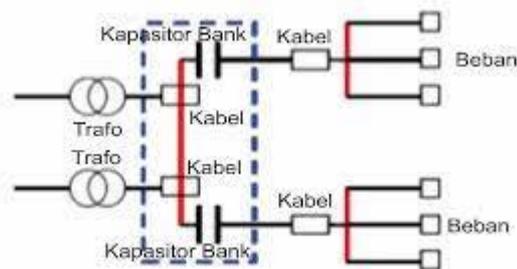
Kapasitor yang akan digunakan untuk memperbesar pf dipasang paralel dengan rangkaian beban. Bila rangkaian itu diberi tegangan maka elektron akan mengalir masuk ke kapasitor. Pada saat kapasitor penuh dengan muatan elektron maka tegangan akan berubah. Kemudian elektron akan ke luar dari kapasitor dan mengalir ke dalam rangkaian yang memerlukannya dengan demikian pada saat itu kapasitor membangkitkan daya reaktif. Bila tegangan yang berubah itu kembali normal (tetap) maka kapasitor akan menyimpan kembali elektron. [7]

Pada saat kapasitor mengeluarkan elektron (I_c) berarti sama juga kapasitor menyuplai daya reaktif ke beban. Karena beban bersifat induktif (+) sedangkan daya reaktif bersifat kapasitor (-) akibatnya daya reaktif yang berlaku menjadi kecil.

3. Metode Pemasangan Kapasitor Bank

a. Global Compensation

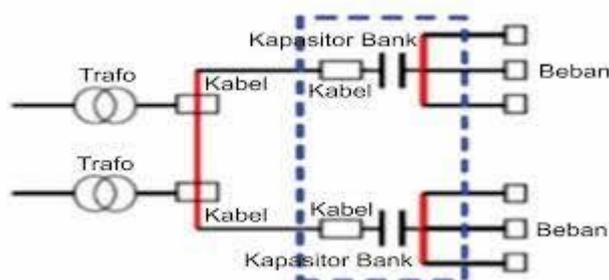
Metode ini kapasitor dipasang di induk panel (MDP / Main Distribution Panel). Arus reaktif yang mengalir dari pemasangan model ini hanya di penghantar antara panel MDP dan transformator. Sedangkan arus yang lewat setelah MDP tidak turun dengan demikian rugi akibat disipasi panas pada penghantar setelah MDP tidak terpengaruh.



Gambar 42. Pemasangan kapasitor bank secara global compensation

b. Sectoral Compensation

Metode ini kapasitor yang terdiri dari beberapa panel kapasitor dipasang di panel SDP (Sub Distribution Panel). Cara ini cocok diterapkan pada industri dengan kapasitas beban terpasang besar sampai ribuan KVA dan terlebih jarak antara panel MDP dan SDP cukup berjauhan .

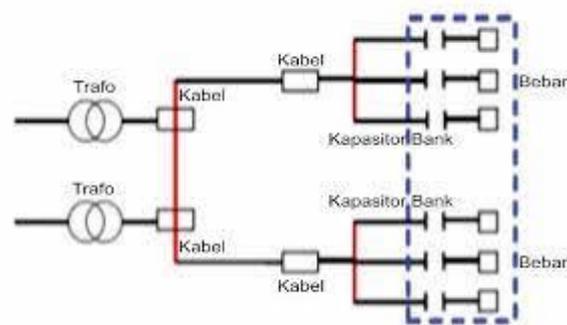


Gambar 43. Pemasangan kapasitor bank secara sectoral compensation

c. Individual Compensation

Metode ini kapasitor langsung dipasang pada masing masing beban khususnya yang mempunyai daya yang besar .

Cara ini sebenarnya lebih efektif dan lebih baik dari segi teknisnya. Namun ada kekurangannya yaitu harus menyediakan ruang atau tempat khusus untuk meletakkan kapasitor tersebut sehingga mengurangi nilai estetika. Disamping itu jika mesin yang dipasang sampai ratusan buah berarti total biaya yang diperlukan lebih besar dari kedua metode diatas.



Gambar 44. Pemasangan kapasitor bank secara individual compensation

Pada substansion 448 metode yang digunakan untuk pemasangan kapasitor bank adalah global compensation dimana kapasitor dipasang pada induk panel MDB (*Main Distribution Board*) yang dipasang secara paralel. Arus reaktif yang mengalir dari pemasangan model ini antara lain dari transformator, menuju ke MDB untuk dihubungkan ke beban.

C. Panel Kapasitor Bank MDB 5U1Q32Q6

Daya nyata (apparent power) atau daya yang diproduksi oleh PT. Semen Padang dari sumber listrik yang akan di distribusikan pada MDB 5U1Q32Q6 adalah 380 kV dengan besar faktor daya 0,99. Untuk memperbaiki faktor daya dan mencegah denda pada PLN, pabrik harus menambahkan kapasitor bank untuk mendapatkan faktor daya yang baik yaitu 0,99.



Gambar 45. Panel kapasitor bank 5U1Q32Q6

Sering disebut juga dengan power factor ini yaitu nilai perbandingan antara daya aktif atau daya sederhana dengan daya tampak atau apparent power kadang juga disebut sebagai daya semu. Cara penggunaan kapasitor bank ini untuk memperbaiki faktor daya. Daya semu yaitu energi listrik yang dihasilkan oleh generator listrik yang biasa kamu ukur dengan satuan VA (Volt- Ampere). Sedangkan, daya aktif yaitu energi listrik yang benar-benar dipakai oleh peralatan listrik dan biasa disebut dengan satuan Watt. Daya listrik yang tampak sebenarnya yaitu arus balik yang timbul pada instalasi listrik pada saat dikasih beban alat yang salah satunya bisa menimbulkan elektromagnet atau yang komponennya terdiri dari kumparan/coil.

Spesifikasi kapasitor bank Shizuki adalah :



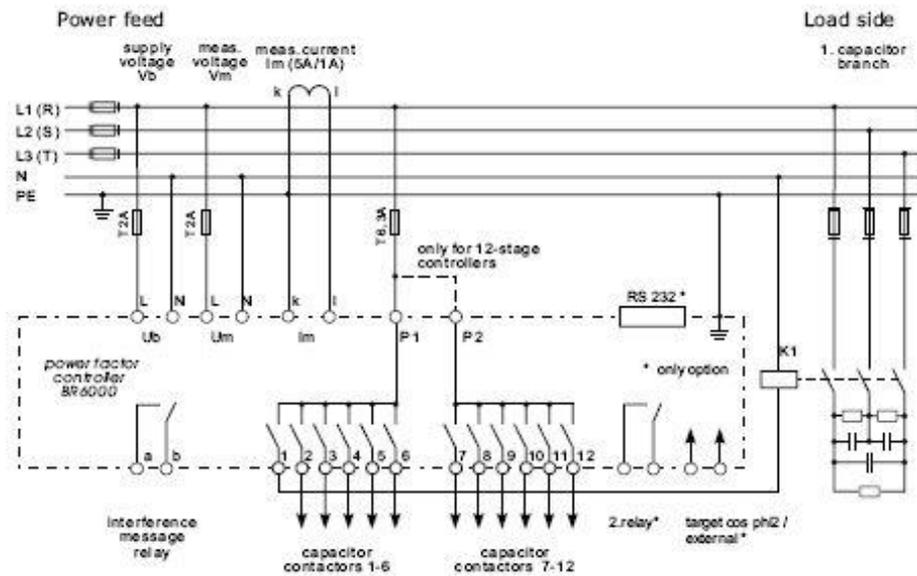
Gambar 46. Kapasitor bank shizuki

- Tipe : RG-2
- Rating tegangan : 415 V
- Arus : 69.6 A
- Rating output : 50 kVAR
- Frekuensi : 50 Hz
- Fasa dan hubungan : 3 fasa dengan hubungan delta

D. Sistem Pengontrolan Kapasitor Bank

Sistem control kapasitor bank dengan Power Factor Controller (PFC) BR 6000 EPCOS adalah salah satu model PFC yang sangat mudah dipergunakan. Controller ini memiliki menu yang terstruktur, parameter dengan text yang mudah dipahami serta display parameter yang lengkap (V, I, F, Q, THD,...).

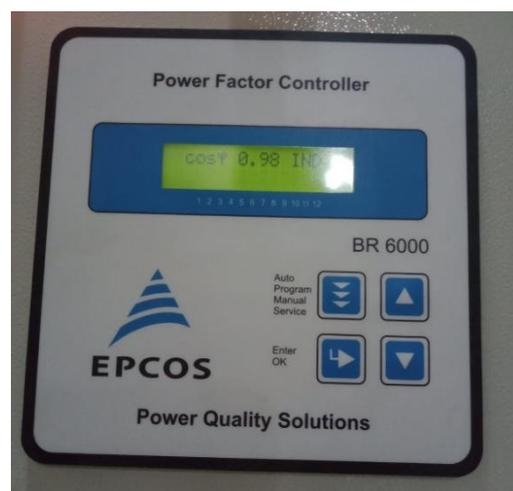
Controller ini memiliki ukuran 144 X 144 mm yang terpasang pada front panel dengan cut out 138 X 138 mm, pemasangannya dimasukan dari depan dan dikunci oleh penjepit dari belakang. Controller ini disupply dengan tegangan operasi 230 VAC (L-N) memiliki range pengukuran tegangan 30 ~ 300 VAC (L-N) dan pengukuran arus 5 Amp atau 1 Amp. Pada terminal pengukuran arus dan tegangan harus dipastikan polaritasnya dan sebaiknya menggunakan kabel 2,5 mm².



Gambar 47. Sistem kontrol kapasitor bank

Tegangan yang masuk ke unit controller harus pada fasa yang sama, baik untuk supply, tegangan pengukuran dan tegangan coil. Polaritas CT harus sesuai, terbaliknya polaritas akan mengganggu fungsi controller.

Saat controller BR 6000 diberi supply tegangan maka display akan menampilkan versi softwrenya dan kemudian akan berubah ke mode operasi (automatic). Pada baris pertama ditampilkan nilai $\cos \phi$, dan bagian bawah menampilkan step kapasitor.



Gambar 48. Pfc EPCOS

Struktur program controller ini adalah sbb :



Gambar 49. Struktur program controller

Automatic

BR 6000 akan secara otomatis menuju mode automatic, ini merupakan standart pabrik. Pada mode ini step capacitor akan bertambah atau berkurang sesuai dengan kondisi cos phi terukur dan setting. Jika masih dibawah setting maka step akan bertambah secara otomatis dan sebaliknya. Pada mode ini, jika tombol “ENTER” ditekan akan menampilkan parameter berturut turut adalah tegangan line (V), Arus terukur(A), daya reaktif (kVAR), daya aktif (kW), daya (kVA), selisih daya reaktif dengan setting (kVAR), frekuensi (Hz), temperature (deg C), Harmonic V dan I (3 ~ 19), THD V dan I (%) dan versi software. Jika dalam 60 detik tombol “ENTER” tidak ditekan, maka akan kembali ke menu awal.

Programing

Pada menu ini akan dipergunakan untuk memasukan parameter yang diperlukan agar controller dapat bekerja dengan baik. Untuk menuju keparameternya adalah dengan menekan tombol “ENTER”.

Manual Operation

Menu ini akan mengakses/ memerintah tiap tiap step secara manual, dan juga akan di set mode operasi tiap step baik OFF, FIXED atau AUTO.

Service Menu

Dengan mengakses menu ini kemudian di scroll dengan menekan ENTER akan diketahui parameter parameter pengukuran yang telah terjadi. Tegangan Maks, Power Reaktif (KVAR) Maks, Power Aktif (KW) Maks, Power (KVA) Maks, Temperature Maks (deg C), THD Maks V dan I,

Jumlah Switching tiap step, operating Time tiap step, Fault Memory dan Memeory reset akan ditampilkan be rurutan. Dengan mengetahui parameter tersebut pelacakan masalah akan dipermudah.

Expert Mode

Menu ini sebaiknya dipergunakan bagi yang sudah sangat paham. Parameter yang ada pada menu ini tidak dapat diganti pada operasi normal.

E. Beban yang terhubung MDB 5U1Q32Q6

Tabel 2. Beban yang terhubung MDB 5U1Q32Q6

No.	Nomen	Nama Alat	kW	A	RPM
1	5WIK12MI	COOLER FAN	200	340	1485
2	5W1K13MI	COOLER FAN	200	346	1485
3	5W1K14MI	COOLER FAN	110	205	1485
4	5W1K15MI	COOLER FAN	110	205	1485
5	5W1K16MI	COOLER FAN	132	240	1485
6	5W1K17MI	COOLER FAN	110	240	1485
7	5W1K18MI	COOLER FAN	132	240	1485
8	5W1K19MI	COOLER FAN	200	240	1485
9	5W1K21MI	COOLER FAN	110	205	1485
10	5W1K27MI	COOLER FAN	132	346	1485
11	5W1K29MI	COOLER FAN	200	346	1485
TOTAL			1636	2953	

F. Perhitungan Kapasitor Bank Yang Akan Ditambah

Pada transformator memiliki kapasitas daya sebesar 2000 kVA dan daya yang ada ditrafo adalah daya semu. Berdasarkan pengukuran jumlah beban yang terhubung didapat total beban sebesar 1.636 kW dalam bentuk

daya nyata. Untuk itu perlu dilakukan pengubahan dari daya nyata pada beban menjadi daya semu, dengan persamaan :

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

$$S = V \times I$$

$$Q = V \times I \times \sin \varphi = S \times \sin \varphi$$

Sehingga :

$$\cos \varphi_1 = \cos^{-1} * 0,84 = 32,85^\circ$$

$$\cos \varphi_2 = \cos^{-1} * 0,98 = 11,47^\circ$$

- Kondisi sebelum penambahan kapasitor ($\cos \varphi_1 = 0,84$)

$$\begin{aligned} S &= \frac{P}{\cos \varphi_1} \\ &= \frac{1636}{0,84} \\ &= 1947,61 \text{ kVA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= \sqrt{1947^2 - 1636^2} \\ &= \sqrt{3790,809 - 2676,496} \\ &= \sqrt{1.143.113} \\ &= 1.069,16 \text{ kVA} \end{aligned}$$

- Nilai kapasitas kapasitor agar mencapai faktor daya 0,98 adalah :

$$\begin{aligned} Q_c &= P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \\ &= 1636 (\tan 32,85 - \tan 11,47) \\ &= 1636 (0,64 - 0,20) \\ &= 1636 (0,44) \\ &= 719,84 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

- Kondisi setelah penambahan kapasitor ($\cos \varphi_2 = 0,98$)

$$\begin{aligned} Q_2 &= Q_1 - Q_c \\ &= 1.069,16 - 719,84 \end{aligned}$$

$$= 349,32 \text{ kVAR}$$

$$S_2 = \frac{1636}{0,98} \\ = 1.669,38 \text{ kVA}$$

- Keuntungan daya semu :

$$S = S_1 - S_2 \\ = 1.947,61 - 1.669,38 \\ = 278,23 \text{ kVA}$$

- Perhitungan nilai kapasitas kapasitor :

$$C = \frac{\text{VAR}}{2\pi F \cdot V^2} \\ = \frac{50.000}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 6300^2} \\ = \frac{50.000}{12.462.660.000} \\ = 401,1 \mu\text{F}$$

- Beban yang bisa ditambah = $\cos \varphi = 0,84$

$$S_{\text{sisia}} = S_{\text{total}} - S_{\text{beban}}$$

$$S_{\text{sisia}} = 2000 - 1947,61 \\ = 52,39 \text{ KVA}$$

$$\Delta P_1 = S \times \cos \varphi_1 \\ = 52,39 \times 0,84$$

$$\Delta P_1 = 44,007 \text{ KW}$$

- Beban yang bisa ditambah = $\cos \varphi = 0,98$

$$S = S_{\text{total}} - S_{\text{beban}} \\ = 2000 - 1669,38 = 330,62 \text{ KVA}$$

$$P = S \times \cos \varphi_2 \\ = 330,62 \times 0,98 = 324,007 \text{ KW}$$

- Beban yang bisa ditambah secara ideal :

$$\begin{aligned}\Delta P &= \Delta S \times \cos \varphi \times 80\% \\ &= 324,007 \times 80\% \\ &= 259,20 \text{ KW}\end{aligned}$$

- Efisiensi untuk konsumsi beban terpakai

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{1636}{1680} \times 100\% \\ &= 97,38\%\end{aligned}$$

- Ketersediaan daya

$$\begin{aligned}S &= S1 - S2 \\ &= 1947,61 - 1669,38 = 278,23 \text{ kva} \\ \% &= \frac{S}{S2} \times 100\% \\ &= \frac{278,23}{1669,38} \times 100\% \\ &= 16,6\%\end{aligned}$$

- Potensi penghematan pemakaian dalam sebulan :

$$\begin{aligned}719,84 \text{ kvar} \times \frac{16,6}{100} &= 119,49 \text{ kw} \\ 119,49 \times 996,74 &= 119.100/\text{h} \\ 119.100 \times 720 \text{ h} &= 85.752.000/\text{bulan} \\ 85.752.000 \times 12 \text{ bulan} &= 1.029.024.000/\text{tahun}\end{aligned}$$

Jadi, total penghematan biaya listrik setelah menggunakan kapasitor bank dalam setahun sebesar Rp. 1.029.024.000/tahun

1. Analisa

a. Analisa penambahan kapasitor bank untuk perbaikan faktor daya menjadi 0.98

Berdasarkan hasil yang didapatkan untuk memperbaiki faktor daya menjadi 0,98, jaringan harus menyediakan daya reaktif agar daya total yang ditanggung jaringan berkurang. Salah satu cara untuk

menambahkan daya reaktif dengan kompensasi daya dengan penambahan kapasitor bank. Daya reaktif tersebut ditambah dengan penambahan 8 step kapasitor agar dapat memenuhi kebutuhan daya reaktif. Setelah faktor daya menjadi 0,98 dapat dilihat besar daya total yang ditanggung berkurang, serta semakin tingginya faktor daya, maka daya nyata beban-beban pun akan bekerja lebih maksimal dengan nilai yang lebih tinggi. Pada kapasitor bank sistem kontrol berupa step, produk pabrik unit terbesar adalah 50 kVAR, step pertama adalah 50 kVAR dengan 1 unit kapasitor paralel begitu seterusnya. jadi step yang aktif pada kapasitor adalah 8 step kapasitor.



Gambar 50. Kapasitor bank panel per step

b. Analisa beban yang bisa ditambah setelah perbaikan faktor daya

Berdasarkan hasil yang didapat beban yang dapat ditambah pada trafo dengan kapasitas 2000 kVA apabila faktor daya pada keadaan sebelum yaitu sebesar 0,84 adalah sebesar 52,39 KVA atau 44, 007 KW. Sedangkan pada saat faktor daya dinaikkan menjadi 0,98 beban yang dapat ditambah pada trafo adalah sebesar 330,62 KVA atau 324,007 KW.

Dengan faktor daya semakin besar tersebut beban yang bisa ditambah pada transformator menjadi lebih besar pula saat nilai faktor daya lebih tinggi, karena masih banyak ruang untuk penambahan beban trafo, kinerja trafo akan semakin baik karena trafo bekerja pada beban yang lebih kecil.

G. Pemeliharaan Kapasitor Bank

Kapasitor bank merupakan sejumlah kapasitor dengan tujuan untuk memperbaiki $\cos \phi$ atau disebut juga faktor daya. Instalasi listrik gedung dan pabrik memerlukan panel kapasitor bank untuk memperbaiki transformator kelebihan beban (overload) sehingga memberikan tambahan daya dan menghindari denda yang diterapkan pihak PLN terhadap denda daya reaktif. Kapasitor bank biasanya beroperasi selama bertahun-tahun, namun perlu diperiksa secara rutin untuk memastikannya bekerja dengan baik. Masalah seperti kebocoran pada kapasitor, sambungan longgar, sekering yang putus atau kapasitor yang gagal mengurangi kemampuan mensuplai daya reaktif yang ada dan dalam kasus yang ekstrim, bahkan menyebabkan kegagalan sistem total atau kebakaran. Kapasitor yang bocor harus diganti karena berbahaya seperti meledak, untuk ciri-ciri kapasitor bocor yaitu berwarna hitam di atas tabung kapasitor.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Kapasitor Bank adalah sekumpulan beberapa kapasitor yang disambung secara paralel untuk memperbaiki kualitas daya listrik dengan menaikkan faktor daya ($\cos \phi$ / $\cos \phi$) pada peralatan yang menghasilkan medan magnet yang diperlukan oleh alat-alat induksi seperti motor-motor induksi transformator dan lain-lain. Selain itu kapasitor bank juga digunakan untuk menghilangkan denda / kelebihan biaya (kVARh), menghindari kelebihan beban transformer, memberikan tambahan daya tersedia, memaksimalkan pemakaian daya (kVA), dan mengawetkan instalasi & Peralatan Listrik
2. Dengan menggunakan kapasitor bank, $\cos \phi$ yang awalnya 0,84 menjadi 0,98 menyebabkan daya semu berkurang dari 1947,61 KVA menjadi 1669,38 KVA, dan daya reaktif berkurang dari 1069,16 KVAR menjadi 349,32 KVAR, yang berarti semakin tinggi nilai $\cos \phi$ maka akan menyebabkan daya semu dan daya reaktif akan berkurang, sehingga besar daya yang ditanggung berkurang dan beban-bebanpun akan bekerja lebih maksimal. Oleh karena itu, kapasitor bank adalah solusi yang tepat untuk penghematan daya.

B. Saran

1. Pemasangan kapasitor bank sebaiknya di paralelkan dan dilakukan dekat dengan beban sehingga dapat mengurangi panas yang timbul pada kabel akibat tingginya arus. Dengan itu, PT Semen Padang dapat menghemat biaya untuk penggantian kabel yang ada. Efisiensi penggunaan daya pada trafo harusnya berkisar antara 90-99% tetapi tidak mencapai 100% hal ini dikarenakan dengan efisiensi yang besar berarti energi yang hilang menjadi lebih kecil, sehingga trafo lebih hemat energi.

2. Sebenarnya di industri inilah kita dapat melihat secara langsung aplikasi dari materi-materi yang selama ini kita pelajari selama perkuliahan di kampus, oleh sebab itu saat kuliah di kampus hendaknya dosen dapat menceritakan aplikasi dari materi yang diajarkan tersebut, kalau hanya sekedar teori dan hitung-hitungan saja, mahasiswa akan merasa bosan dan tidak tahu pengaplikasiannya di dunia nyata seperti apa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Zulmi *et al.*, “ANALISA PERBAIKAN FAKTOR DAYA SISTEM KELISTRIKAN,” *J. Sport. J. Penelit. Pembelajaran*, vol. 2, no. 6, pp. 24–29, 2018, [Online]. Available: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results%0Amuhammadkahfi16060474066@mhs.unesa.ac.id>.
- [2] B. A. B. Ii, “Faktor Daya Daya Aktif Daya Reaktif,” pp. 6–16.
- [3] A. A. Carin, R. . Sund, and B. K. Lahkar, “ANALISA OPTIMALISASI PENEMPATAN KAPASITOR BANK PADA JALUR DISTRIBUSI CHF 3 PT. BUKIT ASAM (PERSERO) TBK,” *J. Control. Release*, vol. 11, no. 2, pp. 430–439, 2018.
- [4] A. Dani and M. Hasanuddin, “Perbaikan Faktor Daya Sebagai Kompensator Daya Reaktif (Studi Kasus STT Sinar Husni),” *Semin. Nas. R.*, vol. 998, no. September, pp. 673–678, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.stmikroyal.ac.id/index.php/senar/article/download/268/211>.
- [5] M. Ilham, “Analisa Perbaikan Faktor Daya Dengan Menggunakan Kapasitor Bank,” 2017.
- [6] I. Hajar and S. M. Rahayuni, “ANALISIS PERBAIKAN FAKTOR DAYA MENGGUNAKAN KAPASITOR BANK DI PLANT 6 PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA Tbk. UNIT CITEUREUP,” *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 9, no. 1, p. 8, 2020, doi: 10.36055/setrum.v9i1.8111.
- [7] K. Alland and E. Arfah Z., “Perancangan Kebutuhan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Line Mess I Di Pt. Bumi Lamongan Sejati (Wbl),” *J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 29–35, 2013.
- <https://aliamdan.id/beban-resistif-induktif-kapasitif-dan-contohnya/>
- <https://www.bloganton.web.id/2021/05/komponen-komponen-pada-panel-kapasitor.html>