

**STUDI MANAJEMEN DAN PROTEKSI LOAD SHEDDING
PADA SISTEM KELISTRIKAN
PT. ECOGREEN OLEOCHEMICALS**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Ujian Sarjana**

Oleh :

SARJONO

NIM : 03.812.0019



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2011**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

ABSTRAK

Sistem kelistrikan baik pada industri ataupun umum, dalam pengiriman daya listrik sering mengalami gangguan. Gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan bisa berasal dari sisi beban ataupun sisi pembangkit. Gangguan harus diantisipasi dan segera dihilangkan agar penyaluran daya listrik tetap berlangsung dengan melokalisasi daerah gangguan.

Gangguan pada sisi beban biasanya diproteksi dengan peralatan proteksi seperti relay arus lebih, relay tegangan lebih/kurang, relay diferensial, relay fasa tak seimbang, relay gangguan tanah dan lain-lain dan tidak akan mempengaruhi keseimbangan sistem kelistrikan. Sedangkan untuk gangguan disisi pembangkit, walaupun digunakan peralatan proteksi, namun efek yang ditimbulkan setelah gangguan akan mempengaruhi keseimbangan sistem kelistrikan akibat dari kekurangan pasokan daya listrik. Oleh karena itu dibutuhkan sistem load shedding yang akan mempertahankan keseimbangan sistem kelistrikan pasca gangguan pada pembangkit dengan melepaskan sebagian beban.

Sistem load shedding merupakan sistem penunjang pada sistem kelistrikan untuk meningkatkan kehandalan dan kelancaran pasokan daya listrik dari pembangkit ke konsumen.

ABSTRACT

“Electrical systems in the industry or the public, in the delivery of electrical power are often breakdown. Disturbances of the electrical system are from the load side or generating side. Disturbances should be anticipated and eliminated immediately in order to distribute electrical power continues to localize the area of disturbance.

*Disturbances in the load side are usually protected by protective devices such as overcurrent relays, differential relays, phase imbalance relays and ground fault relays, they will not affect the balance of electrical system. As for the disturbance in power side, although the use of protective equipments, but the effects after the disturbances will affect the balance of electrical system as result of shortage of electrical power supply. Therefore, **load shedding system** is needed that will maintain the balance of power system post-disturbances in generating plant side by releasing some of the load.*

Load shedding system is a support system on the electrical system to improve reliability and continuity of the delivery of electrical power from generators to consumers.”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

KATA PENGANTAR ii

ABSTRAK iv

ABSTACT v

DAFTAR ISI vi

DAFTAR GAMBAR ix

DAFTAR TABEL x

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Tujuan Penelitian 2

1.3 Rumusan Masalah 2

1.4 Batasan Masalah 3

1.5 Metode Penelitian 3

1.6 Sistematika Penelitian 3

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Load Shedding 5

2.2 Jenis-jenis Load Shedding 5

2.2.1 Load Shedding Interlock Breaker 5

2.2.2 Load Shedding Relay Under Frekwensi 6

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

2.2.3	Load Shedding Didasarkan Programmable Logic Controller (PLC).....	7
2.2.4	Load Shedding Didasarkan Sistem Komputerisasi	8
2.3	Pembangkit Daya Listrik dan Sistem Distribusi	9
2.3.1	Pembangkit Daya Listrik	9
2.3.1.1	Generator Turbin Gas	9
2.3.1.2	Generator Diesel	12
2.3.2	Sistem Distribusi	16
2.3.2.1	Jaringan Distribusi Primer (Transmisi)	17
2.3.2.2	Jaringan Distribusi Sekunder (Distribusi)	19
2.4	Perhitungan Daya Beban	20
2.5	Manajemen Beban	21
 BAB 3 PENGATURAN BEBAN DAN LOAD SHEDDING		
3.1	Pengelompokan Beban	24
3.2	Sistem Kerja Load Shedding	27
3.2.1	Operasi Normal (Normal Operation)	29
3.2.2	Operasi Beban Rendah (Under Load Operation)	30
3.2.3	Operasi Shut Down/Start Up (Shut Down/Start Up Operation)	31
3.3	Tingkat Keberhasilan Kerja Load Shedding	31
3.3.1	Kondisi Beban	32
3.3.2	Jenis Gangguan Generator atau Mesin	33
3.3.3	Kecepatan Respon Melepas Beban	35
3.3.4	Jenis Pembangkit	37
3.3.4.1	Generator Turbin Gas	38
3.3.4.2	Generator Diesel (Genset – Diesel)	39

3.4	Simulasi Kerja Load Shedding	40
BAB 4 ANALISA SISTEM LOAD SHEDDING		
4.1	Proses Produksi	43
4.1.1	Bagian Utility (Utility Section)	43
4.1.2	Bagian Fatty Acid (Fatty Acid Section)	45
4.1.3	Bagian Fatty Alcohol (Fatty Alcohol Section)	47
4.1.4	Bagian Tank Farm (Tank Farm Area)	48
4.2	Dasar Pemilihan Model Load Shedding	48
4.2.1	Tipe Beban	49
4.2.2	Pusat Pembangkit (Power Plant)	50
4.2.3	Jenis Jaringan Distribusi	52
4.2.4	Penentuan Model Load Shedding	53
4.3	Kelemahan Sistem Load Shedding	54
BAB 5 PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	56
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA		58
LAMPIRAN		59

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

PT. Ecogreen Oleochemicals Medan adalah perusahaan oleokimia yang memproduksi *Fatty Alcohol dan Fatty Acid* beserta turunannya dengan CPKO atau CNO sebagai bahan baku utamanya.

Dalam operasionalnya, PT. Ecogreen Oleochemicals Medan terdiri dari beberapa bagian, yaitu: Bagian Utility (*Utility Section*), Bagian Fatty Acid (*Fatty Acid Section*), Bagian Fatty Alcohol (*Fatty Alcohol Section*) dan Bagian Tank Farm (*Tank Farm Area*). Dalam start-up pabrik, ada bagian yang membutuhkan waktu start-up yang cepat dan ada yang lambat, terutama bagian Hidrogenisasi, yaitu bagian yang memproses gas alam dan uap air menjadi gas hidrogen. Karena dalam proses ini membutuhkan suhu yang sangat tinggi di *Steam Reformer*, yaitu lebih dari 700°C . Oleh karena itu gangguan listrik walaupun hanya sesaat dapat menyebabkan *down time* yang lama.

Sementara itu dalam pengoperasian suatu pembangkit listrik dapat mengalami berbagai masalah atau gangguan. Bila terjadinya gangguan pada pembangkit dengan tripnya satu atau lebih generator maka akan mengurangi pasokan daya dari pembangkit ke sistem jaringan daya atau beban. Untuk mengimbangi berkurangnya pasokan daya listrik dari pembangkit, maka sebagian beban pada sistem jaringan harus dilepaskan agar generator lain yang masih beroperasi tidak terimbas gangguan akibat *overload* dan terjadinya penurunan frekwensi sistem jaringan dibawah batas minimum yang diizinkan. Dalam pelepasan beban, harus ada prioritas beban. Oleh karena itu beban dikelompokkan atas beban sangat penting dan utama (*critical*), beban penting namun

tidak sangat penting (*non-critical*) dan beban 'pendukung' (*supporting*). Beban penting adalah

bagian yang dalam prosesnya membutuhkan waktu start up yang lama dan sangat rentan terhadap perubahan kondisi akibat terjadi gangguan listrik (dapat menyebabkan perubahan struktur material dari peralatan akibat adanya perubahan suhu dan tekanan secara mendadak). Beban *non critical* dipilih beban yang tidak penting tetapi masih berhubungan langsung dengan proses, unit-unit pendukung proses (di *Utility Section*), proses yang cepat start up-nya dan proses yang tidak membutuhkan spesifikasi khusus seperti tekanan dan suhu yang tinggi.

Sistem yang melepaskan beban saat adanya gangguan pada pusat pembangkit dinamakan sistem "Load Shedding".

Untuk perusahaan dengan skala operasi yang besar dan spesifik serta jangkauan pelayanan kelistrikannya luas, load shedding merupakan sistem yang sangat vital dan diperlukan untuk menjaga kontinuitas pasokan daya, meningkatkan kehandalan sistem dan menghindari terjadinya pemadaman total (*total power failure = blackout*). Disini akan dibahas keefektifan suatu sistem load shedding pada kondisi aktual yang sudah terpasang pada sistem kelistrikan PT. Ecogreen Oleochemicals Medan untuk menjaga kontinuitas aliran daya listrik yang mendukung proses produksi gas hidrogen, fatty acid dan fatty alcohol.

1.2 Tujuan Penelitian

- a. Menganalisa sistem kerja load shedding pada suatu pembangkit listrik
- b. Menganalisa dasar-dasar pertimbangan pemilihan model sistem load shedding

1.3 Rumusan Masalah

Load shedding sebagai perangkat proteksi dalam meningkatkan kelancaran dan kehandalan pasokan daya listrik pada pembangkit.

1.4 Batasan Masalah

Untuk lebih menyederhanakan ruang lingkup bahasan, maka dalam Tugas Akhir ini pembahasan yang dilakukan melingkupi: **"sistem kerja dan analisa load shedding"**

1.5 Metode Penelitian

Metode Penulisan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah :

- a. Studi Literatur, Penulis mengumpulkan dan mempelajari buku-buku referensi yang berkaitan dengan topik yang dibahas serta mencari file-file yang terkait melalui internet
- b. Observasi, melakukan pengamatan terhadap sistem kerja load shedding
- c. Diskusi, dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis juga melakukan diskusi dan tanya jawab dengan dosen pembimbing

1.6 Sistematika Penelitian

Untuk lebih memberikan gambaran yang jelas mengenai Tugas Akhir ini maka penulis membuat Sistematika Penulisan sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini akan menguraikan tentang Latar Belakang Masalah, Tujuan Penelitian, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Metode Penelitian, dan Sistematika Penelitian.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan teori dasar tentang load shedding, pembangkitan dan distribusi daya listrik serta perhitungan beban dan manajemen daya listrik.

BAB 3 PENGATURAN BEBAN DAN LOAD SHEDDING

Bab ini akan membahas secara umum mengenai pembagian/pengklasifikasian beban, sistem kerja dan tingkat keberhasilan load shedding serta simulasi operasi sistemnya.

BAB 4 ANALISA SISTEM LOAD SHEDDING

Dalam bab ini akan dibahas mengenai proses produksi dan tipe beban, dasar pemilihana model load shedding serta kelemahana sistem load shedding.

BAB 5 PENUTUP

Hal-hal yang penting dari pembahasan ini akan dirangkumkan dalam kesimpulan disertai dengan saran.



BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Load Shedding

Load shedding adalah sistem pemutusan atau pelepasan beban saat terjadi ketidakseimbangan antara daya listrik yang disuplai pusat pembangkit dengan beban yang terpakai akibat adanya gangguan pada salah satu generator di pusat pembangkit. Apabila beban tidak diputus atau dilepaskan akan terjadi kelebihan beban yang harus ditanggung oleh generator yang masih aktif. Ketidakseimbangan ini menyebabkan terjadinya kenaikan arus pada masing-masing generator menuju ke kondisi *overload* dan terjadinya penurunan frekwensi pada sistem jaringan.

2.2 Jenis-jenis Load Shedding

Load shedding yang digunakan dalam sistem kelistrikan umumnya beroperasi berdasarkan pada:

- a. perhitungan daya pembangkit dan beban (untuk sistem yang sederhana)
- b. perubahan/penurunan frekwensi (untuk sistem yang besar dan kompleks).

Oleh karena itu ada beberapa model sistem load shedding yang digunakan dalam sistem kelistrikan

2.2.1 Load Shedding Interlock Breaker

Load shedding *interlock breaker* merupakan model load shedding yang paling sederhana. Untuk model ini, pemutusan beban dilakukan berdasarkan sinyal input dari pemutus arus (circuit breaker atau CB) pada generator di pusat

pembangkit, dimana desainnya berdasarkan perhitungan daya pembangkit dan beban.

Model ini sering digunakan saat kecepatan operasi load shedding sangat diperlukan dalam merespon gangguan dengan ruang lingkup operasional yang kecil dan terbatas. Walaupun memiliki kecepatan dalam merespon gangguan, namun model ini memiliki beberapa kelemahan, yaitu:

- a. Desain load shedding didasarkan pada skenario terburuk
- b. Hanya satu tahap operasi load shedding
- c. Beban yang dilepaskan selalu lebih besar dari yang dibutuhkan, hal ini dirancang karena model ini beroperasi hanya satu tahap sehingga setiap gangguan harus segera dipulihkan sebelum mengganggu generator lainnya.
- d. Untuk modifikasi sistem sangat rumit dan terkadang mahal.

2.2.2 Load Shedding Relay Under Frekwensi

Prinsip utama model load shedding ini adalah mengembalikan dan memulihkan kondisi frekwensi load shedding kembali ke frekwensi sistem jaringan normal, baik jaringan kelistrikan yang kecil maupun besar. Relay frekwensi yang digunakan akan melepaskan beban saat terjadi penurunan frekwensi yang dilakukan secara bertahap dan berulang sehingga frekwensi sistem jaringan kembali normal. Misalkan pengurangan beban 10% setiap terjadi penurunan frekwensi 0.5%. Tentunya dalam setiap tahap atau step operasinya harus ditentukan waktu tunda agar terhindar dari sinyal gangguan palsu, seperti perubahan dan penurunan frekwensi sesaat karena *start up* beban dengan daya besar atau *switching* pada sistem distribusi. Dengan demikian model ini benar-benar independen terhadap sistem yang dinamis.

2.2.4 Load Shedding Didasarkan Sistem Komputerisasi

Load shedding ini bekerja berdasarkan suatu *software* atau program yang akan memonitoring dan mengolah data setiap saat dengan tetap mengacu pada data terdahulu (*historical data*), bila ada perubahan sinyal input yang didasarkan pada frekwensi jaringan. Sehingga dengan memasukan parameter-parameter yang meliputi kapasitas dan karakteristik jaringan, demografi dan sifat-sifat beban, maka bisa ditentukan waktu pelepasan beban, urutan beban yang dilepaskan sesuai skala prioritas yang dibuat, kemudian persentase beban yang dilepas pada setiap tahapan menuju ke kondisi beban normal kembali. Disamping itu sistem ini dapat dikombinasikan dengan data daya listrik dari masing-masing pusat pembangkit secara *online*, sehingga apabila terjadi gangguan nilai daya yang hilang dapat diimbangi dengan nilai daya beban yang harus dilepaskan. Untuk mendapatkan hasil sesuai dengan yang diinginkan, setiap penyimpangan atau kesalahan yang terjadi harus dikoreksi hingga penyimpangan yang terjadi mendekati nol. Analisis software load shedding ini meliputi:

- a. Kondisi operasi sebelum gangguan
- b. Kondisi operasi setelah gangguan
- c. Gangguan alam dan durasi gangguan
- d. Respon transien sistem terhadap sebuah gangguan

Load shedding sistem ini paling efektif digunakan pada suatu sistem jaringan kelistrikan skala besar dan dengan sistem yang kompleks seperti PLN, dimana sistem jaringan dari mulai pembangkit, jaringan transmisi dan jaringan distribusi tersebar luas dengan sistem proteksi yang beraneka ragam serta banyak jenis dan jumlah pusat pembangkit dimana yang satu dengan lainnya terpisah jauh dan saling terintegrasi.

2.3 Pembangkit Daya Listrik dan Sistem Distribusi

2.3.1 Pembangkit Daya Listrik

Untuk membangkitkan daya listrik, kita mengenal berbagai sumber listrik seperti batere, sel surya dan generator. Batere akan mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan sel surya mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik, sedangkan generator akan mengubah energi mekanis menjadi listrik. Battere dan sel surya menghasilkan tegangan arus searah (DC) sedangkan generator menghasilkan tegangan arus bolak-balik (AC).

Sumber energi mekanis terdiri dari banyak jenis seperti gelombang laut, angin, tekanan panas bumi, tekanan uap (*steam*), tekanan gas, mesin-mesin diesel/bensin dan lain-lain.

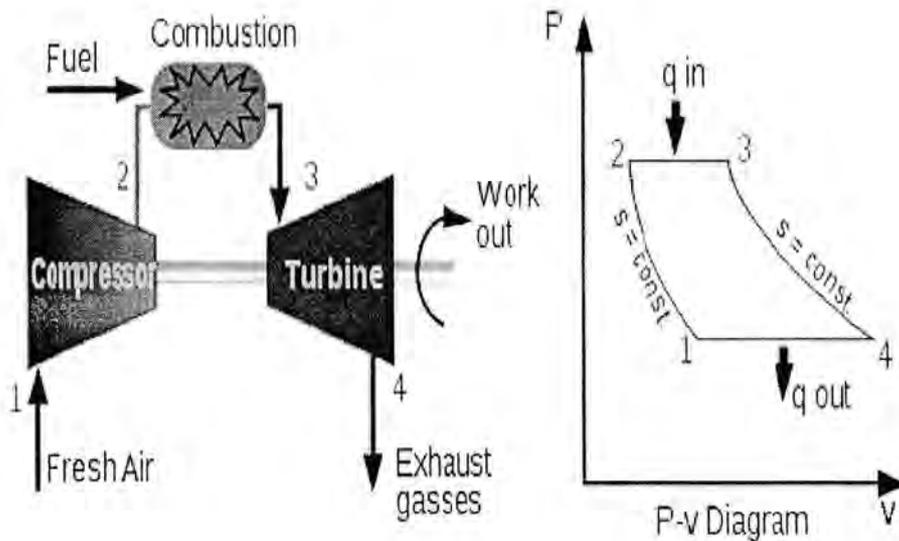
Untuk pembangkit listrik yang menggunakan generator biasanya dinamakan berdasarkan sumber energi mekanisnya seperti pembangkit listrik tenaga angin, pembangkit listrik tenaga air, pembangkit listrik tenaga uap, pembangkit listrik tenaga panas bumi, pembangkit listrik tenaga gas, pembangkit listrik tenaga diesel dan lain-lain.

PT. Ecogreen Oleochemicals Medan memiliki dua jenis pembangkit untuk menyuplai daya listrik yaitu Generator Turbin Gas dan Generator Diesel (Genset)

2.3.1.1 Generator Turbin Gas

Prinsip kerja turbin gas didasarkan pada siklus "*Brayton*", yaitu tekanan isentropik, pembakaran isobarik (tekanan konstant) dan ekspansi isentropik.

Berdasarkan skema turbin gas yang ditunjukkan gambar 2.1(a) dibawah, turbin gas terdiri dari:



Note: P = Pressure/tekanan
q_{in} = energi masuk

V = Volume/isi
q_{out} = energi keluaran

(a)

(b)

Gambar 2.1 a) Skema Turbin Gas b) Diagram P-V

- a. Kompresor (*compressor*), pada bagian ini udara luar dihisap dan dinaikkan tekanannya. Disini terjadi proses isentropik, yaitu volume udara tetap namun tekanannya berubah (*isentropic compression*).
- b. Ruang pencampuran (*Mixing chamber*) dan sekaligus ruang pembakaran (*combustion chamber*). Udara yang bertekanan dicampur dengan bahan bakar (*fuel*), kemudian dilakukan penyalaan (*ignition*). Pada kondisi udara bertekanan menyebabkan titik bakar menjadi rendah dan pembakaran bisa sempurna. Saat pembakaran, terjadi kenaikan temperatur secara mendadak dan signifikan yang menyebabkan terjadinya perubahan volume udara akibat pembakaran dan kenaikan temperatur tersebut. Pada kondisi ini, tekanan udara tetap (*isobaric*) karena udara bertekanan setelah pembakaran akan terkirim langsung ke bagian turbin ekspansi (ekspander).

- c. Ekspander atau turbin ekspansi (*Turbine Expander*), dimana udara yang bertekanan tetap dengan ditambah energi panas akibat pembakaran pada ruang pencampur dan ruang bakar akan dikirimkan ke turbin untuk memutar turbin, sehingga tekanan didalam ruang pencampur atau ruang bakar yang dikirimkan kebagian ini akan mengalami penurunan tekanan kembali ke tekanan udara normal dengan volume udara tetap (*isentropic expansion*) karena saat melewati turbin, temperatur udara tidak mengalami perubahan yang signifikan.

Secara konstruksi ketiga komponen diatas akan terhubung dengan poros (*shaft*) yang sama sehingga pada saat start awal, tekanan gas bahan bakar akan dapat dijadikan penggerak awal dari kompressor. Secara lebih jelas, konstruksinya dapat dilihat pada lampiran 3B (d) Saturn T-1301 Turbine Engine Construction.

Berdasarkan grafik Output Power (kW) vs Engine Inlet Temperature (lampiran 3A(a)), ada beberapa hal yang dapat kita lihat dan ketahui, yaitu:

- Suatu turbin gas dapat dinaikkan daya keluarannya dengan pengoperasian pada temperatur lingkungan (*ambient temperature*) yang rendah, karena dengan semakin rendah temperatur lingkungan berarti perbedaan dengan temperatur gas buang (*Exhaust Gas Temperature = EGT*) semakin tinggi.
- Kenaikan daya keluaran pada turbin gas akan sebanding dengan kenaikan temperatur gas buangnya (EGT).
- Parameter turbin gas sebagai batasan operasionalnya adalah temperatur gas buang. Hal ini disebabkan pada turbin gas, temperatur gas buang sebanding dengan daya keluarannya dan turbin gas beroperasi pada suhu tinggi. Pengukuran atau indikasi temperatur pada turbin gas hanya pada temperatur gas buangnya, sedangkan pada burner (combustion chamber) ataupun impeller turbin (turbine expander) tidak ada pengukuran (karena temperaturnya jauh

UNIVERSITAS MEDAN AREA sebagai batasan temperatur gas buang sebagai pengaman agar material

atau bahan turbin gas tetap aman pada suhu yang ditentukan, terutama pada bagian mixing/combustion chamber dan turbine expander.

Dalam perhitungan daya keluaran dan rugi-rugi turbin gas dapat dilakukan dengan berdasarkan grafik *output power vs engine inlet temperature, effect of inlet and exhaust pressure losses* dan *altitude correction factor* (grafik yang ditunjukkan pada lampiran 3A dan 3B)

Keuntungan pemakaian turbin gas di bandingkan dengan mesin piston

- a. Mempunyai rasio daya dan berat yang sangat tinggi
- b. Mempunyai ukuran yang lebih kecil untuk kapasitas daya yang sama
- c. Bergerak hanya satu arah dengan vibrasi yang sangat kecil
- d. Komponen yang bergerak lebih sedikit
- e. Tekanan operasi rendah
- f. Kecepatan operasi yang tinggi
- g. Konsumsi dan biaya oli pelumas yang rendah
- h. Dapat dioperasikan dengan berbagai jenis bahan bakar

Sedangkan kekurangan-kekurangan dari pemakaian turbin gas

- a. Harganya mahal
- b. Efisiensi lebih kecil pada saat kondisi idel
- c. Waktu start up yang lebih lama
- d. Lebih lambat responnya saat terjadi perubahan beban

2.3.1.2 Generator Diesel

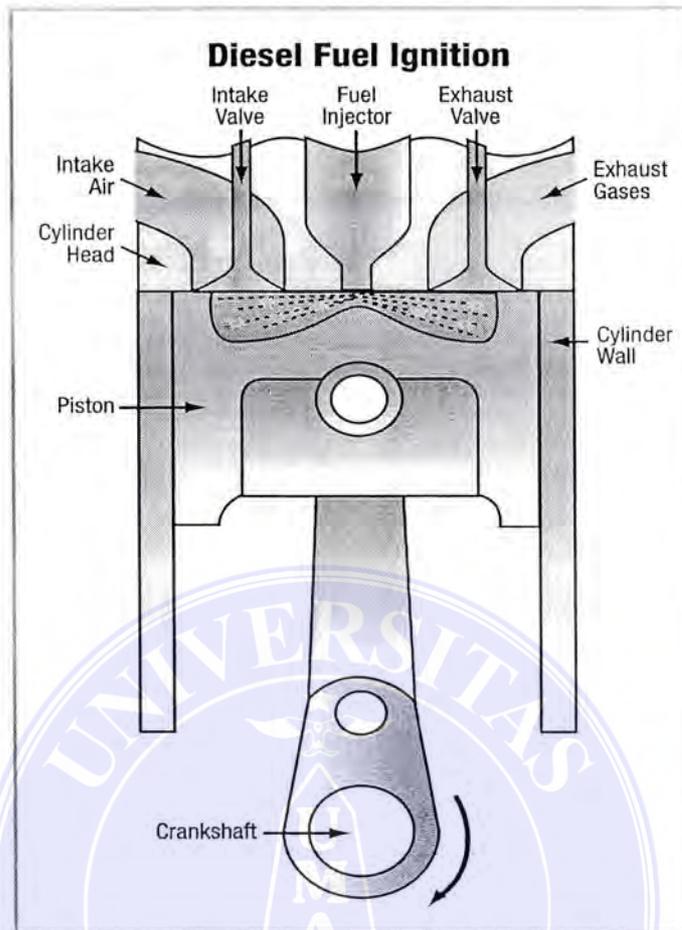
Mesin diesel termasuk jenis mesin dengan pembakaran didalam dan biasa disebut motor bakar, hal ini ditinjau dari cara memperoleh energi termalnya (energi

panas). Untuk membangkitkan listrik, sebuah mesin diesel terhubung satu poros (dikopel) dengan generator.

Pada mesin diesel (*diesel engine*) terjadi penyalaan sendiri (*internal combustion*) karena udara murni dimampatkan dalam ruang bakar hingga mencapai titik nyala bahan bakar dan saat bahan bakar diinjeksikan maka secara otomatis bahan bakar akan terbakar dengan sendirinya.

Prinsip kerja mesin diesel dimulai dengan menghisap udara murni dan mengirimkan keruang bakar. Udara ini kemudian dikompresi dengan rasio kompresi biasanya 15:01 – 22:01 dan menghasilkan tekanan kompresi 40 bar (4.0 Mpa; 580 psi). Dengan tekanan ini akan memanaskan udara 550 °C (1022 °F). Pada puncak langkah kompresi, bahan bakar disuntikan langsung ke udara yang dikompresi dalam ruang pembakaran. Injektor bahan bakar akan memastikan bahwa bahan bakar terpecah menjadi tetesan kecil dan terdistribusi secara merata. Panas udara tekan akan menguapkan tetesan bahan bakar kemudian uap bahan bakar akan dinyalakan oleh panas dari udara yang dikompresi dalam ruang pembakaran. Tetesan terus menguap dari permukaannya dan terbakar hingga tetesan menjadi semakin kecil sampai semua bahan bakar habis terbakar. Awal penguapan bahan bakar menyebabkan periode penundaan selama pengapian dan suara ketukan yang menjadi karakteristik mesin diesel saat uap mencapai suhu penyalaan dan menyebabkan peningkatan mendadak tekanan diatas piston. Ekspansi yang cepat dari gas pembakaran kemudian mendorong piston kebawah, memasok daya ke poros engkol (crankshaft). Piston dihubungkan dengan poros engkol menggunakan batang torak sehingga piston dapat bergerak bolak-balik (*reciprocating*). Gerak bolak-balik piston akan diubah menjadi gerak rotasi oleh poros engkol (*crankshaft*). Dan sebaliknya gerak rotasi poros engkol juga diubah menjadi gerak bolak-balik

piston pada langkah kompresi.



Gambar 2.2 Kontruksi pinston mesin diesel

Secara lebih sederhana prinsip kerja mesin diesel empat langkah dapat dilihat pada gambar 2.2 diatas. Langkah pertama menarik udara ke dalam silinder sebagai akibat ruang yang piston ciptakan dengan bergerak menjauh dari *intake valve*, katup udara masuk. Langkah piston selanjutnya dengan mengompres udara, pada waktu bersamaan terjadi pemanasan. Selanjutnya, bahan bakar diinjeksikan melalui *fuel injector* di bawah tekanan tinggi saat piston mendekati puncak stroke kompresi, memicu terjadinya penyalaan secara spontan karena bahan bakar kontak dengan udara panas. Langkah berikutnya gas panas hasil pembakaran akan mengembang dan mendorong piston bergerak ke bawah dan disebut sebagai langkah daya (*power stroke*). Dan langkah terakhir piston bergerak kembali ke awal, piston mendorong

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

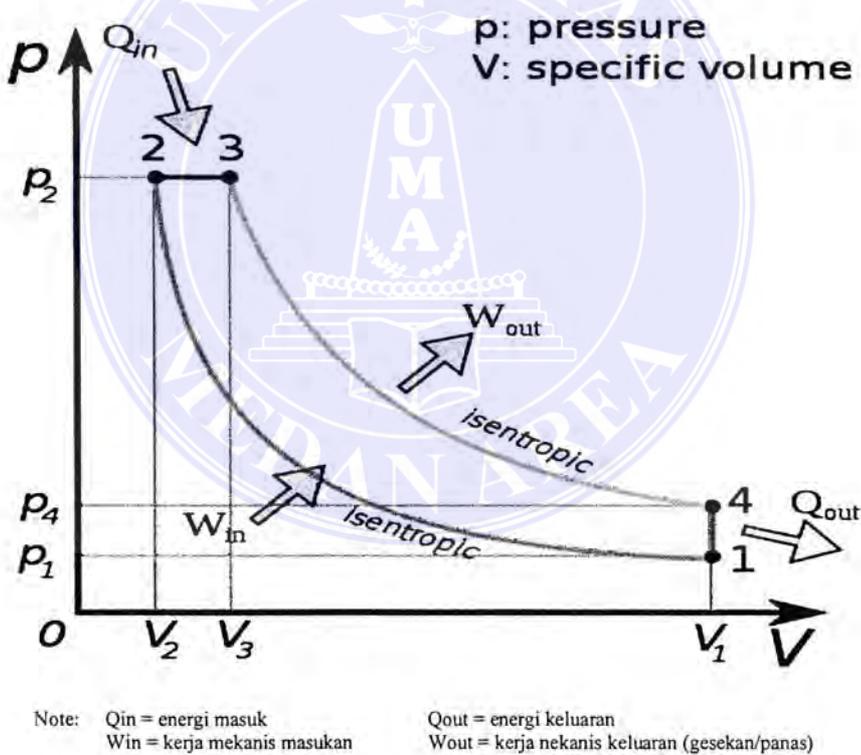
Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

habis gas keluar dari silinder melalui *exhaust valve*, dan siklus dimulai lagi dengan hisapan udara segar.

Bila dilihat gambar 2.3 Diagram P-V dibawah, proses yang terjadi pada mesin diesel diawali oleh isentropic kompresi dimana udara murni dihisap dan dikompresi oleh piston (1 ke 2). Kemudian pada kondisi tekanan tinggi, bahan bakar diinjeksikan keruang bakar yang bertekanan dan terjadi pembakaran (2 ke 3), setelah itu terjadi isentropic ekspansi, dimana piston terdorong sampai tekanan menurun dan pembakaran selesai (3 ke 4), kemudian gas hasil pembakaran akan terbuang (4 ke 1) dan proses kembali dimulai ke step awal.



Gambar 2.3 Diagram P-V pada mesin Diesel

Keuntungan pemakaian mesin diesel sebagai penggerak mula:

a. Desain dan instalasi sederhana

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

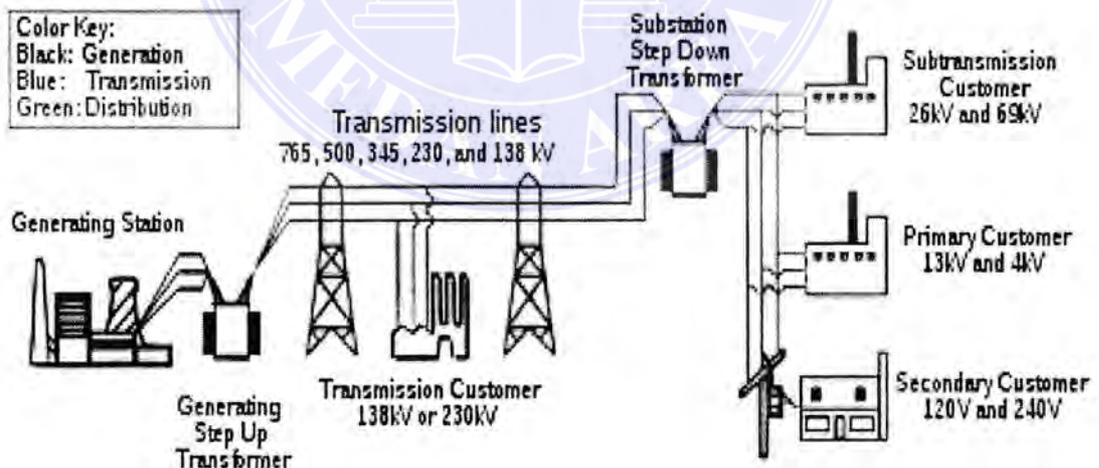
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
 Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

- b. Peralatan bantu (*auxiliary equipment*) sederhana
- c. Waktu pembebanan relatif singkat

Sedangkan kerugian menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula:

- a. Desain mesin sangat berat agar dapat menahan getaran dan kompresi yang tinggi
- b. *Starting* awal yang berat karena kompresinya tinggi, yaitu sekitar 200 bar
- c. Dimensi mesin diesel yang besar, sehingga semakin besar daya generator maka dimensi mesin diesel semakin besar pula dan hal ini menyulitkan untuk mendesain dengan daya yang sangat besar.
- d. Konsumsi bahan bakar relatif mahal jika dibandingkan dengan pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar jenis yang lain seperti gas dan batubara.

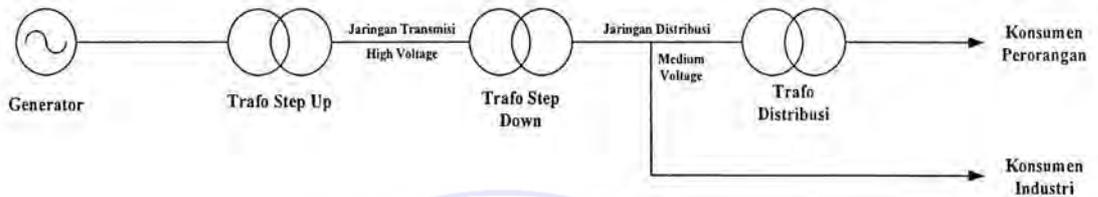
2.3.2 Sistem Distribusi Daya



Gambar 2.4

Skema penyaluran daya listrik dari pembangkit ke konsumen (beban)

Pengiriman daya listrik dari pusat pembangkit sampai ke beban dibutuhkan suatu jaringan pengiriman yang disebut jaringan distribusi. Dalam jaringan distribusi daya listrik terdiri dari beberapa bagian yang terkadang tidak jelas namun masih saling terkait antara satu dengan lainnya. Seperti terlihat pada gambar 2.4 diatas.



Gambar 2.5

Diagram satu garis pembangkitan dan penyaluran daya listrik

Berdasarkan gambar 2.5 diatas, secara umum sistem jaringan distribusi terdiri dari:

- a. Jaringan distribusi primer (transmisi), yaitu jaringan yang membawa beban dengan tegangan lebih tinggi dari tegangan gardu induk ke titik dimana tegangan akan diturunkan menjadi tegangan distribusi.
- b. Jaringan distribusi sekunder (distribusi), yaitu jaringan dari titik dimana tegangan diturunkan ke tegangan distribusi sampai ke meteran konsumen.

2.3.2.1 Jaringan Distribusi Primer (Transmisi)

Jaringan distribusi primer (transmisi) merupakan jaringan yang digunakan untuk mengirimkan daya listrik antara pusat pembangkit dan jaringan distribusi dengan jarak yang sangat jauh. Jaringan ini digunakan untuk mengirimkan daya

listrik ke beban dengan menggunakan tegangan tinggi, yaitu dengan menaikkan tegangannya menggunakan transformator step up.

Sistem jaringan transmisi terdiri dari 3 tipe dasar, yaitu:

- a. Sistem radial
- b. Sistem loop, yaitu loop terbuka dan loop tertutup
- c. Sistem jaringan utama

Pada transformator berlaku persamaan umum berikut:

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2 \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana : V_1 = tegangan sisi primer transformator

I_1 = arus sisi primer transformator

V_2 = tegangan sisi sekunder transformator

I_2 = arus sisi sekunder transformator

Dengan persamaan 2.1, jika tegangan pada sisi sekunder V_2 dinaikkan maka arus yang mengalir pada sisi sekunder I_2 akan turun dan sebaliknya jika tegangan pada sisi sekunder V_2 diturunkan berarti arus yang mengalir pada sisi sekunder I_2 akan naik. Dengan menaikkan tegangan jaringan transmisi maka arus yang mengalir pada jaringan transmisi akan menjadi lebih kecil (turun) berarti kita akan mengurangi rugi-rugi daya dan persentase drop tegangan pada jaringan. Hal ini didasarkan pada persamaan 2.2 dan persamaan 2.3 berikut:

$$V = I R \dots\dots\dots (2.2)$$

$$P = I V \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana: V = tegangan (volt)

P = daya listrik (watt)

I = arus listrik (ampere)

R = tahanan (ohm)

Disamping itu, dengan semakin kecil arus yang mengalir pada jaringan, maka ukuran penampang kabel yang digunakan pada jaringan akan semakin kecil. Hal ini berarti kita menghemat biaya pada material penghantar.

Sedangkan nilai tegangan jaringan transmisi berbeda-beda untuk setiap negara sesuai dengan regulasi ataupun ketersediaannya. Di Indonesia umumnya tegangan jaringan transmisi 150 kV (PLN diluar Jawa), 270 kV (PT. Inalum, Siguragura – Kuala Tanjung) dan 500 kV (PLN, Jawa – Bali)

2.3.2.2 Jaringan Distribusi Sekunder (Distribusi)

Jaringan distribusi sekunder (distribusi) adalah jaringan untuk menyalurkan daya listrik ke konsumen. Karena umumnya konsumen menggunakan tegangan menengah (untuk industri) dan tegangan rendah (untuk perumahan). Dengan menggunakan transformator step down, tegangan jaringan transmisi diturunkan ke tegangan menengah (distribusi). Hal ini kembali akan menaikkan arus pada jaringan. Namun arus yang besar akan tersebar sesuai dengan penyebaran beban. Umumnya tegangan jaringan distribusi di Indonesia adalah 20 kV (tegangan menengah) dan 380 V (tegangan rendah).

Dalam penyaluran daya listrik ke konsumen, jaringan distribusi umumnya terdiri dari 4 tipe, yaitu:

- a. Sebuah trafo akan melayani setiap konsumen, yaitu layanan tunggal dari masing-masing trafo terhadap konsumen.
- b. Sebuah trafo akan melayani sekelompok atau grup konsumen.
- c. Jaringan distribusi yang terdiri dari 2 atau lebih trafo akan melayani sekelompok/grup konsumen.

- d. Jaringan distribusi terdiri dari sejumlah trafo yang terhubung dengan 2 atau lebih feeder untuk melayani sekelompok/grup konsumen yang besar.

Sistem jaringan distribusi di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan seperti pada gambar terlampir, merupakan jaringan distribusi radial dengan perpaduan antara jaringan langsung dan tak langsung. Pada jaringan tak langsung, jaringan distribusi menggunakan transformator step up dan step down 3/0.4 kV. Hal ini disebabkan karena jarak antara pusat pembangkit dan beban ± 500 akan menyebabkan terjadinya drop tegangan pada jaringan $>10\%$. Penurunan arus listrik hampir 10 kali tentunya akan memperkecil ukuran kabel yang digunakan dan juga rak kabel (*cable tray*) yang akan menyangga kabel jaringan.

2.4 Perhitungan Daya Beban

Perhitungan aliran beban merupakan alat analisis jaringan yang paling umum untuk memeriksa jaringan terganggu atau tidak dalam lingkup perencanaan strategi dan operasional. Berdasarkan topologi jaringan dengan impedansi semua perangkat serta konsumen, perhitungan aliran beban dapat menyediakan data tegangan untuk semua titik (*node*) dan beban dari komponen jaringan seperti kabel dan transformator. Dengan informasi ini, kondisi untuk batasan operasi seperti penetapan rentang tegangan dan beban maksimum dapat di periksa. Hal ini penting, misalnya untuk menentukan kapasitas transmisi kabel bawah tanah, dimana pengaruh tumpukan kabel pada kapasitas beban setiap kabel harus juga diperhitungkan. Karena kemampuan untuk menentukan alokasi rugi-rugi daya dan daya reaktif, perhitungan aliran beban juga mendukung insinyur perencanaan dalam menentukan mode operasi paling ekonomis dari jaringan.

Saat peralihan dari fasa tunggal atau fasa banyak jaringan tegangan rendah ke jaringan isolasi, perhitungan aliran beban menjadi sangat penting untuk alasan operasional dan ekonomis. Perhitungan aliran beban juga menjadi dasar semua studi jaringan lebih lanjut seperti start up motor atau penyelidikan pemadaman peralatan terencana atau tidak melalui simulasi pemadaman. Terutama saat penyelidikan start up motor, hasil perhitungan aliran beban memberikan petunjuk yang bermanfaat, misalnya apakah motor dapat distart meskipun drop tegangan yang disebabkan oleh arus start up.

Perhitungan beban dilakukan dengan 2 cara, yaitu:

- a. berdasarkan perhitungan langsung setiap equipment/alat yang menggunakan daya listrik berdasarkan data peralatan tersebut.
- b. Berdasarkan pengukuran arus untuk periode tertentu, sehingga akan diperoleh data beban maksimum, minimum dan rata-ratanya.

Dengan kedua cara tersebut, kemudian kita gabungkan dan diambil perkiraan data yang aman.

2.5 Manajemen Beban

Manajemen beban adalah proses menyeimbangkan pasokan listrik pada jaringan dengan beban listrik dengan menyesuaikan atau mengontrol beban keluaran pembangkit listrik. Hal ini dilakukan dengan intervensi langsung terhadap pemakaian secara terus menerus atau dengan jam waktu atau juga dengan tarif khusus untuk mempengaruhi perilaku konsumen.

Energi listrik adalah bentuk energi yang tidak dapat disimpan dalam jumlah besar. Energi yang dihasilkan langsung dikirim ke titik atau tempat dimana diperlukan dan segera dikonsumsi. Akibatnya untuk pembangkitan dan distribusi

daya listrik, manajemen beban adalah masalah yang terus menerus berada dalam benak para penyuplai (operator) jaringan listrik, seperti PLN. Kadang-kadang beban pada sistem dapat mendekati kapasitas maksimum pembangkit bahkan terkadang kenaikan beban melampaui nilai maksimum daya keluaran yang dihasilkan pembangkit. Saat ini terjadi, maka operator jaringan harus mencari energi tambahan atau mengurangi/melepas sebagian beban. Jika mereka tidak berhasil dalam waktu yang diizinkan, sistem akan menjadi tidak stabil dan pemadaman dapat terjadi.

Manajemen beban terkadang menggunakan sistem analisa beban yang canggih dimana model yang dibuat akan menjelaskan sifat fisik dari jaringan distribusi (seperti topologi, kapasitas dan karakteristik lain dari jaringan) serta sifat-sifat bebannya. Secara luas analisi ini mungkin termasuk kondisi cuaca, prediksi dampak perintah load shedding, memperkirakan waktu perbaikan peralatan dan faktor-faktor lainnya.

Pemantauan beban dan efek program kontrol beban biasanya dilakukan secara waktu riil oleh operator menggunakan sistem SCADA. Jika hasil aktual berbeda dari hasil prediksi, dalam hal ini harus dilakukan koreksi dengan memberikan besar atau kecil beban terkirim sesuai keperluan tetapi dalam kondisi biasa digunakan sistem otomatis.

Ketepatan perkiraan beban memerlukan data yang berkelanjutan dalam rangka menyempurnakan demografi, monitor pola pertumbuhan dan mempertahankan pengetahuan dari beban-beban yang tidak bisa terkirim.

Manajemen beban dapat dicapai dengan penggunaan perangkat kombinasi alat dan program termasuk pembangunan dan pengoperasian pembangkit-pembangkit listrik baru (khusus untuk beban puncak), berpartisipasi dalam perkumpulan daya, program manajemen permintaan (seperti pengoperasian sistem kontrol beban dan program

konsumen untuk memperbaiki konservasi energi) serta program respon permintaan.

Tehnologi baru selalu dalam pengembangan baik oleh industri swasta maupun organisasi publik.

Pada prinsipnya, manajemen beban berguna untuk meningkatkan efisiensi dan akan mendukung kualitas, kesinambungan dan keandalan sistem kelistrikan, sehingga akan menaikkan profit dan mempertahankan kelangsungan operasional perusahaan menghadapi tekanan ekonomi dan tingkat persaingan pasar global. Sehingga dalam penyediaan daya listrik harus dilakukan upaya-upaya perbaikan seperti mempertahankan level tegangan daya, meminimalkan ketidak seimbangan fasa, mempertahankan faktor daya, mempertahankan kualitas daya yang baik, menggunakan trafo yang efisien, mengidentifikasi dan menetapkan rugi-rugi sistem distribusi, meminimalkan resistansi (tahanan) sistem distribusi, menggunakan *inverter* atau *Adjustable Speed Drive* pada motor listrik sebagai prioritas, menggunakan load shedding, memilih penggantian motor sebelum gangguan, memilih motor yang hemat energi, mencocokkan kecepatan operasi motor, menentukan ukuran motor yang paling efisien, menentukan tegangan motor 200 V untuk sistem listrik 208 volt, meminimalkan rugi-rugi belitan motor, mengoptimalkan efisiensi transmisi, melakukan pengecekan secara periodik, mengontrol temperatur, melakukan pelumasan secara tepat dan mempertahankan data motor.

BAB 3

PENGATURAN BEBAN DAN LOAD SHEDDING

3.1 Pengelompokan Beban

Perencanaan dan perancangan sebuah sistem load shedding pada suatu pembangkit listrik baik industri maupun umum, terlebih dahulu harus dilakukan suatu perhitungan atau pengambilan data seperti data total daya yang disuplai oleh pembangkit dan beban yang terpakai. Disamping itu juga harus dilengkapi data total beban saat beban puncak, beban menengah dan beban dasar disertai dengan waktu masing-masing kondisi beban tersebut. Berdasarkan data-data tersebut dilakukan pengelompokan atau pembagian beban dengan mengacu pada tingkat keamanan dan jenis proses (waktu dan kesulitan dalam start up) serta faktor ekonomis.

Dalam industri, beban biasanya dikelompokkan menjadi:

- a. Beban sangat kritis (*very critical load*), biasanya pada daerah kerja ini memiliki proses yang sangat berbahaya, apabila terjadi pemadaman listrik tiba-tiba, seperti memiliki tekanan atau temperatur operasi yang sangat tinggi, memiliki bahan-bahan yang sangat berbahaya dan beracun, dan lain-lain
- b. Beban kritis (*critical load*), biasanya pada daerah kerja ini memiliki tingkat kesulitan atau waktu start up yang lama, sehingga gangguan sesaat akan mengakibatkan down time proses yang lama.
- c. Beban emergensi (*emergency load*), biasanya beban ini berhubungan dengan keamanan manusia seperti penerangan, sistem kontrol, cctv, PABX, *sistem fire alarm* dan lain-lain. Terkadang untuk beban emergensi memiliki sumber listrik emergensi sendiri seperti UPS dan batere.

- d. Beban tidak kritis (*non critical load*), biasanya daerah kerja ini daerah kerja normal, tidak berbahaya dan waktu start up juga singkat, namun masih berkaitan dengan proses, dimana jika terjadi gangguan listrik agak mengganggu produktifitas.
- e. Beban pendukung (*supporting load*), biasanya beban ini digunakan untuk perkantoran, workshop (bengkel), ruang servis dan lain-lain
- f. Beban tambahan (*auxiliary load*), biasanya digunakan untuk daya tambahan, seperti untuk pengelasan atau kebutuhan lainnya di area pabrik, yang sifatnya sementara (tidak terus menerus).

Beban-beban listrik yang ada di PT Ecogreen Oleochemical Medan dikelompokkan menjadi:

- a. Beban kritis (*Critical load*), yaitu beban-beban untuk proses utama dan yang punya tingkat kesulitan dan waktu start up yang lama dan beban-beban yang mendukung proses pada beban kritis serta beban emergensi seperti penerangan emergensi, CCTV, PABX, UPS untuk suplai daya kontrol DCS dan lain-lain, dengan total beban sekitar 1400 kW
- b. Beban tidak kritis (*non critical load*), merupakan beban-beban penunjang proses utama, namun dalam hal start up dapat dilakukan dengan cepat dan lebih mudah, dengan total beban 300 kW
- c. Beban pendukung (*supporting load or over burden limit = OBL*), merupakan beban-beban pendukung yang tidak mempunyai hubungan langsung dengan proses produksi, seperti perkantoran, bengkel, gudang dan penerangan, dengan total beban sekitar 265 kW.

Pengelompokan beban di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan secara lebih jelas dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah.

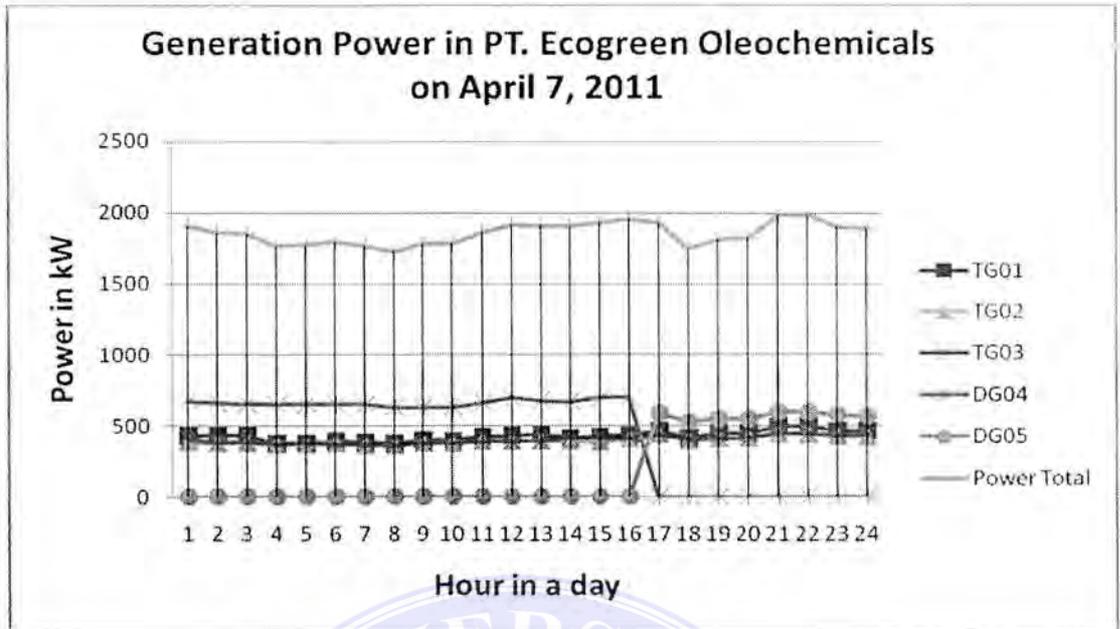
Tabel 3.1 Pengelompokan beban

Beban Kritis (Critical Load)		Beban Tidak Kritis (Non Critical Load)		Beban Pendukung (Supporting Load)	
Area	Daya (kW)	Area	Daya (kW)	Area	Daya (kW)
Fatty Alcohol	500	Tank Farm (Agitator & Flaking –Bagging)	50	Office	100
Fatty Acid	300	RWP	50	Workshop	50
Utility	600	Utility (Nitrotect)	80	Warehouse	10
		Sabagian Fatty Acid	20	Canteen	5
		Sebagian Utility	100	Penerangan	100
Total	1400		300		265

Note: Data merupakan rata-rata pemakaian sehari-hari

Disamping pengelompokan beban, juga harus diketahui karakteristik beban seperti nilai besaran total beban puncak, beban menengah dan beban dasar serta beban pendukung (OBL) dan sebagian beban tidak kritis disertai waktunya. Karena beban-beban inilah yang akan berkaitan langsung dengan sistem load shedding, sehingga keakuratan data menjadi salah satu parameter yang menentukan keberhasilan load shedding.

Grafik pada gambar 3.1 dibawah, memperlihatkan suplai daya dari pembangkit pada tanggal 7 April 2011, berdasarkan data generator pada lampiran 4. Dari grafik tersebut dapat dilihat karakteristik nilai besaran beban total dan kondisi beban saat terjadi peralihan dari generator diesel DG04 dengan generator diesel DG05. Grafik ini memberikan gambaran pemakaian daya dan karakteristik beban harian yang menjadi salah satu data yang harus dipertimbangkan pada sistem load shedding.



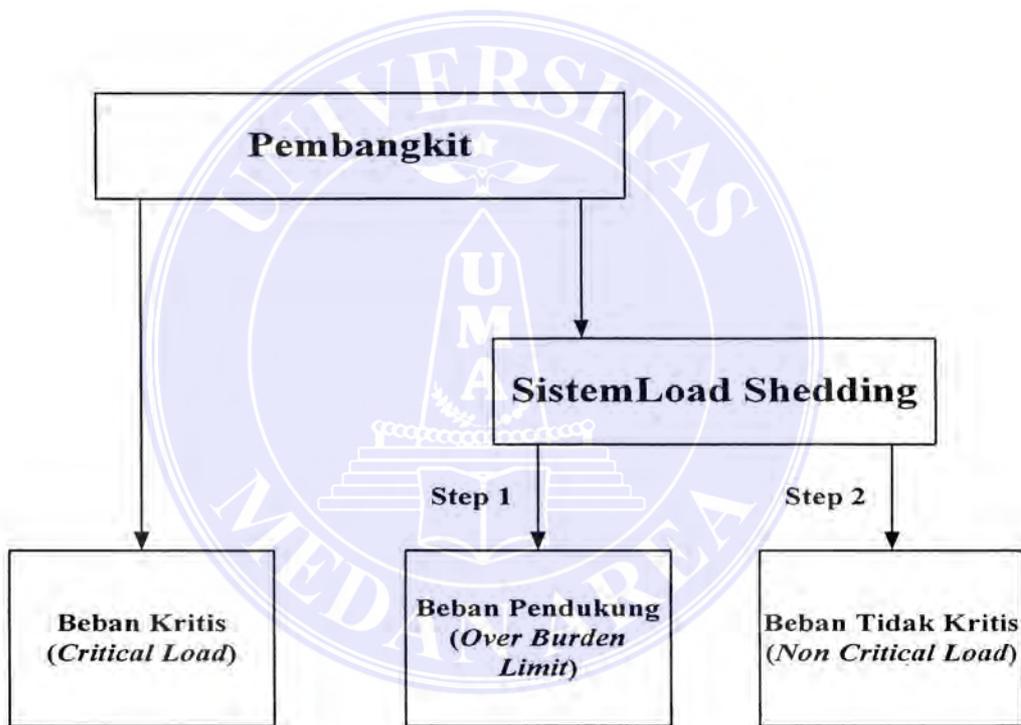
Gambar 3.1 Grafik suplai daya pembangkit

3.2 Sistem Kerja Load Shedding

Salah satu faktor yang harus dipertimbangkan dan menjadi kriteria keunggulan suatu pusat pembangkit adalah kehandalan (*reliability*) dan ketersediaan (*continuity*) pasokan daya listrik, terutama pasokan daya listrik untuk industri. Untuk mewujudkan kedua faktor diatas, maka kita harus menambahkan sistem load shedding pada pusat pembangkit. Load shedding adalah perangkat atau sistem yang akan menunjang kehandalan suatu pembangkit dalam meningkatkan kontinuitas penyaluran daya listrik. Dengan penambahan sistem ini maka jika terjadi gangguan pada salah satu generator pembangkit yang akan menyebabkan kenaikan beban yang dipikul oleh generator yang tersisa, tidak akan menyebabkan generator tersebut mengalami overload, karena sebagian beban segera dilepas oleh sistem tersebut.

Sistem load shedding di PT Ecogreen Oleochemical Medan adalah sistem langsung (*interlock breaker*). Step pertama, pemutusan beban penunjang (*supporting*

load atau *over burden limit*) terjadi saat adanya gangguan generator dipembangkit dan bila kondisi tetap tidak seimbang sehingga menyebabkan gangguan pada generator lainnya maka sistem dilanjutkan pada step kedua dengan memutuskan sebagian beban tidak kritis (*non critical load*). Apabila pada step kedua, sistem kelistrikan gagal diseimbangkan maka hal ini menunjukkan kegagalan sistem load shedding dan akibat yang timbul adalah terjadinya pemadaman total (*total power failure*). Secara lebih jelasnya, sistem load shedding digambarkan dalam bentuk diagram blok seperti pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Blok Diagram Load Shedding

Berdasarkan blok diagram load shedding pada gambar 3.2 dan diagram kontrol load shedding (lampiran 2A, 2B dan 2C) maka dibuatlah formasi load shedding secara lebih jelas dan mudah dipahami dalam bentuk tabel seperti diperlihatkan dalam tabel 3.2 dibawah.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

TABEL 3.2 LOAD SHADDING FORMATION

LOAD TYPE	POWER FORMATION	INFLUENCE LOAD	JUMPER SWITCH
Q05 (OBL)	- 3 TG + DG05 - DG04 + DG05 + 1 TG - DG04 + 2 TG	- OFFICE - WORKSHOP - WAREHOUSE - KANTIN - SECURITY POST - Plant Lighting (Q07, Q10, Q14)	* Jumper Total (TY8 – TY9) <i>(DCS Indication)</i> Semua beban dapat diaktifkan tanpa dipengaruhi formasi power
K06 (PROCESS LOAD SHADDING)	- 3 TG - DG04 + 1 TG - DG05 + 2 TG - DG04 + DG05	- AGITATOR - RWP - NITROTECT #1 & #2 - FLAKING-BAGGING - F. ACID (SEBAGIAN)	* Jumper Efisiensi (TY20 – TY21 & K04 (11,9)) <i>(No DCS Indication)</i> Q05 (OBL) akan aktif dengan formasi power: - 3 TG - 2 TG + DG04 - 2 TG + DG05 - DG04 + DG05

Note: TG = generator turbin gas, DG = generator diesel (genset)

Berdasarkan tabel 3.2 tentang formasi load shedding diatas dan sesuai dengan diagram kontrol load shedding (lampiran 2A, 2B dan 2C), maka kerja load shedding dapat dijelaskan seperti berikut ini.

3.2.1 Operasi Normal (*Normal Operation*)

Operasi normal adalah kondisi dimana operasi perusahaan sudah berjalan normal, tanpa ada shutdown pada bagian/area tertentu, maka sistem load shedding akan berlaku syarat minimum sebagai berikut:

- a. Operasi 3 generator turbin gas (TG) ditambah genset DG05

- b. Operasi 2 generator turbin gas (TG) ditambah genset DG04
- c. Operasi 1 generator turbin gas (TG) ditambah genset DG04 dan DG05

Bila salah satu dari ketiga syarat diatas telah terpenuhi kemudian terjadi gangguan pada salah satu generator maka operasi step pertama yaitu dengan membuka CB Q05 untuk melepas beban-beban pendukung (*OBL = Over Burden Limit*). CB Q05 adalah CB untuk beban-beban OBL. Dengan melepas beban OBL diharapkan generator yang tersisa dapat mempertahankan kondisinya. Untuk memulihkan penyediaan daya ke kondisi normal dan mengaktifkan (*switching*), generator cadangan harus dioperasikan terlebih dahulu. Namun apabila kondisi tidak dapat dipertahankan (setelah CB Q05 dibuka) sehingga menyebabkan generator yang tersisa ada yang mengalami *overload* (kelebihan beban), maka akan memasuki syarat-syarat step kedua, yaitu:

- a. Operasi 3 generator turbin gas
- b. Operasi 1 generator turbin gas ditambah genset DG04
- c. Operasi 2 generator turbin gas ditambah genset DG05
- d. Operasi genset DG04 dan DG05

Saat kondisi diatas tidak terpenuhi akibat salah satu generator trip (*overload*), maka beban-beban tidak kritis (*non critical load*) akan dibuka (dibuang) dengan aktifnya kontaktor K06. Apabila pada kondisi ini generator tersisa tidak bisa mempertahankan kondisi keseimbangan daya listrik, maka akan terjadi pemadaman total (*total power failure*).

3.2.2 Operasi Beban Rendah (*Under Load Operation*)

Operasi ini biasanya terjadi setelah aktifitas shutdown, dimana beban belum seluruhnya dioperasikan, maka dioperasikan beberapa generator (sesuai kebutuhan) untuk efisiensi, sistem load shedding diaktifkan dengan syarat sebagai berikut:

- a. Operasi 3 generator turbin gas (TG)
- b. Operasi 2 generator turbin gas (TG) ditambah genset DG04 atau genset DG05
- c. Operasi genset DG04 dan DG05

Sehingga apabila salah satu generator trip maka CB Q05 akan dibuka untuk melepas beban OBL. Apabila kondisi tidak bisa dipertahankan, maka berlaku step 2 dengan syarat seperti pada operasi normal.

Bila dilihat sekilas pada operasi beban rendah, persyaratan antara step 1 dan step 2 hampir sama, perbedaannya pada step 1 saat operasi 2 generator turbin gas ditambah genset DG04 atau DG05 dengan 2 generator turbin gas ditambah genset DG05, sehingga tentunya operasi step 1 kemungkinan juga bisa diikuti oleh step 2 secara langsung atau pun bersamaan.

3.2.3 Operasi *Shut Down/Start Up* (*Shut Down/Start Up Operation*)

Operasi ini biasanya terjadi selama aktifitas *shut down* dan *start up* setelah aktifitas *shutdown* selesai. Load shedding tidak diaktifkan karena pemakaian daya listrik yang rendah dan tidak ada aktifitas proses sehingga apabila terjadi pemadaman total tidak menimbulkan dampak yang besar.

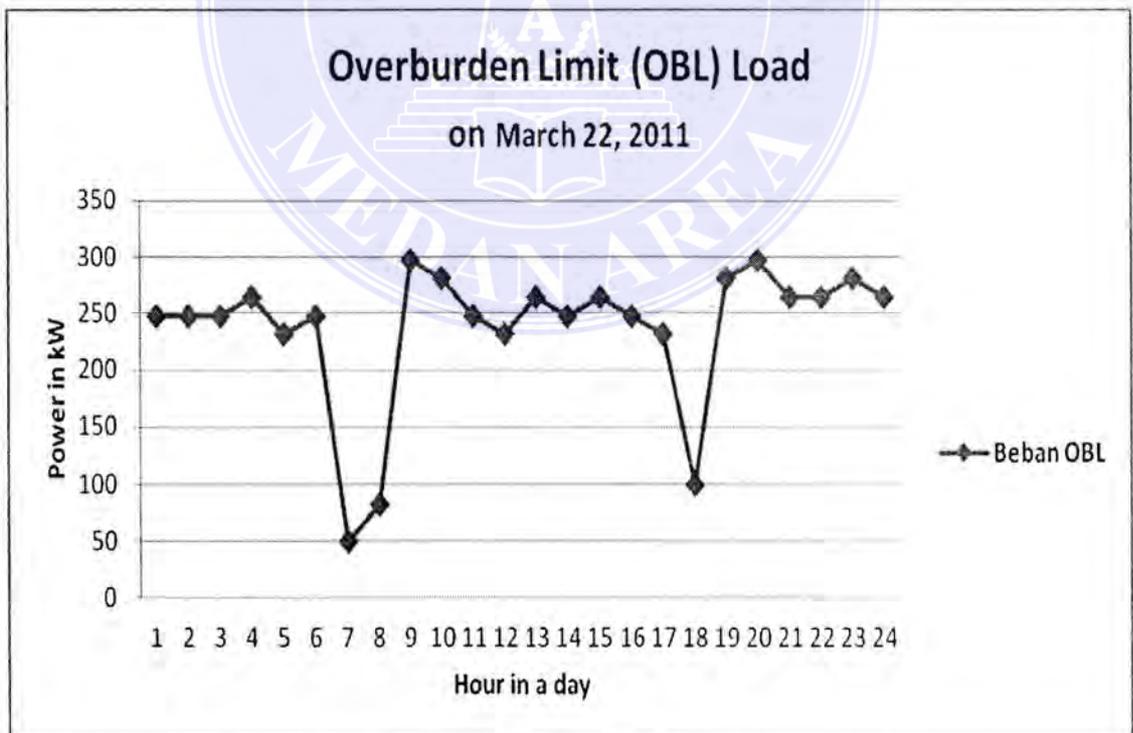
3.3 Tingkat Keberhasilan Kerja Load Shedding

Ada beberapa faktor yang menentukan tingkat keberhasilan kerja suatu sistem load shedding, yaitu:

- a. Kondisi beban, terutama beban pendukung (OBL)
- b. Jenis gangguan generator
- c. Kecepatan respon untuk melepas beban pendukung (OBL)
- d. Karakteristik jenis-jenis pembangkit

3.3.1 Kondisi Beban

Beban-beban yang akan berhubungan langsung dengan load shedding yaitu besaran total beban puncak, beban menengah dan beban dasar serta beban pendukung (OBL) dan sebagian beban tidak kritis. Kondisi besaran beban-beban ini dapat berubah-ubah setiap saat dan perubahannya dapat diprediksi sesuai jenis bebannya. Seperti penjelasan sebelumnya, saat terjadi gangguan pada generator, beban yang pertama sekali dilepas adalah beban pendukung (OBL). Bila dilihat jenis beban OBL adalah workshop, office, warehouse, penerangan, kantin dan pos sekuriti, maka beban ini akan mengalami beban naik saat siang dan malam hari. Waktu antara jam 07.00 – 08.00 dan jam 17.00 – 18.00 adalah waktu beban pendukung berada pada tingkat minimum karena saat ini terjadi peralihan beban antara beban penerangan dengan beban aktivitas kantor.



Gambar 3.3 Grafik kondisi beban OBL

Grafik pada gambar 3.3 dibawah, berdasarkan data beban OBL (Q05) pada tanggal 22 Maret 2011 (lampiran 4), memperlihatkan gambaran kondisi beban OBL. Grafik tersebut memperlihatkan gambaran kondisi beban OBL harian, sehingga dapat dilihat kondisi peralihan beban dari beban penerangan ke beban kantor dan sebaliknya.

Apabila terjadi gangguan pada saat beban pendukung dalam kondisi minimum dan pada saat yang bersamaan besaran total beban dalam kondisi beban puncak (maksimum), maka keadaan ini bisa menyebabkan kemungkinan terjadinya kegagalan dalam sistem load shedding. Hal ini disebabkan beban OBL yang akan dilepas kecil sehingga tidak sebanding dengan kehilangan daya akibat gangguan pada pembangkit. Sebaliknya bila gangguan terjadi saat beban OBL maksimum, kemungkinan kegagalan load shedding akan menjadi lebih kecil.

Untuk mencegah terjadinya kegagalan load shedding pada keadaan diatas maka harus dihindarkan start up motor dengan kapasitas daya yang besar pada waktu-waktu yang kritis. Berdasarkan grafik kondisi beban OBL pada gambar 3.3 diatas, waktu kritis adalah waktu terjadinya peralihan beban dari beban penerangan ke beban kantor pada jam 07.00 – 08.00 dan dari beban kantor ke beban penerangan pada jam 17.00 – 18.00, karena pada saat inilah terjadinya penurunan beban OBL. Keadaan akan menjadi semakin kritis apabila pada waktu kritis ini kondisi besaran beban total dalam kondisi maksimum.

3.3.2 Jenis Gangguan Generator atau Mesin

Jenis gangguan generator atau mesin sangat berpengaruh sekali terhadap keberhasilan kerja load shedding, terutama pada generator turbin gas. Apabila terjadi gangguan pada kontrol, power kontrol atau peralatan proteksi yang mempunyai

sumber yang sama ataupun sinyal input yang sama pada salah satu generator turbin gas terkadang dapat menyebabkan gangguan pada generator turbin gas lainnya. Disamping itu gangguan juga dapat menimbulkan tegangan transien (harmonisa, drop tegangan, fluktuasi tegangan dan lain-lain) yang bisa menyebabkan peralatan kontrol dan proteksi generator lainnya bekerja (aktif). Ini terjadi karena kelemahan dari spesifikasi peralatan proteksi atau setting parameter alat proteksi yang kurang tepat. Dalam operasional sistem pembangkit, hal yang berkaitan dengan ketidakseimbangan sistem kelistrikan adalah terjadi perubahan tegangan dan frekwensi sehingga peralatan proteksi yang perlu mendapatkan perhatian pada sistem load shedding adalah over/under (O/U) voltage relay, over frequency relay dan back reverse power relay.

Di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan menggunakan peralatan proteksi over/under voltage relay (O/U voltage relay) dengan nilai settingnya $\pm 15\%$, yang berarti bila dengan tegangan nominal 380 V, sinyal ke O/U voltage relay 100 V, maka untuk under voltage disetting nilainya 85 V dan untuk over voltage disetting nilainya 115 V. Sedangkan untuk proteksi frekwensi, hanya digunakan over frekwensi dengan nilai settingnya 52 Hz. Hal ini disebabkan bila terjadi penurunan frekwensi berarti beban yang ditanggung pembangkit semakin besar dan ini dapat diproteksi dengan over current relay pada ACB. Sedangkan peralatan-peralatan proteksi generator yang digunakan adalah Under Voltage Relay, Over Voltage Relay, Differential Current Relay, Overload/Short Circuit Relay, Under Excitation Relay dan Back Reverse Power.

Untuk menghindari terjadinya gangguan yang dapat menyebabkan 2 atau lebih generator turbin gas shut down secara bersamaan, maka harus dipertimbangkan hal-hal berikut:

- a. Setiap turbin gas harus mempunyai peralatan proteksi, kontrol, sumber power kontrol tersendiri dan terpisah
- b. Memilih peralatan proteksi yang mempunyai spesifikasi yang baik, terutama dalam memilah sinyal-sinyal palsu
- c. Setting parameter peralatan proteksi harus sesuai didasarkan manual peralatan dan pengalaman dilapangan.

3.3.3 Kecepatan Respon Untuk Melepas Beban

Kecepatan respon load shedding perlu menjadi perhatian utama, karena diharapkan pemutusan beban dilakukan secepat mungkin saat terjadi gangguan. Faktor yang mempengaruhi kecepatan respon, disamping model load shedding sendiri adalah:

- a. Jenis relay yang digunakan

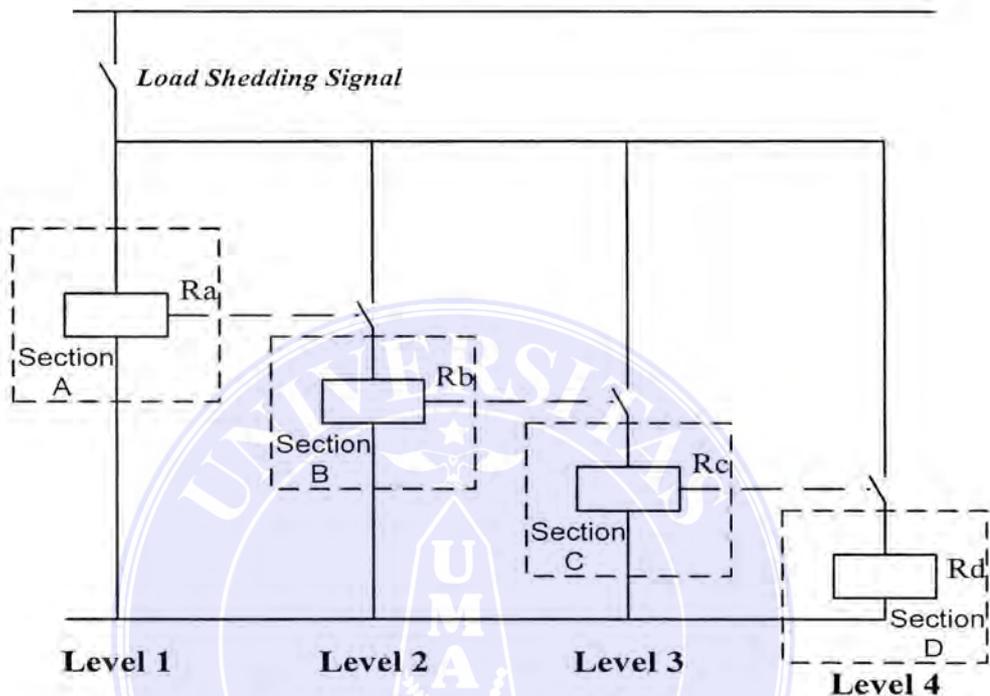
Dalam memilih dan menggunakan relay pada sistem pemutus load shedding, spesifikasi kecepatan respon relay harus diperhatikan, sebaiknya menggunakan relay dengan waktu switching < 100 ms

- b. Tingkat/model hubungan relay

Karena banyak dan jauhnya beban terkadang digunakan relay-relay tambahan pada sistem load sheddingnya. Sehingga harus diperhitungkan dan dirancang agar relay-relay terpasang secara efektif. Bila digunakan relay dgn $t < 100$ ms dan relay terhubung 4 tingkat, maka waktu pemutusannya menjadi 4×100 ms = 400 ms, maka $t < 400$ ms.

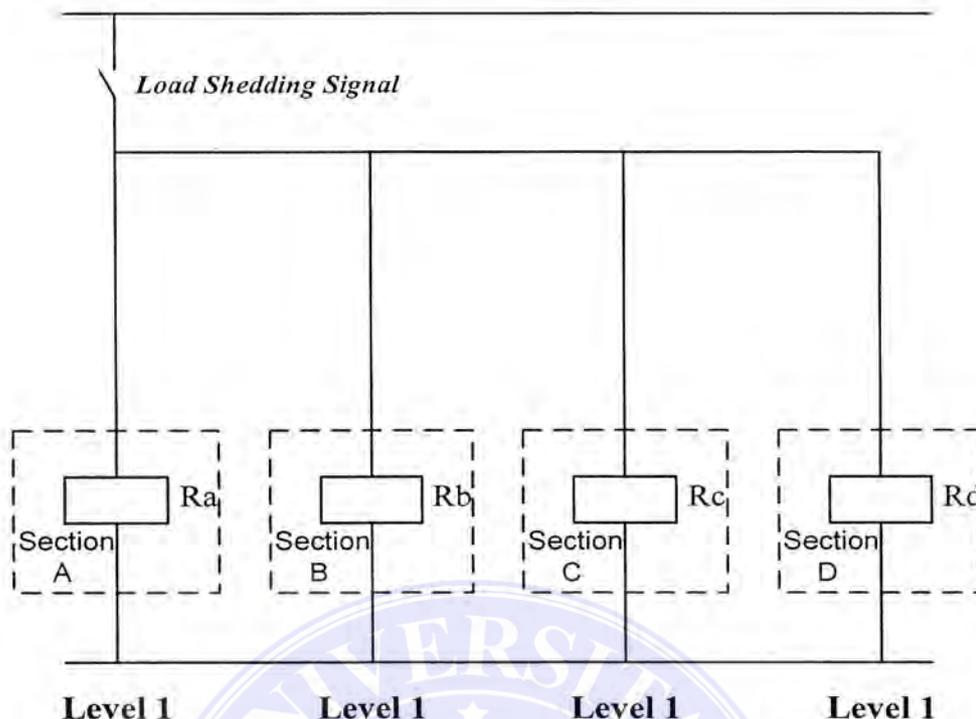
Bila dilihat gambar 3.4 dibawah, relay Ra sebagai relay pertama di Section A akan bekerja pada tingkat pertama. Sedangkan relay Rb di Section B akan aktif dengan waktu tunda 100 ms demikian seterusnya sehingga relay Rd di Section

D akan aktif setelah waktu tunda 300 ms dan pemutusan beban di section D tertunda 400 ms. Dengan waktu tunda 400 ms ini akan menyebabkan efek yang sangat besar dan berbahaya terutama untuk generator turbin gas.



Gambar 3.4 Rangkaian seri (bertingkat) pada relay

Untuk mengurangi waktu tunda pada relay-relay load shedding, maka model hubungan relay-relay pemutus lebih baik dibuat terhubung paralel seperti gambar 3.5 dibawah. Berdasarkan gambar tersebut, relay Ra, Rb, Rc dan Rd akan aktif secara bersamaan (waktu tunda sangat kecil) karena relay-relay tersebut terhubung secara paralel dan tidak ada pengaruh tipe relay yang digunakan terhadap relay yang lain. Sehingga waktu tunda pemutusan beban oleh sistem load shedding adalah 100 ms untuk semua section. Dengan model seperti ini akan memperkecil waktu tunda sehingga kehandalan load shedding dapat ditingkatkan untuk mengurangi kegagalan kerja load shedding.



Gambar 3.5 Rangkaian paralel pada relay

Di PT. Ecogreen Oleochemicals Medan, model hubungan relay yang digunakan merupakan kombinasi dari keduanya yaitu seri dan paralel. Hal ini terjadi karena perubahan dan pengembangan sistem pembangkit dan penambahan beban. Namun pada model paralel mempunyai batasan maksimum 3 tingkat dan relay yang digunakan mempunyai spesifikasi waktu switching <60 ms. Sehingga bila kita hitung, maka waktu maksimum pemutusan beban adalah 180 ms dan beban yang terakhir dilepas tentunya mempunyai jumlah yang lebih sedikit.

3.3.4 Jenis Pembangkit

Setiap jenis pembangkit mempunyai karakteristik yang berbeda-beda dalam merespon perubahan beban yang mendadak. PLTA dan PLTD adalah jenis pembangkit yang mempunyai kemampuan yang handal dalam menghadapi perubahan beban sesaat yang besar, turbin uap sedikit lebih baik dan turbin gas

adalah pembangkit yang mempunyai kerentanan sangat tinggi dalam menghadapi perubahan beban mendadak. Hal ini disebabkan yang menjadi parameter pengamanan adalah temperatur gas buang turbinnya (Exhaust Gas Turbine Temperature = EGT).

PT. Ecogreen Oleochemicals Medan mempunyai dua jenis pembangkit, yaitu Generator Turbin Gas dan Generator Diesel (Genset – Diesel).

3.3.4.1 Generator Turbin Gas

Berdasarkan prinsip kerja turbin gas dan grafik engine inlet air temperature vs output power, turbin gas mempunyai karakteristik yang sangat erat hubungannya dengan temperatur baik temperatur ruang (ambient temperature) maupun temperatur gas buang (exhaust temperature). Lonjakan beban karena kenaikan beban sesaat akan mengakibatkan *load sharing module* memerintahkan *governor* menambah jumlah bahan bakar gas. Sementara itu karena kenaikan beban menyebabkan kecepatan putaran turbin menurun sehingga volume udara yang dihisap kompressor cenderung menurun. Dengan jumlah volume udara yang tetap bahkan cenderung menurun maka pembakaran bahan bakar gas akan mempercepat kenaikan temperatur hasil pembakaran dan hal ini akan meningkatkan temperatur gas buangnya, namun volume gas pembakaran (udara ditambah bahan bakar gas) kenaikannya tidak signifikan sehingga kenaikan torsi yang dihasilkan juga kecil. Akibatnya kenaikan temperatur tidak sebanding dengan kenaikan daya yang dihasilkan. Apabila lonjakan beban yang ditanggung cukup besar, maka temperatur turbin akan naik hingga melebihi batas maksimum temperatur yang diijinkan sebelum daya keluaran turbin mampu memenuhi daya beban yang ditanggung sehingga turbin akan mengalami

over high temperature dan terjadi *shut down*. Inilah salah satu kelemahan turbin gas yaitu lambat dalam merespon perubahan atau kenaikan beban.

3.3.4.2 Generator Diesel (Genset – Diesel)

Mesin diesel mempunyai karakteristik cepat dalam merespon perubahan atau kenaikan beban, hal ini dapat dilihat dari prinsip kerja mesin diesel. Kenaikkan beban menyebabkan load sharing module memerintahkan governor untuk menginjeksikan bahan bakar lebih banyak ke ruang pembakaran. Dengan volume ruang bakar yang terbatas maka penambahan bahan bakar akan meningkatkan volume gas hasil pembakaran sehingga menaikkan daya kompresinya. Kenaikkan daya kompresi akan menambah daya ekspansi untuk mendorong piston, sehingga torsi keluaran akan semakin besar dan daya keluaran yang dihasilkan juga semakin meningkat, nilainya hampir sebanding dengan penambahan jumlah bahan bakarnya hingga mencapai batas daya keluaran maksimum dari mesin diesel, sesuai dengan spesifikasi mesinnya. Namun semakin banyak bahan bakar yang terinjeksi ke ruang bakar menyebabkan bahan bakar tidak terbakar sempurna dan daya kompresi udara hasil pembakaran mempunyai batasan maksimum karena udara yang dimampatkan piston adalah tetap (sesuai dengan volume piston). Jadi walaupun bahan bakar terus ditambah untuk diinjeksikan ke ruang bakar tidak berarti daya ekspansi akan terus bertambah.

Berdasarkan penjelasan diatas, generator diesel memiliki kelebihan dalam hal kemampuan memikul perubahan dan kenaikan beban secara cepat, sehingga generator diesel tetap banyak digunakan sebagai prime mover walaupun biaya operasionalnya mahal.

3.4 Simulasi Kerja Load Shedding

Berdasarkan wiring diagram load shedding pada lampiran 2(A,B,C), maka dapat dijelaskan kerja load shedding sebagai berikut.

K01 merupakan relay yang menunjukkan pembangkit beroperasi pada kondisi normal, dimana K01 akan katif (ON) apabila memenuhi salah satu syarat berikut:

- a. 3 TG (Q01, Q02 dan Q03) dan DG05 (K051) dalam kondisi operasi
- b. 2 TG (Q01 + Q02 atau Q01 + Q03 atau Q02 + Q03) dan DG04 (K05) dalam kondisi operasi
- c. 1 TG (Q01, Q02 atau Q03), DG04 (K05) dan DG05 (K051) dalam kondisi operasi

K01 akan inlerlock langsung dengan CB Q05, sehingga apabila K01 kondisi tidak aktif (OFF) maka secara otomatis akan memerintahkan CB Q05 membuka dan beban Q05 akan dilepas, dimana beban Q05 adalah beban OBL.

Dengan melepaskan beban OBL diharapkan pembangkit yang tersisa akan dapat mempertahankan kondisinya sehingga tidak menyebabkan terjadi overload atau gangguan lainnya.

K06 adalah relay yang mempertahankan sebagian beban tidak kritis dimana saat kondisi operasi normal K06 juga aktif (ON). Bila terjadi gangguan K01 (OFF), maka K06 merupakan pertahanan terakhir untuk mempertahankan kondisi pembangkit. Dimana K06 akan aktif (ON) apabila memenuhi salah satu syarat berikut:

- a. K01 kondisi aktif (ON)
- b. K04 kondisi aktif (ON), yaitu 1 TG dan DG04 dalam kondisi operasi
- c. K07 kondisi aktif (ON), yaitu 2 TG dan DG04 atau DG05 dalam kondisi operasi

d. K08 kondisi aktif (ON), yaitu 3 TG dalam kondisi operasi

Apabila kondisi diatas tidak terpenuhi, maka K06 akan membuka (OFF) dan akan melepas sebagian beban tidak kritis (non critical load).

Beban-beban non critical terdiri dari unit-unit mesin dan bukan area proses, sehingga untuk itu diperlukan banyak rangkaian tambahan interlock load shedding untuk masing-masing unit mesin. Oleh karena itu rangkaian relay yang digunakan merupakan perpaduan antara seri dan paralel. Hal ini tentu sangat mempengaruhi kecepatan kerja load shedding seperti yang telah dijelaskan pada bagian 3.3

Disamping itu juga digunakan beberapa pilihan (option) yaitu:

- a. Kondisi normal
- b. Kondisi beban rendah
- c. Kondisi Load Shedding tidak aktif

Bila dilihat dari diagram wiring pada lampiran 2A dan 2C, maka kondisi normal berarti load shedding beroperasi tanpa ada perlakuan terhadap kontrolnya. Sedangkan saat beban rendah, dimana kondisi operasi belum maksimal, maka kita akan jumper (switching) terminal TY20/TY21 dan kontak K04 (9/11). Dengan demikian terjadi perubahan syarat K01 aktif, yaitu apabila memenuhi salah satu syarat berikut:

- a. 3 TG kondisi operasi
- b. 2 TG dan DG04 kondisi operasi
- c. 2 TG dan DG05 kondisi operasi

Pada pilihan ini, persyaratan untuk K06 aktif tidak berubah.

Kemudian pilihan yang terakhir adalah tidak mengaktifkan sistem load shedding. Hal ini dilakukan dengan menjumper (switching) terminal TY8 dan TY9.

Hal ini dilakukan pada saat awal start up, dimana persyaratan sistem load shedding tidak terpenuhi dan fungsi load shedding belum diperlukan.



BAB 5

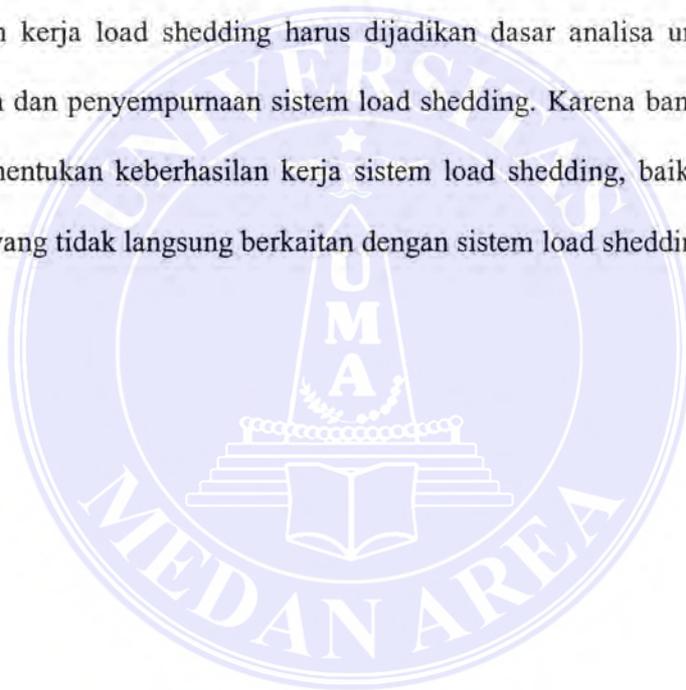
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- a. Load shedding model Interlock Breaker merupakan model load shedding paling sederhana dan banyak digunakan pada sistem kelistrikan dengan ruang lingkup yang kecil dan sederhana tetapi membutuhkan tingkat kelancaran (*continuity*) pasokan daya yang tinggi, seperti industri oleokimia, petrokimia, gas dan minyak.
- b. Hal-hal yang mempengaruhi keberhasilan sistem kerja load shedding yaitu:
 - Kondisi beban,
 - Jenis gangguan pada generator di pembangkit,
 - Kecepatan respon dalam melepaskan beban, dan
 - Jenis pembangkit yang digunakan.
- c. Dasar-dasar pertimbangan menggunakan load shedding model Interlock Breaker pada sistem kelistrikan adalah:
 - Sistem kelistrikan yang membutuhkan respon pelepasan beban yang cepat,
 - Sistem kelistrikan yang lebih mengutamakan kelancaran dan kehandalan pasokan daya dibandingkan faktor ekonomis,
 - Sistem kelistrikan yang menggunakan sedikit jumlah generator pembangkit, sehingga akibat gangguan generator menyebabkan kehilangan daya lebih dari 20% daya total, dan
 - Sistem kelistrikan yang mempunyai sistem integrasi antar pembangkit yang mudah dan sederhana.

5.2 Saran

- a. Load shedding merupakan sistem yang dinamis dan terintegrasi antar pembangkit, sehingga setiap pengembangan pembangkit maupun perubahan beban akan membutuhkan pengembangan sistem load shedding. Oleh karena itu load shedding harus didesain semudah mungkin untuk dikembangkan mengikuti perkembangan pembangkit dan perubahan beban.
- b. Untuk mendapatkan hasil kerja load shedding yang baik, setiap kesalahan dan kegagalan kerja load shedding harus dijadikan dasar analisa untuk melakukan perbaikan dan penyempurnaan sistem load shedding. Karena banyak faktor yang turut menentukan keberhasilan kerja sistem load shedding, baik yang langsung ataupun yang tidak langsung berkaitan dengan sistem load shedding.



DAFTAR PUSTAKA

J. Panisi, Anthony, 2007, *Electrical Distribution Engineering*, The Fairmont Press, Inc, 700 Indian Trail, Liburn, GA 30047

Lobodovsky, K.K, *Energy Management Handbook, Chapter 11 Electric Energy Management*

Training Team, 2005, *Production Training Module*, PT. Ecogreen Oleochemicals

_____, *Saturn T-1301 Manual Book*, TUMA-TURBOMACH SA, 65533

Shokooh, Shervin; Khandelwal, Tanuj; Shokooh, Farrokh; Tastet, Jacques; Dai, J.J, *Intelligent Load Shedding Need for a Fast and Optimal Solution*, Operation Technology, Inc, Irvine, CA92618.

http://www.mmpss.com/docs/etap/ILS_Fast_Optimal.pdf

^ "Diesel Engine." Freedom CAR & Vehicle Technologies Program. U.S. Department of Energy, Aug. 2003. Web.

http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/basics/jtb_diesel_engine.pdf

http://en.wikipedia.org/wiki/Electricity_distribution

http://en.wikipedia.org/wiki/Load_management

http://en.wikipedia.org/wiki/Power_system_simulation

http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_Turbine

http://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_engine