

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik Jawa-Bali adalah gabungan antara jaringan listrik (*grid*) dengan semua peralatan pemakai jaringan yang terhubung ke jaringan sistem interkoneksi kelistrikan di pulau Jawa dan Bali, sistem ini merupakan salah satu sistem interkoneksi kelistrikan terbesar di Indonesia. Salah satu subsistem yang terdapat dalam sistem tenaga listrik Jawa Bali adalah subsistem Krian-Gresik. Subsistem Krian-Gresik ini merupakan salah satu subsistem terbesar di Jawa Timur dengan suplai daya sebesar 1.890MW. Dalam pelaksanaan penyaluran tenaga listrik , selalu terdapat komponen-komponen yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik. Salah satu komponen penting dalam penyediaan tenaga listrik adalah Interbus Transformer (IBT) 500/150kV yang berfungsi sebagai penyalur tenaga atau daya listrik dari 500kV ke 150kV. Suatu sistem tenaga listrik dapat terjadi ketidakseimbangan antara kapasitas pembangkitan dan kebutuhan beban. Ketidakseimbangan ini dapat disebabkan oleh gangguan dari luar maupun dari dalam sistem. Dari dalam bisa disebabkan oleh umur perlatan yang sudah relatif tua , sedangkan gangguan dari luar sistem yaitu terputusnya saluran transmisi utama , terlepasnya salah satu atau lebih unit penambahan beban secara tiba-tiba. Salah satu upaya untuk menjaga kualitas tenaga listrik yang disalurkan oleh sistem tenaga listrik adalah dengan menerapkan skema proteksi yang diperlukan untuk melindungi sistem secara keseluruhan, sehingga saat terjadi gangguan, dampak gangguan tidak menyebar luas ke bagian lain didalam sistem tenaga listrik dan sistem masih bisa berkerja untuk menyalurkan tenaga listrik. Sistem proteksi tenaga listrik harus memenuhi persyaratan dalam pelaksanaannya. yaitu mutu , keandalan dan effisiensinya harus mengikuti standar yang telah disetujui.

Salah satu skema proteksi yang digunakan oleh PT. PLN (persero) P2B adalah *Over Load Shedding*. *Over Load Shedding* (pelepasan beban) adalah suatu bentuk tindakan pemisahan beban yang terjadi otomatis ataupun manual untuk pengamanan operasi dari unit-unit pembangkit yang kemungkinan dapat mengalami terjadinya padam total (*Black Out*). *Over Load Shedding* digunakan untuk mengatasi gangguan saat pembangkitan mengalami terjadinya trip satu atau lebih pada unit pembangkit. Tripnya pembangkit yang terhubung ke suatu subsistem juga dapat mengakibatkan berkurangnya pasokan ke subsistem. Maka dari itu diperlukan proteksi OLS (*Over Load Shedding*) pada IBT agar tidak terjadi *overload* pada IBT yang sedang beroperasi, yaitu dengan memadamkan sebagian beban konsumen sehingga pasokan daya yang melalui IBT dapat diturunkan. Sehingga tidak menyebabkan pemadaman yang meluas. Pada penelitian ini, penulis mencoba untuk melakukan *setting* skema *Overload Shedding* pada subsistem Krian-Gresik dimana terdapat IBT1&2 Surabaya Barat dan IBT1 Gresik serta melakukan simulasi menggunakan aplikasi *DIGSILENT* untuk melihat total pembebanan yang terjadi sehingga didapatkan *setting* yang tepat.

1.2 Pemasalahan Penelitian

1.2.1 Identifikasi Masalah

Dalam penulisan penelitian ini, permasalahan yang akan dibahas adalah yakni tinjau ulang skema overload shedding subsistem Krian-Gresik dalam rangka antisipasi agar tidak terjadinya permasalahan dalam proses pengoperasian yang dikarenakan subsistem sudah ada perkembangannya dan telah lama dibangun.

1.2.2 Ruang Lingkup Masalah

Agar masalah yang akan dibahas menjadi jelas dan tidak banyak menyimpang dari topik yang akan dibahas, maka dalam penulisan skripsi ini penulis menekankan, bahwa hal yang akan dibahas adalah:

1. Melakukan *review* dan *design* skema *Over Load Shedding* pada IBT 1,2, GITET Krian dan 1 GITET Gresik di subsistem Krian-Gresik.

2. Melakukan perhitungan kuota OLS yang cukup agar IBT yang masih beroperasi tidak mengalami overload..

1.2.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas di dapat beberapa rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana Skema OLS berhasil selama 24 Jam ?
2. Berapa kuota OLS yang mencukupi agar IBT tidak mengalami overload?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan penyusunan pada skripsi ini antara lain :

1. Mengamankan instalasi sehingga tidak terjadi pembebanan lebih (*overload*) akibat tripnya IBT.
2. Menentukan solusi yang tepat untuk pengamanan operasi dari unit-unit pembangkit yang kemungkinan dapat mengalami terjadinya padam total (*Black Out*)

1.3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penilitian ini adalah :

1. Sebagai bahan acuan dan media pembelajaran tentang skema OLS pada IBT 1,2 GITET Krian dan 1 GITET Gresik di subsistem Krian-Gresik.
2. Memperkecil kemungkinan terjadinya *black out* pada Sistem Jawa Bali.

1.4 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dalam penyusunan skripsi ini secara jelas dan sistematis, maka skripsi ini disusun berdasarkan sistematika berikut. Bab I Pendahuluan, pada bab I membahas tentang Latar belakang masalah, permasalahan penelitian yang terdiri dari identifikasi masalah, ruang lingkup masalah,dan rumusan masalah. Serta membahas tentang tujuan dan manfaat penelitian serta sistematika penulisan. Bab II Tinjauan Pustaka, pada bab II membahas tentang teori dasar yang melandasi dan menjadi penunjang dalam penulisan skripsi ini serta penelitian sejenis

yang pernah dilakukan sebagai bahan acuan. Bab III Metode Penelitian, pada bab III membahas tentang metodologi penelitian dan perancangan penulisan yang di gunakan penulis dalam menulis skripsi ini. Pada bab ini juga menjelaskan tentang perancangan penelitian dan teknik analisis yang digunakan oleh penulis. Bab IV Hasil dan Pembahasan, pada bab IV penulis membahas tentang hasil dari penerapan skema OLS pada IBT Krian. Bab V Penutup, pada bab V membahas tentang kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh penulis.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Over Load Shedding (OLS) merupakan *defene scheme* atau pertahanan sistem yang direncanakan khusus untuk mengatasi kondisi sistem kritis dalam mempertahankan integritas sistem dengan menggunakan rele pengaman arus lebih (OCR). Pada prinsipnya OLS berkerja atas dasar arus diatur pada suatu harga arus dibawah arus nominalnya (I_n) dan kemudian akan memberikan perintah terhadap PMT untuk melaksanakan pelepasan beban (Ivan S, Analisis Pengaruh Gangguan Beban Lebih Pada *Interbus Transformer* (IBT) Terhadap Kinerja OverLoad Shedding di Subsistem Krian-Gresik, Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya. 2016).

Load shedding adalah proses pelepasan beban terpilih secara sengaja dari sistem tenaga listrik untuk menanggapi kondisi *abnormal* dalam rangka mempertahankan integritas sisa sistem (IEV ref 603-04-32), [2]. Skema *over load shedding* digunakan untuk menjaga agar tidak terjadi *overload* pada suatu instalasi jika terjadi gangguan yang dapat berupa gangguan IBT, saluran transmisi maupun pembangkit.

2.2 Operasi Sistem Tenaga Listrik

Pengoperasian sistem tenaga listrik memerlukan suatu strategi agar proses berjalannya sistem dapat berjalan dengan lancar sesuai target yang diharapkan. Energi listrik yang dipakai tentunya harus bersifat efisien, efektif, bermutu dan bisa diandalkan. Berarti dalam pembangkitan dan penyaluran energi itu harus dilakukan secara ekonomis dan rasional. Untuk mencapai tujuan itu ternyata dalam pengoperasianya banyak kendala yang harus dihadapi, hal ini disebabkan karena timbulnya kejadian di sistem tenaga listrik yang bersifat *random*. Sedangkan kondisi operasi itu bisa berubah, kalau terjadi perubahan beban dan keluarnya

peralatan jaringan pada sistem secara *random*. Hal ini tentunya akan menyebabkan terjadinya deviasi operasi. Untuk itulah perlu dilakukan persiapan operasi yang matang supaya deviasinya relatif kecil.

Tujuan dari pengoperasian sistem tenaga listrik adalah untuk membangkitkan tenaga listrik yang akan disalurkan kepada konsumen dengan syarat listrik yang disalurkan harus sesuai dengan standar peraturan yang telah ditetapkan pemerintah dengan tetap memperhatikan mutu , keandalan, effisiensi dan ekonominya. Hal ini sesuai dengan SK Nomor 032/DIR/1981 tanggal 30 Maret 1981 dan SK Nomor 028/DIR/1987 tanggal 1 April 1987. Untuk mencapai tujuan ini maka salah satu upaya yang dilakukan PT PLN P2B adalah melakukan pengoperasian tenaga listrik yang effisien, seperti dalam pengoperasian pembangkitan dan penyaluran tenaga listik. Maka dari itu tujuan daripengoperasian tenaga listrik tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Mutu (*quality*) merupakan kemampuan sistem untuk mengukur agar kualitas tegangan dan frekuensi dari tenaga listrik dapat dijaga agar tetap berada pada kisaran yang ditetapkan. *Grid code* dalam aturan operasi (OC 1.6) menyebutkan keadaan Operasi Sistem yang berhasil / memuaskan dalam keadaan baik apabila:
 - Frekuensi dalam batas operasi normal ($50 \pm 0,2$ Hz), penyimpangan dalam waktu singkat ($50 \pm 0,5$ Hz), selama kondisi gangguan masih diperbolehkan berada pada 47,5 Hz dan 52,0 Hz.
 - Tegangan di Gardu Induk berada dalam batas yang ditetapkan dalam Aturan Penyambungan. Batas-batas menjamin bahwa tegangan berada dalam kisaran yang ditetapkan sepanjang pengatur tegangan jaringan distribusi dan peralatan pemasok daya reaktif bekerja dengan baik. Operasi pada batas-batas tegangan ini diharapkan dapat membantu mencegah terjadinya *voltage collapse* dan masalah stabilitas dinamik sistem.
 - Tingkat pembebanan jaringan transmisi dipertahankan dalam batas yang ditetapkan melalui studi analisis *steady state* dan *transient* untuk semua gangguan yang potensial.

- Tingkat pembebanan arus di semua peralatan jaringan transmisi dan gardu induk dalam batas rating normal untuk *single contingency* gangguan peralatan.
- Konfigurasi sistem sedemikian rupa sehingga semua PMT di jaringan transmisi mampu memutus arus gangguan yang mungkin terjadi dan mengisolir peralatan yang terganggu.

Pada pelaksanaan pengendalian operasi sistem tenaga listrik, urutan prioritas dari sasaran di atas bisa berubah-ubah tergantung pada kondisi *real time*. Pada saat terjadi gangguan, maka keandalan atau keamanan merupakan prioritas utama sedangkan mutu dan ekonomi bukanlah yang utama. Kemudian apabila keamanan dan mutu sudah bagus, maka selanjutnya ekonomi yang harus diprioritaskan.

- a. Keandalan (*reability*) merupakan tingkat keamanan sistem terhadap kemungkinan terjadinya gangguan. Sedapat mungkin gangguan di pembangkit maupun transmisi dapat diatasi tanpa mengakibatkan pemadaman di sisi konsumen. *Grid Code* dalam aturan operasi menyebutkan bahwa: "Aturan Operasi ini menjelaskan tentang peraturan dan prosedur ygng berlaku untuk menjamin agar keandalan dan efisiensi operasi Sistem Jawa Bali dapat dipertahankan pada suatu tingkat tertentu". Pada skema OLS, target yang menjadi tujuan adalah menghindari pemadaman yang meluas. Rekonfigurasi jaringan atau subsistem selalu direncanakan untuk mengatur aliran daya sebagai upaya mengoptimalkan keseimbangan antara pasokan dan beban, selain itu juga untuk mengatasi apabila *breaking capacity* PMT terpasang terlampaui. Bila terjadi penyimpangan terhadap rencana yang dapat menimbulkan ancaman terhadap keandalan maka *dispatcher* akan selalu mengambil langkah pengamanan.
- b. Keandalan (*reability*) merupakan tingkat keamanan sistem terhadap kemungkinan terjadinya gangguan. Sedapat mungkin gangguan di pembangkit maupun transmisi dapat diatasi tanpa mengakibatkan pemadaman di sisi konsumen. *Grid Code* dalam aturan operasi menyebutkan bahwa: "Aturan Operasi ini menjelaskan tentang peraturan dan prosedur ygng berlaku untuk menjamin agar keandalan dan efisiensi operasi Sistem Jawa Bali dapat dipertahankan pada suatu tingkat tertentu". Pada skema OLS, target yang menjadi tujuan adalah menghindari pemadaman yang meluas. Rekonfigurasi jaringan atau subsistem selalu direncanakan untuk mengatur aliran daya sebagai upaya mengoptimalkan keseimbangan antara pasokan dan beban, selain itu juga untuk mengatasi apabila *breaking capacity* PMT terpasang terlampaui. Bila terjadi penyimpangan terhadap rencana yang dapat menimbulkan ancaman terhadap keandalan maka *dispatcher* akan selalu mengambil langkah pengamanan.
- c. Effisiensi sistem tenaga listrik tidak berhubungan dengan pengoperasian sistem tenaga listrik dan pembangkitan. Pembangkitan daya listrik berhubungan dengan biaya operasi, biaya operasi khususnya biaya bahan bakar adalah biaya terbesar dari suatu

perusahaan listrik sehingga perlu dipakai teknik-teknik untuk menekan biaya ini.

- d. Ekonomi (*economy*) berarti listrik harus dioperasikan secara ekonomis, tanpa melanggar batasan keandalan dan mutunya. Ekonomis disini maksudnya adalah biaya operasi yang rendah dan dititikberatkan pada biaya sistem pembangkitan, dalam hal ini adalah biaya bahan bakar, untuk memperoleh biaya bahan bakar yang efisien maka diawali dengan proses penyusunan strategi pembuatan Rencana Operasi Tahunan.

2.3 Keandalan Penyaluran Tenaga Listrik

Keandalan sistem tenaga listrik merupakan kemampuan sebuah sistem tenaga listrik yang terdiri dari pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi untuk melaksanakan suatu fungsi sesuai standar (tanpa kegagalan) dalam keadaan yang ditentukan untuk jangka waktu tertentu. Pemadaman listrik yang terlalu sering dengan waktu padam yang lama dan tegangan listrik yang tidak stabil , merupakan refleksi dari keandalan dan kualitas listrik yang kurang baik, dimana akibatnya dapat dirasakan secara langsung oleh pelanggan. Secara umum sistem tenaga listrik terdiri dari:

1. Pusat Pembangkit Listrik (*Power Plant*)

Yaitu tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak mula (*prime mover*) dan generator yang membangkitkan listrik. Biasanya di pusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk (GI). Peralatan utama pada gardu induk antara lain: *Transformer*, yang berfungsi untuk menaikkan tegangan *generator* (11,5 kV) menjadi tegangan transmisi / tegangan tinggi (150 kV) dan juga peralatan pengaman dan pengatur. Jenis pusat pembangkit yang umum antara lain: PLTA (Pusat Listrik Tenaga Air), PLTU (Pusat Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pusat Listrik Tenaga Gas), PLTN (Pusat Listrik Tenaga Nuklir).

2. Saluran Transmisi (*Transmision Line*)

Berupa kawat-kawat yang di pasang pada menara atau tiang dan bisa juga melalui kabel yang di pendam di bawah permukaan tanah, saluran transmisi berfungsi menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit, yang umumnya terletak jauh dari pusat beban, ke gardu induk penurun tegangan yang memiliki *transformer* penurun tegangan dari tegangan transmisi ke tegangan distribusi (menengah). Saluran transmisi ini mempunyai tegangan yang tinggi agar dapat meminimalkan rugi-rugi daya (*power losses*) disaluran. Contoh dari saluran transmisi di Indonesia adalah : SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi, dengan tegangan kerja 70--150 kV), SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi, dengan tegangan kerja 500 kV).

3. Sistem Distribusi

Yang merupakan sub-sistem tersendiri yang terdiri dari: Pusat Pengatur Distribusi (*Distribution Control Centre, DCC*), Saluran tegangan menengah (6 kV dan 20 kV, biasa juga disebut tegangan distribusi primer) yang merupakan saluran udara atau kabel tanah, Gardu Distribusi (GD) tegangan menengah yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan menengah dan trafo sampai dengan panel-panel distribusi tegangan rendah (380 V, 220 V) yang menghasilkan tegangan kerja/tegangan jala-jala untuk industri dan konsumen perumahan.

2.3.1 Parameter Penentuan Keandalan dan Kualitas Listrik

Ukuran keandalan dan kualitas listrik secara umum ditentukan oleh beberapa parameter sebagai berikut:

- a. Frekuensi dengan satuan Hertz (Hz)
- b. Tegangan (*Voltage*) dengan satuan Volt (V)
- c. Interupsi atau pemadaman listrik

2.3.2 Keandalan Pembangkit

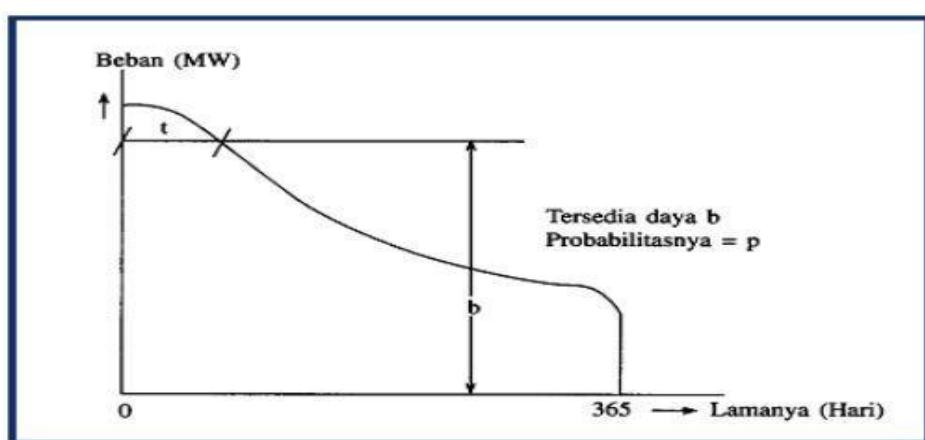
Forced Out Raged (FOR) adalah suatu faktor yang menggambarkan keandalan unit pembangkit. Dalam sistem interkoneksi yang terdiri dari banyak unit pembangkit, maka keandalan unit-unit pembangkit yang beroperasi dibandingkan dengan beban yang harus dilayani menggambarkan keandalan sistem tersebut.

Ada angka yang menggambarkan berapa besar probabilitas unit-unit pembangkit yang beroperasi tidak mampu melayani beban. Angka probabilitas ini dalam bahasa Inggris disebut "*Loss Of Load Probability*" atau biasa disingkat LOLP. Gambar 2.1 menggambarkan secara kualitatif besarnya LOLP untuk suatu sistem, yaitu:

Dimana:

p : menggambarkan probabilitas sistem dapat menyediakan daya sebesar b.

t : menggambarkan lamanya garis tersedianya daya sebesar b memotong kurva lama beban dari sistem.



Gambar grafik 2.1 Penggambaran LOLP = pxt dalam hari per tahun pada kurva lama beban.

Nilai LOLP biasanya dinyatakan dalam hari / tahun. "Makin kecil nilai LOLP, makin tinggi keandalan sistem. Sebaliknya, makin besar nilai LOLP, makin rendah keandalan sistem, karena hal ini berarti probabilitas sistem tidak dapat melayani beban yang makin besar.". Nilai LOLP dapat diperkecil dengan menambah daya terpasang atau menurunkan nilai *Forced Outage Rate* (FOR) unit pembangkit, karena dua langkah ini dapat memperkecil probabilitas daya tersedia b pada gambar 1 menjadi terlalu rendah sehingga memotong kurva lama beban dengan nilai t yang lebih lama.

Penentuan besarnya nilai LOLP dari suatu sistem harus mempertimbangkan besarnya peran penyediaan tenaga listrik pada sistem tersebut atau dengan kata lain berapa besar kerugian yang dialami pemakai energi listrik (konsumen) apabila terjadi interupsi atau gangguan penyediaan pasokan energi listrik.

2.3.3 Keandalan Sistem Tenaga Listrik

Keandalan sebuah sistem distribusi pada dasarnya ditentukan oleh hal hal sebagai berikut :

- a. Konfigurasi dari sistem distribusi
- b. Keandalan masing – masing komponen yang menyusun sistem distribusi tersebut.
- c. Pengaturan operasi saluran distribusi

Sistem distribusi dengan konfigurasi tertentu dapat lebih andal dari sistem distribusi konfigurasi lain, walaupun masing masing mempunyai komponen yang sama. Makin andal suatu konfigurasi, maka biayanya juga semakin mahal. Hal ini misalnya dapat dilihat pada sistem konfigurasi *radial* dan sistem konfigurasi *spindle*, dimana sistem konfigurasi *spindle* lebih andal, karena dilengkapi dengan gardu hubung dan *express feeder* sehingga memungkinkan gardu distribusi salah satu feeder disuplai oleh *express feeder*, tetapi dengan sendirinya investasi yang harus ditanamkan lebih mahal yaitu untuk biaya gardu hubung dan

express feeder tersebut. Sedangkan keandalan dari masing-masing komponen distribusi tersebut dapat dilihat dari kegagalan yang terjadi dari komponen itu sendiri. Untuk indeks-indeks keandalan yang digunakan untuk menghitung performa keandalan sistem secara keseluruhan yaitu:

- a. SAIFI (*System Average Interruption Frequency*) yang menginformasikan tentang frekuensi pemadaman rata-rata untuk tiap konsumen dalam kurun waktu setahun pada suatu area yang dievaluasi, cara menghitungnya yaitu total frekuensi pemadaman dari konsumen dalam setahun dibagi dengan jumlah total konsumen yang dilayani.
- b. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) yang menginformasikan tentang durasi pemadaman rata-rata untuk tiap konsumen dalam kurun waktu setahun pada suatu area yang dievaluasi, cara menghitungnya yaitu total durasi pemadaman dari konsumen dalam setahun dibagi dengan jumlah total konsumen yang dilayani.

2.4 Gangguan Pada Sistem Tenaga

2.4.1 Gangguan Pada Gardu Induk

Gardu Induk merupakan suatu instalasi yang terdiri dari sekumpulan peralatan listrik yang disusun menurut pola tertentu dengan pertimbangan teknis, ekonomis serta keindahan.

Fungsi dari gardu Induk sebagai berikut:

- a. Mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ketegangan yang lainnya atau tegangan menengah.
- b. Pengukuran pengawasan operasi serta pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik.
- c. Pengaturan daya ke gardu – gardu lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi melalui feeder tegangan menengah.

Gangguan pada Gardu Induk dapat diakibatkan oleh beberapa hal yaitu gangguan alam, gangguan teknis, kesalahan operasi, dan penyebab lainnya.

2.4.2 Gangguan Pada Generator

Generator adalah sebuah mesin yang dapat merubah energi gerak menjadi energi listrik . Generator berkerja berdasarkan hukum faraday yakni apabila suatu penghantar diputarkan didalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan menimbulkan Gaya Garis Listrik dengan mempunyai satuan volt. Gangguan yang terjadi pada generator yaitu:

a. Gangguan listrik (*Electrical Fault*) yang terdiri dari :

- Hubung singkat 3 phasa
- Hubung singkat 2 phasa
- Stator hubung singkat 1 phasa ke tanah/ *stator ground fault*
- Rotor hubung tanah/ *field ground*
- Kehilangan medan penguat/ *Loss of excitation*

b. Gangguan mekanis/panas (*Mechanical/ thermal fault*) :

- Generator berfungsi sebagai motor (*motoring*)
- Kesalahan Parallel
- Gangguan pendingin *stator*

c. Gangguan sistem (*System fault*):

- Frekuensi tidak normal (*Abnormal frequency operation*)
- Lepas sinkron (*Loss of synchrone*)
- Arus beban kumparan tidak seimbang (*Unbalance armature current*)

2.4.3 Gangguan Pada Saluran Transmisi

Sistem transmisi merupakan bagian penghubung antara pusat pembangkit tenaga karena saluran listrik dengan sistem distribusi yang

akan diteruskan kepusat-pusat beban. Penentuan gangguan pada saluran transmisi sangat penting untuk mempercepat proses perbaikan. Jika terjadi hubung singkat dengan resistansi begitu besar akan mengakibatkan arus gangguan sama dengan arus nominal. Kondisi tersebut dapat mengakibatkan kerugian yang tak terdeteksi

2.4.4 Gangguan Pada IBT

Gangguan adalah suatu ketidaknormalan dalam suatu tenaga listrik yang akan mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa yang menyebabkan berkerjanya rele dan menjatuhkan Pemutus Tenaga (PMT) diluar kehendak operator yang diakibatkan karena terjadinya kegagalan pada isolasi, sehingga menyebabkan putusnya aliran daya yang melalui PMT tersebut. Gangguan dapat terjadi didalam maupun diluar trafo, oleh karnanya diperlukan adanya sistem proteksi yang dapat mendeteksi dan mengisolasi peralatan ketika gangguan terjadi.

a. Gangguan beban lebih

Sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus-menerus berlangsung dapat merusak peralatan. Umumnya gangguan beban lebih terjadi di transformator dan memiliki kemampuan atau daya tahan terhadap 110% pembebanan secara *continue*, meskipun demikian kondisi tersebut sudah merupakan keadaan beban lebih yang harus diamankan. Dengan mengetahui kemampuan pembebanan tersebut penyetelan rele beban lebih sebaiknya dikoordinasikan dengan pengamanan gangguan hubung singkat.

b. Gangguan Hubung Singkat (Short Circuit)

Gangguan hubung singkat dapat terjadi antar fasa (3 fasa atau 2 fasa) dan satu fasa ke tanah. Gangguan yang terjadi dapat bersifat temporer atau permanen.

- Gangguan Permanen : Terjadi pada kabel, belitan trafo, dan generator.
- Gangguan temporer : Akibat *Flashover* karena sambaran petir, pohon, atau tertiuup angin.

Gangguan hubung singkat dapat merusak peralatan secara termis dan mekanis. Kerusakan termis tergantung besar dan lama arus gangguan, sedangkan kerusakan mekanis terjadi akibat gaya tarik-menarik atau tolakmenolak. Jenis-jenis gangguan hubung singkat , yaitu:

a. Gangguan satu fasa ke tanah

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan asimetris sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa tegangan dan arus pada saat terjadinya gangguan. Gangguan yang terjadi dapat dianalisa dengan menghubung singkat semua sumber tegangan yang ada pada sistem dan mengganti titik (*node*) gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang besarnya sama dengan tegangan sesaat sebelum terjadinya gangguan dititik gangguan tersebut. Dengan menggunakan metode ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat direpresentasikan dengan menggunakan teori komponen simetris yaitu berdasarkan komponen urutan positif , komponen urutan *negative*, dan komponen urutan nol.

b. Gangguan dua fasa

Pada gangguan hubung singkat fasa ke fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah.

c. Gangguan tiga fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Sehingga pada sistem seperti ini dapat dianalisa hanya dengan menggunakan komponen urutan positif saja.

c. Gangguan Tegangan Lebih

- Tegangan lebih dengan power frekuensi Misalnya : Pembangkit kehilangan beban, over speed pada *generator*, gangguan pada AVR.
- Tegangan lebih transien Misalnya : surya petir atau surya hubung

d. Gangguan Pada Inti (*Incipient Fault*)

Incipient Fault atau biasa disebut dengan gangguan pada inti, gangguan ini merupakan gangguan yang bermula dari gangguan kecil atau kurang berarti namun lambat laun akan berkembang menjadi gangguan besar jika tidak terdeteksi dan tidak segera diatasi. Contoh dari gangguan jenis ini adalah:

1. Sambungan-sambungan penghantar secara elektris kurang baik dan adanya gangguan pada core trafo seperti tembusnya lapisan isolasi, klem-klem yang kurang kencang pada pemasangannya, sehingga memungkinkannya timbul busur api.
2. Gangguan sistem pendingin yang akan menyebabkan pemanasan lebih walaupun beban belum mencapai nominal.
3. Gangguan pada pengatur tegangan dan pembagian beban yang tidak baik antar dua transformator yang berkerja *parallel*, yang akan menyebabkan pemanasan lebih karena adanya arus sirkulasi

e. *Active Fault*

Gangguan ini disebabkan oleh kegagalan isolasi atau komponen lainnya yang terjadi secara singkat dan biasanya dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan. Gangguan ini umumnya dapat dideteksi oleh adanya arus atau tegangan yang tidak seimbang. Contoh dari gangguan *active fault* adalah hubung singkat antar belitan dimulai dengan kontak titik karena adanya gaya mekanis maupun kerusakan isolasi sebagai akibat dari beban lebih atau sambungan yang longgar, sehingga isolasi trafo gagal oleh tegangan impuls. Hal ini menyebabkan beberapa bagian belitan terekspos dan tegangan frekuensi normal menimbulkan busur api. Namun busur api ini akan dipadamkan oleh minyak isolasi trafo.

f. Gangguan Pada Listrik

Gangguan pada pembangkit dapat disebabkan oleh :

- Lepasnya pembangkit akibat adanya gangguan pada sisi pembangkit.
- Gangguan hubung singkat di jaringan menyebabkan terpisahnya sistem, dimana unit pembangkit yang lepas lebih besar dari *spinning reserve* maka frekuensi akan terus turun sehingga sistem bisa *collapse*.

Untuk mengatasi akibat-akibat negatif dari berbagai macam gangguan-gangguan tersebut diatas, maka diperlukan Rele Proteksi.

2.4.5 Upaya mengatasi gangguan

- a. Dalam sistem tenaga listrik, upaya untuk mengatasi gangguan dapat dilakukan dengan cara :
 - Mengurangi terjadinya gangguan
 - Memakai peralatan yang memenuhi peralatan standar.
 - Penentuan spesifikasi yang tahan terhadap kondisi kerja normal/gangguan.
 - Penggunaan kawat tanah pada saluran udara dan tahanan kakitiang yang rendah pada SUTT/ SUTET.
 - Penebangan pohon-pohon yang dekat dengan saluran.
- b. Mengurangi akibat gangguan
 - Mengurangi besarnya arus gangguan, dapat dilakukan dengan menghindari konsentrasi pembangkit di satu lokasi dan menggunakan tahanan pentahanan netral.
 - Penggunaan Ligghtning arrester dan koordinasi isolasi.
 - Melepaskan bagian terganggu : PMT dan Rele
 - Pola *Load shedding*
 - Mempersempit daerah pemadaman

2.5 Jenis-Jenis Rele Proteksi

Berdasarkan besaran ukur dan prinsip kerja, rele proteksi dapat dibedakan sebagai berikut :

a. Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Adalah suatu rangkaian peralatan rele pengaman yang memberikan respon terhadap kenaikan arus yang melebihi harga arus yang telah ditentukan pada rangkaian yang diamankan.

Keuntungan dari penggunaan proteksi rele arus lebih ini antara lain :

- Sederhana dan murah
- Mudah penyetelannya
- Dapat berfungsi sebagai pengaman utama dan cadangan
- Mengamankan gangguan hubung singkat antar fasa, satu fasa ke tanah, dan dalam beberapa hal digunakan untuk proteksi beban lebih (*overload*).
- Pengaman utama pada jaringan distribusi dan substransmisi
- Pengaman cadangan untuk generator, trafo, dan saluran transmisi.

b. Rele Tegangan Kurang (*Under Voltage relay*)

Adalah rele yang bekerja dengan menggunakan tegangan sebagai besaran ukur. Rele akan bekerja jika mendeteksi adanya penurunan tegangan melampaui batas yang telah ditetapkan. Untuk waktu yang relatif lama tegangan turun adalah lebih kecil dari 5% dari tegangan nominal dan dalam jangka waktu jam beberapa peralatan yang beroperasi dengan tegangan di bawah 10 % akan mengalami penurunan efisiensi.

c. Rele jarak (*Distance Relay*)

Adalah rele yang bekerja dengan mengukur tegangan pada titik rele dan arus gangguan yang terlihat dari rele, dengan membagi besaran tegangan dan arus, maka impedansi sampai titik terjadinya gangguan dapat di tentukan.

d. Rele Arah (*Directional Relay*)

Adalah rele pengaman yang bekerja karena adanya besaran arus dan tegangan yang dapat membedakan arah arus gangguan ke depan atau arah arus ke belakang. Rele ini merupakan pengaman cadangan dan bila bekerja akan mengerjakan perintah trip.

e. Rele Hubung Tanah (GFR)

Rele hubung tanah berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik akibat adanya gangguan hubung singkat fasa ke tanah.

f. Rele Arus Hubung Tanah Terbatas (REF)

Adalah rele yang bekerja mengamankan transformator bila ada gangguan satu fasa ketanah di dekat titik netral transformator yang tidak dirasakan oleh rele differensial.

g. Rele Diferensial (*Differential Relay*)

Adalah rele yang bekerja berdasarkan Hukum Kirchof, dimana arus yang masuk pada suatu titik sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut. Yang dimaksud titik pada proteksi diferensial ialah daerah pengamanan, dalam hal ini dibatasi oleh 2 buah trafo arus.

g. Rele *Buchholz*

Rele *Buchholz* merupakan rele yang berkerja dengan cara mendekripsi akumulasi gas atau aliran minyak dari tangka utama menuju konservator. Apabila terjadi gelembung gas yang banyak dalam transformator (yang menandakan terjadinya loncatan busur listrik yang cukup banyak), maka rele ini berkerja dan mentripkan pemutus tenaga (PMT) baik disisi *primer* maupun *sekunder*. Rele ini dipasang dalam pipa yang menghubungkan tanki utama dengan konservator.

h. Rele *Jansen*

Prinsip kerja rele ini sama dengan rele *Buchholz*, tetapi hanya mempunyai satu pelampung yang bereaksi terhadap aliran minyak agar memicu kontak alarm. Rele ini dipasang antara tangka OLTC dengan konservator OLTC.

i. Rele Suhu

Rele suhu ini mengukur suhu kumparan transformator. Pada suhu tertentu rele ini akan membunyikan alarm. Jika suhu pada transformator terus naik, maka rele ini kemudian mentripkan PMT transofrmator disisi *primer* dan *sekunder*.

j. Rele Tekanan Mendadak

Rele ini fungsinya sama dengan rele *Bucholz*, hanya saja yang deteksi adalah tekanan gas dalam transofrmator yang naik secara mendadak

didalam tangka utama transformator dan langsung mengerjakan kontak *trip*.

2.6 Proteksi Arus Lebih

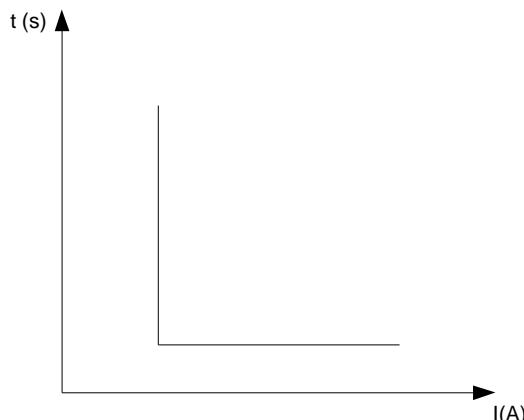
Gangguan yang diamankan oleh proteksi arus lebih dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

- Gangguan Beban Lebih (*overload*)
- Gangguan hubung singkat antar fasa dan fasa ke tanah

Berdasarkan karakteristik dari waktu kerjanya rele arus lebih dapat dibedakan menjadi :

1. Rele Arus Lebih Sesaat/ Momen (*instantaneous overcurrent relay*)

Rele ini bekerja dengan sangat cepat (tidak ada penundaan waktu) atau dengan kata lain jangka waktu antara terjadinya gangguan dan selesainya kerja rele sangat singkat.

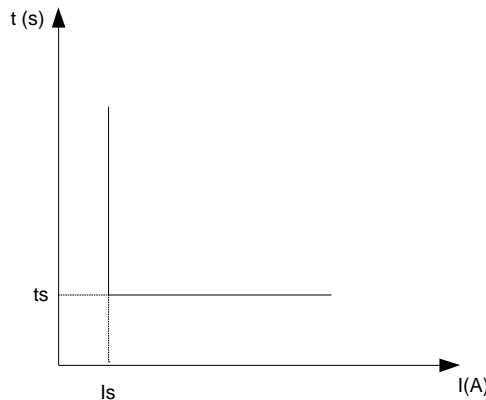


Gambar 2.2 Karakteristik Rele Arus Lebih Sesaat

2. Rele Arus Lebih Dengan Waktu Tunda (*time delay overcurrent*)

- a. Rele Arus Lebih dengan Waktu Tertentu (*definite time*)

Jangka waktu kerja rele ini dari mulai start sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang menggerakkannya



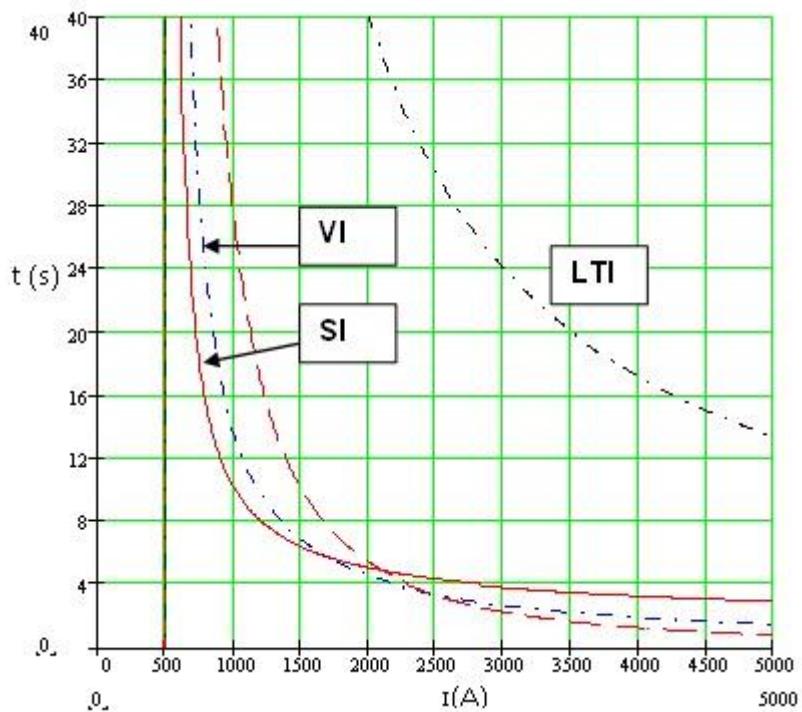
Gambar 2.3 Karakteristik Rele Arus Lebih *Definite Time*

- b. Rele Arus Lebih dengan Waktu Terbalik (*inverse time overcurrent relay*)

Rele arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik adalah jika jangka waktu mulainya rele *pick up* sampai selesai kerja rele diperpanjang dengan besar nilai yang besarnya berbanding terbalik dengan arus yang mnggerakkannya.

Jenis karakteristik inverse rele dengan waktu terbalik dapat dibedakan menjadi :

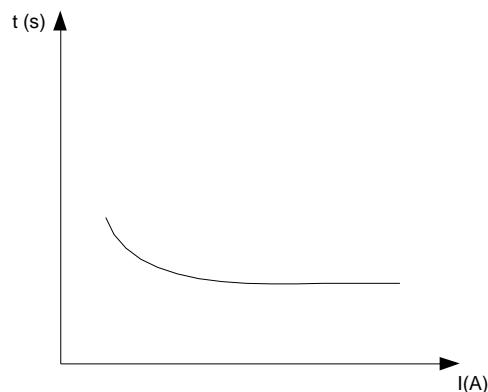
- *Long Time Inverse (LTI)*
- *Standard Inverse (SI)*
- *Very Inverse (VI)*
- *Extremely Inverse (EI)*



Gambar 2.4 Karakteristik Rele Arus Lebih Inverse Time

- c. Rele Arus Lebih Terbalik dan Terbatas Waktu Minimum (*inverse definite minimum time* / IDMT)

Pada rele ini semakin besar arus yang mengalir maka kerja rele akan semakin cepat, tetapi pada saat tertentu yaitu saat mencapai waktu yang ditentukan maka kerja rele tidak lagi ditentukan oleh arus tetapi oleh waktu.



Gambar 2.5 Karakteristik Rele Arus Lebih IDMT

2.7 Pelepasan Beban Lebih / Over Load Shedding (OLS)

Dinamika sistem dan faktor-faktor internal maupun eksternal menyebabkan jaringan utama (Trafo dan Penghantar) pada sistem Jawa Bali belum sepenuhnya memenuhi kriteria keandalan N-1. Yang dimaksud dengan kriteria keandalan N-1 itu sendiri contohnya adalah kondisi sistem masih dikatakan aman jika dalam suatu sistem terdapat lebih dari satu IBT, namun salah satu atau lebih dari IBT tersebut dalam keadaan off. Jika kriteria keandalan N-1 tidak terpenuhi, maka dapat menyebabkan adanya potensi pemadaman meluas ketika salah satu komponen utama (Trafo/Penghangtar) mengalami gangguan, bahkan, dalam kondisi gangguan yang parah bisa memicu padam total seluruh sistem (*blackout*). Solusi darurat untuk mengatasi kondisi tersebut adalah dengan menerapkan skema *Over Load Shedding* (OLS) pada trafo maupun penghantar.

Subsistem dipasok dari IBT 500/150 kV dan pembangkit yang ada disubsistem tersebut. Untuk IBT yang beroperasi paralel, hilangnya satu IBT dapat menyebabkan overload pada IBT lainnya. *Trip*nya pembangkit yang terhubung ke suatu subsistem juga dapat mengakibatkan berkurangnya pasokan ke subsistem tersebut dan overload pada IBT kemudian menyebabkan IBT trip dalam waktu singkat, akibatnya menyebabkan pemadaman yang meluas. *Over Load Shedding* pada IBT merupakan pengaman agar tidak terjadi *overload* pada IBT yang sedang beroperasi, yaitu dengan memadamkan sebagian beban konsumen sehingga pasokan daya yang melalui IBT dapat diturunkan. *Overload shedding* relai yang dipasang dipenghantar pada dasarnya sama dengan yang digunakan di IBT. OLS relai merupakan pengaman beban lebih pada penghantar jika ada penghantar yang mengalami gangguan atau akibat gangguan lainnya. OLS pada penghantar bukan hanya dibatasi oleh kemampuan hantar arus penghantar dari konduktor, tetapi juga kemampuan aksesoris lainnya dari penghantar tersebut, seperti TL Bay, kemampuan CT, *crossbar* dan sebagainya.

2.8 Penerapan Skema OLS pada GITET

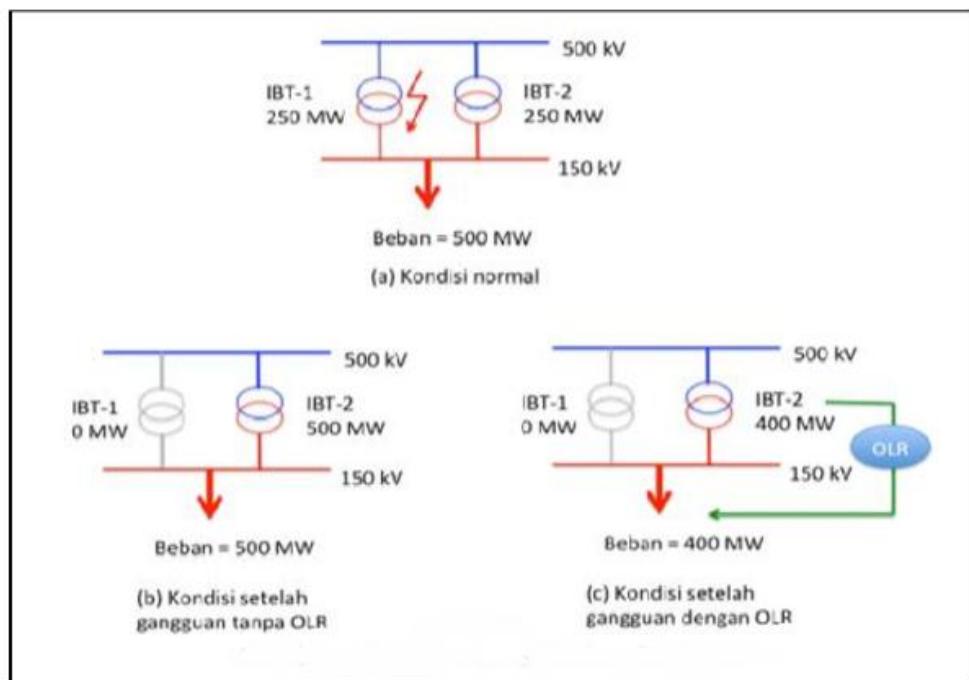
Pemasangan OLS IBT 500/150 kV di GITET memerlukan persyaratan sebagai berikut:

- OLS yang dipakai adalah rele OCR dengan karakteristik waktu *definite*
- Satu tahapan pelepasan beban menggunakan satu buah *timer*
- Mempunyai MCB sumber DC tersendiri tiap OLS. MCB ini berfungsi untuk menonaktifkan OLS IBT dengan memblok sumber DC saat pemeliharaan tahunan pengujian individu rele OCR 150 kV IBT
- Antara rangkaian trip OLS dan timer dipasang switch yang berfungsi mengaktifkan/*block* OLS. *Switch* ini berfungsi untuk melakukan pengujian individu rele OLS tanpa mentripkan beban
- Antara *timer* dengan *lockout* rele dihubungkan terminal link yang dapat dibuka, yang digunakan saat pengujian OLS + *Timer*
- Bila OLS menggunakan PLC sebagai media komunikasi untuk melepas beban di Gardu Induk lain, maka *timer* diletakkan di sisi pengirim dan penerima. Pemasangan seperti ini bertujuan mengantisipasi munculnya *noise/spike* di PLC, OLS tidak langsung membuang beban
- Dipasang *annunciator* untuk menentukan trip peralatan tersebut berasal dari OLS
- Bila OLS sudah diimplementasikan agar dibuatkan berita acara

2.9 Skema Overload Shedding

Penentuan skema Over Load *Shedding* telah berkembang ke arah OLS yang bersifat dinamik atau dikenal dengan *Adaptive Load Shedding Scheme* (ALSS). ALSS membandingkan data pengukuran aktual kondisi realtime dengan estimasi perhitungan menggunakan data statistik. Adapun tujuan diterapkannya ALSS adalah untuk memastikan terpenuhinya kuota *load shedding* minimum berdasarkan pembebanan *real time* instalasi dan menjaga prioritas pelepasan beban distribusi. Untuk sistem Jawa Bali penentuan skema OLS masih bersifat statis menggunakan data statistik. Gambar 2.6 (a) mengilustrasikan kegunaan *overload relay* (OLR) pada IBT yang bekerja paralel. Kedua trafo tersebut

melayani beban sebesar 500 MW dan diasumsikan bahwa kapasitas maksimum trafo adalah 400 MW. Pada Gambar 2.6 (b) terlihat bahwa jika IBT-1 trip maka akan terjadi overload pada IBT-2 dan jika tidak dilengkapi dengan proteksi beban lebih maka dalam waktu beberapa saat IBT tersebut akan ikut trip. Lain halnya jika IBT-2 dilengkapi dengan *overload relay* maka IBT tersebut masih dapat beroperasi normal ketika bebanya telah dikurangi sesuai dengan kemampuan maksimumnya (ditunjukkan oleh Gambar 2.6 (c)).



Gambar 2.6 Overload Shedding pada IBT

Pengurangan beban dalam OLS dibagi dalam beberapa tahapan tergantung besarnya pembebanan lebih pada IBT atau penghantar. Adapun penentuan kuota tiap tahapan OLS menggunakan beban rata-rata yang terjadi pada subsistem dengan mempertimbangkan kombinasi kontingensi yang mungkin terjadi. *Setting Over Load Shedding* secara teoritis trafo tenaga dapat dibebani 1,2 kali arus nominalnya secara terus menerus. Berdasarkan standar ANSI/IEEE C57.109-1985 [4], trafo yang memiliki impedansi hubung singkat 12% didesain untuk dapat menahan

arus hubung singkat sampai dengan 8 kali arus nominal selama 2 detik (lihat Gambar-3). Kemampuan tersebut telah mempertimbangkan kondisi termal maupun mekanikal dari trafo.

2.10 Setting Overload Shedding

Dalam melakukan penentuan dari *setting* dan tahapan rele OLS perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

A. Pertimbangan Teknis

1. Kemampuan terkecil peralatan yang terhubung dengan saluran transmisi misalnya konduktor, TL bay, crossbar, PMT, CT dan aksesoris lainnya.
2. Kemampuan hantar arus (*Current Carrying Capacity*)
3. Koordinasi dengan relai pengaman saluran lainnya seperti OCR dan *autoreclose*.
4. Koordinasi *setting* dengan proteksi lainnya
5. Lokasi atau instalasi yang dipasang pola OLS adalah pada penghantar atau IBT yang dinilai mempunyai kendala (pada saat itu), dimana untuk perkembangannya selalu dimonitor sesuai kebutuhan dan keperluan yang sifatnya sangat dinamis serta mengikuti perkembangan sejalan dengan kebijakan dalam pengaturan operasi sistem.

B. Pertimbangan Non-Teknis

OLS adalah skema yang mengharuskan sistem untuk memadamkan sebagian konsumen. Sangat penting untuk memperhatikan kelas konsumen yang dipilih untuk dipadamkan (*non priority consumer*). Dalam penentuan target pemadaman, pelaksanaan skema OLS harus berkoordinasi dengan PLN distribusi. OLS sistem Jawa Bali menggunakan *Over Current Relay* (OCR) sebagai sensor utama dalam mendeteksi kenaikan beban. Prinsip kerja OLS sama dengan OCR, hanya saja karakteristik waktu yang digunakan dalam OLS adalah *definite* dan biasanya mempunyai settingan waktu bertahap. Tahapan waktu ini berfungsi

sebagai parameter kebutuhan pembuangan beban yang sesuai dengan kondisi kelebihan beban dari peralatan itu sendiri dan beban yang dibuang dapat berupa beban transformator maupun penghantar. Ada beberapa mekanisme pelepasan beban oleh OLS, yaitu: Pemadaman beban lokal, dan pemadaman beban *remote* yaitu pelepasan beban pada Gardu Induk lain dengan fasilitas teleproteksi melalui PLC (*Power Line Carrier*) atau FO (*Fiber Optic*). Dalam pelaksanaannya, OLS harus dikoordinasikan dengan sistem proteksi lain agar memenuhi persyaratan sistem proteksi yang baik dan pemadaman yang terjadi tidak meluas. Agar tidak terjadi kesalahan koordinasi perlu diperhatikan setting OLS terhadap setting OCR dan *timerecloser* (TPAR). Pada saat gangguan, OLS harus berkerja lebih cepat dari OCR dan juga disetting maksimum 1 detik lebih cepat dari *setting* OCR pada saat arus gangguan sebesar $2xIn$.