

BAB II

LANDASAN TEORI

1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) ialah pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (prime mover). Prime mover merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Mesin diesel sebagai penggerak mula PLTD berfungsi menghasilkan tenaga mekanis yang dipergunakan untuk memutar rotor generator. Motor diesel dinamai juga motor penyalaan kompresi (compression ignition engine) oleh karena cara penyalaan bahan bakarnya dilakukan dengan menyemprotkan bahan baker kedalam udara bertekanan dan temperature tinggi, sebagai akibat dari proses didalam ruang baker kepala silinder (Masrianto 2019).

Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam jumlah beban kecil, terutama untuk daerah terpencil atau untuk listrik pedesaan dan untuk memasok kebutuhan listrik suatu pabrik (Anton 2019).

1.2 Keandalan

Keandalan adalah peluang atau kemungkinan suatu sistem atau peralatan bekerja sesuai dengan fungsinya dalam periode waktu tertentu dan dalam kondisi operasi tertentu.

Keandalan sistem tenaga listrik merupakan suatu tolak ukur atau indikator unjuk kerja dari suatu pembangkit sekaligus sebagai jaminan dalam tingkat pelayanan sistem terhadap pemenuhan kebutuhan energi listrik bagi konsumen (Fitri 2017).

Terdapat empat faktor yang mendukung kendalan sistem, yaitu :

- 1. Probabilitas**

Probabilitas dipergunakan untuk menentukan secara kuantitatif dari suatu keandalan. Kegagalan ataupun kesuksesan dari suatu peralatan merupakan sesuatu yang acak yang dapat ditentukan dari historis peralatan tersebut pada masa lalu. Hal yang sama juga dapat dilihat dari beban sistem tersebut. Perkiraan beban ditentukan dari historis dimasa lampau dengan tambahan perkiraan pertumbuhan beban untuk masa depan.

- 2. Unjuk Kerja (*Performance*)**

Unjuk kerja (*performance*) dari suatu peralatan merupakan kriteria kegagalan dari suatu peralatan dalam melakukan tugasnya. Hal ini ditentukan dari standar-standar tertentu yang telah ditentukan, misalnya variasi tegangan atau variasi frekuensi.

3. Periode Waktu

Periode waktu merupakan total waktu yang diamati pada suatu peralatan atau komponen sistem tenaga. Untuk peninjauan dari sistem tenaga biasanya menggunakan periode 1 (satu) tahun. Peninjauan-peninjauan yang dilakukan terhadap peralatan dinilai dalam ukuran per tahun.

4. Kondisi Operasi

Kondisi operasi merupakan kondisi dimana suatu peralatan beroperasi. Kondisi operasi suatu peralatan dapat berbeda-beda. Misalnya suatu generator beroperasi dibawah kondisi operasi tegangan lebih, atau suatu peralatan listrik pasangan luar yang akan meningkat laju kegagalannya jika beroperasi pada suatu daerah yang banyak terjadi petir. Oleh sebab itu penilaian kelakuan suatu peralatan ataupun komponen listrik tidak dapat dipisahkan dari kondisi operasinya. (Marsudi 2006).

1.3 Keandalan Ketersediaan Daya

Ada beberapa indeks yang menunjukkan keandalan suatu sistem tenaga listrik. Indeks keandalan diantaranya adalah Kemungkinan Kehilangan Beban (*Loss of Load Probability*).

Kemungkinan kehilangan beban merupakan probabilitas yang menyatakan seberapa besarnya suatu sistem kehilangan beban dikarenakan kapasitas pembangkitan yang tersedia *Availability Capacity*

sama atau lebih kecil dari pada beban sistem yang diminta. Dengan kata lain, kehilangan beban akan terjadi bila kapasitas gangguan lebih besar daripada kapasitas cadangan *reserve capacity* (Muchafidhoh 2018).

1.4 Beban Dalam Sistem

Beban sistem tenaga listrik merupakan pemakaian tenaga listrik dari para pelanggan listrik. Oleh karenanya besar kecilnya beban beserta perubahannya tergantung pada kebutuhan para pelanggan akan tenaga listrik. Tidak ada hitungan yang eksak mengenai berapa besarnya beban sistem pada suatu saat, yang bisa dilakukan hanyalah membuat perkiraan beban. Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik harus selalu diusahakan daya yang dibangkitkan = beban sistem (Marsudi 2006).

Masalah perkiraan beban merupakan masalah yang sangat menentukan bagi perusahaan listrik baik segi – segi manajerial maupun bagi operasional, oleh karenanya perlu mendapat perhatian khusus. Untuk dapat membuat perkiraan beban yang sebaik mungkin perlu beban sistem tenaga listrik yang sudah terjadi di masa lalu dianalisa.

Dalam buku Operasi Sistem Tenaga Listrik (2006, Djiteng Marsudi) ada tiga kelompok perkiraan beban yaitu:

1. Perkiraan Beban Jangka Panjang

Perkiraan beban jangka panjang adalah untuk jangka waktu di atas satu tahun. Dalam perkiraan beban jangka panjang masalah – masalah makro ekonomi yang merupakan masalah ekstern perusahaan

listrik merupakan faktor utama yang menentukan arah perkiraan beban. Karena perkiraan beban jangka panjang banyak menyangkut masalah makro ekonomi yang bersifat ekstern perusahaan listrik, maka penyusunannya perlu dimintakan pengarahan dari pemerintah.

2. Perkiraan Beban Jangka Menengah

Perkiraan beban jangka menengah adalah untuk jangka waktu dari satu bulan sampai dengan satu tahun. Posisi untuk perkiraan beban jangka menengah adalah perkiraan jangka panjang, sehingga perkiraan beban jangka menengah tidaklah dapat menyimpang terlalu jauh terhadap perkiraan beban jangka panjang. Dalam perkiraan beban jangka menengah masalah – masalah manajerial perusahaan merupakan faktor utama yang menentukan. Dalam perkiraan beban jangka menengah biasanya hanya diperkirakan beban puncak yang tertinggi yang akan terjadi dalam sistem listrik, karena perkiraan beban jangka menengah lebih banyak dipergunakan untuk keperluan perencanaan dan pengembangan sistem.

3. Perkiraan Beban Jangka Pendek

Perkiraan beban jangka pendek adalah jangka waktu beberapa jam sampai satu minggu (168 jam). Dalam perkiraan beban jangka pendek terdapat batas atas untuk beban maksimum dan batas bawah untuk beban minimum yang ditentukan oleh perkiraan beban jangka menengah. Besarnya beban untuk setiap jam ditentukan dengan

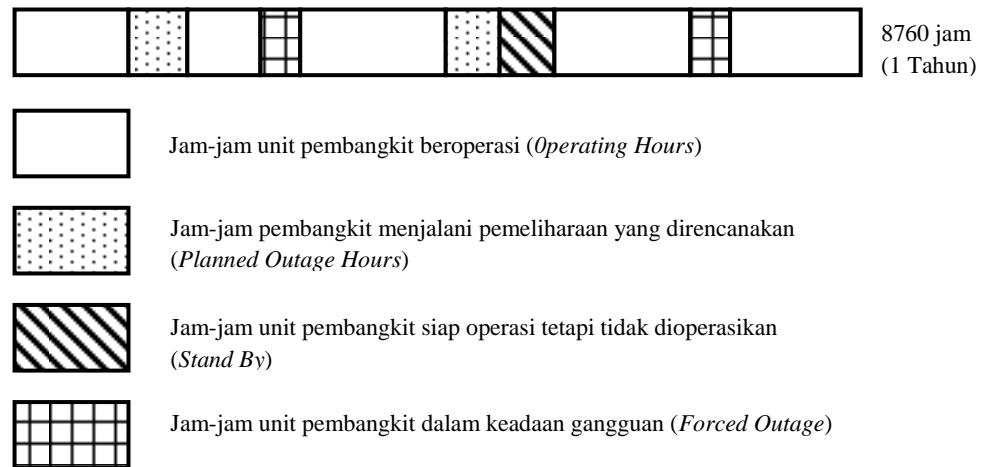
langgam di waktu lalu dengan memperhatikan berbagai informasi yang dapat mempengaruhi besarnya beban (Marsudi 2006).

1.5 Daya Tersedia Dalam Sistem

Daya tersedia dalam sistem tenaga listrik haruslah cukup untuk melayani kebutuhan tenaga listrik dari para pelanggan. Daya tersedia tegantung kepada daya terpasang unit pembangkit dalam sistem dan juga tergantung kepada kesiapan operasi unit-unit tersebut. Berbagai faktor seperti gangguan kerusakan dan pemeliharaan rutin menyebabkan unit pembangkit menjadi tidak siap operasi.

Untuk dapat melayani beban yang diperkirakan dari Perkiraan Beban (*Load Forecast*) dan juga mengingat masalah pemeliharaan unit pembangkit harus diusahakan agar daya tersedia dalam sistem selalu cukup untuk melayani beban.

Karena unit pembangkit yang direncanakan tersedia untuk operasi dalam sistem ada kemungkinan mengalami *Forced Outage* maka besarnya cadangan Daya Tersedia sesungguhnya merupakan ukuran keandalan operasi sistem. Untuk membahas keandalan sistem operasi dipakai pengertian-pengertian seperti digambarkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Diagram Kesiapan Unit Pembangkit

Keandalan operasi sistem sesungguhnya tidak semata-mata tergantung kepada Cadangan Daya Tersedia dalam sistem tetapi juga kepada besar kecilnya *Forced Outage Hours* per tahun dari unit-unit pembangkit yang beroperasi. Kenandalan operasi sistem akan makin tinggi apabila Daya Tersedia dalam sistem makin terjamin. Tingkat jaminan tersedianya dalam sistem tegantung kepada:

1. Besarnya cadangan Daya Tesedia
2. Besarnya *Forced Outage Hours* unit pembangkit dalam satu tahun.

Hal ini perlu dirumuskan secara lebih konkret, dengan memangdang butir 1 sebagai ukuran kuantitatif dan 2 sebagai ukuran kualitatif. Faktor utama dalam menentukan cadangan daya tersedia adalah sering tidaknya pembangkit mengalami gangguan. Ukuran sering tidaknya pembangkit mengalami gangguan dinyatakan dengan *Forced Outage Rate* (FOR), yaitu:

$$FOR = \frac{\text{Jumlah Jam Unit Terganggu}}{\text{Jumlah Jam Unit Beroperasi} + \text{Jumlah Jam Unit terganggu}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Maka besarnya cadangan daya tersedia yang bisa diandalkan dan tingkat jaminan operasi sistem tergantung pada *Forced Outage Rate* (FOR) dari unit-unit pembangkit. Makin kecil *Forced Outage Rate* (FOR) maka makin tinggi jaminan yang didapat, sebaliknya makin besar *Forced Outage Rate* (FOR) makin kecil jaminan yang didapat. Apabila sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa Pusat Listrik maka tingkat jaminan tersedianya daya dalam sistem tergantung kepada komposisi unit-unit pembangkit yang ada dalam sistem, tergantung kepada *Forced Outage Rate* (FOR) dari unit-unit pembangkit yang ada dalam sistem.

Kemungkinan tersedianya berbagai nilai daya dalam sistem dapat dihitung yang berarti besanya nilai cadangan daya tersedia dalam sistem dapat dihitung. Apabila nilai cadangan negatif maka terjadilah pemadaman dalam sistem, hal ini merupakan risiko dalam operasi sistem tenaga listrik yang perlu diformulasikan. (Marsudi 2006).

1.6 *Loss Of Load Probability (LOLP)*

Unit-unit pembangkit bertugas menyediakan daya dalam sistem tenaga listrik, agar beban dapat dilayani. Dilain pihak unit pembangkit setiap waktu bisa mengalami gangguan sehingga tidak beroperasi.

Jika gangguan ini terjadi pada saat yang bersamaan atas beberapa unit pembangkit yang besar, maka ada kemungkinan bahwa daya tersedia dalam sistem berkurang sedemikian besarnya sehingga tidak cukup untuk melayani

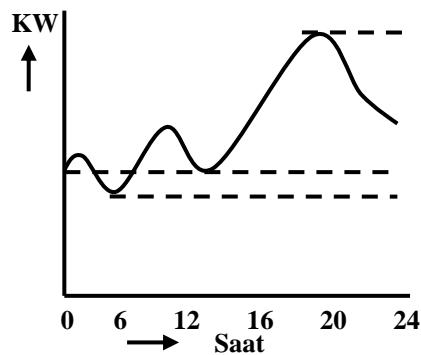
beban. Maka dalam keadaan tersebut terpaksa dilakukan pelepasan beban, atau terpaksa sistem kehilangan beban (terjadi pemadaman dalam sistem).

Besarnya cadangan daya tersedia yang bisa diandalkan tegantung kepada *Forced Outage Rate* (FOR) unit-unit pembangkit. Dimana makin kecil *Forced Outage Rate* (FOR) makin tinggi jaminan yang didapat, sebaliknya makin besar *Forced Outage Rate* (FOR) makin kecil jaminan yang didapat.

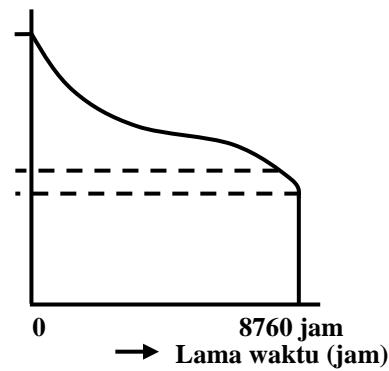
Beban berubah-ubah sepanjang waktu, maka *forced outage* yang berlangsung pada saat-saat beban puncak akan mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap cadangan daya tersedia dibandingkan dengan *forced outage* yang berlangsung pada saat-saat beban rendah.

Forced outage yang diketahui dapat memberikan perhitungan kemungkinan terjadinya pemadaman dalam sistem atau sering pula disebut sebagai kemungkinan sistem “kehilangan beban”. *Loss Of Load Probability* atau kemungkinan kehilangan beban ini merupakan risiko yang dihadapi dalam mengoperasikan sistem tenaga listrik dan perlu diformulasikan.

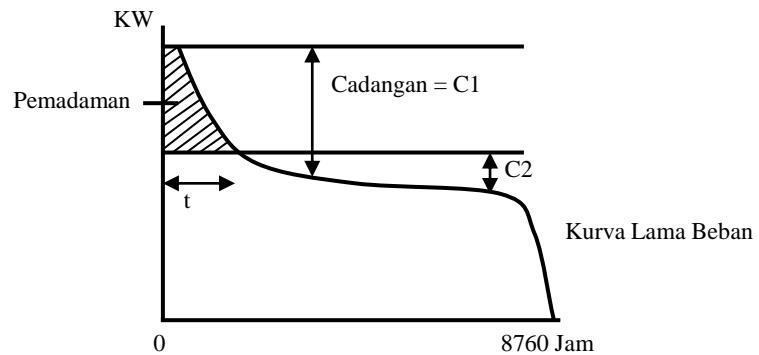
Untuk dapat memformulasikan hal ini maka kurva beban sistem sebagai fungsi saat perlu ditrasformasikan menjadi kurva lama beban (*load duration curve*), kurva yang menggambarkan lamanya setiap nilai beban berlangsung. Hal ini ditunjukkan oleh gambar 2.2 dan gambar 2.4.



Gambar 2.2 Kurva Beban Harian, Beban Sebagai Fungsi Saat Dalam Sehari



Gambar 2.3 Kurva Lama Beban, Lamanya Setiap Nilai Beban Berlangsung Dalam Jangka Waktu Satu Tahun



Gambar 2.4 Kurva Lama Beban dan Daya Tersedia Dalam Sistem

Gambar 2.4 menunjukkan kurva lama beban dan garis daya terpasang serta garis-garis daya tersedia. Selisih antara garis daya terpasang dengan garis daya tersedia tanpa *forced outage* adalah disebabkan adanya pengeluaran unit pembangkit dari sistem yang direncanakan untuk keperluan pemeliharaan dan perbaikan (*planned outage*).

Dalam gambar 2.4 garis daya tersedia tanpa *forced outage* f1, kemungkinan terjadinya p1, memberikan cadangan C1 yang selalu positif. Namun, garis daya tersedia dengan *forced outage* f2, kemungkinan terjadinya p2, memberikan cadangan C2 yang memungkinkan pemotongan garis kurva lama beban, menumbulkan pemadaman/kehilangan beban, selama waktu t.

Yang disebut “Kemungkinan Kehilangan Beban” atau dalam bahasa Inggris disebut *Loss of Load Probability* dan biasanya disingkat LOLP adalah perkalian $p_2 \times t$. Jadi secara umum:

dengan :

p = probabilitas terjadinya beban sama atau lebih besar dari besar daya tersedia.

t = waktu terjadinya kehilangan beban.

Loss Of Load Probability (LOLP) sebenarnya merupakan risiko yang dihadapi dalam operasi, dalam gambar 2.4 digambarkan sebagai berapa jauh garis daya tersedia boleh menurun karena pemeliharaan maupun *forced outage* dalam kaitannya terhadap pemotongan kurva lama beban.

Loss Of Load Probability (LOLP) biasanya dinyatakan dalam hari pertahun. Makin kecil nilai *Loss Of Load Probability* (LOLP) berarti garis daya tersedia harus makin kecil kemungkinannya memotong garis kurva lama beban, ini berarti bahwa daya terpasang harus makin tinggi serta juga *Forced Outage Rate* (FOR) harus semakin kecil, dengan perkataan lain diperlukan investasi yang lebih besar dan juga kualitas pembangkit yang lebih baik (Marsudi 2006).

1.7 Menentukan Keandalan Sistem

Loss Of Load Probability (LOLP) merupakan *index risk level* dalam mengoperasikan sistem tenaga listrik jadi merupakan tingkat jaminan operasi sistem tenaga listrik. Apabila diinginkan tingkat jaminan operasi yang tinggi maka *risk level* harus rendah atau *Loss Of Load Probability* (LOLP) harus kecil dan ini berarti bahwa investasi harus tinggi untuk keperluan mendapatkan daya terpasang yang tinggi dan juga untuk mendapatkan unit pembangkit dengan *Forced Outage Rate* (FOR) yang rendah. Sesungguhnya *Forced Outage Rate* (FOR) yang rendah juga tergantung kepada pemeliharaan unit-unit pembangkit, tidak semata-mata kepada harga unit pembangkit. Pemeliharaan unit pembangkit yang baik dapat memperkecil *Forced Outage Rate* (FOR) dan selanjutnya memperkecil *Loss Of Load Probability* (LOLP) atau meningkatkan tingkat jaminan operasi sistem tenaga listrik. Penentuan besarnya *Loss Of Load Probability* (LOLP) merupakan kompromi antara biaya investasi yang

diperlukan dibandingkan dengan risiko pemadaman yang bisa terjadi. Untuk keperluan perencanaan, menyangkut pertimbangan-pertimbangan investasi terhadap risiko, PLN menggunakan angka-angka sebagai berikut:

Tabel 2.1 Pertimbangan Investasi Terhadap Risiko Pemadaman

Sumber :	Jenis Pembangkit	Unit Size (MW)	FOR (%)
Marsudi (2006)	1. PLTA	Semua	1
	2. PLTG	Semua	7
	3. PLTP	Semua	5(perkiraan)
	4. PLTU pakai bahan bakar minyak	25-100 MW 100MW	8.5 9
	5. PLTU pakai batubara	400 MW	10

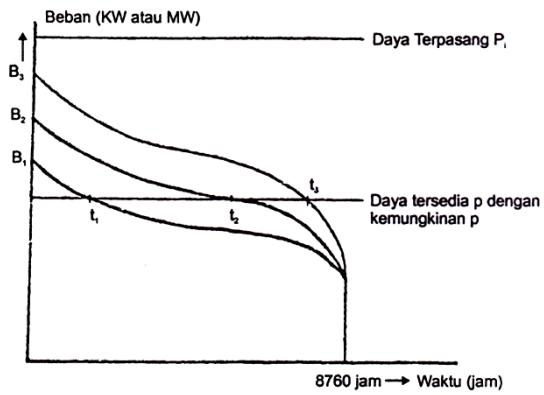
Untuk menggambarkan besarnya risiko yang dihadapi apabila kemampuan sistem tidak dapat memenuhi kebutuhan beban sehingga terpaksa ada beban yang dilepas dari sistem, dapat dipakai indeks berupa “harga kWh yang terputus” (interrupted kWh). Harga kWh yang terputus ini harus menggambarkan berapa besar pengaruh dari kWh terputus terhadap kehidupan negara secara mikro, tidak hanya merupakan harga jual kWh atau PLN. Hal ini mengingat bahwa tenaga listrik telah merupakan komoditi yang mempengaruhi hajat hidup orang banyak. Harga kWh yang terputus ini berbeda-beda untuk setiap tempat karena pengaruh terputusnya kWh juga berbeda untuk setiap tempat. Untuk daerah industri harga kWh terputus ini lebih mahal daripada untuk daerah tempat tinggal, karena kWh terputus untuk daerah industri juga menyebabkan terputusnya produksi industri yang mempunyai dampak luas di bidang ekonomi, sedangkan untuk daerah tempat tinggal praktis hanya mempunyai dampak terhadap kenyamanan para

pemakai listrik. Penentuan harga kWh yang terputus selanjutnya akan mempengaruhi berbagai keputusan dalam merencanakan jaringan. Pembuatan jaringan dengan kenandalan yang tinggi hanya menguntungkan apabila harga kWh yang terputus cukup mahal, misalnya untuk melayani daerah industri yang besar pengaruhnya terhadap ekonomi negara.

Loss Of Load Probability (LOLP) yang makin kecil berarti keandalan sistem yang makin tinggi namun juga memerlukan biaya investasi yang makin tinggi, oleh karenanya penentuan *Loss Of Load Probability* (LOLP) harus dilakukan dengan membandingkan biaya investasi terhadap risiko berupa jumlah serta harga kWh yang diperkirakan akan terputus (Marsudi 2006).

1.8 Menghitung Keandalan Sistem Tenaga Listrik

Untuk suatu sistem tertentu jumlah unit pembangkitnya tertentu, jadi bisa dihitung kemungkinan terjadinya forced outage untuk kW atau MW tertentu. Apabila beban sistem ini naik tetapi unit pembangkitnya tidak ditambah, maka $LOLP = p \times t$. akan bertambah besar. Hal ini terlihat pada gambar 2.5, yaitu suatu sistem dengan daya terpasang P_i kemungkinannya untuk menyediakan daya sebesar P adalah p.



Gambar 2.5 Pengaruh kenaikan beban sistem dalam kaitannya dengan LOLP

Apabila beban puncak sistem = B_1 . Apabila beban puncak sistem = B_1 , maka $t = t_1$, sedangkan apabila beban puncak naik menjadi B_2 dan seterusnya menjadi B_3 maka nilai t juga naik menjadi t_2 dan seterusnya. Dengan menggunakan persamaan (2.2) didapatkan:

$$\text{LOLP}_1 = p \times t_1, \text{ untuk beban puncak} = B_1$$

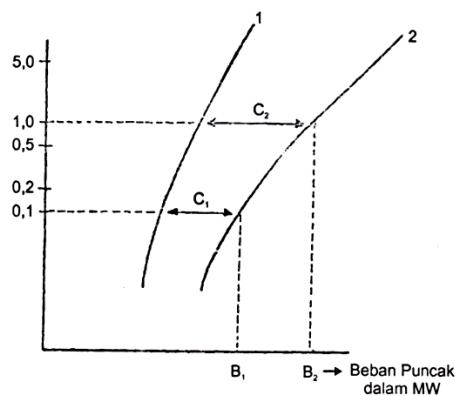
$$\text{LOLP}_2 = p \times t_2, \text{ untuk beban puncak} = B_2$$

$$\text{LOLP}_3 = p \times t_3, \text{ untuk beban puncak} = B_3$$

Pertambahan nilai t tergantung kepada bentuk kenaikan beban yang ditunjukkan oleh kurva lama beban. Untuk suatu sistem tertentu yang harus melayani beban tertentu, dapat digambar suatu grafik yang menggambarkan hubungan antara beban puncak dengan *Loss Of Load Probability* (LOLP), hal ini ditunjukkan pada gambar 2.6. Skala untuk *Loss Of Load Probability* (LOLP) dipakai skala logaritmis. Bentuk dari kurva ditentukan oleh susunan unit pembangkit yaitu kapasitasnya serta *Forced Outage Rate* (FOR) nya

dan juga oleh kurva lama beban yang harus dihadapi oleh sistem. Dalam gambar 2.6 digambarkan dua kurva yaitu kurva 1 dan kurva 2.

Kurva 1 menggambarkan keadaan sebelum ada penambahan sebuah unit pembangkit, sedangkan kurva 2 menggambarkan keadaan setelah ada tambahan unit pembangkit baru dengan kapasitas terpasang sebesar C MW. Terlihat bahwa jarak kurva 1 dan kurva 2 makin jauh untuk nilai *Loss Of Load Probability* (LOLP) yang makin besar.



Gambar 2.6 Kurva yang menggambarkan hubungan antara LOLP dengan beban untuk sistem tertentu.

Ini berarti bahwa nilai kapasitas unit baru dengan kapasitas terpasang C MW memberikan pengaruh yang berbeda kepada sistem apabila risk level dalam *Loss Of Load Probability* (LOLP) yang dikehendaki juga berbeda. Makin besar nilai *Loss Of Load Probability* (LOLP) makin besar pula pengaruh nilai C yang boleh diperhitungkan, hal ini terlihat dalam gambar 2.6 sebagai $C_2 > C_1$. Besarnya nilai C yang boleh diperhitungkan untuk nilai LOLP tertentu disebut sebagai *Load Supply Capability* dari unit baru tersebut.

Load Supply Capability dari suatu unit pembangkit yang memasuki suatu sistem dengan beban tertentu, dapat dihitung berdasarkan pendekatan gratis. Pengertian mengenai *Load Supply Capability* dapat diterapkan untuk sistem yang terdiri dari banyak unit pembangkit. Karena unit-unit pembangkit dalam suatu sistem harus dipelihara secara periodik, maka hal ini berarti bahwa selalu ada unit pembangkit yang keluar dan masuk dari daftar unit pembangkit yang siap operasi menghadapi beban.

Dalam menyusun jadwal pemeliharaan unit pembangkit dari suatu sistem harus dijaga agar *Load Supply Capability* sistem selalu cukup untuk menghadapi beban serta memenuhi suatu nilai *Loss Of Load Probability* (LOLP) tertentu yang dikehendaki oleh manajemen sebagai risk level yang diperbolehkan. Ada saatnya risk level yang dikehendaki tidak mungkin tercapai, hal ini adalah karena beban telah bertambah besar. Pada saat yang demikian diperlukan tambahan unit pembangkit baru kedalam sistem.

Nilai *Loss Of Load Probability* (LOLP) didapat dengan membandingkan kondisi beban terhadap kondisi sistem. Perbandingan ini ditunjukkan secara kualitatif dengan menggunakan gambar 2.4. Dari perhitungan secara kwantitatif ini tampak bahwa dipakai nilai daya tertentu, dalam hal ini bisa daya dipasang dari unit pembangkit, sebagai daya yang dianggap merupakan kapasitas unit pembangkit. Dengan anggapan tertentu terhadap nilai kemampuan unit ini akhirnya didapat *Loss Of Load Probability* (LOLP) tertentu. Apabila anggapan terhadap kemampuan unit –

unit pembangkit ini dirubah, maka nilai *Loss Of Load Probability* (LOLP) yang didapat juga berubah.

Load Supply Capability (LSC) dari sebuah unit pembangkit sesungguhnya merupakan anggapan terhadap besarnya kemampuan unit pembangkit yang akhirnya memberikan nilai *Loss Of Load Probability* (LOLP) tertentu. Gambar 2.6 menggambarkan hubungan *Loss Of Load Probability* (LOLP) dengan LSC dari unit pembangkit.

Dalam perhitungan bila *Loss Of Load Probability* (LOLP) secara kwantitatif, beban dinyatakan *Probability Density Function* (PDF) apabila beban saja yang berubah tetapi kondisi sistem tidak berubah, maka PDF beban berubah dan PDF beban yang berubah ini dibandingkan terhadap kondisi sistem yang tetap akan menghasilkan nilai *Loss Of Load Probability* (LOLP) yang berubah. Gambaran kwalitatif mengenai hal ini ditunjukkan oleh gambar 2.5 yaitu perubahan perpotongan kurva lama beban dengan garis daya tersedia dalam sistem. Perubahan kurva lama beban menggambarkan perubahan kondisi beban, sedangkan garis daya tersedia menggambarkan kondisi sistem (Marsudi 2006).

1.9 Kemungkinan Kumulatif

Dalam perhitungan *Loss Of Load Probability* (LOLP) diperlukan Kemungkinan Kumulatif atas terjadinya kW on outage. Kemungkinan Kumulatif adalah Kemungkinan Terjadinya suatu *Forced Outage* dengan nilai kW tertentu atau lebih. Misalnya Kemungkinan Terjadinya kW on

outage secara individual untuk nilai 1.500 kW adalah Kemungkinan Terjadinya kW on outage untuk lebih 1.500 kW atau lebih. Kemungkinan individu terjadinya outage sebesar 0 KW atau lebih, selalu = 1 (Marsudi 2006).

1.10 Perhitungan *Loss Of Load Probability* (LOLP)

Kemungkinan bahwa sistem tidak dapat melayani beban, tidak dapat melayani kebutuhan pelanggan akan tenaga listrik dinyatakan dengan index *Loss Of Load Probability* (LOLP). Untuk menghitung *Loss Of Load Probability* (LOLP) maka hasil perhitungan pada pembahasan-pembahasan sebelumnya harus dibandingkan dengan Kurva Lama Beban dari sistem. Walaupun misalnya nilai Kemungkinan Terjadinya KW on outage adalah sama, tetapi kalau karakteristik beban sistem yang ditunjukkan oleh Kurva Lama Beban adalah berlainan, maka nilai *Loss Of Load Probability* (LOLP) juga akan berlainan.

Dengan mengingat pengertian bahwa Kemungkinan Terjadinya Kumulatif kW on outage adalah Kemungkinan Terjadinya forced outage untuk suatu nilai KW tertentu atau lebih besar, serta mengingat arti LOLP = $p \times t$, maka didapat:

$$LOLP = \sum_{t=1}^{t=365} P(C < Beban) \times t \quad \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

dimana: t adalah waktu mulai 1 hari sampai dengan 365 hari (satu tahun).

P ($C < \text{Beban}$) adalah Kemungkinan Terjadinya Kumulatif Kapasitas Sistem $<$ Beban.

Nilai kW on outage tergantung kepada kapasitas unit pembangkit yang ada, juga terlihat bahwa partisipasi kW on outage yang makin besar terhadap *Loss Of Load Probability* (LOLP) adalah makin kecil, ini disebabkan karena untuk KW on outage yang makin besar nilai P Kumulatifnya makin kecil. Untuk sistem yang besar, misalnya untuk sistem yang terdiri dari 50 unit pembangkit termis dan hidro, mulai nilai kW on outage tertentu nilai P Kumulatif bisa kecil sekali, sudah mencapai nilai yang kurang dari 10^{-6} . Dalam hal demikian perhitungan *Loss Of Load Probability* (LOLP) bisa berhenti sampai nilai KW on outage tersebut. Adanya unit-unit hidro dengan *Forced Outage Rate* (FOR) yang kecil juga mempercepat tercapainya nilai P Kumulatif yang kecil. Kolom kW on outage, jadi juga kolom kW yang operasi, harus sesuai dengan keadaan sistem, sesuai dengan unit yang mengalami outage. Sehubungan dengan hal ini, nilai kW on outage yang memberi nilai Kemungkinan Individuul = 0 tidak boleh dipakai. Lama Beban dan ini menunjukkan apabila beban melebihi kW operasi maka akan terjadi pelepasan beban (*Loss of Load*).

Dalam menghitung *Loss Of Load Probability* (LOLP) seperti terlihat dari uraian diatas selalu dipakai Kemungkinan Terjadinya Gangguan secara Kumulatif. Hal ini bisa dijelaskan dengan memperhatikan gambar 2.4. Dari gambar 2.4 ini terlihat bahwa $\text{LOLP} = p \times t$. Faktor p menggambarkan

kemungkinan terjadinya gangguan yang bisa menyebabkan sistem tidak bisa memenuhi kebutuhan beban, selama waktu t. Nilai p harus merupakan nilai kumulatif dari kemungkinan terjadinya gangguan besar f MW atau lebih besar. Perlu diperhitungkan pula gangguan-gangguan (MW *on forced outage*) yang mempunyai nilai diatas f MW, karena semua gangguan (MW *on force outage*) yang mempunyai nilai diatas f MW mempunyai partisipasi terhadap nilai t, yaitu bahwa sistem tidak bisa memenuhi beban selama t. Oleh karenanya nilai p adalah nilai kumulatif dari kemungkinan terjadinya gangguan (*forced outage*) dengan nilai fMW.

Loss Of Load Probability (LOLP) yang merupakan Kemungkinan Kehilangan Beban, atau probabilitas kehilangan beban atau peluang hilang beban. Perlu diingat disini bahwa *Loss Of Load Probability* (LOLP) adalah nilai dari suatu Kemungkinan (Probabilitas), yang menggambarkan besar kecilnya "peluang" terhadap terjadinya kehilangan beban sebagai akibat kurangnya daya tersedia dalam sistem.

Usaha untuk memperkecil nilai *Loss Of Load Probability* (LOLP) yang berarti mempertinggi keandalan, dapat dilakukan dengan melakukan investasi dan memelihara unit-unit pembangkit yang ada agar angka *Forced Outage Rate* (FOR) tidak melampaui angka-angka standar (Marsudi 2006).