

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai keandalan sistem tenaga listrik sudah pernah dilakukan di beberapa sistem tenaga listrik di Indonesia dengan berbagai metode perhitungan. LOLP menjadi salah satu metode perhitungan untuk mendapatkan nilai ukur kendalan sistem pembangkit. Dimana LOLP sebenarnya merupakan suatu angka resiko dari keseluruhan permintaan beban yang tidak dapat terlayani oleh sistem pembangkit ketika beroperasi. Studi pustaka ini dilakukan sebagai salah satu alat dari penerapan metode penelitian. Guna mendukung penyusunan skripsi ini maka penulis mengambil beberapa rujukan dari peneliti mengenai keandalan sistem pembangkit listrik diantaranya sebagai berikut:

1. Gunawan Eko Prasetyo (2006) melakukan penelitian mengenai Studi Tentang Keandalan Pembangkit Tenaga Listrik Wilayah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta (RJTD). Berdasarkan analisis tentang indeks keandalan pembangkit yang terdapat di Jawa Tengah dan DI Yogyakarta dengan pembangkit skenario P3B pusat Gandul, kemudian pembangkit Jawa Tengah dan DIY diputus dari interkoneksi Jawa Madura Bali. Hasil data dapat diketahui dengan menggunakan beban RJTD skenario sistem interkoneksi Jawa Madura Bali (Jamali) dan pembangkitan RJTD menggunakan skenario pengaturan yang berdiri sendiri (skenario Unit Pengatur Beban Ungaran) dengan kapasitas daya 2.345,12 MW yang terputus dari interkoneksi Jamali, menyebabkan indeks keandalan LOLP pembangkit Jawa Tengah dan DIY bernilai 1,201 hari/tahun atau telah sesuai dengan standard PLN (≤ 3 hari/tahun) dan indeks ENS sebesar 2.217,134 MWh/tahun. Dengan menggunakan beban dan pembangkit RJTD skenario sistem interkoneksi Jawa Madura Bali (Jamali) dan dalam perhitungan LOLP dengan pembangkit yang menyuplai beban RJTD dari luar Jawa Tengah dan DIY dilepas (tidak terhubung) dengan interkoneksi pembangkit RJTD, menyebabkan indeks keandalan LOLP pembangkit Jawa Tengah dan DIY bernilai 61,496 hari/tahun atau tidak sesuai dengan

standard PLN (≤ 3 hari/tahun) dan indeks ENS sebesar 223.970,661 MWh/tahun.

2. Syahrial, Kania Sawitri, dan Partrianti Gemahapsari (2017) melakukan penelitian tentang Studi Keandalan Ketersediaan Daya Pembangkit Listrik Pada Jaringan Daerah “X”. Konfigurasi sistem pembangkit skenario ke-1 terdiri dari 4 unit pembangkit diesel dengan kapasitas unit pembangkit 1, unit pembangkit 2, unit pembangkit 3, dan unit pembangkit 4 adalah sama sebesar 1x280 KW dengan nilai FOR $1,300181 \times 10^{-3}$. Pada konfigurasi ini diperoleh nilai LOLP sebesar 0,00138714 hari/tahun dan UE sebesar 93,305 KWH/tahun. Total perkiraan biaya pada konfigurasi ini sebesar Rp 771.771.708,00. Konfigurasi sistem pembangkit skenario ke-2 terdiri dari 4 unit pembangkit diesel dengan kapasitas unit pembangkit 1, unit pembangkit 2, unit pembangkit 3, dan unit pembangkit 4 adalah sama sebesar 1x280 KW. Unit pembangkit 1 dan unit pembangkit 3 memiliki nilai FOR $1,37795 \times 10^{-4}$. Unit pembangkit 2 dan unit pembangkit 4 memiliki nilai FOR $7,2939 \times 10^{-5}$. Pada konfigurasi ini diperoleh nilai LOLP sebesar 0,0000088248 hari/tahun dan UE sebesar 0,0584 KWH/tahun. Total perkiraan biaya pada konfigurasi ini sebesar Rp 587.567.108,00.
3. Noor Fahrian (2018) melakukan penelitian tentang studi analisa indeks keandalan pada pembangkit listrik tenaga hybrid (PLTH) pantai baru pandansimo menggunakan perhitungan Expected energy not supplied (EENS). Dari hasil analisa dan perhitungan yang telah dilakukan pada PLTH Pantai Barudapat disimpulkan bahwa pada perhitungan indeks keandalan pada sistem tenaga kondisi awal didapatkan nilai EENS tahun 2017 dengan nilai total sebesar 0.8964% atau 107 kWh. Nilai EENS tersebut masih belum memenuhi standar yang sudah ditetapkan National Electricity Market (NEM) yaitu $< 0.002\%$ per tahun, dari hasil perhitungan tersebut dapat dikatakan bahwa keandalan sistem PLTH Pantai Baru pada tahun 2017 dalam katagori tidak andal.

4. Muchafidhoh (2018) melakukan penelitian tentang studi analisa indeks keandalan pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) PT.PJB UP Gresik menggunakan perhitungan loss of load probability (LOLP). Berdasarkan data penelitian yang di dapat PLTU UP Gresik tahun 2017 bulan November memiliki rerata beban terendah 191 MW, ini disebabkan dari dua unit PLTU yang tidak beroperasi akibat gangguan. Pada bulan Oktober rerata beban tertinggi dengan nilai 345 MW, terdapat beban maksimum (maximum demand) dengan nilai 451 MW. Pada gangguan ini disebabkan oleh pengaturan beban (P2B) pada bulan oktober di PLTU PJB Gresik diatur menjadi beban maksimum. Dari hasil perhitungan dari analisa data indeks keandalan loss of load probability (LOLP) menghasilkan nilai total sebesar 31.5 hari/tahun pada tahun 2017. Nilai indeks LOLP tersebut belum memenuhi standar yang sudah ditetapkan oleh PT.PLN yaitu sebesar 1 hari/tahun. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan keandalan sistem tenaga di PLTU PJB Gresik tahun 2017 dalam kategori kurang andal atau keandalan pembangkit yang rendah.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit tenaga listrik merupakan bagian dari suatu system tenaga listrik, pada pembangkit tenaga listrik tersebut terdapat beberapa peralatan yang mendukung operasional seperti adanya peralatan kelistrikan, mesin - mesin serta bangunan sipil/kerja. Pembangkit tenaga listrik juga mempunyai komponen - komponen utama yang fungsinya untuk membangkitkan energy listrik seperti:

- a. Boiler

Boiler berfungsi untuk mengubah air (feed water) menjadi uap panas lanjut (superheated steam) yang digunakan untuk memutar turbin.

- b. Turbin Uap

Turbin uap berfungsi mengkonversi energy panas yang terkandung di dalam uap menjadi energy putar (energy mekanik). Poros turbin dikopel dengan poros generator sehingga ketika turbin berputar maka generator juga ikut berputar.

c. Generator

Generator berfungsi untuk mengubah energy putar dari turbin menjadi energy listrik.

d. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap bekas dari turbin (uap yang telah digunakan untuk memutar turbin).

Dalam pengertian prinsip kerjanya pembangkit listrik tenaga uap merupakan pembangkit yang mengandalkan energy kinetik yang diciptakan dari uap air untuk menghasilkan energy listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering. Dari proses tersebut maka dapat dihasilkan energy listrik secara terus - menerus sehingga dapat memenuhi kebutuhan listrik di masyarakat.

2.2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Uap Nagan Raya Aceh

PLTU Nagan Raya merupakan salah satu pembangkit yang di dirikan oleh PT. PLN Unit Pelaksana Pembangkitan Nagan Raya yang mensuplay sub system Aceh dan Sumatera Bagian Utara. Saat ini PLTU Nagan Raya menggunakan batu bara sebagai bahan utama sumber pembakaran pada proses pembangkitan. PLTU Nagan Raya mempunyai 2 unit pembangkitan yaitu Unit 1 dan Unit 2 yang masing – masing mempunyai daya terpasang 110 MW.

Tabel 2. 1 Data Kapasitas PLTU Nagan Raya

Ratings	Unit 1	Unit 2
Number of poles	2	2
Phase	3	3
Power	110 MW	110 MW
Speed	3000 r/min	3000 r/min
Voltage	13.800 V	13.800 V
Frequency	50 Hz	50 Hz

2.2.3. Bagian – bagian atau komponen penunjang PLTU

A. Desalination Plant (Unit Desal)

Peralatan ini berfungsi untuk mengubah air laut (brine) menjadi air tawar (fresh water) dengan metode penyulingan (kombinasi evaporasi dan kondensasi). Hal ini dikarenakan sifat air laut yang korosif, sehingga jika air laut tersebut dibiarkan langsung masuk ke dalam unit utama, maka dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan PLTU.

B. Reverse Osmosis (RO)

Mempunyai fungsi yang sama seperti desalination plant namun metode yang digunakan berbeda. Pada peralatan ini digunakan membran semi permeable yang dapat menyaring garam-garam yang terkandung pada air laut, sehingga dapat dihasilkan air tawar seperti pada desalination plant.

C. Demineralizer Plant (Unit Demin)

Berfungsi untuk menghilangkan kadar mineral (ion) yang terkandung dalam air tawar. Air sebagai fluida kerja PLTU harus bebas dari mineral, karena jika air masih mengandung mineral berarti konduktivitasnya masih tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya GGL induksi pada saat air tersebut melewati jalur perpipaan di dalam PLTU. Hal ini dapat menimbulkan korosi pada peralatan PLTU.

D. Hidrogen Plant (Unit Hidrogen)

Pada PLTU digunakan hydrogen (H_2) sebagai pendingin Generator. Hidrogen plant diperlukan karena untuk mencegah adanya panas yang berlebihan dari generator saat bekerja terus menerus.

E. Chlorination Plant (Unit Chlorin)

Berfungsi untuk menghasilkan senyawa natrium hipoklorit ($NaOCl$) yang digunakan untuk memabukkan/melemahkan/mematikan sementara mikro organisme laut pada area water intake. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya pengerasan (scaling) pada pipa-pipa kondensor maupun unit desal akibat perkembangbiakan mikro organisme laut tersebut.

F. Auxiliary Boiler (Boiler Bantu)

Pada umumnya merupakan boiler berbahan bakar minyak (fuel oil), yang berfungsi untuk menghasilkan uap (steam) yang digunakan pada saat boiler utama start up maupun sebagai uap bantu (auxiliary steam).

G. Coal Handling (Unit Pelayanan Batu-bara)

Merupakan unit yang melayani pengolahan batubara yaitu dari proses bongkar muat kapal (ship unloading) di dermaga, penyaluran ke coalyard sampai penyaluran ke coal bunker.

H. Ash Handling (Unit Pelayanan Abu)

Merupakan unit yang melayani pengolahan abu baik itu abu jatuh (bottom ash) maupun abu terbang (fly ash) dari Electrostatic Precipitator hopper dan SDCC (Submerged Drag Chain Conveyor) pada unit utama sampai ke tempat penampungan abu (ash valley/ash yard).

2.2.4. Keandalan Sistem Pembangkit

Konsep dasar keandalan sangat berperan penting pada suatu sistem pembangkit tenaga listrik dengan perkembangan di era globalisasi ini, sangatlah diperlukan untuk profesionalisme dalam perencanaan, desain, produksi dan operasi dari suatu peralatan/sistem. Dengan adanya konsep keandalan ini maka menghasilkan suatu sistem yang berkualitas tinggi dan handal. Agar memenuhi semua kebutuhan seperti hal yang diatas, maka konsep dari keandalan menjadi tolok ukur untuk kualitas peralatan/sistem pada sistem pembangkit tenaga listrik. Karena suatu sistem yang handal akan mempunyai peluang yang besar untuk memenuhi fungsi kerja yang sebagaimana diharapkan.

Keandalan adalah suatu sistem atau peralatan yang diukur pada berapa lama peralatan itu bekerja sesuai dengan pemenuhan lamanya waktu beroperasi dan keadaan operasi. Keandalan pembangkit itu sendiri bisa dikatakan suatu kemampuan pembangkit untuk memenuhi suatu beban diukur dari tercapai atau tidaknya pemenuhan beban tersebut. Semakin handal suatu pembangkit maka semakin terpenuhi semua beban yang berada disistem pembangkit tersebut. Dibawah ini ada 4 faktor yang berhubungan dengan keandalan pada pembangkit tenaga listrik yaitu :

1. Probabilitas (Probability)

Faktor ini menyatakan bahwa peluang suatu nilai dapat diberikan batasan nilai dari angka 0 sampai 1 dan bisa juga diberikan dari 0 sampai 100 %.

2. Unjuk Kerja (Performance)

Unjuk kerja/*performance* ini menyatakan adanya pemilihan sesuai dengan kemampuan unjuk kerja suatu alat/mesin agar mengetahui seberapa besar unjuk kerja dari alat/mesin tersebut. Jika terjadi kegagalan dalam unjuk kerja maka peralatan/sistem itu dianggap gagal dalam melakukan operasinya.

3. Periode Waktu

Periode waktu ini merupakan faktor yang menyatakan suatu ukuran lama atau tidaknya suatu sistem pembangkit tenaga listrik bekerja.

4. Keadaan / Kondisi Operasi

Kondisi operasi merupakan salah satu faktor untuk menyatakan bagaimana keadaan/kondisi operasi suatu peralatan atau sistem dalam bekerja/beroperasi.

Pada beberapa kejadian pembangkit berada dalam keadaan tidak beroperasi atau berhenti (*stop*), sehingga tidak ada suplai daya yang dialirkan. Dalam hal ini dapat dikatakan kejadian yang terjadi bisa disebut *outage*. Kejadian *Outage* ialah suatu kondisi peralatan tidak beroperasi sesuai dengan kegunaannya atau suatu peralatan yang terlepas/keluar dari rutinitas pengoperasiannya (tidak bekerja). Sistem mempunyai dua tipe *outage* yaitu :

1. *Forced Outage* (Pelepasan langsung/paksa)

merupakan suatu kejadian atau terjadinya suatu gangguan yang berada dalam kondisi darurat dimana dilepaskan paksa yaitu pelepasan yang dilakukan secara langsung. Gangguan yang terjadi bisa disebabkan dari gangguan luar maupun gangguan dari dalam. Karena sistem pembangkit berhubungan dengan kerusakan komponen, maka perlunya pelepasan paksa atau dilepas dengan segera, baik secara manual oleh operator maupun secara otomatis.

2. *Schedule Outage* (Pelepasan Terencana/terjadwal)

merupakan suatu kegiatan dimana sistem dilepas saat adanya keperluan *annual inspection*, pemeliharaan peralatan skala besar, atau gangguan pada

peralatan. Kegiatan ini sudah terjadwal sebelumnya dan dilaksanakan ketika memasuki jadwal tersebut.

2.2.5. Faktor – Faktor Keandalan Pengoperasian Pada Pembangkit

Dalam keandala sistem pembangkit listrik ada beberapa faktor-faktor pengoperasian pembangkit. Berikut beberapa parameter yang digunakan untuk menentukan keandalan pembangkit antara lain :

1. Faktor Beban

Parameter ini merupakan parameter yang penting untuk mengetahui nilai suatu beban baik itu beban yang terjadi harian, mingguan, bulanan dan tahunan. Dapat dilihat pada rumus 2.1 bahwa beban rata-rata akan dibagi dengan beban puncak dalam kurun waktu yang sama.

$$Faktor\ Beban = \frac{Beban\ Rata - rata}{Beban\ Puncak}$$

Beban yang digunakan bisa berupa beban yang terhitung harian, mingguan, bulanan, atau tahunan. Beban rata-rata merupakan jumlah dari hasil produksi energi (kWh) dalam selang waktu tertentu dibagi dengan jumlah jam dari selang waktu tertentu tersebut. Beban puncak merupakan beban yang memiliki persentase tertinggi dalam selang waktu tertentu, misal 1 hari yaitu 24 jam atau satu bulan bahkan satu tahun. Dengan menggunakan parameter faktor beban dapat menggambarkan berbagai macam bentuk dan persentase beban, jika faktor beban berada pada angka yang tinggi maka semakin bagus keandalannya tetapi jika berada pada persentase kecil maka kebalikannya. Maka dari itu pihak penyedia tenaga listrik menginginkan setinggi mungkin faktor beban yang dihasilkan. Dalam praktiknya sendiri, pada pembangkit faktor beban tahunan sistemnya berkisar dari angka 60-80 % dikarenakan pada pembangkit juga bisa terjadi gangguan kerusakan dan pemeliharaan rutin tahunan.

2. Faktor Ketersediaan / Ketersediaan

Parameter yang kedua ini merupakan parameter yang penting juga. Untuk mengetahui besar kecilnya ketersediaan daya yang dimiliki oleh pembangkit tersebut. Dengan pembagian antara daya yang tersedia dengan daya yang

terpasang maka akan menghasilkan besarnya suatu nilai dari faktor ketersediaan. Berikut ini rumus persamaannya yaitu:

$$\text{Faktor ketersediaan} = \frac{\text{Daya tersedia}}{\text{Daya terpasang}}$$

Parameter faktor ketersediaan ini bertujuan untuk menunjukkan bahwa pembangkit tersebut sudah siap belumnya dalam menyediakan daya untuk melayani beban. Dengan penyediaan daya yang tinggi dan besar akan memperlihatkan bahwa pembangkit tersebut mampu untuk melayani beban dan pembangkit itu bisa dibilang handal jika semua beban tersebut terpenuhi secara maksimal. Ketersediaan daya juga akan bergantung dari kesiapan pada peralatan pembangkit dan sistem operasi pembangkit.

3. Faktor Kapasitas (*Capacity Faktor*)

Faktor kapasitas merupakan perbandingan antara hasil produksi energi dalam satu tahun dengan daya terpasang yang dikalikan dengan lama waktu selama satu tahun (8760 jam). Pada parameter faktor kapasitas sebuah unit pembangkit menunjukkan seberapa besar sebuah unit pembangkit tersebut dapat dimanfaatkan selama satu tahun diukur dari segi kemampuan produksinya. Berikut perumusan faktor kapasitas tahunan (8760 jam) yaitu :

$$\text{Faktor Kapasitas} = \frac{\text{Produksi Energi Dalam Satu Tahun}}{\text{Daya Terpasang} \times 8760 \text{ Jam}}$$

Dalam praktiknya, faktor kapasitas tahunan pada PLTU hanya dapat mencapai angka antara 60% sampai 80% karena dioperasikan dalam waktu pemeliharaan dan adanya gangguan atau kerusakan yang dialami oleh PLTU tersebut.

4. Faktor Penggunaan (*Utilisasi*)

Parameter ini merupakan pengukuran dari segi penggunaan suatu beban. Dengan pembagian antara beban puncak dan daya terpasang akan menghasilkan jumlah nilai penggunaan.

$$\text{Faktor Penggunaan} = \frac{\text{Beban Puncak}}{\text{Daya Terpasang}}$$

Parameter faktor penggunaan ini akan menunjukkan berapa kapasitas daya yang terpasang pada sistem. Hal ini bertujuan untuk mengetahui bahwa pembangkit

tersebut mampu atau tidaknya dalam melayani pengguna. Jika disisi pengguna lebih banyak dibandingkan sisi penyedia daya maka kemungkinan perlunya penambahan kapasitas daya atau penambahan pembangkit baru. Kemudian jika disisi pengguna rendah maka menyebabkan kerugian dari sisi keuangan atau pemborosan modal.

5. Faktor Pelayanan (*Service Factor*)

Parameter ini menentukan seberapa besar kehandal suatu pembangkit dalam sisi pelayanan untuk melayani beban. Dengan pembangkitan lama waktu yang dibutuhkan pembangkit untuk beroperasi dengan jumlah jam selama 1 tahun (8760 jam).

$$\text{Faktor Pelayanan} = \frac{t_{OP}}{8760 \text{ jam}}$$

Dalam praktiknya, untuk parameter faktor pelayanan ini tidak dapat mencapai nilai maksimal yaitu 100%, dikarenakan selama satu tahun (8760 jam) ada sedikit waktu yang digunakan untuk pemeliharaan, perbaikan dari gangguan, dan lain sebagainya yang pasti terjadi pada pembangkit. Sehingga dari sisi pelayanan akan sedikit terganggu dan hasil yang dicapai tidak maksimal.

6. Faktor Gangguan Keluar Perawatan (*Maintenance Outage Factor*)

Parameter ini merupakan seberapa besar seringnya terjadi gangguan sehingga harus di perbaiki dan melakukan perawatan dalam selang waktu tertentu. Dengan pembangkitan dari jumlah waktu *maintenance* dibagi dengan lama waktu yang dibutuhkan selama satu tahun (8760 jam).

$$\text{Faktor Gangguan Keluar Perawatan} = \frac{t_{mn}}{8760 \text{ Jam}}$$

Semakin rendah nilai faktor gangguan keluar perawatan yang dihasilkan, maka makin handal pembangkit tersebut. Tetapi jika semakin tinggi tingkat gangguannya maka tidak handal pemangkit tersebut.

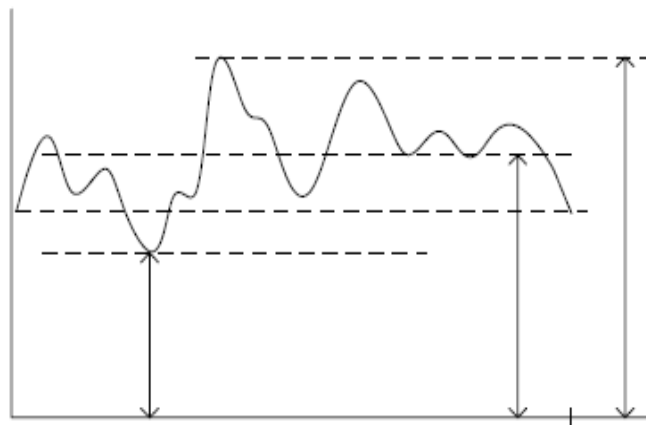
2.2.6. Probabilitas (Probability)

Dalam teorinya probabilitas adalah suatu kejadian yang terjadi secara berulang-ulang yang berhubungan dengan hasil keluaran dari suatu eksperimen dinotasikan dengan (E). Probabilitas ini menyatakan bahwa peluang suatu nilai dapat diberikan batasan nilai dari angka 0 sampai 1 dan bisa juga diberikan dari 0

sampai 100 %. Angka 0 dapat diartikan sebagai tidak adanya terjadi gangguan sedangkan angka 1 diartikan sebagai adanya suatu kejadian gangguan.

2.2.7. Probabilitas Beban

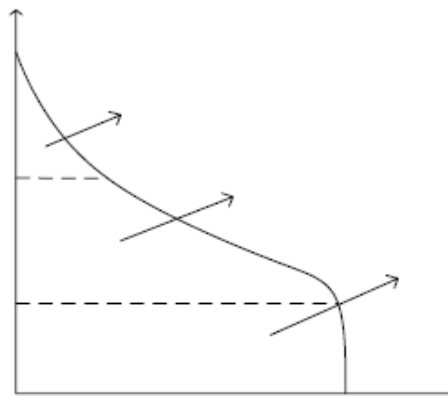
Total asumsi dari pemakaian daya listrik yang digunakan oleh konsumen listrik untuk keperluan sehari-hari secara terus menerus disebut beban listrik. Dapat digambarkan sebagai berikut melalui kurva beban harian.



Gambar 2. 1 Gambar Aktivitas Beban Dalam Satu Hari

(sumber : Buku Pembangkitan Energi Listrik,2005)

Dari gambar 2.1 kita dapat membuat gambaran kurva lama dengan berlangsungnya beban dalam selang waktu 1 tahun.



Gambar 2. 2 Gambaran Pemodelan Kurva Lama Beban Selama Satu Tahun

(sumber : Buku Pembangkitan Energi Listrik,2005)

2.2.8. Forced Outage Rate

FOR merupakan parameter yang digunakan untuk menunjukkan seberapa sering suatu gangguan terjadi pada pembangkit. Ukuran tersebut dapat dirumuskan dengan Forced Outage Rate (FOR), sebagai berikut :

$$FOR = \frac{\text{Jumlah Jam Gangguan Unit}}{\text{Jumlah Jam Operasi Unit} + \text{Jumlah Jam Gangguan Unit}}$$

Nilai FOR yang kecil menyatakan handalnya suatu pembangkit, sedangkan nilai FOR yang besar menyatakan tidak handalnya suatu pembangkit. Semakin handal suatu pembangkit listrik nilai FOR semakin kecil, tetapi jika semakin tidak handal pembangkit maka nilai FOR-nya semakin besar.

Jika suatu sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa pusat pembangkit listrik maka tingkat jaminan tersediannya daya dalam satu sistem tergantung pada kombinasi beberapa unit-unit pembangkit dalam sistem tersebut, semua tergantung pada nilai FOR pada pembangkitnya. Sebagai contoh sebuah sistem terdiri dari 4 (empat) unit pembangkit. Dilihat dari segi penyediaan daya banyaknya kombinasi yang bisa terjadi dalam operasi suatu sistem pembangkit tenaga listrik dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\text{Banyaknya Kombinasi} = 2^n$$

n = jumlah / banyaknya pembangkit

Jadi, dari ke 2 (empat) unit pembangkit tersebut dapat dikombinasikan yaitu : $2^2 = 4$ kombinasi. Setiap kombinasinya dapat dihitung menggunakan persamaan FOR. Dengan demikian besarnya suatu nilai cadangan daya tersedia yang bisa diandalkan tergantung dari nilai FOR dan tingkat pemeliharaan yang baik pada suatu pembangkit akan memperkecil nilai FOR-nya.

2.2.9. Daya Tersedia Dalam Sistem

Suatu kapasitas daya yang terpasang pada sistem merupakan jumlah “rating name plate” untuk semua unit pada sistem tenaga. Biasanya kapasitas untuk daya pada sistem pembangkit tenaga listrik di pasang harus melebihi beban puncak sistem yang ada, adanya kelebihan kapasitas ini disebut kapasitas cadangan. Kapasitas cadangan ini digunakan untuk mempertahankan keandalan sistem pada setiap operasi dan untuk mengatasi beban yang besarnya melebihi dari perkiraan

beban puncak. Semakin besar kapasitas cadangan daya maka semakin tinggi keandalan suatu sistem tersebut.

Keandalan suatu operasi sistem pembangkit tidak hanya bergantung pada cadangan daya saja tetapi tergantung juga pada nilai besar kecilnya *Forced Outage Hours* per tahun dari hasil operasi unit-unit pembangkit. Terjaminnya tingkat keandalan operasi pembangkit listrik tergantung pada:

- a. Besarnya cadangan yang tersedia.
- b. Besarnya *Forced Outage Hours* unit pembangkit dalam satu tahun.

Seperti yang dijelaskan diatas secara kuantitatif diukur dari tingkat besarnya cadangan daya yang tersedia dan secara kualitatif diukur dari segi sering dan tidaknya suatu pembangkit mengalami gangguan, semua hal ini merupakan faktor utama untuk menentukan suatu kualitas cadangan daya yang tersedia.

2.2.10. Kemungkinan Terjadinya Probabilitas Individu (PI)

Untuk menghitung kemungkinan (Probability) terjadinya berbagai nilai daya yang mengalami Forced Outage setelah terjadinya kombinasi dapat di lakukan dengan persamaan-persamaan sebagai berikut ini:

$$y_n = \{(y_{n-1} + x) \text{ dan } (y_{n-1} + 0)\}$$

Keterangan :

y_n = Angka – angka yang manunjukkan besarnya daya setelah ada unit ke-n

y_{n-1} = Merupakan angka – angka yang menunjukkan besarnya daya sebelum ada unit ke-n

X = merupakan daya dari unit ke-n

Kemungkinan terjadinya daya setelah ada unit ke-n untuk angka-angka daya diberikan dalam persamaan sebagai berikut :

$$p_n(y_{n-1} + x) = p_n(y_{n-1})(1 - q_n)$$

$$p_n(y_{n-1} + 0) = p_{n-1}(y_{n-1})q_n$$

2.2.11. Kemungkinan Terjadinya Probabilitas Kumulatif

Kemungkinan kumulatif atau Probabilitas kumulatif (PK) merupakan kemungkinan terjadinya suatu *Forced outage* dengan nilai KW tertentu atau lebih. Dalam perhitungan probabilitas kumulatif pembangkit menggunakan persamaan berikut :

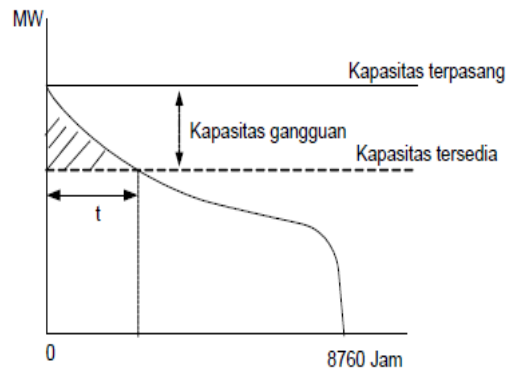
$$P(X) = \sum_{i=1}^n p_i P^1(X - C_i)$$

$P(X)$ adalah probabilitas kumulatif dari kondisi capacity outage sebesar X MW sesudah unit ditambahkan, n adalah banyaknya kondisi dari unit, C_1 merupakan capacity outage dari kondisi i untuk unit yang ditambahkan, dan P_i merupakan probabilitas kondisi i dari unit yang beroperasi.

2.2.12. Indeks Keandalan Kehilangan Beban / *Loss Of Load Probability*

Suatu unit pembangkit dapat dikatakan handal jika unit pembangkit tersebut dapat memenuhi/melayani beban tanpa mengalami gangguan dan beban yang terlayani mencukupi dengan daya yang tersedia pada pembangkit tersebut, maka dapat dikatakan unit pembangkit tersebut handal. Tetapi pada prinsipnya unit-unit pembangkit setiap waktunya bisa mengalami gangguan yang menyebabkan unit-unit pembangkit tidak beroperasi atau tidak menyediakan daya.

Loss Of Load Probability (LOLP) / Kehilangan beban merupakan suatu kondisi dimana kapasitas daya yang tersedia pada pembangkit lebih kecil dibandingkan beban sistem yang terpasang sehingga terjadinya pelepasan sebagian beban. Kemungkinan kehilangan beban ini menunjukkan bahwa besarnya kecilnya suatu nilai kemungkinan terjadinya kehilangan beban dikarenakan kapasitas daya yang tersedia pada pembangkit itu sama dan kapasitas daya lebih kecil dari beban sistem yang terpasang, biasanya dinyatakan dalam satuan waktu yaitu hari per tahun. Kapasitas daya tersedia merupakan kapasitas daya terpasang dikurangi kapasitas gangguan yang terjadi pada unit-unit pembangkit tersebut. Dibawah ini gambaran yang menunjukkan bahwa kurva lama beban dengan kapasitas daya tersedia dalam sistem selama satu tahun (8760 jam).



Gambar 2. 3 Kurva Lama Beban dan Kapasitas Tersedia Dalam Sistem

(Sumber : Buku Pembangkitan Energi Listrik,2005)

Pada Gambar 2.3 menunjukkan bahwa kurva lama beban dan garis daya terpasang serta garis-garis daya tersedia. Terdapat 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*). Sedangkan selisih antara daerah daya tersedia tanpa *forced outage* dengan daerah daya tersedia dengan *forced outage* maka hal tersebut disebabkan oleh gangguan atau kerusakan (*forced outage*).

Disebut kemungkinan kehilangan beban atau Loss of Load Probability (LOLP) merupakan hasil perkalian antara kemungkinan terjadinya beban sama atau lebih besar dari besar daya tersedia dengan waktu terjadinya kehilangan beban dinyatakan dalam hari pertahun. Jadi secara umum persamaannya sebagai berikut:

$$LOLP = P \times t$$

Dimana:

P = probabilitas terjadinya beban sama atau lebih besar dari daya tersedia

t = waktu terjadinya kehilangan beban

Semakin kecil nilai suatu LOLP, maka semakin baik keandalan sistem pembangkit tersebut. Tetapi, jika semakin besar nilai LOLP yang diperoleh, maka semakin rendah keandalan sistem pembangkit tersebut. Standar yang diterapkan RUPTL PLN Tahun 2019-2028 mengenai LOLP untuk sistem tenaga listrik diluar Jawa yaitu 35-40%.