

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Konsep Umum Keandalan**

Keandalan adalah istilah abstrak yang berarti daya tahan, dapat diandalkan, dan kinerja yang baik. Namun, untuk ilmu keteknikan, lebih dari sekedar istilah abstrak, yaitu sesuatu yang dapat dihitung, diukur, dievaluasi, direncanakan, dan dirancang menjadi peralatan atau sistem. Keandalan berarti kemampuan sistem untuk melakukan fungsinya sesuai yang telah dirancang pada keadaan di bawah kondisi operasi yang ditemui selama masa pakai yang diproyeksikan [5]. Keandalan dapat diartikan sebagai peluang suatu peralatan untuk beroperasi sesuai dengan yang direncanakan pada selang waktu dan kondisi tertentu. Keandalan sistem tenaga listrik merupakan tolak ukur tingkat pelayanan suatu sistem terhadap suatu permintaan energi listrik konsumen [4]. Secara umum, keandalan sistem kelistrikan mengatasi masalah gangguan layanan dan kehilangan beban listrik. Berbagai indeks telah dikembangkan untuk mengukur keandalan dan biayanya di area sistem tenaga seperti kemungkinan kehilangan beban (LOLP), ekspektasi kehilangan beban (LOLE), frekuensi pengurangan beban yang diharapkan (EFLC), durasi pengurangan beban yang diharapkan (EDLC), durasi pembatasan yang diharapkan (EDC), dan energi yang diharapkan tidak disuplai (EENS) [6]. Dalam suatu keandalan sistem tenaga listrik terdapat empat faktor yang berkaitan dengan keandalan, yaitu probabilitas, bekerja sesuai dengan fungsinya, periode waktu dan kondisi operasi.

1. Probabilitas

Probabilitas adalah suatu ukuran yang dapat dinyatakan secara angka dengan nilai 0 dan 1 atau antara 0 hingga 100%.

2. Bekerja sesuai dengan fungsinya

Faktor yang menandakan perlunya diadakan kriteria-kriteria tertentu untuk menyatakan peralatan atau sistem beroperasi secara memuaskan.

3. Periode waktu

Faktor yang menyatakan ukuran dari periode waktu yang digunakan dalam pengukuran probabilitas.

#### 4. Kondisi operasi

Faktor yang menyatakan pada kondisi operasi yang dilakukan untuk mendapatkan angka keandalan.

### 2.2 Sistem Pembangkitan Listrik

Sistem Pembangkitan Listrik Pada sistem tenaga listrik terdiri dari sistem pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Sistem pembangkitan berfungsi untuk menyediakan daya agar beban sistem dapat terpenuhi. Dalam pembangkitan dan produksi energi listrik dapat diperoleh dari berbagai sumber energi primer, seperti batu bara, minyak dan gas bumi, panas bumi, angin, air, dan energi matahari. Bagian yang paling umum dalam membangkitkan energi listrik menggunakan mesin listrik yang biasa disebut generator saat menghasilkan listrik DC dan alternator saat menghasilkan listrik AC. Mesin ini yang akan mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik dan juga harus terkopel secara mekanik dengan prime movers. Dimana dengan sumber energi primer yang ada akan menjadi prime movers dalam mengkopel sehingga energi listrik dapat dibangkitkan. Sumber energi pembangkit listrik dibedakan menjadi 3, yaitu [2]:

- a. Pembangkit tenaga listrik konvensional atau jenis energi tidak terbarukan yang menggunakan bahan bakar batubara, minyak dan gas bumi.
- b. Pembangkit tenaga listrik renewable atau jenis energi terbarukan yang menggunakan sumber energi alam seperti matahari, angin, panas bumi, dan hydrogen.
- c. Pembangkit tenaga listrik energi baru yang menggunakan bahan bakar nuklir.

Berdasarkan factor kapasitasnya unit pembangkit dapat digolongkan menjadi tiga unit golongan yaitu :

- a. Unit pemikul beban dasar (*Base Load*).

Unit pemikul beban dasar dioperasikan dengan factor kapasitas tinggi (75% s/d 100%). Untuk unit pembangkit beban dasar yaitu PLTU, PLTGU, PLTN dan PLTA.

b. Unit pemikul beban menengah (*Medium Load*).

7 Unit pemikul beban menengah dioperasikan dengan factor kapasitas antara (20% s/d 75 %). Unit pemikul beban medium yaitu PLTA dan PLTU.

c. Unit pemikul beban puncak (*Peak Load*).

Unit pemikul beban puncak hanya dioperasikan selama permintaan beban puncak, dioperasikan dengan faktor kapasitas antara (0% s/d 20%). Yang termasuk dalam unit pemikul beban puncak adalah PLTG, PLTD, dan PLTA

### **2.3 Keandalan Pembangkit**

Suatu unit pembangkit dapat keluar dari sistem operasi tenaga listrik, sehingga tidak dapat membangkitkan energi listrik untuk mensuplai daya listrik. Dalam keadaan ini unit pembangkit mengalami gangguan. Gangguan merupakan keadaan komponen jika tidak dapat melaksanakan fungsi sebenarnya akibat dari suatu atau beberapa kejadian yang berhubungan langsung dengan komponen tersebut. Gangguan yang terjadi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu : 1. Gangguan Paksa Gangguan paksa adalah gangguan yang disebabkan oleh kondisi darurat yang berhubungan langsung dengan komponen atau sistem atau peralatan yang mengakibatkan komponen atau sistem atau peralatan harus dipisahkan dari sistem oleh suatu sistem proteksi secara otomatis atau manual. 2. Gangguan Terjadwal Gangguan terjadwal adalah gangguan yang menyebabkan komponen atau sistem atau peralatan dikeluarkan dari sistem.

Hal ini biasanya dilakukan guna pemeliharaan komponen atau sistem atau peralatan yang telah di jadwalkan. Keandalan unit-unit pembangkit dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain gangguan kerusakan dan pemeliharaan rutin. Faktor-faktor tersebut memungkinkan unit-unit pembangkit mengalami keluar paksa FOR. Maka ukuran sering tidaknya unit pembangkit mengalami gangguan dinyatakan dengan FOR[7].

## **2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Sei Raya**

Pusat Listrik (PLTD) Sei Raya atau PLTD Sei Raya adalah PLTD besar ketiga yang dibangun oleh PT. PLN(Persero) Wilayah Kalimantan Barat setelah PLTD Cemara (sudah tidak beroperasi) dan PLTD Siantan. Untuk saat ini PLTD Sei Raya merupakan salah satu unit pembangkit di bawah PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Kapuas. Unit pembangkit lainnya adalah Pusat Listrik (PLTD) Siantan, Pusat Listrik (PLTG) Siantan dan Pusat Listrik (PLTD) Singkawang.

PLTD Sei Raya dibangun pada tahun 1987 dengan jumlah mesin yang terpasang sebanyak 4 (empat) unit mesin Merk SWD 16 TM 410 dengan kapasitas masing - masing mesin sebesar 8.800 kW sehingga total daya terpasang sebesar 35.200 kW. Seiring dengan bertambahnya kebutuhan daya pada Sistem Kelistrikan Khatulistiwa, maka pada tahun 1993 PLTD Sei Raya mendapatkan tambahan mesin pembangkit baru sebanyak 2 (dua) unit mesin Merk Sulzer 12 ZAV 40 S dengan kapasitas masing-masing mesin sebesar 7.600 kW sehingga total daya terpasang bertambah menjadi 50.400 kW.

Pada tahun 1997 PLTD Sei Raya mendapatkan tambahan 1 (satu) unit mesin pembangkit baru yaitu mesin Merk Wartsila W12 V 46 dengan kapasitas terpasang sebesar 10.860 kW sehingga total daya terpasang bertambah menjadi 61.260 kW. Mesin pembangkit baru ini lebih dikenal dengan sebutan PLTD Apung, karena seluruh mesin beserta auxiliariesnya ditempatkan pada satu kapal terapung / tongkang dan penempatannya di Sungai Kapuas. Pada akhir tahun 1998 Pulau Madura mengalami krisis listrik akibat putusnya kabel laut yang menghubungkan listrik dari Pulau Jawa, untuk membantu krisis listrik tersebut PLTD Apung beserta operatornya dikirim ke Pulau Madura selama kurang lebih 3 (tiga) bulan. Selanjutnya pada awal tahun 1999, PLTD Apung dikirim ke Pulau Bali guna membantu mengatasi krisis listrik dan pada akhir tahun 1999 PLTD Apung dikirim kembali ke Pontianak.

Pada Tahun 2002 PLTD Apung kembali dikirim ke luar Pontianak untuk membantu mengatasi krisis listrik yaitu ke Propinsi Nangroe Aceh Darussalam. PLTD Apung menjadi salah satu saksi bisu terjadinya musibah besar bencana alam tsunami pada tahun 2004 dan saat ini dijadikan salah satu monumen untuk

mengenang terjadinya musibah tersebut. Pada tahun 2001 s/d 2007, pemeliharaan mesin - mesin PLTD Sei Raya dilakukan oleh pihak ketiga yaitu PT. Wartsila Indonesia dalam bentuk Total Maintenance Contract (TMC).

Tahun 2008 s/d 2012, kontrak TMC berubah menjadi Long Term Maintenance Contract (LTMC) yaitu kontrak pengoperasian dan pemeliharaan untuk 4 (empat) unit mesin SWD 16 TM 410 dan 2 (dua) unit mesin Sulzer12 ZAV 40 S. Selama durasi kontrak ini, 2 (dua) unit mesin mengalami gangguan permanen sehingga tidak bisa beroperasi kembali yaitu mesin SWD 16 TM 410 unit 1 (satu) dan unit 3 (tiga) mengalami gangguan counter weight & connecting rod putus menyebabkan crankcase pecah (rusak parah). Tahun 2013 LTMC berubah menjadi Maintenance Agreement yaitu kontrak pemeliharaan 2 (dua) unit mesin SWD 16 TM 410 dan 2 (dua) unit mesin Sulzer 12 ZAV 40 S. Awal tahun 2014 sampai dengan sekarang pengoperasian dan pemeliharaan sudah dilakukan secara mandiri oleh PLN

## **2.5 LOLP (Loss of Load Probability)**

LOLP adalah nilai yang diharapkan, kadang-kadang dihitung berdasarkan beban puncak per jam masing-masing hari dan kadang-kadang pada setiap jam beban (24 dalam sehari). Selain itu, pada awalnya, LOLP digunakan untuk mencirikan kecukupan generator untuk melayani beban pada sistem daya massal, tidak secara langsung memodelkan keandalan sistem transmisi dan distribusi di mana sebagian besar pemadaman sebenarnya terjadi baru-baru ini dibuat bahwa LOLP biasanya digunakan untuk memperkirakan indeks keandalan.

Indeks keandalan LOLP adalah suatu kondisi dimana beban puncak melebihi kapasitas dari daya yang tersedia. Metode perhitungan indeks keandalan LOLP dapat digunakan untuk mengevaluasi keperluan dari cadangan daya yang diperlukan pada industri listrik. Untuk sistem single area case, two area case, three area case dapat dihitung nilai dari keandalannya dengan menggunakan metode ini. Tidak hanya itu, perhitungan dengan metode LOLP memiliki keunggulan lain, diantaranya sistem kelistrikan dari semua interkoneksi dapat dihitung nilai dari indeks keandalan pembangkitnya.

LOLP biasa dinyatakan dalam angka persen, dan LOLE merupakan konversi angka nilai LOLP dalam hari pertahun. Makin kecil nilai LOLP berarti garis daya tersedia harus makin kecil kemungkinannya memotong garis kurva lama beban, ini berarti bahwa daya terpasang harus makin tinggi serta juga FOR juga harus makin kecil dengan perkataan lain diperlukan investasi yang lebih besar dan juga kualitas unit pembangkit yang lebih baik.

Kemungkinan bahwa sistem tidak dapat melayani beban, tidak dapat melayani kebutuhan pelanggan akan tenaga listrik dinyatakan dengan indeks LOLP. Untuk menghitung LOLP maka aspek bagaimana pengaruh penambahan atau pengurangan unit pembangkit dalam sistem terhadap kemungkinan terjadinya 17 kumulatif KW on outage harus dibandingkan dengan kurva lama beban dari sistem. Walaupun nilai kemungkinan terjadinya KW on outage adalah sama, tetapi kalau karakteristiknya berlainan, maka nilai LOLP juga berlainan. Kurva lama beban disusun berdasarkan kurva beban harian. Nilai LOLP dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$LOLP = \sum_{t=1}^{t=365} p \times t$$

dengan:

- t adalah waktu mulai 1 hari sampai dengan 365 hari (1 tahun)
- p adalah probabilitas atau kemungkinan terjadinya kumulatif kapasitas sistem lebih kecil dari beban ( $Capacity < Load$ )

Usaha untuk memperkecil nilai LOLP yang berarti mempertinggi keandalan, dapat dilakukan dengan melakukan investasi pada pembangkit. Tindakan lain yang selalu harus dilakukan adalah memelihara unit-unit pembangkit yang ada agar dapat angka FORnya tidak melampaui angka-angka standar.

## **2.6 Loss of Load Expectation (LOLE)**

*Loss of Load Expectation (LOLE)* merupakan suatu nilai yang menunjukkan saat beban puncak harian melebihi kapasitas yang tersedia. Pengertian lain dari LOLE adalah jumlah unit pada suatu waktu dalam jam atau hari per interval waktu dalam hitungan tahun yang dimana tuntutan bebannya melebihi kapasitas[3]. Nilai *Loss of Load Expectation (LOLE)* ditampilkan dalam jumlah hari / tahun, yang

berarti jumlah hari dimana kapasitas tersedia sistem tidak dapat memenuhi beban puncak harian. Nilai ini merupakan resiko tahunan yang dihadapi sistem pembangkit listrik dalam memenuhi permintaan beban listrik pelanggan atau konsumen [7].

Berikut ini merupakan persamaan perhitungan Loss of Load Expectation (LOLE) :

$$LOEE = \sum_{n=1}^k E_k \times P_k$$

Keterangan :

$E_k$  = Energi yang tidak terlayani

$P_k$  = Probabilitas Kumulatif

### 2.7 Force Outage Rate (FOR)

Menurut standard yang telah ditetapkan, pembangkit yang baik dapat memberikan layanan kepada konsumen dengan tidak adanya gangguan maupun kurangnya gangguan. Keandalan unit pembangkit itu sendiri dan tingkat sering tidaknya gangguan merupakan komponen yang berpengaruh pada keandalan sistem.

Forced Outage Rate (FOR) merupakan tingkat kegagalan sistem unit pembangkit. Ini dapat digunakan sebagai indikator untuk mengetahui seberapa sering suatu pembangkit mengalami gangguan[9]. Berikut ini adalah persamaan dari Force Outage Rate :

$$FOR = \frac{DG}{JO+DG}$$

Keterangan :

DG = Durasi Gangguan (Menit/60)

JO = Jam Operasi (Jam)