

Evaluasi Keandalan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Di PT. PJB Unit Pembangkitan Paiton

Alfi Syukri¹, I Nengah Sumerti², M. Isnaeni BS²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

²Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

Abstrak

Dalam mensuplai energi listrik, unit pembangkit cenderung mengalami gangguan yang menyebabkan unit pembangkit tersebut keluar dari jaringan (*outage*) ataupun tidak dapat beroperasi secara maksimal. Kemampuan tiap unit pembangkit dapat mengalami penurunan (*derated*) karena adanya sebagian komponen unit pembangkit mengalami kerusakan. Oleh karena itu, analisis ketersediaan pembangkit diperlukan agar kebutuhan listrik tersebut dapat terpenuhi.

Pada skripsi ini dilakukan analisis terhadap ketersediaan PLTU Paiton unit 1 dan 2 milik PT. PJB Unit Pembangkitan Paiton dengan metode *Loss of Load Probability (LOLP)*. Perhitungan nilai *LOLP* ini dengan cara manual menggunakan program *Microsoft Office Excel 2007*. Analisis dengan metode *LOLP* dihitung dengan menggunakan dua model, yaitu model dua keadaan yang hanya menggambarkan pembangkit dalam keadaan *Up* (beroperasi) dan *Down* (mati), dan model tiga keadaan yang menggambarkan kemampuan pembangkit menurun (*derated*). Perhitungan indeks *LOLP* harus memperhatikan keadaan *derated* agar ketelitian hasilnya lebih tinggi. Pada metode ini, digunakan suatu kurva lama beban (*load duration curve*) yang diwakili oleh variasi beban puncak harian (*daily peak load variation*) selama tahun 2009.

Hasil analisis menunjukkan nilai *LOLP* yang cukup besar, yaitu untuk model dua keadaan sebesar 22.06 hari/tahun dan untuk model *derated* sebesar 41.10 hari/tahun. Besarnya nilai *LOLP* PLTU Paiton unit 1 dan 2 ini diakibatkan oleh kemampuan unit pembangkit yang tidak dapat beroperasi secara penuh (*full load*) karena gangguan peralatan dan pemeliharaan.

Kata kunci: *Derated, Ketersediaan pembangkit, Loss of Load Probability.*

1. Pendahuluan

Salah satu hal penting dari penyediaan pasokan energi listrik adalah keandalan. Keandalan kapasitas pembangkit didefinisikan sebagai persesuaian antara kapasitas pembangkit yang terpasang terhadap kebutuhan beban. Artinya pasokan energi diharuskan selalu tersedia untuk melayani beban secara kontinyu.

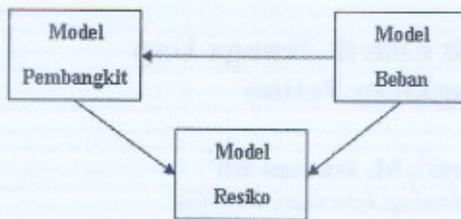
Keberadaan PLTU Paiton unit 1 dan 2 memegang peranan yang sangat penting dalam menyuplai energi listrik wilayah Jawa-Bali.. Masalah yang muncul pada sektor pembangkitan adalah gangguan/kerusakan peralatan sehingga menyebabkan unit *outage* ataupun tidak dapat beroperasi secara maksimal dalam memikul beban. Sangat penting untuk mengetahui tingkat keandalan unit pembangkit sebagai bahan evaluasi dalam rangka mencapai keandalan sistem yang lebih baik di masa yang akan datang. Metode yang digunakan untuk menganalisa masalah ini yaitu metode *LOLP (Loss of Load Probability)*.

Metode *Loss of Load Probability (LOLP)* memberikan nilai keandalan pembangkit dinyatakan dalam hari atau jam pertahun, yang digunakan untuk pengembangan kapasitas pembangkit. Kehilangan beban (*loss of load*) akan terjadi ketika beban sistem melebihi kapasitas pembangkit yang tersedia dalam pelayanan. Probabilitas dari keseluruhan permintaan yang tidak dapat terlayani dikenal sebagai probabilitas kehilangan beban (*loss of load probability* atau *LOLP*).

2. Dasar Teori

2.1 Metode Dasar

Konsep dasar dalam evaluasi keandalan sistem pembangkit tersusun atas tiga model: model pembangkit, model beban, dan model resiko, seperti gambar 1. Model pembangkit berisikan seluruh pembangkit dan model beban berisikan beban total dari sistem. Kedua model tersebut digabungkan untuk mendapatkan indeks keandalan sesuai dengan model resiko yang digunakan.



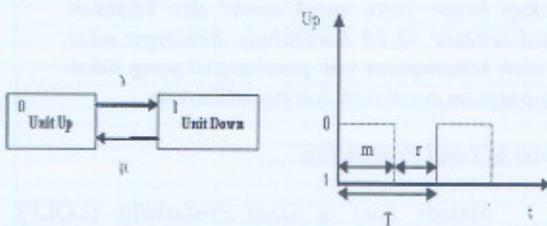
Gbr. 1- Konsep Dasar Evaluasi Keandalan Sistem Pembangkit.

2.2 Model Sistem Pembangkit

Pemodelan ini dimaksudkan untuk membedakan pembangkit yang bertugas memikul beban dasar (*base load*), dan pembangkit yang dipengaruhi oleh keadaan derating (*partial output*). Pemodelan kedua jenis pembangkit tersebut dikenal dengan model dua keadaan (*2-state model*), dan model keadaan *derated*.

2.2.1 Model Dua Keadaan

Unit-unit pembangkit beban dasar (*base load*), dimana pembangkit tersebut dioperasikan selama 24 jam perhari, umumnya cukup didekati dengan model yang terdiri atas dua keadaan yaitu : *up* (operasi) dan *down* (tidak beroperasi). Hanya ada dua kemungkinan, yaitu beroperasi dan mati. Tanda panah arah bolak-balik adalah laju perpindahan keadaan, atau sering disebut *transition rate*.



Gbr. 2- Model Dua Keadaan Unit Pembangkit

λ adalah tingkat kegagalan unit (*failure rate*) dan μ adalah tingkat perbaikan unit (*repair rate*). Parameter dasar bagi unit pembangkit yang dipakai dalam evaluasi kapasitas statik sistem pembangkit adalah *unavailability* (U), yaitu probabilitas bahwa sebuah unit ditemukan dalam keadaan *down* secara terpaksa (*forced outage*) pada suatu saat yang akan datang.

Umumnya dikenal dengan nama *Forced Outage Rate* (FOR), yang persamaannya adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Availability} = A &= \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{m}{m+r} = \frac{m}{T} = \frac{f}{\lambda} \\
 &= \frac{\sum [\text{Up Time}]}{\sum [\text{Down Time}] + \sum [\text{Up Time}]} \quad (2.1) \\
 &= \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{r}{m+r} = \frac{r}{T} = \frac{f}{\mu}
 \end{aligned}$$

$$\text{Unavailability (FOR)} = U$$

$$= \frac{\sum [\text{Down Time}]}{\sum [\text{Down Time}] + \sum [\text{Up Time}]} \quad (2.2)$$

dengan:

- m = mean time to failure = MTTF = $1/\lambda$
- r = mean time to repair = MTTR = $1/\mu$
- $m+r$ = mean time between failure = MTBF = $1/f$
- f = cycle frequency = $1/T$
- T = cycle time = $1/f$

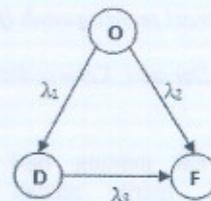
Namun seperti pada *availability* dimana $t \rightarrow \infty$, maka persamaan tersebut menjadi:

$$\text{Unavailability (EFOR)} = \frac{\text{FOH} + \text{EFDH}}{\text{FOH} + \text{EFDHRS} + \text{SH}} \quad (2.3)$$

2.2.2 Model Derated

Dalam proses pengaturan beban, unit pembangkit cenderung mengalami permasalahan penurunan daya (*derating*). Derating terjadi apabila daya keluaran (MW) unit kurang dari daya mampu netto unit pembangkit. Hal ini disebabkan oleh adanya gangguan peralatan dan bukan pengaturan sistem, baik yang terencana maupun yang tidak terencana.

Model pembangkit terdiri dari tiga keadaan: 1) bekerja penuh (O), 2) bekerja dengan output sebagian/*derated* (D), dan 3) failed (F).



Gbr. 3- Model Derated Unit Pembangkit.

Untuk menghitung probabilitas keadaan model *derated* dapat menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 P(\text{down}) &\approx \lambda_2 T \\
 &= \frac{\sum [\text{Down Time}]}{\sum [\text{Down Time}] + \sum [\text{Derated Time}] + \sum [\text{Up Time}]} \quad (2.4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P(\text{derated}) &\approx \lambda_1 T \\
 &= \frac{\sum [\text{Derated Time}]}{\sum [\text{Down Time}] + \sum [\text{Derated Time}] + \sum [\text{Up Time}]} \quad (2.5)
 \end{aligned}$$

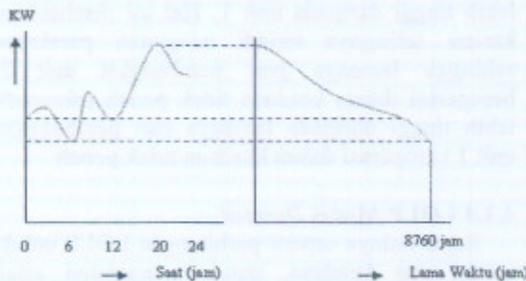
$$P(\text{operating}) \approx 1 - (\lambda_1 + \lambda_2) T$$

$$(2.6) \frac{\Sigma [\text{Up Time}]}{\Sigma [\text{Down Time}] + \Sigma [\text{Derated Time}] + \Sigma [\text{Up Time}]}$$

dengan:
 $\Sigma[\text{DownTime}]$ =jumlah jam unit tidak beroperasi
 $\Sigma[\text{DeratedTime}]$ =jumlah jam unit mengalami derating
 $\Sigma[\text{UpTime}]$ =jumlah jam unit beroperasi

2.3 Model Beban

Disamping model pembangkit, untuk evaluasi keandalan sistem pembangkit diperlukan suatu kurva lama beban (*load duration curve*). Model ini biasa diwakili oleh variasi beban puncak hariannya (*daily peak load variation*) dan ditampilkan dalam bentuk kurva lama beban.



Gbr.4- Kurva Beban Harian dan Kurva Lama Beban

2.4 Model Resiko

Indeks keandalan diperoleh dari model resiko yang merupakan gabungan antara model pembangkitan dengan model beban. Salah satu metode dasar yang digunakan untuk menganalisa keandalan pembangkit adalah metode *loss of load probability* (LOLP). LOLP dapat digunakan untuk mengukur resiko kehilangan beban jam perhari ataupun dalam periode waktu tertentu.

Besarnya nilai LOLP dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$(2.7) \text{LOLP} = \sum_{k=1}^n P_k \cdot t_k$$

dengan:
 P_k =nilai probabilitas individual yang berhubungan dengan kapasitas keluaran.
 t_k =jumlah waktu interval tertentu kapasitas keluaran.

3. Metode Penelitian

Objek penelitian menyangkut lokasi penelitian dan data yang digunakan dalam penyelesaian masalah. Lokasi dari objek penelitian adalah PLTU Paiton unit 1 dan 2 milik

PT. PJB Unit Pembangkitan Paiton yang memiliki kapasitas total sebesar 800 MW dimana kedua unit pembangkit dioperasikan sepanjang hari selama 24 jam untuk memikul beban dasar (*base load*) dengan beban puncak mencapai 766 MW. Energi listrik yang dibangkitkan disalurkan melalui Jaringan Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV ke sistem interkoneksi Jawa-Bali.

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah data-data teknis yang memiliki hubungan dengan analisis yang akan disusun, bahan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Data teknis ketersediaan unit pembangkit PLTU Paiton yang berisi jumlah jam unit pembangkit, jumlah gangguan, jumlah *start* dan *shut down* unit pembangkit dari tahun 2005-2009.
2. Data *derated* unit pembangkit selama tahun 2009.
3. Data beban harian unit pembangkit selama tahun 2009.

4. Analisis dan Pembahasan

4.1 Analisis Keandalan Sistem PLTU

Perhitungan ini dimaksudkan untuk membedakan pembangkit yang bertugas memikul beban dasar (*base load*) dan adanya kemungkinan unit-unit pembangkit yang mempunyai kemampuan tidak penuh (*derated state*). Pemodelan jenis pembangkit tersebut dikenal dengan pemodelan dua keadaan dan pemodelan *derated* (keluaran tidak penuh). Untuk mendapatkan nilai kemungkinan kehilangan beban perlu diketahui probabilitas individual masing-masing keadaan.

4.1.1 Probabilitas Model Dua Keadaan

Analisis model dua keadaan ini dilakukan dengan menghitung nilai EFOR dalam suatu periode tertentu untuk masing-masing unit. Data yang digunakan adalah data pengusahaan unit pembangkit yang diambil dalam rentang waktu 2005-2009.

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai EFOR tiap unit pembangkit.

Tabel.1- EFOR Model Dua Keadaan

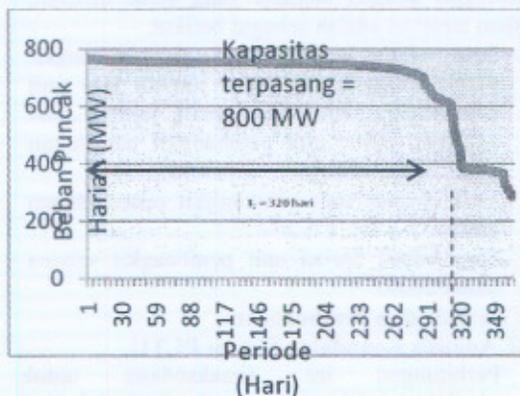
Jenis Pembangkit	EFOR/P(down)	P(up)
PLTU Unit 1	0.040579	0.959421
PLTU Unit 2	0.029383	0.970617

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa besarnya nilai EFOR ini disebabkan karena jam operasi yang tinggi, terkait peran PLTU sebagai *base power plant*, dimana umur sebuah peralatan listrik juga ditentukan oleh banyaknya jam operasi dari peralatan. Jika dibandingkan, nilai EFOR untuk Unit 1 jauh lebih tinggi daripada EFOR Unit 2. Hal ini disebabkan karena jam

gangguan unit pembangkit untuk Unit 1 lebih besar daripada jam gangguan untuk Unit 2.

4.1.2 LOLP Model Dua Keadaan

Indeks keandalan LOLP diperoleh dari model resiko yang merupakan gabungan antara model pembangkitan dengan model beban. Model beban disini diwakili oleh variasi beban puncak harian selama tahun 2009. Sedangkan model pembangkitan disajikan dalam *capacity outage probability table* yang digunakan dalam perhitungan LOLP.



Gbr.5- Periode Waktu Kehilangan Beban Model Dua Keadaan

Tabel.2- Perhitungan LOLP Model Dua Keadaan

Cap. Out (MW)	Cap.In (MW)	Individual Probability	Waktu (hari)	LOLP (hari/tahun)
0	800	0.931230332	-	-
400	400	0.067577334	320	21.62474688
800	0	0.001192333	365	0.435201545
Jumlah				22.05994843

Untuk model dua keadaan, besar dan kecilnya LOLP dipengaruhi nilai EFOR dari masing-masing unit, semakin besar EFOR maka semakin besar LOLP nya dan apabila EFOR semakin kecil maka akan semakin kecil LOLP nya.

JenisPembangkit	P(Up)	P(Derated)	P(Down)
PLTU Unit 1	96.8789%	0.3827%	2.7383%
PLTU Unit 2	89.9024%	6.4306%	3.6669%

4.1.3 Probabilitas Model Derated

Pada PLTU Paiton Unit 1 dan 2, masing-masing unit 400 MW memiliki keluaran tidak-penuh (*derated*) sebesar 100 MW. Untuk menganalisis model pembangkit seperti ini selain menggunakan model dua keadaan yang hanya menggambarkan pembangkit dalam keadaan *Up* (beroperasi) dan *Down* (mati) saja, dapat juga digunakan analisis model keadaan *derated* yang terdiri dari tiga keadaan yaitu *Up* (beroperasi), *Derated* (keluaran tidak penuh), dan *Down* (mati). Data yang digunakan untuk menghitung

probabilitas keadaan *derated* adalah data derating selama tahun 2009.

Tabel.3- Data Lama Jam Derating Tahun 2009

Keadaan (MW)	Unit 1 (jam)	Unit 2 (jam)
Full Capacity (O) 400 MW	7874.32	7721.41
Derated (D) 100 MW	31.11	552.30
Failed (F) 0 MW	222.57	314.94
Jumlah :	8128	8588.65

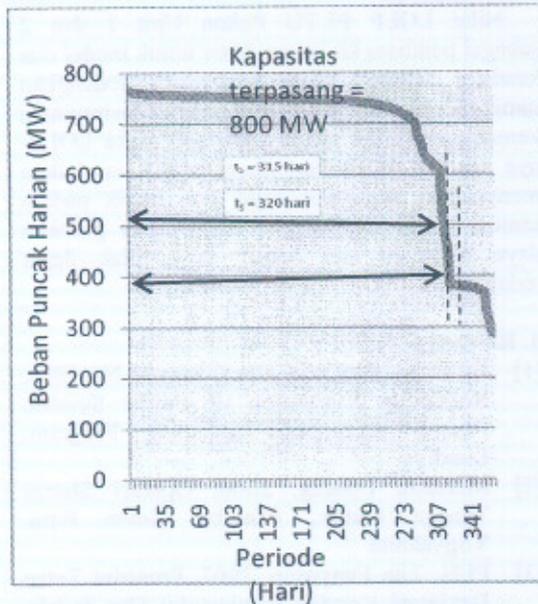
Dari hasil perhitungan didapatkan probabilitas keadaan derating sbb:

Tabel.4-Probabilitas Keadaan Model Derated

Nilai probabilitas keadaan *derated* unit 2 jauh lebih tinggi daripada unit 1. Hal ini disebabkan karena seringnya terjadi gangguan peralatan sehingga lamanya jam pembangkit unit 2 beroperasi dalam keadaan tidak penuh (*derated*) lebih tinggi daripada lamanya jam pembangkit unit 1 beroperasi dalam keadaan tidak penuh.

4.1.4 LOLP Model Derated

Sama halnya seperti perhitungan LOLP untuk model dua keadaan, untuk mengetahui nilai LOLP (*Loss of Load Probability*) model *derated* maka harus mengetahui lama waktu kehilangan beban (t_k) masing-masing pola operasi selama satu periode. Lama periode waktu kehilangan beban (t_k) untuk model *derated* ini dapat diketahui dari kurva lama beban (*load duration curve*) yang disusun dari data beban puncak harian selama tahun 2009. LOLP dapat dihitung menggunakan probabilitas individual kapasitas keluaran.



Gbr.6- Periode Waktu Kehilangan Beban Model Derated

Tabel.5- Perhitungan LOLP Model Derated

Cap. Out (MW)	Cap.In (MW)	Individual Probability	Waktu (hari)	LOLP (hari/tahun)
0	800	0.870964561	-	-
300	500	0.065739509	315	20.70794534
400	400	0.060142497	320	19.24559904
600	200	0.000246099	365	0.089826135
700	100	0.001901223	365	0.693946395
800	0	0.001004107	365	0.366499055
Jumlah				41.10381597

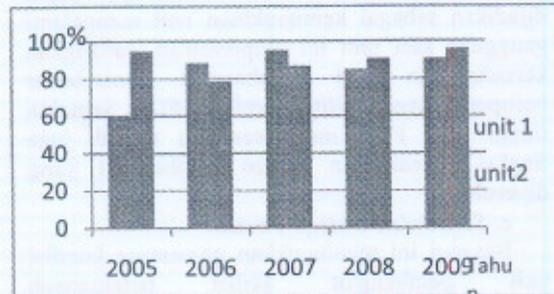
Untuk model *derated*, besar dan kecilnya LOLP dipengaruhi oleh adanya gangguan dan kemampuan pembangkit dengan keluaran tidak penuh karena adanya gangguan/kerusakan peralatan pembangkit, yang nantinya akan menentukan jam pengopeasian pembangkit. Apabila LOLP semakin besar maka semakin berkurang keandalan pembangkitannya dan sebaliknya apabila LOLP semakin kecil maka akan semakin bagus keandalannya.

4.1 Analisis Keandalan Individual Pembangkit

Selain mencari tingkat keandalan unit pembangkit sebagai sebuah sistem, juga dapat menghitung kendalan tiap-tiap unit pembangkit untuk mengetahui ketersediaan unit pembangkit. Jenis parameter keandalan tiap unit pembangkit, antara lain:

a. Availability Factor

Besaran ini menunjukkan prosentase kesiapan unit pembangkit untuk dioperasikan selama satu tahun.

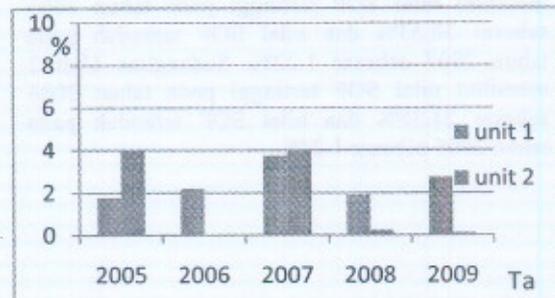


Gbr.7-Grafik Availability Factor

PLTU unit 1, nilai AF paling tinggi pada tahun 2007 sebesar 95.10% dan terendah pada tahun 2005 sebesar 60.38%. Sedangkan PLTU unit 2, nilai AF paling tinggi pada tahun 2009 sebesar 95.96% dan terendah pada tahun 2006 sebesar 78.64%. Nilai AF terendah pada unit 1 sebesar 60.38% disebabkan karena unit pembangkit mengalami pemeliharaan periodik yang cukup lama sehingga berkurangnya jam operasi pembangkit.

b. Forced Outage Rate

Besaran ini menunjukkan nilai laju jumlah jam unit tersebut tidak beroperasi karena terjadi gangguan sehingga memerlukan perbaikan, terhadap jumlah jam kerja dan jam perbaikan.



Gbr.8-Grafik Forced Outage Rate

Dari grafik FOR diketahui unit 1 memiliki nilai FOR tertinggi pada tahun 2007 sebesar 3.73% dan nilai FOR terendah pada tahun 2005 sebesar 1.77%. Sedangkan Unit 2 memiliki nilai FOR tertinggi pada tahun 2005 sebesar 4.00% dan nilai FOR terendah pada tahun 2006 sebesar 0% yang berarti tidak mengalami gangguan.

Nilai ketersediaan (*availability*) dan ketidaktersediaan (*unavailability*) unit pembangkit selama rentang waktu 2005 sampai dengan 2009 disajikan dalam tabel 6.

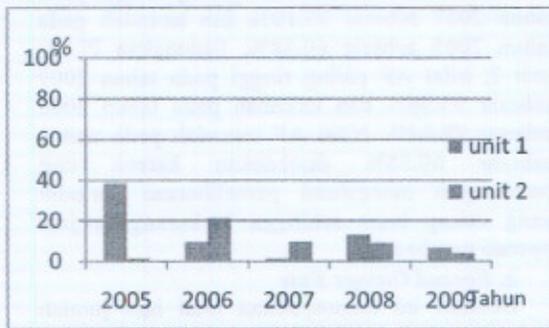
Tabel.6-FOR Rentang Waktu 2005-2009

No.	Unit	Availability (1-FOR)	Unavailability (FOR)
1.	PLTU Unit 1	0.974528	0.0254718
2.	PLTU Unit 2	0.982617	0.0173827

Besar nilai FOR (*Unavailability*) dapat dijadikan sebagai kemungkinan unit mengalami gangguan saat unit ini dioperasikan, sedangkan kemungkinan unit pembangkit benar-benar beroperasi (*Availability*) bernilai 1-FOR. Semakin tinggi nilai FOR maka semakin rendah juga tingkat keandalan sistem pembangkit yang diperoleh.

c. Scheduled Outage Factor

Besaran ini menunjukkan prosentase kondisi unit pembangkit akibat pelaksanaan pemeliharaan, inspeksi dan overhaul pada suatu periode tertentu.



Gbr.9-Grafik Scheduled Outage Factor

Dari grafik SOF diatas diketahui unit 1 memiliki nilai SOF tertinggi pada tahun 2005 sebesar 38.53% dan nilai SOF terendah pada tahun 2007 sebesar 1.22%. Sedangkan Unit 2 memiliki nilai SOF tertinggi pada tahun 2006 sebesar 21.36% dan nilai SOF terendah pada tahun 2005 sebesar 1.24%.

5. Kesimpulan

Nilai LOLP PLTU Paiton Unit 1 dan 2 sebagai pembangkit beban dasar untuk model dua keadaan sebesar 22.06 hari/tahun, sedangkan untuk model dimana unit pembangkit mempunyai kemampuan tidak penuh (*derated*) maka LOLP-nya sebesar 41.10 hari/tahun. LOLP ini bukan menyatakan kegagalan total atau listrik padam semua, tetapi menyatakan kekurangan pasokan daya sehingga ada beban yang tidak dapat terlayani.

6. Referensi

- [1] Billinton, Roy and Allan, Ronald N., 1984, Reliability Evaluation of Power System, Pitman Advanced Publishing Program, London.
- [2] Marsudi, Djiteng, 2006, Operasi Sistem Tenaga Listrik, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta
- [3] PLN, Tim Penyusun, 2007, Prosedur Tetap Deklarasi Kondisi Pembangkit Dan Indeks Kinerja Pembangkit, Paiton.
- [4] Sumerti, I Nengah, Diktat Mata Kuliah Keandalan Sistem Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Elektro FT UGM, Yogyakarta
- [5] Sumerti, I Nengah, Diktat Mata Kuliah Pembangkitan Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Elektro FT UGM, Yogyakarta