

# ANALISIS SUPLAI DAYA LISTRIK DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL SOEKARNO HATTA

**JB. PURWADI**

Dosen Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia PO Box 509 Tangerang (15001)

**Abstrak:** Untuk mendukung pengoperasian Bandar Udara Internasional Soekarno – Hatta yang aman, selamat, cepat, lancar, teratur, nyaman dan efisien, perlu didukung seperangkat peralatan Bandar udara, yang meliputi: fasilitas sisi udara, fasilitas sisi darat, fasilitas navigasi penerbangan, fasilitas alat bantu pendaratan visual dan fasilitas komunikasi penerbangan. Perangkat peralatan bandar udara tersebut didalam operasinya perlu didukung oleh fasilitas penunjang yaitu suplai daya listrik. Hasil penelitian dan analisis suplai daya listrik di Bandar Udara Internasional Soekarno Hatta menunjukkan bahwa:

- a. Kapasitas daya listrik untuk Bandar udara Internasional Soekarno- Hatta saat ini masih kurang, sehingga perlu ditingkatkan dari 27.000 kVA menjadi lebih kurang 30.000 kVA.
- b. Nilai waktu rata-rata antara kegagalan (MTBF) pada sisi TR kecil, sehingga perlu diperbesar, yaitu melalui penggantian komponen peralatan pengamanan listrik/saklar : MCB, saklar termasuk LBS dengan komponen yang baru yang berkualitas
- c. Stabilitas tegangan dan frekuensi listrik masih dalam batas-batas yang telah ditetapkan oleh Direktur Jenderal Perhubungan Udara.

**Kata kunci:** *Suplai daya listrik, kapasitas daya listrik, stabilitas tegangan dan frekuensi*

## PENDAHULUAN

Pada umumnya, pengoperasian bandar udara memerlukan dukungan seperangkat peralatan fasilitas-fasilitas sisi udara, sisi darat, navigasi penerbangan, alat bantu pendaratan visual, dan komunikasi penerbangan. Dalam operasinya, perangkat peralatan tersebut perlu didukung oleh fasilitas penunjang suplai daya listrik. Tanpa adanya suplai daya listrik, perangkat peralatan fasilitas bandar udara tersebut tidak akan dapat beroperasi.

Bandar Udara Internasional Soekarno Hatta memiliki fasilitas, peralatan dan data operasional bandar udara, meliputi: data fasilitas pembangkit tenaga listrik, data fasilitas yang termasuk beban prioritas teknis dan prioritas umum, data fasilitas yang termasuk beban non prioritas, data jaringan distribusi tegangan menengah dan jaringan distribusi tegangan rendah, data beban listrik harian dan waktu terjadinya beban maksimum, data perubahan tegangan dan frekuensi listrik, dan data waktu pindah (switch over time) dari listrik PLN ke listrik genset cadangan akibat gangguan pada listrik PLN maupun gangguan pada instalasi listrik di Bandar udara.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian kepustakaan digunakan untuk mendapatkan landasan teori atau pisau analisis, yang diperoleh dari sumber-sumber

tertulis, seperti buku, Peraturan-peraturan Menteri majelis dan sumber bacaan lainnya yang relevan dengan judul analisis.

Untuk keperluan pembahasan / analisis, akan digunakan data fasilitas dan peralatan serta data operasional Bandar udara. Data tersebut diperoleh dari hasil studi lapangan dan wawancara dengan pejabat-pejabat terkait di Bandar udara Internasional Soekarno Hatta di Tangerang. Selanjutnya data dianalisis berdasarkan aspek kapasitas, aspek stabilitas tegangan dan frekuensi dan aspek keandalan.

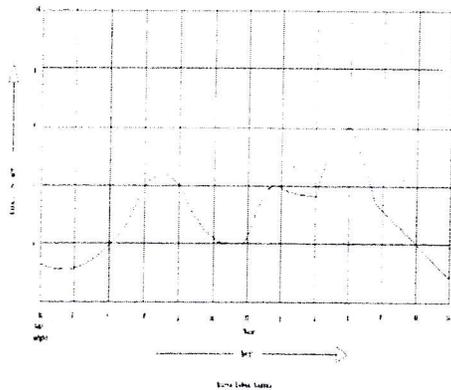
## KERANGKA TEORITIS

### Perhitungan Kapasitas Suplai daya listrik

#### a. Kurva beban

Beban dari stasiun daya listrik jarang bersifat konstan. Beban selalu berubah dari waktu ke waktu. Kurva beban harian memberikan sejumlah informasi sebagai berikut:

- Variasi beban untuk jam-jam yang berbeda dalam 1 hari.
- Area di bawah kurva, menyatakan jumlah energi total yang dibangkitkan dalam 1 hari.
- Puncak kurva menyatakan permintaan maksimum stasiun daya pada suatu hari.
- Area di bawah kurva beban dibagi sejumlah jam menyatakan beban rata-rata /jam dari stasiun daya.



Gambar 1. Kurva beban harian

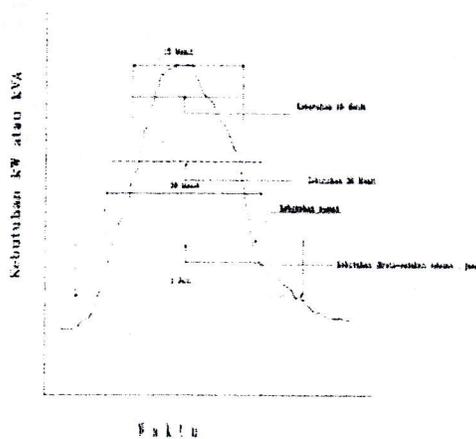
Berdasarkan informasi di atas, kurva beban membantu perencana dalam menetapkan ukuran pembangkit yang akan dipasang dan juga di dalam menyiapkan daftar operasi dari unit-unit pembangkit.

**b. Beban terpasang**

Jumlah rating kontinyu dari semua perlengkapan yang tersambung pada sistem suplai daya listrik dikenal sebagai beban terpasang.

**c. Permintaan maksimum (max. demand)**

Permintaan rata-rata terbesar untuk interval waktu pendek (15 menit, ½ jam, atau 1 jam) selama kurun waktu tertentu (1 hari, 1 bulan, 1 tahun) pada stasiun daya disebut permintaan maksimum. Kadang-kadang istilah ini disebut juga sebagai puncak sistem.



Gambar 2. Perubahan permintaan maksimum terhadap waktu.

**d. Faktor permintaan (demand factor)**

Perbandingan antara permintaan maksimum aktual pada sistem dengan total beban nominal terpasang pada sistem, disebut faktor permintaan. Secara matematis :

$$\text{Faktor permintaan} = \frac{\text{Permintaan maksimum}}{\text{Beban terpasang}}$$

Ide pengenalan faktor permintaan adalah adanya kenyataan bahwa tidak semua perlengkapan yang tersambung pada sistem akan dioperasikan pada waktu yang bersamaan dan permintaan kW atau kVA maksimum dari suatu kelompok perlengkapan yang menggunakan daya listrik akan selalu lebih kecil dari jumlah nilai nominal kW atau kVA atau kapasitas dari perlengkapan tersebut. Mengingat kapasitas pembangkitan yang diperlukan biasanya sama dengan permintaan maksimum dari sistem, maka nilai faktor permintaan menentukan kapasitas dan juga biaya dari perlengkapan daya yang diperlukan untuk melayani beban yang diberikan. Nilai faktor permintaan (*demand factor*) untuk :

Perumahan	: 70 – 100 %
Komersial	: 90 – 100 %
Industri	: 70 – 80 %
Industri skala besar	: 85 – 90 %
Kota (municipal)	: 100 %
Pertanian	: 90 – 100 %

**e. Beban atau permintaan rata-rata**

Beban atau permintaan rata-rata pada stasiun daya adalah rata-rata dari beban yang terjadi pada berbagai kejadian (event). Dapat juga dinyatakan sebagai energi yang diserahkan dalam suatu periode dibagi dengan jumlah jam dalam periode tersebut. Tergantung pada lamanya periode waktu, seperti: 1 hari, 1 bulan atau 1 tahun, maka diperoleh beban rata-rata / jam harian, beban rata-rata / jam bulanan atau beban rata-rata / jam tahunan.

$$\text{Beban rata-rata/jam harian} = \frac{\text{kWH yang disuplai dalam 1 hari}}{24}$$

$$\text{Beban rata-rata/jam bulanan} = \frac{\text{kWH yang disuplai dalam 1 bulan}}{24 \times 30}$$

$$\text{Beban rata-rata/jam tahunan} = \frac{\text{kWH yang disuplai dalam 1 tahun}}{24 \times 365}$$

**f. Faktor beban (load factor)**

Perbandingan beban rata-rata dengan permintaan maksimum selama periode waktu tertentu seperti 1 hari, 1 bulan atau 1 tahun disebut faktor beban. Karena beban rata-rata selalu lebih kecil dari permintaan maksimum, maka faktor beban selalu lebih kecil dari 1.

$$\text{Faktor beban} = \frac{\text{Permintaan atau beban rata-rata}}{\text{Permintaan maksimum}}$$

Nilai faktor beban untuk :

Perumahan	: 10 -- 15 %
Komersial	: 25 -- 30 %
Industri	: 60 -- 65 %
Industri skala besar	: 70 -- 80 %
Kota (municipal)	: 25 -- 30 %
Pertanian	: 20 -- 25 %

**g. Faktor diversitas (diversity factor)**

Permintaan maksimum dari semua konsumen yang disuplai dari suatu instalasi biasanya tidak terjadi pada waktu yang bersamaan; karenanya permintaan maksimum pada suatu instalasi selalu lebih kecil dari jumlah permintaan maksimum individu dari semua konsumen yang tersambung dengan instalasi tersebut. Perbandingan jumlah permintaan maksimum individu dari semua konsumen yang disuplai oleh stasiun daya dengan permintaan maksimum stasiun daya disebut diversitas.

$$\text{Faktor diversitas} = \frac{\text{Jumlah permintaan maksimum individu}}{\text{Permintaan maksimum stasiun daya}}$$

Nilai faktor tersebut selalau lebih besar dari 1.

Nilai faktor diversitas untuk :

Perumahan	: 1,2 - 1,3
Komersial	: 1,1 - 1,2
Kota (municipal)	: 1
Daerah pedesaan	
Trafo distribusi	: 1,00 - 1,55
Gardu induk distribusi	: 1,08 - 1,60
Jaringan distribusi	: 1,05 - 1,25

**a. Faktor kapasitas (capacity factor) atau faktor pembangkitan (plant factor)**

Setiap pembangkitan harus mempunyai kapasitas cadangan, sebagai sikap perhatian terhadap pengembangan yang akan datang dan penambahan beban, sehingga kapasitas total instalasi pembangkitan biasanya lebih besar dari yang diperlukan secara aktual (permintaan maksimum). Faktor kapasitas/

pembangkitan didefinisikan sebagai perbandingan dari beban rata-rata dengan kapasitas nominal dari pembangkit daya.

$$\text{Fakt. kap. pembangkitan} = \frac{\text{Beban rata-rata}}{\text{Kapasitas nominal pembangkit daya}}$$

**b. Faktor penggunaan (utilization factor)**

Faktor penggunaan adalah ukuran penggunaan kapasitas pembangkit daya adalah perbandingan permintaan maksimum dengan kapasitas nominal dari pembangkit daya. Nilai perbandingan selalu lebih kecil dari 1.

$$\text{Faktor penggunaan} = \frac{\text{Permintaan maksimum pada stasiun daya}}{\text{Kapasitas nominal dari stasiun daya}}$$

**Pemilihan Unit Pembangkit**

Pemilihan unit-unit pembangkit dan pengoperasiannya memainkan peranan penting dalam kerja stasiun daya. Jumlah unit-unit pembangkit dan ukuran masing-masing unit ditentukan dari kurva beban stasiun daya. Faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan di dalam menentukan jumlah unit-unit pembangkit dan ukuran dari unit-unit dan dalam menyiapkan skedul operasi:

1. Karena mesin-mesin akan beroperasi dengan efisiensi maksimum pada tiga perempat dari kapasitas nominal, sehingga jumlah dan ukuran unit-unit pembangkit harus dipilih sedemikian sehingga mereka beroperasi pada efisiensi maksimum dan harus diperoleh efisiensi keseluruhan dan faktor beban dari stasiun daya yang lebih baik.
2. Tidak akan dipilih satu unit pembangkit besar dengan kapasitas maksimum yang diminta karena akan:
  - Memberikan efisiensi yang rendah selama jam-jam beban ringan.
  - Menyebabkan kegagalan penyediaan daya listrik secara menyeluruh bila terjadi kerusakan mesin
3. Jika dipilih sejumlah unit-unit pembangkit kecil, diperlukan area lantai yang luas.
4. Jika dipilih semua mesin berukuran sama dan identik dalam operasinya. Ruangan yang diperlukan berkurang. Suku cadang yang diperlukan berkurang, tampak simetris dan memberikan pandangan yang bagus.
5. Perlu disiapkan unit cadangan, dengan kapasitas dari unit yang terbesar di dalam stasiun sehingga pemeliharaan, perbaikan dan overhaul dari unit-unit yang bekerja dapat dilaksanakan.

6. Pertumbuhan permintaan untuk waktu mendatang harus menjadi perhatian.
7. Kapasitas dari stasiun daya harus 15 % atau 20 % lebih besar dari permintaan maksimum yang diharapkan.

## HASIL PENELITIAN

### Beban Terpasang

Berdasar penelitian di lapangan, beban listrik terpasang di Bandar udara Internasional Soekarno-Hatta adalah sebagai berikut :

Tabel 1.  
Rekapitulasi Beban Terpasang

No	Nama Beban	Daya (kW)
1	Prioritas Teknik	1.515,6
2	Prioritas Umum	1.649,3
3	Peralatan VAC	13.906,65
4	Peralatan Mekanika	2.924,13
5	Elektro	8.021,48
6	Lighting	1.019,23
7	Airport Lighting	1.372,5
	Peralatan Instalasi Air bersih	
	Jumlah	30.408,89

### Bagian-bagian Beban

Data Permintaan maksimum bagian-bagian beban adalah seperti terlihat dalam tabel berikut:

Tabel 2.  
Permintaan Maksimum Bagian-bagian Beban

No	Bagian-bagian Beban	Daya (Kva)
1	Prioritas Teknik	1.375,25
2	Terminal 1	4.641
3	Gedung-gedung & Cargo	4.156
4	Terminal 2	11.944,22
5	Prioritas Umum	1.386
6	Terminal 3	381
	Jumlah	23.883,47

Dari data base server , yang dioperasikan secara terus menerus diperoleh:

Beban rata-rata harian = 19.915,89 kW atau = 22.377,34 kVA

Permintaan maksimum ( tanggal 12 Desember 2007 pk 18.00) adalah 22.420 kW atau = 25.560 kVA , power factor = 0,877.

$$\begin{aligned} \text{Faktor beban} &= \frac{\text{Beban rata-rata harian}}{\text{Permintaan maksimum}} \\ &= \frac{19.915,83}{22.420} = 0,89 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor permintaan} &= \frac{\text{permintaan maksimum}}{\text{beban terpasang}} \\ &= \frac{25.560}{34.167,29} = 0,75 \end{aligned}$$

Daya PLN tersambung = 27.000 kVA

$$\begin{aligned} \text{Faktor kapasitas} &= \frac{\text{beban rata-rata}}{\text{Daya PLN tersambung}} \\ &= \frac{22.377,34}{27.000} \\ &= 0,83 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor penggunaan} &= \frac{\text{permintaan maksimum}}{\text{Daya PLN tersambung}} \\ &= \frac{25.560}{27.000} \\ &= 0,95 \end{aligned}$$

### Suplai Daya Utama

Daya listrik Bandar udara Internasional Soekarno Hatta disuplai dari Gardu Induk (GI) PT. PLN Cengkareng sebesar 27 MVA, yang berlokasi di Batu Jaya. Daya listrik tersebut disalurkan melalui:

- 2 jalur kabel / penyulang (penyulang I dan penyulang II) menuju ke Main Power Station (MPS) di gedung 661.
- Masing-masing penyulang menggunakan kabel ukuran 3 x 150 mm<sup>2</sup> sebanyak 5 jalur.
- Daya listrik tersebut disalurkan dengan menggunakan Jaringan Tegangan Menengah 20 kV. Jarak Gardu Induk Cengkareng ke MPS sekitar 4.200 m.

## Suplai Daya Cadangan

Pusat suplai daya listrik Bandar Udara Internasional Soekarno Hatta berada di MPS dan didistribusikan ke beban melalui 3 jenis Jaringan Tegangan Menengah 20 kV, yaitu:

1. Jaringan Prioritas Teknik  
Jaringan ini menyuplai peralatan operasional keselamatan penerbangan, seperti : Radar, Meteorologi, Airport Lighting System, Transmitter/Receiver, Tower dan ILS. Jaringan ini dilengkapi dengan sistem suplai daya listrik cadangan, sebagai berikut :
  - 3 unit Genset Automatik masing-masing dengan kapasitas 850 kVA dan Uninterruptible Power Supply 2x120 kVA di Tower, 2x120 kVA di Radar Head Building, 1x45 kVA untuk peralatan ILS, 10 dan 5 kVA untuk peralatan Transceiver dan 2x10 kVA di MPS. Suplai cadangan daya listrik untuk jaringan prioritas teknik dapat juga diambil dari 3 unit Genset Automatik 1.600 kVA yang diperuntukkan sebagai genset cadangan untuk jaringan Prioritas umum.
  - Airport Lighting System dilengkapi Flywheel Genset 1x125 kVA untuk Runway 25 R, 1x80 kVA untuk Runway centre utara, 1x 100 kVA untuk Runway 07 L, 1x125 kVA untuk Runway 07 R, 1x80 kVA untuk Runway centre selatan, dan 1x125 kVA untuk Runway 25 L.
2. Jaringan Prioritas Umum.  
Jaringan ini dipergunakan untuk menyuplai peralatan-peralatan essensial seperti Garbarata, Lift, Automatic door, Travellator, Timbangan, sebagian lampu-lampu di Terminal/Apron dan Pumping Station. Jaringan Prioritas dilengkapi dengan suplai daya listrik cadangan dari 3 unit Genset Automatik masing-masing dengan kapasitas 1.600 kVA
3. Jaringan Non Prioritas  
Jaringan ini dipergunakan untuk menyuplai peralatan-peralatan non essensial seperti lampu penerangan jalan, Gedung-gedung luar, Cargo, AC Terminal dan sebagian besar lampu penerangan Terminal. Jaringan non Prioritas tidak dilengkapi dengan suplai daya listrik cadangan, sehingga bila listrik PLN mati, peralatan dari jaringan non Prioritas ikut mati.

## Peralatan Tambahan Untuk Suplai Daya Cadangan

Selain Genset-genset cadangan otomatis untuk beban Prioritas Teknik dan Prioritas Umum, Bandar udara Internasional Soekarno Hatta juga memiliki peralatan suplai daya listrik tambahan

yaitu 2 unit Mobile Genset dengan kapasitas masing-masing 430 kVA dan 75 kVA.

## REKAPITULASI PEMAKAIAN DAYA LISTRIK

Rekapitulasi pemakaian daya listrik di Bandar udara Internasional Soekarno Hatta dari daya tersedia 27.000 kVA adalah sebagai berikut :

### Aspek Kapasitas Suplai Daya Listrik

Dari kondisi beban dan daya listrik yang ada di Bandar udara Internasional Soekarno-Hatta diperoleh angka-angka sebagai berikut :

Faktor permintaan =  $25.560 / 34.167,29 = 0,75$   
Faktor beban =  $19.1915,83 / 22.420 = 0,89$   
Faktor penggunaan =  $25.560 / 27.000 = 0,95$   
Faktor kapasitas =  $22.377,34 / 27.000 = 0,83$

1. Ditinjau dari kegiatan dan besarnya penggunaan daya listrik, Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta dapat dikategorikan sebagai industri jasa angkutan udara skala besar dengan daya listrik > 500 kW. Untuk katagori tersebut angka faktor permintaan adalah 85 % - 90 % dan angka faktor beban adalah 70 % - 80 %. Angka faktor permintaan 0,75 adalah lebih kecil dari 85 % - 90 %. Angka tersebut menunjukkan bahwa tidak semua perlengkapan listrik yang tersambung pada sistem jaringan suplai daya listrik dioperasikan secara bersamaan, sehingga nilai maksimum daya listrik yang digunakan oleh seluruh perlengkapan berada di bawah nilai nominal kW / kVA beban terpasang. Dengan angka faktor permintaan 0,75 kemudian dikaitkan dengan batas angka faktor permintaan 85 % -90%, ini menunjukkan bahwa permintaan maksimum daya listrik belum sepadan dengan jumlah fasilitas atau peralatan yang telah terpasang. Dengan kata lain fasilitas atau peralatan yang telah terpasang belum dioperasikan secara optimal. Selanjutnya dengan angka faktor permintaan 0,75, maka jumlah jam pengoperasian beban-beban yang telah terpasang dapat ditambah, sehingga akan menaikkan angka permintaan maksimum. Penambahan jumlah pemakaian daya listrik sehingga faktor permintaan menjadi 85 % - 90 %, dapat dihitung seperti berikut ini.

Misal  $X_1$  dan  $X_2$  adalah penambahan jumlah pemakaian daya listrik, maka :

$$\frac{25.560 + X_1}{34.167,29} = 0,85$$

$$X_1 = 0,85 \times 34.167,29 - 25.560$$

$$= 3.482,201 \text{ kVA}$$

$$\frac{25.560 + X_2}{34.167,29} = 0,90$$

$$X_2 = 0,90 \times 34.167,29 - 25.560$$

$$= 5.190,56 \text{ kVA}$$

Jadi penambahan pemakaian daya listriknya adalah dari 3.482,201 kVA sampai dengan 5.190,56 kVA.

- Angka faktor beban adalah 0,89. Angka ini lebih besar dari angka batas faktor beban untuk industri angkutan udara skala besar yaitu 70 % - 80 %. Hal ini menunjukkan bahwa beban rata-rata harian sudah melampaui ambang batas beban rata-rata untuk nilai permintaan maksimum yang ada. Atau jumlah energi yang dibangkitkan telah mendekati nilai maksimum. Dengan kata lain grafik beban harian sudah mendekati rata (flat). Dilihat dari aspek biaya langganan yang harus dibayar ke PT. PLN, pemakaian daya listrik sudah efisien.
- Angka faktor penggunaan yaitu perbandingan permintaan maksimum dengan kapasitas stasiun daya (daya PLN) adalah 0,95. Dengan angka faktor penggunaan 0,95, maka perbandingan kapasitas stasiun daya dengan permintaan maksimum =  $1 / 0,95 = 1,05$ . Kapasitas stasiun daya 5 % lebih tinggi dari permintaan maksimum. Berdasarkan ketentuan yang ada, kapasitas stasiun daya diharapkan 15 % - 20 % lebih tinggi dari permintaan maksimum. Jadi dengan angka faktor penggunaan 0,95 kapasitas stasiun daya yaitu 27.000 kVA masih di bawah nilai yang

dipersyaratkan. Bila diinginkan kapasitas stasiun daya 15 % - 20 % lebih tinggi dari permintaan maksimum, maka nilai kapasitas stasiun daya dapat dihitung sebagai berikut:

Misal kapasitas stasiun daya = X kVA.

$$X / 25.560 = 1,15 - 1,20.$$

$$X = 1,15 \times 25.560 \text{ sampai } 1,2 \times 25.560$$

$$= 29,394 \text{ kVA sampai } 30,672 \text{ kVA.}$$

Jadi diperlukan penambahan kapasitas stasiun daya listriknya adalah sebesar:  $(29,394 - 27.000) = 2,394 \text{ kVA}$  sampai  $(30,672 - 27.000) = 3,672 \text{ kVA}$ .

- Angka faktor kapasitas adalah 0,83. Angka ini menunjukkan bahwa stasiun daya dengan kapasitas 27.000 kVA mempunyai kapasitas cadangan sebesar  $17 \% \times 27.000 = 4.590 \text{ kVA}$ . Kapasitas cadangan tersebut dimaksudkan untuk mengantisipasi pertambahan beban bila terjadi pengembangan fasilitas di masa mendatang. Kapasitas cadangan tersebut akan mempunyai arti bila dilengkapi persyaratan kedua yaitu nilai permintaan maksimum harus di bawah nilai kapasitas stasiun daya. Dengan angka faktor permintaan 0,95 berarti besarnya permintaan maksimum sudah mendekati kapasitas stasiun daya yaitu 5 % di bawah kapasitas stasiun daya. Ini adalah kondisi yang mendekati kritis. Kondisi suplai daya listrik akan menjadi aman bila permintaan maksimumnya minimum 15% di bawah kapasitas stasiun daya. Atau dengan kata lain kapasitas stasiun daya perlu ditambah minimum menjadi:  $115 / 100 \times$  permintaan maksimum, yaitu:  $115 / 100 \times 25.560 = 29.394 \text{ kVA}$ .

Non Prioritas (MVA)	Prioritas umum (MVA)	Prioritas Teknik (MVA)	Sisa Daya PLN Tersedia (MVA)	Daya PLN Total Tersedia (MVA)
19,764	2,053	1,185	3,999	27,000
73,2 %	7,6 %	4,4 %	14,8 %	100 %

### Aspek Kualitas/Stabilitas Tegangan dan Frekuensi

Kualitas daya listrik yang digunakan di Bandar udara dapat dilihat dari dua aspek, yaitu aspek tegangan listrik dan aspek frekuensi listrik.

#### a. Tegangan listrik bolak balik.

Untuk menyuplai daya listrik di Bandar udara digunakan jaringan distribusi. Sampai kini dikenal dua macam sistem distribusi daya listrik, yaitu distribusi tegangan menengah dan distribusi tegangan rendah. Standar nilai tegangan untuk jaringan distribusi tegangan menengah adalah sebagai berikut :

Tabel 3.  
Standar Tegangan Menengah.

Tegangan Operasi	Tegangan Rating
6 kV	7,2 kV
10 kV	12 kV
20 kV	24 kV

Sedang standar nilai tegangan untuk jaringan distribusi tegangan rendah adalah sebagai berikut:

Tabel 4.  
Standar Tegangan Rendah

Tegangan Operasi	Phase
220	1 phase
220/380	3 phase

Kualitas tegangan menyatakan berapa besar perubahan tegangan yang di perbolehkan. Mendasari Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara nomor : SKEP/82/VI/2005 tanggal 20 Juni 2005, tentang Sertifikat Peralatan Fasilitas Elektronika dan Listrik Penerbangan, maka perubahan tegangan yang diizinkan untuk tegangan suplai dari PLN atau genset cadangan adalah seperti tabel berikut:

Tegangan phase R-N	220 ± 5 volt
Tegangan phase S-N	220 ± 5 volt
Tegangan phase T-N	220 ± 5 volt
Tegangan phase R-S	380 ± 10 volt
Tegangan phase S-T	380 ± 10 volt
Tegangan phase T-R	380 ± 10 volt

Untuk tegangan menengah tidak diatur standar perubahan tegangan, mengingat hasil akhir tegangan listrik yang dipakai untuk menyuplai peralatan listrik, elektronika, navigasi penerbangan, telekomunikasi penerbangan dan peralatan lainnya di Bandar udara adalah tegangan rendah.

Sedang perubahan tegangan yang diizinkan untuk tegangan suplai dari UPS adalah sebagai berikut:

Tegangan phase R-N	220 ± 1 % volt
Tegangan phase S-N	220 ± 1 % volt
Tegangan phase T-N	220 ± 1 % volt
Tegangan phase R-S	380 ± 1 % volt
Tegangan phase S-T	380 ± 1 % volt
Tegangan phase T-R	380 ± 1 % volt

- b. Berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara nomor : SKEP/82/VI/2005 tanggal 20 Juni 2005 tentang Sertifikat Peralatan Fasilitas Elektronika dan Listrik Penerbangan, standar frekuensi tegangan listrik bolak-balik dan perubahan frekuensi yang diizinkan adalah sebagai berikut:

- 1) Listrik dari PLN atau genset cadangan,  
Frekuensi : 50 ± 1 Hz
- 2) Listrik dari UPS,  
Frekuensi : 50 ± 0,1 % Hz

#### Aspek Keandalan Suplai Daya Listrik

Keandalan suplai daya listrik dimaksudkan bagaimana mengupayakan terjaminnya kontinuitas aliran daya listrik di Bandar udara selama jam operasi Bandar udara. Kontinuitas aliran daya listrik diinginkan tidak terputus. Dan seandainya terjadi pemutusan aliran daya listrik pada suatu bagian beban atau seluruh beban, karena gangguan pada jaringan transmisi atau distribusi, maka dalam waktu yang sangat singkat aliran daya listrik harus tersambung kembali.

Dalam Annex 14 volume 1, Aerodrome Design and Operations, direkomendasikan nilai waktu pindah maksimum dari suplai daya utama yang mengalami kegagalan ke suplai daya cadangan, untuk fasilitas alat bantu visual seperti dalam tabel 5.

Sedang untuk peralatan navigasi penerbangan dan elemen-elemen ground untuk sistem komunikasi, waktu pindah maksimum direkomendasikan dalam Annex 10 volume 1 chapter 2 seperti ditunjukkan dalam tabel 6. Untuk waktu perpindahan nol detik, biasanya digunakan motor generator set atau uninterruptible power supply (UPS):

- a. Dilengkapi dengan suplai daya sekunder bila operasi mereka adalah esensial untuk keselamatan operasi penerbangan.
- b. Lampu darurat dapat juga digunakan untuk menandai penghalang-penghalang atau menggambarkan area taxiway dan apron.
- c. Satu sekon bila tidak disediakan lampu as landas pacu.
- d. Satu sekon di mana area pendekatan lewat di atas daerah yang berbahaya dan terjal.

Dari data base server (Bank Data) persentase perubahan tegangan dan frekuensi listrik adalah sebagai berikut:

- Nilai rata-rata perubahan tegangan menengah 20 kV dari tanggal 1/12 s/d 31/12-2007 adalah 1,52387 %. Nilai ini lebih kecil dari nilai yang distandarkan yaitu 2,6315 % dan nilai rata-rata perubahan frekuensi dari tanggal 1/12 s/d 31/12 - 2007 adalah 0,0316 %. Nilai ini lebih kecil dari nilai yang distandarkan yaitu 2 %.
- Dari angka-angka tersebut dapat disimpulkan bahwa suplai daya listrik memiliki stabilitas tegangan dan frekuensi seperti yang dipersyaratkan dalam Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara nomor : SKEP/82/VI/2005 tanggal 20 Juni 2005 tentang Sertifikat Peralatan Fasilitas Elektronika dan Listrik Penerbangan. Atau dengan kata lain perubahan tegangan dan frekuensi masih dalam batas-batas yang distandarkan dalam Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara tersebut.

Tabel 5.  
Waktu pindah maksimum suplai daya sekunder  
untuk fasilitas alat bantu visual

Landas pacu	Alat bantu penerangan yang memerlukan daya	Waktu pindah maksimum
Non instrument	Indikator sudut pendekatan visual <sup>a</sup> Tepi landas pacu <sup>b</sup> Ambang landas pacu <sup>b</sup> Ujung akhir landas pacu <sup>b</sup> Penghalang <sup>a</sup>	Dibuat sesingkat mungkin tetapi tidak melebihi 2 menit
Pendekatan non-presisi	Sistem lampu pendekatan Indikator sudut pendekatan visual <sup>a,d</sup> Tepi landas pacu <sup>d</sup> Ambang landas pacu <sup>d</sup> Ujung akhir landas pacu Penghalang <sup>a</sup>	15 sekon 15 sekon 15 sekon 15 sekon 15 sekon
Pendekatan presisi kategori I	Sistem lampu pendekatan Indikator sudut pendekatan visual <sup>a,d</sup> Tepi landas pacu <sup>d</sup> Ambang landas pacu <sup>d</sup> Ujung akhir landas pacu Landas hubung esensial <sup>a</sup> Penghalang <sup>a</sup>	15 sekon 15 sekon 15 sekon 15 sekon 15 sekon
Pendekatan presisi kategori II atau III	Sistem lampu pendekatan Baret lampu pendekatan peleng kap Penghalang <sup>a</sup> Tepi landas pacu Ambang landas pacu Ujung akhir landas pacu As landas pacu Runway touchdown zone Semua bar tanda henti Landas hubung esensial	15 sekon 1 sekon 15 sekon 15 sekon 1 sekon 1 sekon 1 sekon 1 sekon 1 sekon 1 sekon 15 sekon
Landas pacu yang digunakan untuk lepas landas dalam kondisi jarak pandang kurang dari 800 m	Tepi landas pacu Ujung akhir landas pacu As landas pacu Semua bar tanda henti Landas hubung esensial <sup>a</sup> Penghalang <sup>a</sup>	15 sekon <sup>c</sup> 1 sekon 1 sekon 1 sekon 15 sekon 15 sekon

Tabel 6.  
Waktu pindah maksimum suplai daya sekunder  
untuk alat bantu darat berbasis radio

Tipe landaspacu	Alat bantu yang memerlukan daya	Waktu pindah maksimum
Pendekatan dengan instrumen	SRE	15 sekon
	VOR	15 sekon
	NDB	15 sekon
	D/F facility	15 sekon
Pendekatan presisi kategori I	Localizer ILS	10 sekon
	Glide path ILS	10 sekon
	Middle marker ILS	10 sekon
	Outer marker ILS	10 sekon
	PAR	10 sekon
Pendekatan presisi kategori II	Localizer ILS	0 sekon
	Glide path ILS	0 sekon
	Inner marker ILS	1 sekon
	Middle marker ILS	1 sekon
	Outer marker ILS	10 sekon
Pendekatan presisi kategori III	Sama seperti kategori II	Sama seperti kategori II

### Aspek Keandalan Suplai Daya Listrik

Kontinuitas suplai daya listrik merupakan bagian dari keandalan suplai daya listrik.

1. Untuk peralatan kategori prioritas teknik, waktu pindah maksimum dari suplai daya listrik PLN ke suplai daya cadangan, sesuai informasi dari teknisi listrik Bandar Udara, berlangsung dalam orde detik dan nilainya dibawah nilai yang distandarkan oleh ICAO dalam Annex 10 dan Annex 14.
2. Untuk peralatan kategori prioritas umum, waktu pindah dari suplai daya listrik PLN ke suplai daya listrik cadangan berlangsung antara 16 detik sampai 103 detik. Untuk peralatan kategori ini tidak ada standar waktu pindah maksimumnya.
3. Untuk kategori non prioritas, lamanya gangguan listrik PLN berlangsung dalam orde menit yaitu antara 2 menit sampai 159 menit. Untuk peralatan kategori ini, tidak disiapkan suplai daya listrik cadangan. Jadi lamanya suplai daya listrik off sama dengan lamanya gangguan listrik PLN. Bila listrik PLN off selama 5 jam, maka seluruh peralatan non prioritas juga off selama 5 jam.

### Gangguan Suplai Daya Listrik Pada Sisi TM

Jumlah waktu gangguan suplai daya listrik dari tahun 2000 s/d 2007:

1. Beban prioritas umum : 206 detik
2. Beban non prioritas : 11,25 jam.

Ketersediaan (*availability*) fasilitas menunjukkan tingkat kesiapan suplai daya listrik untuk menunjang operasi penerbangan:

$$A = \frac{\text{Waktu operasi yang aktual}}{\text{Waktu operasi yang ditetapkan}} \times 100 \%$$

Untuk periode 2004 s/d 2007, waktu operasi actual

$$= (4 \times 265,25 \times 24 - 11,25) \text{ jam}$$

$$= 35.052,75 \text{ jam}$$

Waktu operasi yang ditetapkan yaitu 4 tahun

$$= 4 \times 365,25 \times 24 \text{ jam} = 35.064 \text{ jam}$$

$$A = \frac{35.052,75 \times 100 \%}{35.064} = 99,97 \%$$

Keandalan (*reliability*) fasilitas,

$$R = 100 e^{-\lambda t}$$

Dimana:

- R = keandalan fasilitas yaitu kemungkinan akan beroperasi dalam batas toleransi yang ditetapkan untuk waktu t, juga dikenal sebagai kemungkinan kelangsungan operasi.
- e = bilangan alam (= 2,718)
- t = periode waktu yang dikehendaki / diperhatikan.
- m = waktu rata-rata antara kegagalan fasilitas (MTBF)

$$MTBF = \frac{\text{waktu operasi yang aktual}}{\text{Jumlah kegagalan}}$$

Untuk periode 2004 s/d 2007 terjadi 8 kali kegagalan. Waktu operasi actual sebesar:

$$\begin{aligned} T &= (4 \times 365,25 \times 24) - (11,25 \text{ jam}) \\ &= 35.064 \text{ jam} - 11,25 \text{ jam} \\ &= 35.052,75 \text{ jam}. \end{aligned}$$

$$MTBF = \frac{35.052,75 \text{ jam}}{8} = 4.381,60 \text{ jam}.$$

- Untuk durasi operasi fasilitas, t=3 tahun, t = 3 x 365,25 x 24 jam = 26.298 jam  
m = 4.381,60 jam  
R = 100 e<sup>-26.298 / 4.381,60</sup> = 0,25 %
- Untuk durasi operasi fasilitas, t = 1 tahun t = 365,25 x 24 jam = 8.766 jam  
R = 100 e<sup>-8.766 / 4.381,60</sup> = 13,52 %
- Untuk durasi operasi fasilitas, t = 3 bulan t = 3 x 30 x 24 jam = 2.160 jam  
R = 100 e<sup>-2.160 / 4.381,60</sup> = 61,08 %
- Untuk durasi operasi fasilitas, t = 1 bulan T = 30 x 24 jam = 720 jam  
R = 100 e<sup>-720 / 4.381,60</sup> = 84,85 %

Untuk MTBF 4.381,60 jam, makin kecil t yang dikehendaki maka R makin besar.

#### Gangguan Suplai Daya Listrik Pada Sisi TR

Jumlah waktu gangguan suplai daya listrik sisi TR pada terminal I dan II selama tahun 2007 yaitu 48.980 menit, dengan jumlah kegagalan 3.300 kali.

#### Perhitungan Ketersediaan (*availability*)

$$A = \frac{\text{waktu operasi yang actual}}{\text{Waktu operasi yang ditetapkan}} \times 100 \%$$

$$A = \frac{(365,25 \times 24 \times 60) - (48.980)}{365,25 \times 24 \times 60} \times 100 \%$$

$$A = \frac{476.980}{525.960} \times 100 \%$$

$$A = 90,69 \%$$

#### Perhitungan Keandalan (Reliability)

m = waktu rata-rata antara kegagalan (MTBF)

$$= \frac{\text{Waktu operasi yang aktual}}{\text{Jumlah kegagalan}}$$

$$= \frac{476.980 \text{ menit}}{3.300}$$

$$= 144,54 \text{ menit}$$

$$= 2,41 \text{ jam}$$

$$R = 100 e^{-tm} \%$$

t = periode waktu yang dikehendaki .

- Untuk t = 1hari = 24 x 60 = 1.440 menit.

$$\begin{aligned} R &= 100 e^{-1.440 / 144,54} \\ &= 4,71 \times 10^{-3} \% \\ &= 0,00471 \% \end{aligned}$$

- Untuk t = 1 bulan = 30 x 24 x 60 = 43.200 menit.

$$\begin{aligned} R &= 100 e^{-43.200 / 144,54} \\ &\approx 0,00471 \% \end{aligned}$$

- Makin besar t, makin kecil nilai R yang diperoleh.

#### HASIL ANALISIS

Untuk suplai daya listrik sisi tegangan menengah 20 kV :

- Tingkat ketersediaan fasilitas sudah memadai (99,97 %)
- Tingkat keandalan untuk durasi operasi fasilitas 3 tahun dan 1 tahun, rendah masing-masing berturut-turut 0,25 % dan 13,52 %.

Untuk suplai daya listrik sisi tegangan rendah (TR):

- Tingkat ketersediaan fasilitas sudah memadai (90,69 %)
- Tingkat keandalan untuk periode waktu 1 hari, rendah sekali (0,00471 %). Dan untuk periode waktu yang lebih lama, tingkat keandalan lebih rendah lagi.

- Dengan MTBF =2,41 jam, maka setiap hari petugas listrik Bandar udara akan menerima laporan gangguan listrik sebanyak 24 jam dibagi 2,41 jam, hasilnya 10 kali.

## KESIMPULAN

### a. Aspek Kapasitas Suplai Daya Listrik

Dari angka faktor permintaan 75 %, permintaan maksimum daya listrik masih jauh di bawah kapasitas beban listrik yang telah tersambung.

Dari angka faktor beban 89 %, beban rata-rata harian sudah melampaui ambang batas beban rata-rata untuk nilai permintaan maksimum yang ada.

Dari angka faktor penggunaan 95 %, kapasitas stasiun daya yaitu 27.000 kVA masih di bawah nilai yang dipersyaratkan.

Dari angka faktor kapasitas 85 %, stasiun daya dengan kapasitas 27.000 kVA masih memiliki kapasitas cadangan sebesar 15 % x 27.000 kVA = 4.050 kVA

### b. Aspek Keandalan

Dari sisi pembangkitan, daya listrik PLN disalurkan dari gardu induk PLN melalui 2 penyulang yang diparalel, satu penyulang berfungsi sebagai penyalur daya listrik utama dan lainnya sebagai penyalur cadangan, yang dilengkapi dengan automatic transfer switch (ATS). Maka keandalan suplai daya listrik cukup tinggi, atau telah memadai.

Di Main Power Station (MPS), disiapkan 6 unit genset cadangan otomatis, 3 unit a' 850 kVA untuk menyuplai beban-beban prioritas teknik dan 3 unit a' 1600 kVA untuk menyuplai beban-beban prioritas umum. Kontinuitas suplai daya listrik telah memadai.

Sisi jaringan distribusi, suplai daya listrik dari MPS ke gardu-gardu distribusi digunakan jaringan distribusi TM dengan sistem cicin tertutup. Pada beban-beban prioritas teknik dilengkapi motor generator set dan UPS, sehingga diperoleh tingkat keandalan yang tinggi.

### c. Aspek kualitas daya listrik/ stabilitas tegangan dan frekuensi.

Berdasar data base server, persentase perubahan tegangan dan frekuensi masih dalam batas-batas yang distandarkan dalam Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan udara no SKEP/82/VI/2005 tanggal 20 Juni 2005 tentang Sertifikat Peralatan Fasilitas Elektronika dan Listrik Penerbangan.

## DAFTAR PUSTAKA

Abdul Kadir, 1995, Energi, Sumber daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi ekonomi, edisi kedua (revisi), Jakarta, Penerbit Universitas Indonesia (UI Press).

Abdul Kadir, 1996, Pembangkit Tenaga listrik, cetakan pertama, Jakarta, Penerbit Universitas Indonesia (UI Press)

Artono Arismunandar, Susumu Kuwahara, 1975, Teknik Tenaga Listrik, Jilid III : Gardu Induk, cetakan kedua, Jakarta, Penerbit PT. Pradnya Paramita.

Artono Arismunandar, Susumu Kuwahara, 1975, Teknik Tenaga Listrik, Jilid II : Saluran Transmisi, cetakan ke tiga, Jakarta, Penerbit PT. Pradnya Paramita.

A.S. Pabla, 1986, Sistem Distribusi Daya Listrik, alih bahasa Abdul Hadi, Jakarta, Penerbit Erlangga.

Direktur Jenderal Perhubungan Udara, 2005, Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara nomor : SKEP/ 82 /VI / 2005 tentang Sertifikat Peralatan Fasilitas Elektronika dan Listrik Penerbangan, Jakarta. Penerbit Direktorat Jenderal Perhubungan Udara.

ICAO, 1996, Aeronautical Telecommunications, Annex 10 volume 1 (Radio Navigation Aids), fifth edition.

ICAO, 1999, Aerodromes, Annex 14, volume 1 Aerodrome Design and operations, third Edition.

J.B. Gupta, 2002, A course in Electrical Technology II, Eleventh Edition, Nai Sarak Delhi - 110006, Published by Sanjeev Kumar Kataria.