

EVALUASI KUALITAS CATU DAYA LISTRIK DI BANDAR UDARA

JB. PURWADI

Dosen Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia PO Box 509 Tangerang 15001.

ABSTRAK

Untuk mendukung pengoperasian Bandar udara yang aman, selamat, cepat, lancar, teratur, nyaman dan efisien, perlu ditunjang tersedianya peralatan keselamatan penerbangan yang handal dan berkualitas. Untuk maksud tersebut, pengoperasian peralatan keselamatan penerbangan memerlukan tersedianya catu daya listrik yang handal dan stabil atau dengan kata lain catu daya listrik tersebut memiliki kualitas catu daya listrik yang handal dan komprehensif. Metode penelitian yang digunakan dalam evaluasi ini meliputi peninjauan dari 5 (lima) aspek, yaitu aspek geografis, aspek teknologi, aspek ekonomis, aspek teknis dan aspek operasional. Catu daya listrik yang diperlukan oleh peralatan di bandar udara dipengaruhi oleh sistem pembangkitan, jaringan distribusi dan beban listrik

Hasil evaluasi kualitas catu daya listrik di Bandar udara adalah sebagai berikut

- a. Jumlah diesel genset cadangan minimal 2 (dua) unit dengan kapasitas sesuai dengan kelas Bandar udara .*
- b. Jaringan distribusi listrik dengan sistem pembumiannya disesuaikan kategori beban listrik yang dilayaninya*
- c. Peralatan keselamatan penerbangan termasuk kategori beban non linier, yang memerlukan kualitas catu daya listrik yang baik sekaligus penyumbang turunnnya kualitas catu daya listrik.*
- d. Perbaikan kualitas catu daya listrik umumnya belum dilaksanakan diseluruh Bandar udara di Indonesia, kecuali Bandar udara Soekarno Hatta dan Bandar udara Ngurah Rai.*

Kata kunci : *Kualitas, catu daya listrik, handal, genset, jaringan distribusi listrik, beban listrik*

ABSTRACT

To support the safe operation of the airport accomplay with fast, smooth, orderly, convenient and efficient, must be supported by aviation equipment that are reliable and qualified. For this purpose, the operation of aviation equipment needs a reliable power supply and stable or in other words, the electric power supply quality power supply that is reliable and comprehensive. The research method used in this evaluation includes a review of 5 (five) aspects, they are geographical aspects, technological aspects, economic aspects, technical

aspect and operational aspects. Airport electrical power for the equipment at airports affected by the generation system, distribution networks and electrical load

The results of the evaluation of the quality of the power supply at the airport are as follows

- a. The number of backup diesel generator at least 2 (two) unit with a capacity corresponding to the class airport.*
- b. Electricity distribution network system with grounded categories customizable with electrical load being served*
- c. Aviation safety equipment including non-linear load category, which requires quality power supply as well as contributors to the decline of good quality power supply.*
- d. Electrical power quality improvements are generally not implemented in all airports in Indonesia, except the Soekarno Hatta airport and Ngurah Rai airport.*

Keywords: *Quality, electric power supply, reliable, generators, electrical distribution network, electrical load*

1. PENDAHULUAN

Subsektor transportasi udara memiliki peran yang sangat penting untuk menghubungkan daerah-daerah terpencil yang sukar dilalui oleh moda lain. Berdasarkan letak geografis Indonesia yang terdiri dari banyak kepulauan maka subsektor transportasi udara menjadi moda transportasi yang cepat dan ekonomis dibandingkan moda transportasi lain. Bandar udara sebagai tempat untuk mendarat dan lepas landas pesawat udara, naik turun penumpang dan /atau bongkar muat kargo dan/atau pos sangat memperhatikan keselamatan operasi penerbangan. Untuk dapat menyelenggarakan kegiatan operasi Bandar udara yang aman, lancar, maka harus didukung oleh peralatan penunjang operasi penerbangan yang baik dan terjaga kontinuitas operasi dan unjuk kerjanya. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi telah diikuti pula dengan perkembangan teknologi peralatan navigasi, komunikasi

dan peralatan-peralatan lain dalam menunjang operasi penerbangan. Peralatan-peralatan tersebut sangat membutuhkan kondisi catu daya listrik yang handal dan stabil. Ketidakstabilan catu daya listrik dapat menurunkan unjuk kerja peralatan keselamatan penerbangan, yang pada akhirnya dapat mengganggu operasi penerbangan. Untuk mendukung pengoperasian peralatan keselamatan penerbangan diperlukan catu daya listrik yang memiliki kontinuitas dan stabilitas serta ketersediaan sesuai dengan kebutuhannya, tipe jaringan distribusi dan peralatan pendukungnya yang sesuai dengan kondisi dan karakteristik beban. Persyaratan-persyaratan tersebut dimaksudkan untuk mendapatkan kualitas catu daya listrik yang dapat menunjang operasi penerbangan yang aman, nyaman, cepat dan teratur.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian kepustakaan digunakan untuk mendapatkan landasan teori, persyaratan kualitas catu daya listrik, dan upaya meningkatkan kualitas catu daya listrik serta penyebab turunnya kualitas catu daya listrik. Penelitian lapangan untuk mendapatkan data sumber catu daya listrik utama dan sumber catu daya listrik cadangan dan pertumbuhan beban listrik di suatu Bandar udara.

3. KUALITAS, MASALAH DAN PEMECAHANNYA

3.1 Pengertian Kualitas Catu Daya Listrik.

Kualitas catu daya listrik mulai hangat dibicarakan sejak tahun 1989 oleh bangsa Amerika, yaitu setelah timbulnya masalah ekonomi yang serius dan mengancam keamanan manusia pada saat itu, misalnya kebakaran atau tersengat aliran listrik. Saat ini masalah kualitas mulai dikembangkan dengan tujuan untuk mengurangi timbulnya masalah-masalah baru agar bisa mencegah kerugian baik jiwa dan material. Kualitas catu daya listrik sering diartikan sebagai catu daya listrik yang tegangan operasinya tidak stabil misal $V_{L-N} = 220$ volt ternyata $V_{L-N} = 180$ volt., sering terjadi pemadaman. Kualitas catu daya listrik diartikan sebagai kehandalan catu daya listrik atau kontinuitas dan stabilitas tegangan dan frekuensi operasi serta keamanan operasi. Kondisi ini dipengaruhi oleh karakteristik beban terpasang, ketersediaan catu daya listrik dan tipe jaringan yang dipilih.

3.2 Masalah-masalah kualitas catu daya listrik

Beberapa masalah yang ditimbulkan oleh penurunan kualitas catu daya listrik :

1. Pemadaman adalah hilangnya suplai catu daya listrik. Pemadaman dapat terjadi dalam waktu yang singkat (3 detik) dengan sisa tegangan 1%, kejadian ini dikenal dengan istilah momentary outage. Gejalanya dapat terlihat pada nyala lampu yang berkedip (blink). Pemadaman listrik adalah kejadian yang sering dialami dan mudah untuk diketahui. Seringnya terjadi pemadaman akan mengganggu dan menimbulkan kerugian yang fatal pada keselamatan operasi penerbangan. Dalam dunia penerbangan diharapkan tidak terjadi pemadaman listrik khususnya pada Bandar udara yang pergerakan pesawatnya sangat padat. Telah direkomendasikan dalam Annex 14 bahwa interval waktu matinya catu daya listrik utama dengan beroperasinya catu daya listrik cadangan maksimum 15 detik. Secara garis besar penyebab terjadinya pemadaman listrik adalah sebagai berikut:
 - 1) Kapasitas suplai yang tersedia lebih kecil dari kenaikan beban terpasang.
 - 2) Gangguan pada sistem pembangkitan.
 - 3) Gangguan pada sistem jaringan listrik.

2. Tegangan dan arus transien.

Transien adalah perubahan besaran arus dan tegangan yang tinggi dan terjadi dalam waktu singkat (detik) Gelombang transien (accident wave) merambat pada jaringan listrik dan bila menemui suatu titik peralihan, dari gelombang tersebut sebagian dipantulkan (reflected wave) dan sebagian lagi diteruskan (transmitted wave). Gelombang yang diteruskan dapat beresilasi menjadi lebih besar. Penyebab timbulnya tegangan dan arus transien dapat dibagi dalam 2 (dua) kelompok, yaitu:

- 1) Transien yang disebabkan oleh alam: transien akibat sambaran petir (lightning) baik sambaran langsung maupun sambaran tidak langsung. Jenis transien ini disebut impulsive transient dengan durasi 0,05 μ detik – 0,002 detik. Besarnya tegangan dan arus transien yang ditimbulkan oleh sambaran petir dapat mencapai puluhan ribu sampai jutaan volt dan puluhan ribu sampai jutaan ampere. Gangguan ini sangat mudah merusak berbagai peralatan dan bangunan di Bandar udara. Petir merupakan fenomena alam yang sampai saat ini belum dapat diketahui secara detail. Nilai gelombang tegangan dan arus transien akibat petir sangat

besar dan bentuknya curam dan terjadi dalam waktu yang sangat singkat. Pengamanan sambaran petir lebih banyak bersifat mengeliminir kemungkinan terjadinya kerusakan yang diakibatkannya yaitu dengan membuat saluran sambaran petir ke tanah dan melindungi peralatan dari sambaran petir.

- 2) Transien yang disebabkan oleh sistem: transien yang terjadi akibat proses switching/pelepasan beban besar. Transien tegangan dan arus yang ditimbulkannya lebih dari 110% diatas normal (biasa disebut oscillatory transient) dengan durasi 5 μ detik s.d 0,05 detik. Bentuk gelombang tegangan dan arus transient akibat switching tidak sebesar dan securam gelombang transient akibat sambaran petir. Tetapi durasi proses switching lebih lama dari durasi akibat sambaran petir. Pengamanan yang diberikan umumnya masih bersifat independen yaitu pengamanan yang melekat di masing-masing peralatan.

3. Dip, Sag dan Swell.

Voltage dip adalah penurunan tegangan yang terjadi dalam waktu relatif singkat terhadap tegangan normal, dimana akibat yang ditimbulkan sangat tergantung pada spesifikasi dan karakteristik dari beban. Voltage sag sama dengan voltage dip, tetapi waktunya relatif lebih lama. Selanjutnya pengertian voltage sag dan voltage dip disatukan. Amplitudo penurunan sag (dip) antara 0,1 – 0,9 pu rms

tegangan atau arus pada durasi frekuensi 0,5 cycle , sampai 1 menit Berdasarkan dokumen IEEE 1159 amplitudo dan durasi kejadian , sag (dip) dibagi dalam 3 (tiga) kelompok yaitu :

- 1) Instantaneous sag (dip) , durasi 0,5 – 30 cycle , amplitudo 0,1 – 0,9 pu
- 2) Momentary sag (dip), durasi 0,5 – 3 detik, amplitudo 0,1 – 0,9 pu
- 3) Temporary sag (dip), durasi 3 detik – 1 menit , amplitudo 0,1 – 0,9 pu.

Timbulnya sag (dip) disebabkan karena pengaruh penurunan tegangan akibat perubahan beban besar atau adanya gangguan temporary pada sistem jaringan transmisi /distribusi . Bilamana proses terjadinya sag (dip) berlangsung cukup lama (>1 menit) dengan amplitudo gelombang 0,8 – 0,9 pu, maka peristiwa ini disebut undervoltage .Voltage swell adalah kebalikan dari voltage sag, yaitu terjadinya fluktuasi kenaikan tegangan pada suatu suplai listrik. Berdasarkan dokumen IEEE 1159 amplitudo dan durasi kejadian swell, dibagi dalam 3 (tiga) kelompok yaitu

- 1) Instantaneous swell, durasinya 0,5 – 30 cycle , amplitudo 1,1 – 1,8 pu.
- 2) Momentary swell, durasinya 0,5- 3 detik, amplitudo 1,1 – 1,8 pu
- 3) Temporary swell, durasinya 3 detik-1 menit, amplitudo 1,1 – 1,8 pu

Proses timbulnya swell disebabkan oleh pelepasan beban besar yang keluar dari jaringan listrik. Bilamana proses terjadinya swell berlangsung cukup lama (> 1 menit) dengan amplitudo gelombang 1,1 – 1,2 pu , maka kejadian ini disebut over voltage.

4. Distorsi harmonik

Pada sistem tenaga listrik yang ideal , bentuk gelombang tegangan yang disalurkan ke peralatan dan bentuk gelombang arus yang dihasilkan adalah gelombang sinus murni. Harmonik adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik yang diakibatkan oleh distorsi gelombang arus dan tegangan. Pada dasarnya ,harmonik adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dari frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul dari bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik. Misalnya , frekuensi dasar sistem tenaga listrik 50 Herz , maka harmonik keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hertz , dan harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hertz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang aslinya , sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya. Distorsi harmonik timbul seiring dengan perkembangan teknologi elektronika yang diterapkan pada peralatan modern seperti computer, ballast elektronik yang digunakan

untuk penghematan energi pada lampu TL, adjustable speed drive (ASD) yang digunakan pada motor –motor untuk penghematan energidan pada pada peralatan komunikasi dan navigasi penerbangan . Beban-beban tersebut termasuk jenis beban non linier , yang mengakibatkan gelombang cacad pada gelombang sinus murnidan merupakan kelipatan frekuensi dasar / 50 Hertz pada batas amplitudo (0-20%).

5. Variasi frekuensi

Variasi frekuensi yaitu timbulnya frekuensi lain selain frekuensi dasar . Bila aktivitasnya diamati kejadian tersebut dinamakan sebagai fluktuasi frekuensi..Masalah variasi frekuensi terjadi karena adaya ketidak seimbangan antara beban dengan sumber catu daya listrik (genset) . Hal ini sering terjadi pada sumber daya listrik yang independen yang berasal dari diesel generating set, khususnya bila kapasitas catu daya listriknya terbatas sehingga responnya tidak mampu mengantisipasi perubahan beban di lapangan .Peristiwa ini sering dialami pada diesel generating set dengan governor mekanik dan alternatornya tidak dilengkapi dengan magnetic permanent unit exiter . Nilai fluktuasi frekuensi pada jaringan disyaratkan $\pm 1\%$.

6. Neutral dan grounding/ pbumian.

Neutral dan pbumian jarang diperhatikan orang /teknisi /instalatir dalam pelaksanaan tugasnya. Hal ini disebabkan banyaknya istilah dalam pbumian seperti isolated ground atau dedicated ground yang menjadi perdebatan dalam pemahaman. Pada dasarnya masalah kualitas berawal dari neutral dan grounding Pola pbumian pada jaringan listrik sangat mempengaruhi cara penerapan sistem pengamannya. Sebagai contoh disampaikan penjelasan sebagai berikut. Sistem distribusi biasanya memakai sistem 3 phase 4 kawat, 3 kawat untuk kawat phase dan 1 kawat untuk kawat neutral. Arus lebih pada kawat netral dapat diketahui dengan melihat tegangan netral ke tanah pada keadaan berbeban. Apabila tegangan kawat netral lebih besar dari 22 volt maka terdapat indikasi timbulnya harmonik pada beban tersebut .Apabila indikai timbulnya harmonik telah diketahui, maka dapat dilakukan langkah-langkah untuk mengatasi masalah harmonik tersebut, antara lain dengan mengukur dan menentukan harmonik-harmonik yang dominan pada sumber catu daya utamanya.

7. Noise/ Derau

Noise adalah gelombang transien yang terjadi dalam waktu

yang singkat (< 1 mili detik) dengan energi rendah dan amplitudo lebih kecil dari dua kali nilai rms . Karena kecilnya sehingga tidak menjadi perhatian utama , tetapi noise dapat mempengaruhi fungsi operasi khususnya pada peralatan dengan teknologi tinggi seperti peralatan pengolah data/computer.

8. Radio Frequency Interference

Radio Frequency Interference (RFI) adalah interferensi listrik yang timbul dari peralatan yang menghasilkan radiasi frekuensi tinggi. Interferensi dapat juga disebabkan oleh busur api yang timbul pada proses switching pada suplai daya atau pada peralatan pengatur kecepatan motor listrik , peralatan komunikasi, navigasi, dan peralatan elektronika lainnya. Interferensi frekuensi radio merupakan gelombang elektromagnetik yang beresilasi dengan gelombang lain pada spectrum infrared. Terpengaruhnya bentuk gelombang sinus pada jaringan listrik karena interferensi frekuensi radio disebabkan karena panjangnya kabel jaringan distribusi listrik, sehingga dapat dianalogikan sebagai antenna, dan memungkinkan masuknya frekuensi radio ke jaringan distribusi tersebut.

9. Electromagnetic Force/ EMF

Electromagnetic adalah medan magnet yang disebabkan oleh arus listrik. Electromagnetic

force dapat terjadi pada jaringan tegangan tinggi dan peralatan lain (per alatan TV dan microwave). Pada jaringan listrik medan magnet yang ditimbulkannya dapat berinterferensi dengan jaringan kabel data yang berada didekatnya, Gelombang ini timbul karena rambatan photon yang merambat melalui udara.

10. Elektrostatic Discharge / ESD

Electrostatic discharge adalah pelepasan muatan elektrostatik yang umumnya timbul di daerah /ruang yang mempunyai kelembaban relatif rendah (di bawah 50 %). Indonesia umumnya mempunyai kelembaban relative tinggi, di atas 50 % , sehingga hal ini tidak selalu mengganggu namun harus diperhatikan terutama pada pengoperasian peralatan teknologi tinggi seperti peralatan pengolah data otomatis (ADP) seperti peralatan computer atau radar.

3.3 Sumber Penyebab Masalah Kualitas Catu Daya Listrik

Masalah kualitas catu daya listrik disebabkan oleh karakteristik beban yang terdapat pada sistem jaringan listrik. Beban sistem jaringan listrik ada 2 (dua) jenis yaitu : beban linier dan beban non linier. Beban linier adalah beban yang menghasilkan bentuk gelombang keluaran yang linier, artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Sedangkan beban non linier adalah beban yang menghasilkan bentuk

gelombang keluaran yang tidak sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Sebagai akibatnya pada setiap setengah siklus, bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan bentuk gelombang masukannya (mengalami distorsi) . Beban non linier umumnya terdapat pada peralatan elektronik, dimana didalamnya terdapat banyak komponen semi konduktor, yang dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar, bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan . Beban non linier ini akan menghasilkan gangguan atau distorsi gelombang arus yang tidak sinusoidal. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter komponen semi konduktor dalam peralatan elektronik. Masa lah kualitas catu daya listrik lebih banyak ditimbulkan oleh beban non linier dan perencanaan sistem jaringan, sehingga penyelesaiannya lebih difokuskan pada beban–beban non linier dan perencanaan sistem jaringan.

1. Beban-beban non linier yang mempengaruhi kualitas catu daya listrik antara lain :
 - 1) Peralatan CCR (constant current regulator) pada fasilitas AFL (Airfield Lighting System)
 - 2) Peralatan pengatur kecepatan motor-motor listrik.
 - 3) Peralatan Navigasi penerbangan , seperti radar.
 - 4) Peralatan Komunikasi penerbangan.
 - 5) Peralatan seperti UPS (Uninterruptible Power Supply), Capacitor bank, Stabilizer

- 6) Beban-beban elektromekanik seperti motor-motor listrik.
2. Sistem jaringan yang mempengaruhi kualitas catu daya listrik.

Sistem jaringan yang mempengaruhi masalah kualitas disebabkan karena adanya kesalahan dalam penetapan jaringan ,sehingga kehandalan operasi peralatan dan sistem kelistrikan Bandar udara akan menurun. Contoh pada sistem kelistrikan bandar udara seperti Bandar udara Soekarno Hatta dan Bandar udara Ngurah Rai yang jumlah pergerakan pesawatnya sangat padat. Kesalahan pada pemilihan sistem jaringan dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Pembagian beban berdasarkan kategori beban belum secara menyeluruh diterapkan (seperti beban prioritas teknik, prioritas umum, dan non prioritas). Penyatuan berbagai jenis beban dalam satu busbar sangat tidak dianjurkan, ter utama untuk beban-beban yang menuntut sensitivitas operasi yang tinggi. Hal tersebut selain akan menimbulkan masalah kualitas juga penyelesaiannya menjadi makin rumit.
- 2) Pengambilan catu daya listrik PLN umumnya masih melalui 1 (satu) feeder/ sumber, hal ini akan mempengaruhi tingkat kehandalan dan kontinuitas pelayanan. Terlebih lagi bila jalur catu daya PLN tersebut disatukan dengan beban-beban industri dan kondisi ketersediaan kapasitas catu daya listrik rendah . Maka hal tersebut

akan menurunkan tingkat kontinuitas catu daya PLN.

- 3) Penetapan kapasitas catu daya listrik cadangan dan jumlah diesel generating set, hanya mempertimbangkan kondisi operasi beban terpasang, tetapi belum memperhitungkan kehandalan operasi pembangkitnya. Sehingga peralatan pendukung operasional Bandar udara perlu mendapat perhatian.
- 4) Jaringan distribusi listrik Bandar udara utama dan kelas 1 umumnya menggunakan sistem cincin untuk menunjang kehandalan operasi. Tetapi pemilihan sistem cincin yang digunakan adalah cincin terbuka, sehingga masih perlu disempurnakan. Pada kelas Bandar udara dibawahnya menggunakan sistem radial sesuai dengan tingkat operasional Bandar udara.
- 5) Masih kurangnya pemahaman teknisi terhadap pembumian sistem distribusi listrik(seperti IT,TT, dan TN sistem), menyebabkan pengembangan jaringan melalui penggabungan sistem dengan tanpa memperhatikan ketentuan yang dipersyaratkan. Sistem ini akan membahayakan pengoperasian peralatan dan operatornya.
- 6) Juga terjadi kesalahan pada pemilihan ukuran penampang dan tipe kabel yang digunakan. Kesalahan tersebut antara lain akan menyebabkan timbulnya panas pada penghantar, kerusakan isolasi kabel,

yang pada akhirnya akan menimbulkan kebakaran .

3.4 Penyelesaian Permasalahan Kualitas Catu Daya Listrik.

Penyelesaian permasalahan kualitas catu daya listrik dimaksudkan untuk memberikan petunjuk yang harus diikuti di dalam melaksanakan perbaikan kualitas , sehingga pemilihan penyelesaian permasalahan kualitas sesuai dengan masalah yang dihadapi . Dengan demikian akan diperoleh penyelesaian masalah kualitas yang efektif dan efisien . Untuk mengatasi masalah-masalah yang terkait dengan kualitas catu daya listrik ada 2 (dua) cara yang harus dilaksanakan secara menyeluruh yaitu:

1. Peralatan untuk perbaikan kualitas
 - 1) Transient Voltage Surge Suppressor (TVSS)
TVSS bertujuan untuk mengamankan peralatan dari kerusakan yang disebabkan oleh transien dengan cara memotong impuls transient sehingga diperoleh besaran tegangan dan arus dalam batas aman untuk operasi peralatan. Sebagai pengaman jaringan catu daya listrik, alat TVSS kadang disebut sebagai arrester atau lightning arrester. Sedangkan penggunaan pada peralatan telekomunikasi biasa disebut protector .Beberapa macam komponen yang digunakan pada surge protection devices , antara lain:

- a. Spark Gaps, dipergunakan sebagai proteksi jaringan listrik saluran udara.
 - b. Gas Tubes , dipergunakan sebagai proteksi peralatan telekomunikasi .
 - c. Silicon Carbide atau Selenium Rectifier, dipergunakan sebagai proteksi terhadap transien yang besar, biasanya digunakan pada suplai listrik.
 - d. Metal Oxide Varistor (MOV, dipergunakan untuk berbagai macam keperluan (sebagai arrester dan sebagai protector), dan mempunyai respon yang sangat cepat (0,5 μ detik).
 - e. Silicon Avalance Diode (SAD), dipergunakan sebagai proteksi low transient dan mempunyai respon yang cepat, biasa digunakan sebagai proteksi PCB.
- 2) Isolating transformer.
Isolating transformer pada prinsipnya sama dengan transformator biasa di mana lilitan primer dan lilitan sekunder terpisah dan dibatasi oleh lempeng logam yang dapat dibumikan dengan impedansi atau tidak dibumikan sama sekali. Tujuan dari penggunaan isolating transformer adalah untuk meredam noise, harmonik, dan transien. Khusus untuk penyelesaian pada harmonik tertentu dapat diatasi dengan menggunakan zig-zag transformer Selain fungsi di atas penggunaan isolating transformer juga dilakukan dengan tujuan memisahkan, atau mengubah sistem jaringan yang semula TT atau TN menjadi sistem jaringan IT.
 - 3) Stabilizer
Alat ini dipergunakan untuk mengatasi pengaruh naik turunnya tegangan pada jaringan listrik, dengan cara mengubah besaran transposisi tegangan keluaran dari besaran tegangan inputnya. Kekurangan alat ini adalah tidak dapat mengatasi masalah dip, sag dan swell secara sempurna. Ini disebabkan karena respon stabilizer yang ada saat ini sangat lambat bila dibandingkan dengan waktu kejadian dip, sag dan swell (rata-rata lebih besar dari 1/10 detik)
 - 4) Capasitor bank
Capasitor bank digunakan untuk memperbaiki penurunan factor daya jaringan listrik yang disebabkan oleh induktif dengan cara melakukan kompensasi kapasitif pada hubungan kapasitor. Pemilihan besaran kapasitor bank harus memperhatikan besarnya nilai penurunan faktor daya serta besaran koreksi yang diinginkan. Hal ini diperlukan

karena adanya kesalahan dalam pemilihan kapasitas kapasitor bank, akan mengakibatkan tidak tercapainya koreksi faktor daya yang dikehendaki.

5) Uninterruptible Power Supply (UPS)

UPS adalah peralatan yang paling sempurna digunakan dalam menyelesaikan masalah kualitas, sehingga harganya lebih mahal dibandingkan dengan peralatan perbaikan lainnya. UPS sebagai peralatan terbaik guna menyelesaikan masalah kualitas, terbagi dalam 2 (dua) tipe yaitu UPS static dan UPS dinamik, hal yang harus menjadi perhatian dalam pemilihan UPS agar sesuai dengan kebutuhan. Hal yang sama berlaku juga pada pemilihan UPS static. UPS terbagi dalam 3 (tiga) jenis yaitu OFF line UPS, Line interactive UPS, dan Online UPS. Pemilihan spesifikasi UPS untuk menyelesaikan masalah kualitas harus mempertimbangkan karakteristik beban terpasang (apakah dominan beban non linier atau linier) dan terhadap upstream serta down stream.

6) Diesel Generating Set.

Diesel Generating Set adalah salah satu bagian peralatan yang digunakan untuk perbaikan kualitas ditinjau dari aspek operasi dalam menyediakan

catu daya listrik. Tidak tersedianya catu daya cadangan yang memadai akan mengganggu kontinuitas operasi peralatan. Pemilihan spesifikasi diesel generating set cadangan untuk menyelesaikan masalah kualitas harus mempertimbangkan karakteristik beban terpasang (apakah dominan beban non linier atau linier), ketinggian peletakan diesel generating set dari sea level, respon genset terhadap perubahan beban, dan kehandalan catu daya listrik utama (PLN).

2. Pemilihan Sistem

Pemilihan sistem untuk perbaikan masalah kualitas catu daya listrik adalah sebagai berikut :

- 1) Pada perencanaan beban terpasang di bandar udara khususnya pada Bandar udara utama, kelas 1 dan kelas 2 , beban harus dikelompokkan dalam 3 (tiga) kategori beban. Pengelompokan tersebut yaitu beban prioritas teknik, beban prioritas umum, dan beban non prioritas . Untuk Bandar udara kelas 3, 4 dan 5 pengelompokan beban dapat dibagi dalam 2 (dua) kategori yaitu beban prioritas dan non prioritas.
- 2) Pemilihan catu daya listrik utama / PLN sebaiknya diambil dari 2 (dua) sumber catu daya yang berbeda dengan perpindahan antara sumber satu

dengan yang lainnya dilakukan secara otomatis melalui automatic transfer switch. Penetapan dua jalur catu daya dimaksudkan agar kegagalan yang terjadi dari satu sumber dapat digantikan dari sumber yang lain sehingga kehandalan catu daya listrik terjaga. Dan penempatan jalur /cubicle automatic transfer switch dapat diletakkan pada substation PLN atau substation Bandar udara. Disamping perpindahan secara auto perlu pula dibuatkan perpindahan secara manual, hal ini dimaksudkan sebagai pengaman bila perpindahan dari sumber satu ke sumber lainnya tidak dapat dilakukan secara otomatis.

- 3) Selain penetapan dua jalur catu daya PLN, perlu pula mempertimbangkan agar jalur catu daya listrik ke Bandar udara terbebas dari jalur catu daya beban lainnya khususnya jalur beban industri.
- 4) Penetapan kapasitas daya listrik PLN tersambung agar memperhitungkan pertumbuhan beban Bandar udara dalam kurun waktu 10 tahun ke depan.
- 5) Penetapan kapasitas catu daya cadangan generating set agar mempertimbangkan faktor permintaan (demand factor), beban terpasang, dan faktor diversitas. Besar kapasitas catu daya cadangan adalah beban

terpasang x faktor permintaan x faktor diversitas. Beban yang perlu di lengkapi dengan catu daya cadangan adalah beban prioritas teknik dan prioritas umum dengan kapasitas minimal seperti yang diuraikan diatas. Agar kontinuitas catu daya listrik cadangan terjamin, maka penetapan kapasitas ketersediaan suplai listrik cadangan harus memperhatikan kemungkinan bila ada salah satu unit pembangkit gagal atau dalam pemeliharaan (jumlahnya lebih dari satu dan kapasitas masing-masing sumber catu daya cadangan disesuaikan dengan kebutuhan beban).

- 6) Pemilihan tipe jaringan distribusi agar mempergunakan sistim cincin tertutup sehingga kegagalan dari aliran suplai listrik ke beban terjaga kontinuitasnya. Sistem ini dianjurkan pada Bandar udara kelas utama sedangkan untuk Bandar udara kelas 1 dan 2 dipergunakan system cincin terbuka, dan untuk Bandar udara kelas 3,4 dan 5 digunakan sistem radial. Pemilihan di atas agar mempertimbangkan besar beban dan kepadatan pergerakan pesawat udara.
- 7) Pemilihan dan penetapan ukuran kabel agar memperhatikan kapasitas daya listrik yang akan disalurkan dan jaraknya dari sumber. Bilamana

daya listrik yang akan disalurkan lebih besar dari 500 A (khusus dari genset ke trafo pada beban 2000 A dianjurkan mempergunakan bus duct) dan sebaiknya mempergunakan penghantar dengan tegangan operasi 20 kV, hal yang sama bila daya listrik yang akan disalurkan jaraknya jauh lebih dari 1000 meter .Dan bila beban yang disuplai adalah beban non linier sehingga indikasi adanya pengaruh masaah harmonik lebih dominan . Un tuk mengatasi panas yang berlebih pada penghantar netral dan pembumian dari akibat pengaruh harmonik, maka ukuran penghantarnya harus diperbesar dari ukuran standarnya. Hal yang sama juga diterapkan pada panel-panel listrik. Disamping ukuran, penggunaan jenis penghantar agar disesuaikan dengan fungsinya (contoh kabel NYY dan N2XSY tidak diperkenankan digunakan untuk underground tanpa mempergunakan conduit.

- 8) Pemilihan jaringan distribusi berdasarkan pembumiannya . Untuk menjaga kontinyuitas operasi , khususnya pada peralatan prioritas teknik , maka dianjurkan pada peralatan tersebut harus diterapkan sistem IT pada jaringan distribusi dengan memperhatikan

ketentuan dan persyaratan yang telah diberikan.

4. PENDEKATAN TEKNIK

Pelaksanaan evaluasi kualitas catu daya listrik pada sistem kelistrikan bandar udara merupakan pekerjaan yang kompleks (banyak parameter yang harus dijadikan acuan). Pekerjaan ini juga membutuhkan integrasi pengetahuan tentang ilmu kelistrikan dengan acuan standard dan peraturan internasional yang lebih dibakukan. Serta memerlukan sebuah pendekatan metode pelaksanaan kegiatan Pendekatan yang dijadikan bahan pertimbangan dapat ditinjau dari 5 (lima) aspek ,yaitu:

1. Kelayakan pada aspek geografis , yaitu kelayakan yang ditinjau dari geografis suatu Bandar udara . Sumber catu daya listrik utama untuk berbagai kondisi geografis Bandar udara memiliki kontinyuitas dan kehandalan yang berbeda . Hal ini disebabkan karena pertumbuhan beban listrik tidak sebanding dengan peningkatan kemampuan kapasitas daya listrik PLN terpasang . Pertumbuhan beban listrik yang diakibatkan oleh konsumsi listrik akibat kemajuan teknologi , pertumbuhan industri dan gaya hidup masyarakat . Hal ini berdampak sering terjadinya pemadaman listrik yang dilakukan secara bergilir oleh PLN.Seiring dengan terjadinya pemadaman listrik PLN, hal ini berdampak terhadap kelangsungan operasi peralatan Bandar udara yang

akhirnya dapat menurunkan tingkat keamanan dan keselamatan operasi penerbangan

2. Kelayakan pada aspek teknologi.
Kemajuan teknologi membuat ukuran peralatan Bandar udara semakin kecil, hal ini disebabkan karena sistem pengaturan dengan rangkaian kapasitor beralih ke sistem microprosesor. Makin kecilnya ukuran peralatan akibat kemajuan teknologi perlu mendapat perhatian antara lain:
 - 1) Peralatan dimaksud sangat membutuhkan kualitas suplai catu daya listrik.
 - 2) Peralatan dimaksud sangat sensitif terhadap pengaruh kualitas catu daya listrik.
 - 3) Peralatan dimaksud juga sebagai penyebab turunnya kualitas suplai catu daya listrik pada sisi down –stream . Banyaknya peralatan yang dipergunakan di Bandar udara mulai dari peralatan fasilitas navigasi udara, fasilitas komunikasi , fasilitas airfield lighting sampai fasilitas mekanikal. Secara umum semua fasilitas tersebut dapat dikategorikan sebagai beban induktif dan non linier. Peralatan tersebut membutuhkan kestabilan tegangan dan frekuensi , akibatnya kestabilan catu daya listrik menjadi tidak tercapai . Disini beban non linier adalah beban yang operasionalnya

tidak tetap, atau operasionalnya seperti proses switching. Hampir semua peralatan elektronika termasuk kategori beban non linier. Peralatan ini sangat membutuhkan tegangan listrik dengan gelombang sinus yang tidak mengandung sag / swell, harmonik, transien, noise dan gaya elektro magnetik. Sama seperti beban induktif beban non linier juga menyumbang turunnya kualitas catu daya listrik. Penurunan tersebut lebih dominan dalam bentuk harmonik dan turunnya tegangan operasional .

3. Kelayakan pada aspek ekonomis
Kelayakan ini dinilai dari dampak ekonomis pada gangguan peralatan ditinjau dari masalah kualitas catu daya listrik di Bandar udara. Beragamnya penyebab masalah kualitas menjadikan beragamnya penanganan penyelesaian permasalahan yang diambil . Hal ini berakibat pada nilai investasi . Karenanya kelayakan aspek ekonomis menjadi perhatian khusus pada pemilihan metode yang harus dilakukan untuk memperbaiki kualitas catu daya listrik. Beban dengan kategori sebagai penyebab menurunnya kualitas berdampak pada menurunnya pengoperasian penerbangan yang aman , nyaman, cepat dan teratur . Tujuan kelayakan ekonomis ini adalah

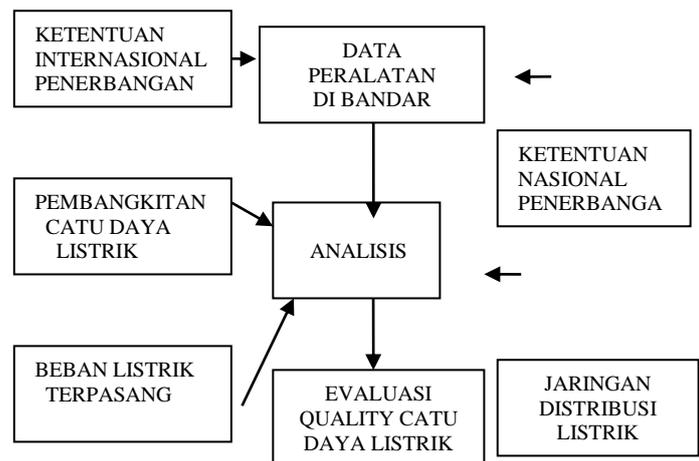
untuk menetapkan perbaikan kualitas yang sesuai dengan kebutuhan dan permasalahan yang ditimbulkan xxxxxx.

4. Kelayakan pada aspek teknis
Kelayakan ini dinilai dari dampak teknis pengaruh kualitas yang ditimbulkan peralatan keselamatan penerbangan dan peralatan lain di Bandar udara. Beragamnya peralatan fasilitas yang ada di Bandar udara menyebabkan beragam pula masalah kualitas yang ditimbulkannya . Keragaman tersebut tidak dapat ditangani dengan satu macam penyelesaian tetapi harus dilihat dari kebutuhan dan tingkat prioritasnya . Sebagai contoh pelayanan keselamatan operasi penerbangan yang menjaadi tolok ukur pada penetapan penyelesaian masalah kualitas , pelaksanaannya tidak dapat disamakan seperti pada penyelesaian kualitas pada fasilitas beban WTP , artinya penyelesaian tersebut harus disesuaikan dengan kebutuhan yang ingin dicapai.
5. Kelayakan pada aspek operasional
Kelayakan ini dinilai dari dampak operasional penggunaan peralatan ditinjau dari aspek masalah kualitas catu daya listrik di Bandar udara .Terganggunya operasional peralatan Bandar udara jelas akan berdampak pada operasi Bandar udara khususnya pada keselamatan penerbangan .

6. METODOLOGI PEMBAHASAN

Metodologi pembahasan yang dipilih bertujuan untuk memudahkan penjabaran dalam bentuk tulisan evaluasi dengan memperhatikan kontinuitas , stabilitas dan keamanan bagi berbagai peralatan dengan kategori beban prioritas teknik, beban prioritas umum dan beban non prioritas. Pola pikir yang menjadi pangkal tolak pembahasan dimulai dari data peralatan yang ada di Bandar udara . Jumlah dan jenis peralatan Bandar udara dipengaruhi oleh ketentuan Nasional dan Internasional mengenai penerbangan , di mana peralatan tersebut menuntut tersedianya catu daya listrik yang handal dalam menunjang pengoperasian Bandar udara. Analisis data peralatan Bandar udara dipengaruhi oleh pembangkitan catu daya listrik, jaringan distribusi listrik dan beban listrik sesuai dengan karakteristik dan kelas Bandar udara.

Pola pikir sebagaimana yang diuraikan diatas dapat dilihat pada bambar 2 berikut:



Gambar 2. Pola Pikir

6.1 KONDISI SAAT INI

Bandar udara yang dijadikan sampel dalam evaluasi kualitas catu daya listrik adalah sebagai berikut : Bandar udara Hasanuddin / Makassar , Tjilik Riwut /Palangka raya , H.A.S Hananjuddin / Tanjung Pandan dan Japura/Rengat .

1. Kondisi Bandar udara Hasanuddin /Makassar saat ini.

Catu daya listrik utama (PLN) menggunakan tegangan menengah 20 kV. Dari besaran kapasitas tersambung sudah memenuhi kebutuhan operasional beban. Bandar udara saat ini. Beberapa hal yang menjadi perhatian dari sistem kelistrikannya adalah sebagai berikut:

- 1) Kapasitas tersambung dari PLN sudah memenuhi kebutuhan operasi peralatan Bandar udara dengan 1 (satu) feeder incoming.
- 2) Beban terpasang terbagai dalam 3 (tiga) kategori yaitu : prioritas teknik, prioritas umum, dan non prioritas.
- 3) Jaringan yang ada sebagian sudah dalam tipe cincin dengan konfigurasi berdasarkan pembumian IT system.
- 4) Beban prioritas teknik dan prioritas umum telah di back up masing-masing dengan stand by genset secara terpisah dengan kapasitas back up

mencukupi untuk operasional peralatan , waktu transfer ke beban saat PLN off adalah < 15 detik.

- 5) Perubahan tegangan operasi PLN rata-rata adalah 3,9 % .
 - 6) Faktor daya jaringan 0,8.
 - 7) Rata-rata PLN off adalah 25 menit per hari.
 - 8) Sudah dilakukan perbaikan kualitas pada sistem jaringan distribusi listrik yaitu kapasitor bank dan UPS. Penggunaan UPS belum menyeluruh pada peralatan prioritas teknik yang menunjang operasi keselamatan penerbangan .
- ### 3. Kondisi Bandar udara Tjilik Riwut / Palangka Raya saat ini.
- Bandar udara Tjilik Riwut/Palangka Raya saat ini disuplai dari catu daya listrik utama (PLN) dengan tegangan menengah 6 kV. Dari besaran kapasitas tersambung sudah memenuhi kebutuhan operasional beban Bandar udara saat ini. Beberapa hal yang menjadi perhatian dari sistem kelistrikannya adalah sebagai berikut:
1. Kapasitas tersambung dari PLN sudah memenuhi kebutuhan operasi peralatan Bandar udara dengan 1 (satu) incoming
 2. Beban terpasang terbagai dalam 2 (dua) kategori yaitu prioritas dan non prioritas.

3. Jaringan yang ada masih dalam tipe radial dengan konfigurasi berdasarkan pembumian TT system
 4. Kedua beban prioritas dan non prioritas di back up dengan standby genset dengan kapasitas mencukupi , waktu transfer ke beban saat PLN off adalah < 15 detik.
 5. Perubahan tegangan operasi PLN rata-rata adalah 2,6 %
 6. Faktor daya jaringan 0,8
 7. Rata-rata PLN off adalah 5 s/d 8 jam per hari
8. Kondisi Bandar udara H.A.S Hananjuddin / Tanjung Pandan.
Bandar udara H.A.S Hananjuddin /Tanjung Pandan saat ini disuplai dari catru daya,listrik utama (PLN) dengan tegangan operasi 220/380 Volt . Dari besaran kapasitas tersambung nya sudah memenuhi kebutuhan operasional beban Bandar udara saat ini. Beberapa hal yang menjadi perhatian dari sistem kelistrikan adalah sebagai berikut :
- 1) Kapasitas tersambung dari PLN sudah memnuhi kebutuhan operasi peralatan Bandar udara dengan 1 (satu) feeder incoming.
 - 2) Beban terpasang masih dikelompokkan dalam 1 (satu) kategori , artinya belum ada pembagian beban prioritas dan non prioritas.
 - 3) Jaringan yang ada masih dalam tipe radial dengan konfigurasi berdasarkan pembumian TT system.
 - 4) Kebutuhan back up untuk beban disuplai oleh stand by genset dengan kapasitas mencukupi , waktu transfer ke beban saat PLN off adalah < 15 detik.
 - 5) Perubahan tegangan operasi PLN rata-rata adalah 3,9 %
 - 6) Faktor daya jaringan 0,8
 - 7) Rata-rata PLN off adalah 8 s/d 12 jam per hari
4. Kondisi Bandar udara Japura/Rengat saat ini.
Bandar udara Japura / Rengat saat ini disuplai daru catu daya listrik utama (PLN) dengan tegangan operasi 220/380 Volt . Dari besaran kapasitas tersambung nya sudah memenuhi kebutuhan operasional beban Bandar udara saat ini. Beberapa hal yang menjadi perhatian dari sistem kelistrikannya adlah sebagai berikut:
- 1) Kapasitas tersambung dari PLN sudah memenuhi kebuthan operasi peralatan Bandar udara dengan 1 (satu) feeder incoming.
 - 2) Beban terpasang masih dikelompokkan dalam 1 (satu) kategori, artinya belum ada pembagian beban prioritas dan non prioritas.
 - 3) Jaringan yang ada masih dalam tipe radial dengan konfigurasi berdasarkan pembumian TT system.

- 4) Kebutuhan back up untuk beban disuplai oleh standby genset dengan kapasitas mencukupi , waktu transfer ke beban saat PLN off adalah < 15 detik.
- 5) Perubahan tegangan operasi PLN rata-rata adalah 3,9 %.
- 6) Faktor daya jaringan 0,8.
- 7) Rata-rata PLN off adalah 8 s/d 12 jam per hari

6.2 ANALISIS KONDISI AWAL

1. Analisis system pembangkitan catu daya listrik di Bandar udara
Kondisi sistem pembangkit catu daya listrik secara umum sudah memenuhi kebutuhan operasional beban di Bandar udara. Melihat sering terjadinya pemadaman catu daya listrik PLN, ini sangat mengganggu kinerja peralatan Bandar udara. Catu daya listrik cadangan yang tersedia belum mengantisipasi kemungkinan terjadinya gangguan operasi disel generating set. Bila terjadi gangguan/pemadaman listrik PLN maka akan terjadi pemadaman total. Agar kontinuitas operasi terjamin, maka jumlah diesel generating set cadangan minimum harus 2 (dua) unit dengan kapasitas sesuai dengan kelas bandar udara, sehingga kemungkinan terjadinya kegagalan seperti dijelaskan di atas dapat diatasi. Selain itu karakteristik dari back up diesel generating set cadangan harus mendapat perhatian.
2. Analisis sistem jaringan distribusi berdasarkan sistem pembumiannya .

Sistem jaringan distribusi umumnya masih mempergunakan tipe radial yang artinya kemampuan sistem terhadap kontinuitas operasi masih rendah, tetapi pada Bandar udara utama seperti Bandar udara Soekarno Hatta dan Bandar udara Ngurah Rai sistem jaringan distribusinya sudah dengan tipe cincin . Dalam penetapan jaringan distribusi berdasarkan sistem pembumian, belum memperhatikan kontinuitas operasi khususnya pada beban prioritas teknik yang sangat memerlukan tingkat kehandalan yang tinggi. Jaringan distribusi dengan sistem pembumian IT, dimaksudkan agar beban prioritas teknik tetap terjaga / tidak terputus walau terjadi suatu gangguan pada jaringan, karena arus gangguan yang timbul dalam sistem ini kecil dan tidak mampu untuk memutus circuit breaker .

3. Analisis karakteristik beban-beban listrik Bandar udara.
Beban-beban listrik pada peralatan keselamatan operasi penerbangan termasuk dalam kategori beban non linier, artinya peralatan tersebut selain memerlukan kualitas catu daya listrik yang baik, juga sebagai penyumbang turunya kualitas catu daya jaringan listrik. Peletakan masing-masing peralatan tersebut dalam memperoleh sumber catu daya listrik agar tidak disamaratakan, karena harus mempertimbangkan prioritas dan dampak kualitas yang

ditimbulkannya. Hal ini dimaksudkan agar penanganan masalah kualitas dapat lebih mudah dan lebih ekonomis .

4. Analisis penyelesaian kualitas catu daya listrik yang telah dilakukan .
Perbaikan kualitas catu daya listrik umumnya belum dilaksanakan di seluruh Bandara kecuali Bandar udara Soekarno Hatta dan Bandar udara Ngurah Rai .

Power Kualitas by Schneider Electric .
Power Kualitas by Union of the Electricity Industry.

7. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Terdapat 2 (dua) jenis beban listrik di Bandar udara yaitu beban linier dan non linier.
2. Beberapa masalah yang dtimbulkan oleh penurunan kualitas catu daya listrik:
 - 1) Pemadaman
 - 2) Under voltage/over voltage
 - 3) Dip, Sag dan Swell.
 - 4) Surge /Transien
 - 5) Noise / Derau
 - 6) Distorsi harmonik.
3. Agar disediakan lebih dari 1 (satu) feeder/ sumber yang berbeda untuk penyaluran catu daya listrik utama.

DAFTAR PUSTAKA

Aerodrome Design Manual part IV dan V
ICAO, Annex 10 Telecommunications.
ICAO, Annex 14 Aerodromes and IEE
1159 Document.
.Peraturan Umum Instalasi Listrik(PUIL)
Tahun 2000.
Power Kualitas Application Guide by
Copper Development Association.