

**ID: 40**

## Studi Parameter-parameter Sistem Tenaga Listrik Pada Infrastruktur Kelistrikan Bandara Dengan Sistem Konfigurasi Spindel

### *Study Parameters Of Electric Power System at Airport Infrastructure Electricity With Spindle Configuration*

Saepul Uyun.<sup>1,3</sup>, Nanang Ismail<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung  
Jl. A.H. Nasution 105 Bandung, Indonesia

<sup>3</sup> Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu, Bandung, Indonesia, (022) 7566456

saepuluyun@uinsgd.ac.id<sup>1</sup>, nanang.is@uinsgd.ac.id<sup>2</sup>, saepuluyun.student@telkomuniversity.ac.id<sup>3</sup>

**Abstrak** – Bandara sebagai salah satu fasilitas penting pada layanan publik moda transportasi udara, yang merupakan simpul jaringan dalam kegiatan operasinya. Fungsinya harus didukung oleh suplai daya listrik yang baik, pada rancangannya sesuai dengan ANEX AERODROME serta standar pelayanan kelistrikan pada IEEE dan SPLN. Dengan demikian perlu ditentukan bagaimana parameter sistem tenaga listrik fasilitas layanan publik pada infrastruktur kelistrikan bandara. Penentuan parameter dilakukan dengan menggunakan metode studi literatur, serta pemodelan dan simulasi pada desain konfigurasi sistem tenaga listrik ideal untuk sebuah bandara. Desain sistem tenaga listrik dengan konfigurasi radial, direkonfigurasi ulang dengan konfigurasi alternatif, menggunakan metode konfigurasi spindel. Desain konfigurasi tersebut akan disimulasi menggunakan dua metode yaitu, *reliability assessment* dan *load flow analysis* pada perangkat lunak ETAP. Selanjutnya dilakukan analisis data hasil simulasi, dengan membandingkan nilai parameter yang didapatkan seperti nilai *Drop voltage*, *Losses*, SAIFI, SAIDI, ASAI dan EENS. Sehingga disimpulkan konfigurasi dengan metode konfigurasi spindel lebih mendekati ketentuan standar yang ada, dengan nilai *Drop voltage* sebesar 98,791 % atau 19,7582 kV, *Losses* 0,053 MW, indeks SAIFI (1,1763 f/Cs.yr), indeks SAIDI (7,0248 hr/Cs.yr), indeks ASAI (0,9992 pu). Indeks EENS (42,149 MW.hr/yr).

**Kata Kunci:** Bandara, *Load Flow Analysis*, Rekonfigurasi Saluran, *Reliability Assessment*, Sistem Tenaga Listrik.

**Abstract** – The airport is one of the important facilities in the public service for air transportation, which is the network node in its operational activities. Its function must be supported by a good electrical power supply, in accordance with ANEX AERODROME design and electrical service standards in IEEE and SPLN. Thus it is necessary to determine how the parameters of the electric power system of public service facilities in airport electricity infrastructure. The determination of parameters is carried out using the method of literature studies, as well as modeling and simulation on the ideal power system configuration design for an airport. The power system design was radial configuration, reconfigured with an alternative configuration, using the spindle configuration method. The configuration design will be simulated using two methods, namely, *reliability assessment* and *load flow analysis* in the ETAP software. Furthermore, the data analysis of the simulation results is carried out, by comparing the values of the parameters obtained, such as the value of *Drop voltage*, *Losses*, SAIFI, SAIDI, ASAI and EENS. So it can be concluded that the configuration with the spindle configuration method is closer to the existing standard requirements, with a drop voltage value of 98.791% or 19.7582 kV, *Losses* 0.053 MW, SAIFI index (1.1763 f / Cs.yr), SAIDI index (7.0248 hr / Cs.yr), ASAI index (0.9992 pu). EENS Index (42,149 MW.hr/yr).

**Keywords:** Airport, *Load Flow Analysis*, Line Reconfiguration, *Reliability Assessment*, Electric Power System.

## 1. Pendahuluan

Pentingnya sebuah fasilitas pelayan publik untuk memenuhi hajat hidup orang banyak sehingga diatur oleh pemerintah dalam UU.No 2.Thn 2009 [1]. Salah satu fasilitas pelayan publik yang menunjang dalam aktifitas publik adalah bandara.

Bandara merupakan salah satu fasilitas pelayanan publik pada moda transportasi udara. Bandara sebagai simpul jaringan transportasi udara tempat berlangsungnya perpindahan antar maupun inter-moda transportasi dalam kegiatan operasinya, akan mengakibatkan terjadinya interaksi antar komponen seperti bandara, oprator penerbangan dan pengguna jasa. Untuk mencapai fungsi tersebut bandara dilengkapi dengan beberapa fasilitas yang dibagi kedalam 3 komponen berdasarkan pembagian wilayah operasi yaitu sisi udara (*airside*), sisi darat (*landside*) dan lingkungan sekitar bandara. Program pemeliharaan, pengembangan dan pembangunan fasilitas pada bandara diarahkan untuk memenuhi standar yang direkomendasikan oleh ICAO ANNEX 14 AERODROMES. Pada sisi udara seperti alat bantu visual navigasi, hanggar pesawat, serta kegiatan *ground handling*, pada sisi darat seperti gedung terminal, terminal barang atau kargo, serta *crub side*. Ketersediaan fasilitas catu daya seperti pembangkit, transmisi, distribusi dan pusat beban pada bandara mutlak diperlukan.

Hanya saja gangguan yang sering terjadi pada sistem seperti pemadaman karena kerusakan komponen kelistrikan, terhentinya suplai daya dari PLN, hubung singkat, tegangan berlebih, dan *over load* akan mengganggu kinerja sistem secara keseluruhan. Untuk itu diperlukan studi parameter dasar sistem tenaga listrik fasilitas layanan publik di infrastruktur kelistrikan bandara. Dimana hal tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam perancangan pengembangan dan antisipasi kegagalan pengoperasian sistem kelistrikan bandara. Dengan demikian dilakukan pendekatan melalui sebuah studi litelatur dan pemodelan terhadap proses pelayanan suplai daya listrik oleh fasilitas sistem kelistrikan bandara.

Desain model yang tebetuk akan direkonfigurasi ulang untuk selanjutnya dianalisis dengan menggunakan metode *Load Flow Analysis* dan *Reliability Assesment*. Data yang dihasilkan kemudian akan dibandingkan dengan standar pada IEEE dan SPLN, untuk menentukan konfigurasi dan parameter yang paling sesuai.

## 2. Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sistem tenaga listrik dapat dikatakan terdiri dari tiga bagian utama, yaitu :

1. pembangkit tenaga listrik,
2. penyaluran tenaga listrik dan
3. distribusi tenaga listrik.

Sistem tenaga listrik modern merupakan sistem yang kompleks yang terdiri dari pusat pembangkit, saluran transmisi dan jaringan distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke pusat pusat beban. [2].

### 2.1. Komponen Sistem Tenaga Listrik

Komponen-komponen utama suatu system tenaga listrik terdiri dari [3];

#### a). Sistem Pembangkitan

Sistem Pembangkitan Tenaga Listrik berfungsi membangkitkan energi listrik melalui berbagai macam pembangkit tenaga listrik. Pada pembangkit tenaga listrik ini sumber-sumber energi alam diubah oleh penggerak mula menjadi energi mekanis yang berupa kecepatan atau putaran dan selanjutnya energi mekanis diubah menjadi energi listrik oleh generator. Selain itu ada proses dimana energi potensial langsung dirubah menjadi energi listrik.

#### b). Sistem Transmisi

Sistem transmisi berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban melalui saluran transmisi, karena adakalanya pembangkit tenaga listrik dibangun ditempat yang jauh dari pusatpusat beban.

### c). Sistem Distribusi

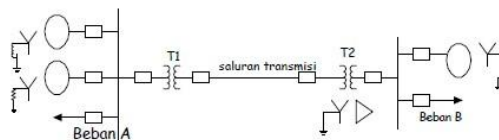
Sistem Distribusi berfungsi mendistribusi-kan tenaga listrik ke konsumen yang berupa pabrik, industri, perumahan dan sebagainya. Transmisi tenaga dengan tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi pada saluran transmisi diubah pada gardu induk menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi primer, yang selanjutnya tegangannya diturunkan lagi menjadi tegangan untuk konsumen.

## 2.2. Pemodelan Komponen Sistem Tenaga Listrik

Untuk melakukan sebuah analisa pada sistem maka kita perlu melakukan pemodelan terhadap sistem tersebut, salah satunya pemodelan pada komponen-komponen dari sebuah sistem kelistrikan seperti [3];

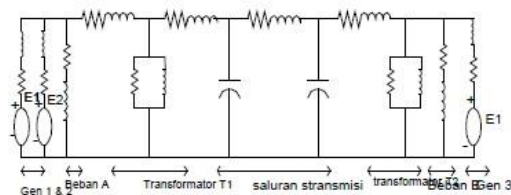
1. Pemodelan Pembangkit
2. Pemodelan Saluran, serta
3. Pemodelan Trafo

Pemodelan pada sebuah sistem bisa menggunakan model diagram segaris. Diagram segaris adalah suatu diagram yang menunjukkan suatu garis tunggal dan lambang-lambang standar saluran transmisi dan peralatan-peralatan yang berhubungan dengan suatu sistem listrik. Kegunaan diagram segaris adalah untuk memberikan informasi yang berarti mengenai suatu sistem dalam bentuk yang ringkas.



Gambar.2.1 Diagram segaris sistem sederhana

Dalam aturan untuk menganalisis unjuk kerja dari suatu sistem tenaga listrik baik dalam keadaan berbeban atau dalam keadaan terjadi suatu gangguan hubung singkat, maka diagram segaris diatas harus diubah kedalam suatu gambar impedans yang memperlihatkan ekivalen untai dari tiap komponen sistem. Sistem tenaga yang sederhana seperti pada gambar diatas, gambar diagram impedansnya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.2 Diagram impedansi sistem

## 2.3. Parameter Dasar Sistem Tenaga Listrik

Parameter dalam sistem tenaga listrik secara umum digunakan untuk mengukur kinerja atau unjuk kerja dari sebuah sistem tenaga listrik. Berikut akan di paparkan mengenai beberapa parameter sistem tenaga.

### 2.3.1. Aliran Daya

Analisis aliran daya pada sistem tenaga, bertujuan untuk melihat bagaimana aliran daya dalam sistem. Peubah yang terlibat dalam perhitungan adalah daya. Dengan menggunakan daya sebagai peubah dalam perhitungan, maka persamaan yang dihadapi menjadi bukan

persamaan linier. Sumber, merupakan *sumber daya* yang hanya boleh beroperasi pada batas daya dan tegangan tertentu. Sementara itu beban adalah bagian rangkaian yang menyerap daya, sehingga dapat dinyatakan sebagai besar daya yang diminta/diperlukan, pada tegangan tertentu. Suatu permintaan daya hanya dapat dilayani selama pembebanan tidak melampaui batas daya yang mampu disediakan oleh sumber. Jadi walaupun rangkaian tetap rangkaian linier, namun relasi daya antara sumber dan beban tidaklah linier. Oleh karena itu persamaan rangkaian dengan daya sebagai peubah merupakan *persamaan nonlinier*. Dalam memecahkan persamaan nonlinier ini memerlukan cara khusus. [4].

#### a). Ketentuan dalam Analisis Aliran Daya

Dalam analisis aliran daya, diambil ketentuanketentuan sebagai berikut:

1. Sistem dalam keadaan seimbang, dengan keadaan seimbang ini dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan model satufasa.
2. Semua besaran dinyatakan dalam per-unit, dengan menggunakan sistem satuan ini bisa terbebas dari persoalan perbedaan tegangan di berbagai bagian sistem yang diakibatkan oleh pemanfaatan transformator dalam upaya penyaluran daya.

Bus-bus dalam rangkaian sistem tenaga merupakan simpul-simpul rangkaian yang biasa dikenali dalam analisis rangkaian listrik. Bus-bus ini dapat dikelompokkan dalam beberapa jenis [4]:

- i) Bus-generator (*generator bus*), yaitu bus dimana generator dihubungkan melalui transformator.
- ii) Bus-beban (*load bus*), yaitu bus yang tidak terhubung ke generator tetapi terhubung hanya ke beban.
- iii) *Slack Bus*. Jika hanya memperhatikan daya sumber dan daya beban, teorema *Tellegen* tidak akan terpenuhi karena masih ada daya keluar dari rangkaian yang tidak diketahui yaitu daya yang diserap oleh saluran dan transformator. Oleh karena itu, untuk keperluan analisis, jika tegangan semua bus-beban diketahui, baik melalui dugaan perhitungan maupun ditetapkan, tegangan busgenerator juga harus dapat ditetapkan, maka ada satu bus yang dibiarkan mengambang; bus mengambang ini disebut *slack bus*. *Slack bus* seolah berfungsi sebagai simpul sumber bebas (dalam analisis rangkaian listrik yang biasa dikenali) yaitu sumber atau bus generator yang memberikan tegangan sesuai dengan permintaan sistem. Dengan cara ini maka teorema *Tellegen* akan bisa dipenuhi.

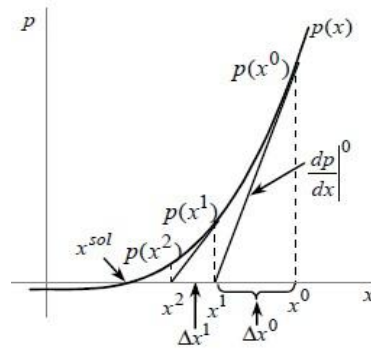
#### b). Metoda Newton-Raphson

Formula Iterasi – Persamaan Rekursi. Dalam buku - buku referensi, formula iterasi biasanya diturunkan melalui penguraian fungsi nonlinier menjadi deret Taylor dan mengabaikan suku - suku dengan orde tinggi. Di sini akan dilakukan penurunan melalui pengamatan grafis.

Persamaan dengan peubah tunggal. dimisalkan sebuah persamaan nonlinier dengan peubah tunggal,

$$p(x) = 0$$

dan akan dicari solusinya dengan cara iterasi. Ruas kiri persamaan ini dapat dipandang sebagai sebuah fungsi, dan dimisalkan fungsi ini adalah kontinyu dalam domain yang ditinjau. Dapat digambarkan kurva fungsi ini dibidang  $px$ ; nilai  $x$  sebagai solusi adalah titik potong kurva dengan sumbu- $x$ , yaitu  $x_{sol}$ , seperti terlihat pada gambar di bawah ini. Indeks atas digunakan untuk menunjukkan langkah iterasi, misalnya  $x_0$  adalah iterasi ke-0 yaitu dugaan awal,  $x_1$  adalah iterasi ke-1, dan seterusnya [5] [4].



Gambar 2.3 Proses iterasi untuk persamaan  $p(x) = 0$ .

**c). Studi Aliran Daya Dengan Komputer Digital.**

Perubahan listrik menggunakan program yang dibuat dengan teliti untuk melakukan studi aliran beban. Suatu program yang khas sanggup menangani sistem dengan lebih dari 2000 rel, 3000 saluran, dan 500 buah transformator. Sudah tentu program ini masih dapat diperluas untuk sistem yang lebih besar lagi, asal saja fasilitas komputer yang digunakan cukup besarnya.

Saluran, antar-rel	Panjang		R Ω	X Ω	R per unit	X per unit	Mvar pengisian
	km	mi					
1-2	64,4	40	8	32	0,042	0,168	4.1
1-5	48,3	30	6	24	0,031	0,126	3.1
2-3	48,3	30	6	24	0,031	0,126	3.1
3-4	128,7	80	16	64	0,084	0,336	8.2
3-5	80,5	50	10	40	0,053	0,210	5.1
4-5	96,5	60	12	48	0,063	0,252	6.1

Gambar 2.4 Contoh data input nilai pada program komputer untuk menghitung aliran daya.

Data yang diberikan pada komputer harus berisi nilai angka seperti dalam Tabel dan suatu petunjuk apakah rel itu merupakan suatu rel berayun, suatu rel yang diregulasikan (*regulated*) di mana besarnya tegangan dibuat konstan dengan membangkitkan daya reaktif  $Q$ , atau suatu rel dengan nilai  $P$  dan  $Q$  yang telah ditentukan. Di mana nilai-nilai tersebut tidak akan dibuat konstan, kuantitas-kuantitas yang diberikan dalam daftar diartikan sebagai perkiraan pertama. Biasanya batasan (*limits*) pembangkitan  $P$  dan  $Q$  harus ditetapkan juga, dan demikian pula dengan batasan kilovoltampere saluran. Jika tidak ada ketentuan lain, program-program biasanya menetapkan 100 MVA sebagai dasar.

Program komputer menciptakan suatu representasi nominal dari saluran dengan jalan membagi dua sama besar kapasitansi yang dihitung dari nilai megavars pengisian yang diberikan, di antara kedua ujung-ujung saluran. Untuk suatu saluran yang panjang, komputer dapat diprogram untuk menghitung ( $\phi$ ) ekivalen untuk kapasitansi yang tersebar merata di sepanjang saluran. [6]

**2.3.2. Keandalan**

Keandalan merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem, untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem, harus diadakan pemeriksaan dengan cara melalui perhitungan maupun analisa terhadap tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau, pada periode tertentu kemudian membandingkannya dengan standar yang ditetapkan sebelumnya [7].

Dari bermacam indikasi perfomansi yang digunakan untuk menggambarkan interupsi pada operasi sistem distribusi adalah sebagai berikut [8] :

## a). System Average Interruption Frequency Index

SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) adalah jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi per pelanggan yang dilayani per satuan waktu (umumnya tahun). Indeks ini ditentukan dengan membagi jumlah semua kegagalan dalam satu tahun dengan jumlah pelanggan yang dilayani oleh sistem tersebut

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_k M_k}{\sum M}$$

dimana:

$\lambda_k$  = laju kegagalan saluran

$M_k$  = jumlah pelanggan pada saluran k

M = total pelanggan pada sistem

## b). System Average Interruption Duration Index

SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) adalah nilai rata rata dari lamanya kegagalan untuk setiap suplai beban selama satu tahun. Indeks ini ditentukan dengan pembagian jumlah dan lamanya kegagalan secara terus menerus untuk semua suplai beban selama periode waktu yang telah ditentukan dengan jumlah beban yang dilayani selama tahun itu. Persamaan SAIDI dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$SAIDI = \frac{\sum \mu_k M_k}{\sum M}$$

dimana:

$\mu_k$  = laju perbaikan saluran

$M_k$  = jumlah beban pada saluran k

M = total pelanggan pada sistem

## c). Customer Average Interruption Duration Index

CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*) adalah index durasi gangguan konsumen rata-rata tiap tahun, menginformasikan tentang waktu rata-rata untuk penormalan kembali gangguan tiap-tiap pelanggan dalam satu tahun.

$$CAIDI = \frac{SAIFI}{SAIDI}$$

## d). Average Service Availability Index

ASAI (*Average Service Availability Index*) adalah indeks yang menunjukkan ketersediaan pelayanan rata-rata pada sistem tenaga listrik.

$$ASAI = \frac{8760 - SAIDI}{8760}$$

## e). Expected Energy Not Supplied

EENS (*Expected Energy Not Supplied*) adalah indeks perkiraan jumlah energi tidak tersalurkan oleh sistem.

$$EENS = \sum \frac{L a_i \mu_k}{M}$$

### 3. Desain Sistem Tenaga Listrik Ideal Pada Fasilitas Layanan Publik Di Infrastruktur Kelistrikan Bandara.

#### 3.1. Gambaran Umum Sistem Kelistrikan Bandara

Pada umumnya hampir seluruh bandara di Indonesia dalam mengoperasikan peralatannya seperti komponen telekomunikasi penerbangan, navigasi penerbangan, alat bantu pendaratan visual dan beban – beban yang terpasang di terminal penumpang, terminal kargo serta area dalam bandara menggunakan catu daya utama yang disuplai dari listrik PLN. Untuk bandara dimana suplai listrik dari PLN belum ada maka catu daya utama diambil dari generator atau dari *solar cell*.

Untuk catu daya utama dari PLN maupun pembangkitan sendiri dengan generator, tetap memerlukan catu daya cadangan menggunakan generator. Bandara dengan aktivitas sangat padat sudah dilengkapi dengan peralatan pendukung ketersediaan catu daya seperti UPS untuk menjamin tidak terjadi putus suplai listrik terhadap beban yang sangat vital.

Menurut SPLN sistem jaringan listrik di bandara termasuk sistem distribusi dengan tegangan masuk yang paling tinggi digunakan adalah 20 KV. Jaringan listrik di bandara hanya menggunakan jaringan tegangan menengah dan jaringan tegangan rendah, menggunakan arus bolak balik 3 phase dan 1 phase. Pada bandara selain kelas I masih banyak yang berlangganan listrik PLN tegangan rendah. Konfigurasi pada jaringan kelistrikan 20 kV, secara umum masih menggunakan konfigurasi radial [9].

Dalam menjamin ketersediaan pelayanan suplai listrik terhadap beban yang sangat vital serta kemungkinan pengembangan sistem yang disesuaikan dengan kebutuhan pelayanan pada sebuah bandara. Sistem kelistrikan pada bandara harus memiliki konfigurasi jaringan dengan tingkat keandalan yang baik, agar hal tersebut diatas bisa terpenuhi. Berikut akan dipaparkan bagaimana pembagian beban pada bandar udara serta konfigurasi saluran sistem yang melayani kebutuhan suplai daya beban tersebut.

##### 3.1.1. Pembagian Beban Listrik

Pengelompokan beban dilakukan untuk menentukan mana tingkat atau kelas beban yang harus didahulukan atau diutamakan dalam proses pelayanan dan ketersediaan suplai dari sistem. Berikut merupakan pembagian kelas beban pada bandara.

- a). Pada bandar udara kelas Utama, kelas I dan kelas II, beban listrik dibagi menjadi 3 kelompok yaitu [10] :
  1. Beban prioritas teknik (melayani seluruh peralatan operasi keselamatan penerbangan pada sisi udara) dengan kehandalan tinggi, tidak boleh terjadi putus suplai, *switch over time* sama dengan 0-1 detik sehingga memerlukan *Uninterruptable Power Supply* (UPS). Serta harus seminimal mungkin terpengaruh oleh gangguan akibat kurang baiknya kualitas dan stabilitas catu daya listrik sehingga banyak dilengkapi dengan peralatan pendukung untuk meningkatkan kualitas dan stabilitas catu daya listrik.
  2. Beban prioritas umum atau pelayanan ( melayani sebagian penerangan terminal, AC peralatan elektronika dan mekanikal di terminal. Dilengkapi dengan kapasitor *bank*).
  3. Beban non prioritas (sebagian lampu jalan, taman dan dan sebagian gedung perkantoran)
- b). Bandar udara kelas III, kelas IV dan kelas V, beban listrik dibagi menjadi 2 kelompok :
  1. Beban esensial (melayani seluruh peralatan operasi keselamatan penerbangan pada sisi udara) dengan jeda waktu putus dan *switch over time* 7 – 15 detik.
  2. Beban non esensial (melayani sebagian peralatan penerangan terminal, perkantoran, elektrik dan mekanikal, lampu jalan, taman dan halaman parkir.
- c). Pengelompokan titik beban pada sebuah bandara umum. Titik beban atau *load bus* merupakan bagian rel bus yang terhubung atau mejadi titik pencabangan penyaluran

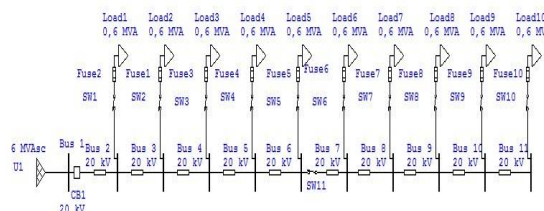
kebutuhan daya terhadap beban pada area tetentu. Tabel 3.1 berikut akan memuat data rel bus atau titik beban untuk area tertentu disebuah bandara.

Tabel 3. 1 Daftar bus beban pada area bandara.

ID _ BUS	Service	kVA
POL	Terminal Bahan Bakar	788
PTB-1	Passenger Terminal Building 1	1287
PTB-2	Passenger Terminal Building 2	1287
AOB	Oprational Building	282
CG	Cargo	235
MPH-TO	Main Power Building	18,5
RA	Parking Area	22,5
RB	Building Area	22,8
R28	Run Way	110,87
TH10	Tower Area	50,91
OB	Oprational Building	282
RC	Service Area	91,6
AP-1	Apron	83,37
AP-2	Apron	96,42
SD-1	Hanggar 1	891
R10	Run Way	144,44
Total Kebutuhan Dari Beban.		5963,41

**3.1.2. Konfigurasi Saluran pada Sistem Kelistrikan Bandara.**

Secara umum konfigurasi jaringan tenaga listrik hanya terbagi kedalam dua kelompok utama yakni, konfigurasi jaringan radial dan loop. Jaringan yang digunakan pada bandara di indonesia umumnya menggunakan jaringan radial terhadap pelayanan beban langsung. Berikut akan dipaparkan jaringan radial pada sebuah bandara dari sisi pelayanan terhadap kebutuhan.



Gambar 3. 1 Konfigurasi radial pada sistem kelistrikan bandara.

Konfigurasi yang ditunjukkan Gambar 3.1 merupakan sebuah desain dari konfigurasi radial. Dimana pada desain tersebut terdapat sambungan pada rel bus tegangan, dengan tegangan kerja 20 kV dan terhubung pada saluran yang melayani kebutuhan beban sebesar 6 MVA. Pada sisi saluran memiliki 10 bus beban yang melayani 10 titi beban, selain itu pada sistem dilengkapi dengan PMT dan PMS berupa CB, LBS serta Fuse.

Konfigurasi radial atau jaringan radial seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1, merupakan sebuah jaringan yang memiliki satu sumber pasokan atau suplai daya terhadap beban dari sebuah rel bus. Karena desain rangkaian sistem yang sederhana, sehingga secara ekonomis



biaya investasinya lebih murah dibandingkan dengan jenis konfigurasi lainnya. Tetapi disebuah bandara yang menggunakan konfigurasi jaringan radial pada sistem kelistrikan, pasokan atau suplai daya pada beban hanya bergantung pada satu saluran atau kawat konduktor utama pada rel bus utama. Ketika mengalami sebuah gangguan atau kegagalan pada sistem, maka proses suplai atau pemenuhan kebutuhan daya terhadap beban akan terputus atau terhenti hal ini menyebabkan kondisi “*black-out*”. Kondisi tersebut merupakan sebuah pemutusan pada bagian tertentu dipelayanan sistem yang mengalami gangguan atau keadaan tidak normal sehingga suplai daya terhenti. Jika hal ini terjadi dibagian sistem paling ujung pada pelayanan, maka bagian sistem lain tidak akan terganggu. Akan tetapi menjadi masalah ketika yang mengalami gangguan pada bagian tengah atau hulu dari saluran pada sistem yang menggunakan konfigurasi radial, akan menyebabkan kondisi “*black-out*” pada bagian yang tidak mengalami gangguan atau kerusakan. Kondisi tersebut dikarenakan tidak ada saluran lain yang bisa digunakan untuk menggantikan saluran utama, sehingga daerah pemadaman akan lebih luas.

Paparan mengenai sistem kelistrikan dengan konfigurasi radial tersebut kontras dengan kebutuhan sebuah bandara, yang memiliki batas waktu pemadaman saat *switch over* atau kondisi gangguan terhadap pelayanan suplai pada beban. Dengan demikian perlu dilakukan rekonfigurasi ulang pada sistem, untuk optimalisasi pelayanan serta mengakomodir kemungkinan kebutuhan perluasan sistem pada bandara.

### 3.1.3. Penentuan Parameter Kelistrikan Bandara.

Dalam melakukan analisis terhadap kondisi sistem tenaga listrik untuk infrastruktur kelistrikan sebuah bandara, tentu harus dilakukan penyesuaian terhadap komponen parameter yang akan digunakan. Berdasarkan pada studi literatur yang ada, dapat ditentukan beberapa komponen parameter berdasarkan pendekan input data yang digunakan dalam pemodelan. Berikut komponen parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas dan keandalan suplai daya pada sebuah fasilitas kelistrikan bandara :

#### a). Parameter Kualitas Aliran Daya.

Dalam kualitas aliran daya ditentukan dua komponen parameter. Komponen parameter pertama berupa nilai jatuh tegangan (*Drop Voltage*), komponen parameter kedua berupa nilai rugi-rugi daya (*Losses*). Kedua komponen parameter ini dipilih karena data input pada desain model yang digunakan berupa nilai tegangan kerja dan nilai kebutuhan suplai daya yang harus dilayani oleh sistem. Dimana pada bandara suplai daya yang digunakan bersumber dari perusahaan penyedia jasa layanan listrik dengan tegangan kerja pada saluran adalah tidak boleh kurang dari 6 kV (ANEX AERODROME) [11], serta tegangan kerja yang digunakan PLN untuk SUTM atau skala industri adalah 20 kV (SPLN).

Rugi-rugi daya digunakan sebagai komponen parameter kualitas kedua, karena rugi-rugi daya merupakan pengaruh dari hambatan. Dimana hambatan ini berupa keseluruhan komponen dari saluran yang tersusun dalam sistem distribusi tenaga listrik, berupa nilai impedansi dan admitansi. Komponen tersebut berupa saluran, line atau kabel, rel bus dan konduktor lain yang dilalui oleh aliran daya. Pada desain model hambatan direpresentasikan oleh konduktor atau saluran transmisi dari GD menuju beban. Seperti ditunjukkan dalam persamaan aliran daya, dimana hambatan diwakili oleh lambang admitansi.

#### b). Parameter Keandalan Penyaluran.

Tingkat Keandalan kontinuitas penyaluran bagi pemanfaat tenaga listrik adalah berapa lama padam yang terjadi dan berapa banyak waktu yang diperlukan untuk memulihkan penyaluran kembali tenaga listrik [12]. Melihat pada pernyataan tersebut dalam menilai keandalan sistem khususnya untuk sebuah jaringan SUTM, digunakan beberapa komponen parameter untuk mengukur tingkat keandalan sebuah sistem distribusi atau penyaluran.

Komponen parameter yang dipilih ialah nilai indeks SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), indeks SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), Indeks ASAI

(Average Service Availability Index) dan Indeks EENS (*Expected Energy Not Supplied*). Komponen parameter tersebut dipilih berdasarkan masukan data pada desain model sistem berupa data spesifikasi saluran, PMT, CB dan rel bus serta jenis kelas beban pada bandara. Dalam data best perangkat lunak ETAP, data spesifikasi reliability komponen berupa nilai *failure/year*, *repair/year*, MTTF (*Mean Time To Failure*), MTTM (*Mean Time To Repair*), waktu peralihan atau *swiching* yang diinginkan dalam hal ini sesuai dengan pengelompokan jenis beban pada kelas bandara.

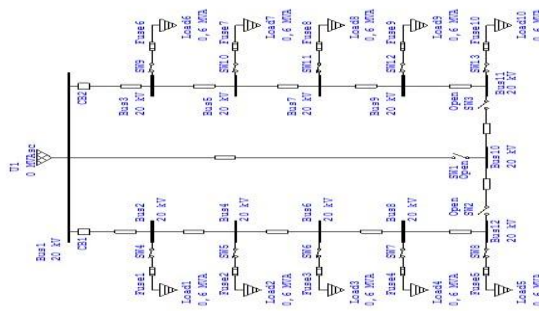
Indeks SAIFI dan SAIDI digunakan dalam parameter penentuan keandalan penyaluran karena disesuaikan dengan data permintaan durasi gangguan, yang disesuaikan dengan dengan pengelompokan beban pada kelas bandara. Dimana permintaan waktu atau durasi gangguan ditekankan pada penilai dari sisi sistem secara keseluruhan dalam periode waktu tertentu dan bukan pada sisi konsumen. Sedangkan untuk indeks ASAI dan EENS digunakan sebagai pembandingan tambahan, untuk mengetahui kemampuan sistem dalam proses penyaluran daya. Dimana indeks ASAI menunjukkan ketersediaan pelayanan oleh sistem dalam satuan perunit sistem, sedangkan indeks EENS digunakan untuk melihat berapa nilai daya yang tidak tersuplai dalam periode waktu tertentu dan dapat dijadikan acuan tambahan dalam proses perbaikan ataupun pengebangan sistem suplai tenaga listrik.

### 3.2. Alternatif Desain Model Konfigurasi Sitem Tenaga Listrik Ideal.

Kondisi sebuah sistem dengan konfigurasi radial memiliki kelebihan dari sisi ekonomis dan kordinasi proteksi yang lebih sederhana, namun masih ada konfigurasi sistem tenaga listrik lain yang bisa digunakan pada fasilitas kelistrikan bandara. Konfigurasi sistem tenaga listrik seperti konfigurasi loop, spindel dan fork, bisa digunakan sebagai alternatif pengganti dari konfigurasi radial yang sudah sering digunakan.

#### 3.2.1. Konfigurasi Spindel

Konfigurasi spindel merupakan perkembangan dari jaringan jenis loop, umumnya dipakai pada saluran kabel bawah tanah. Dimana Pada konfigurasi ini dikenal 2 jenis penyulang yaitu pengulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*) yang berujung pada satu titik, dimana titik pertemuan tersebut merupakan sebuah gardu hubung (GH). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai *back up supply* jika terjadi gangguan pada penyulang operasi. Dari sistem ini, diharapkan perolehan tingkat keberlangsungan pelayanan suplai daya akan lebih baik jika dibandingkan dengan sistem radial dan daerah pemadaman akan lebih sedikit. Pada konfigurasi ini ada batas perbandingan minimal untuk sebuah konfigurasi spindel 6 penyulang operasi dengan 1 penyulang cadangan, sehingga total beban kerja pada konfigurasi ini hanya 85%. Jika hanya 2 penyulang pembebanan hanya bisa sampai 50 %, dengan satu penyulang operasi disertai satu penyulang cadangan.



Gambar 3. 2 Konfigurasi spindel pada sistem kelistrikan bandara.

**4. Simulasi Dan Analisis Sistem Tenaga Listrik Ideal Pada Fasilitas Layanan Publik Di Infrastruktur Kelistrikan Bandara.**

**4.1. Simulasi Model Konfigurasi Sistem**

Berdasarkan studi yang dilakukan mengenai data perkiraan kebutuhan fasilitas kelistrikan untuk melayani kebutuhan suplay daya pada sebuah bandara melalui studi literatur, dilanjutkan dengan perancangan beberapa konfigurasi sistem tenaga listrik pada sebuah simulasi dengan menggunakan perangkat lunak ETAP. Dimana pada beberapa rancangan alternatif konfigurasi sistem tersebut akan dilakukan pengujian dengan metode *Load Flow Analysis* (simulasi analisis aliran daya) dan *Reliability Assessment* ( simulasi analisis keandalan) pada sistem yang telah dirancang.

a). Simulasi Sistem Konfigurasi Radial

Tabel 4.1 Data hasil simulasi konfigurasi radial.

No	Parameter	Satuan	Nilai	
1	Keandalan	SAIFI	<i>f / cs.yr</i>	1,5005
		SAIDI	<i>hr / cs.yr</i>	10,1117
		ASAI	<i>pu</i>	0,9988
		EENS	<i>MW.hr/yr</i>	60,670
2	Jatuh Tegangan	%	96,361	
3	Losse	<i>MW</i>	0,148	

b). Simulasi Sistem Konfigurasi Spindel

Tabel 4.2 Data hasil simulasi konfigurasi spindel.

No	Parameter	Satuan	Nilai	
1	Keandalan	SAIFI	<i>f / cs.yr</i>	1,1763
		SAIDI	<i>hr / cs.yr</i>	7,0248
		ASAI	<i>pu</i>	0,9992
		EENS	<i>MW.hr/yr</i>	42,149
2	Jatuh Tegangan	%	98,791	
3	Losse	<i>MW</i>	0,053	

### 4.2. Analisis Perbandingan Data Hasil Simulasi

Simulasi yang dilakukan pada masing – masing konfigurasi menghasilkan data parameter kelistrikan. Dimana parameter ini menjadi penentu konfigurasi mana yang paling sesuai dengan standar pelayanan sistem tenaga listrik yang terdapat pada SPLN dan ANEX AERODROME, untuk diterapkan pada sistem tenaga listrik yang melayani Infrastruktur kelistrikan bandara.

Data yang dihasilkan berupa nilai Jatuh Tegangan, Rugi-rugi daya serta indeks kenadalan seperti SAIFI, SAIDI, ASAI dan EENS. Dengan data yang dihasilkan bisa dibandingkan konfigurasi mana yang paling mendekati ketentuan dalam standar (SPLN dan ANEX AERODROME) pelayanan sistem tenaga listrik fasilitas layanan publik di infrastruktur kelistrikan bandara. Analisis perbandingan dilakukan dengan data yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perbandingan data parameter kelistrikan hasil simulasi model konfigurasi, data standar IEEE & SPLN

No	Parameter	Satuan	IEEE	SPLN	Perbandingan Standar dan hasil simulasi Konfigurasi Jaringan				Kesimpulan	
					Radial	Ket	Spindel	Ket		
1	Tegangan Ujung	%		+5% ,10%	96,361	M	98,791	M	Nilai Tegangan Ujung masing-masing konfigurasi memenuhi batas standar SPLN. Konfigurasi spindel memiliki persentasi paling mendekati tegangan kerja nominal sbesar 98,791 % atau 98,7916 kv	
2	Losse	MW		-10 s/d 10%	0,148	M	0,053	M	Nilai Rugi-rugi daya atau losse pada semua konfigurasi memenuhi batas toleransi pada SPLN, dengan nilai losse paling kecil terdapat pada konfigurasi spindel yakni 0,044 MW atau 0,8912%.	
3	Keandalan	SAIFI	f/ Cs.yr	1,45	2,4	1,5005	TM	1,1763	M	Semua konfigurasi memenuhi standar indeks SAIFI pada SPLN, namun hanya metode dengan konfigurasi spindel yang memenuhi standar SAIFI pada IEEE. Nilai SAIFI paling kecil dengan jumlah intrupsi banyak 1,1763 f/ Cs.yr.
		SAIDI	hr/ Cs.yr	2,30	12,8	10,1117	TM	7,0248	TM	Standar indeks SAIDI pada IEEE tidak terpenuhi sama sekali, hanya stanadar SPLN yang terpenuhi oleh semua sistem. Konfigurasi spindel merupakan konfigurasi yang meliki durasi pada paling singkat 7,0248 hr / Cs.yr

Ket;  
 Inisialisasi kesesuaian dalam perbandingan nilai indeks hasil simulasi dengan standar, sebagai berikut :  
**M** : Nilai **Memenuhi** batas standar yang digunakan sebagai pembanding.  
**TM** : Nilai **Tidak Memenuhi** batas standar yang digunakan sebagai pembanding.

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan tahapan metodologi dalam penelitian yang dilakukan dan hasil yang didapatkan, dengan motode studi litelatur dan peroses pemodelan dengan pengujian pada beberapa konfigurasi sistem tenaga listrik fasilitas layanan publik yang dirancang berdasarkan ketetapan standar ANNEX AERODROME dan SPLN, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Berdasarkan studi litelatur dalam penelitian, didapatkan parameter – parameter kelistrikan yang dapat digunakan untuk mengetahui unjuk kinerja sistem tenaga listrik yang memenuhi kriteria kualitas (*quality*) dan keandalan (*reliability*), berikut parameter-parameter kelistrikan yang ditentukan, melalui studi litelatur :
  1. Nilai Jatuh Tegangan
  2. Nilai Rugi-rugi daya
  3. Indeks SAIFI
  4. Indeks SAIDI
  5. Indeks ASAI
  6. Indeks EENS

- Berdasarkan hasil simulasi dan perbandingan nilai parameter kelistrikan yang didapat, sistem konfigurasi dengan metode spindel bisa digunakan dalam proses pengembangan ataupun perbaikan pada sistem yang sudah ada. Dengan pertimbangan sebagai berikut :
  1. Desain bentuk konfigurasi yang sederhana.
  2. *Losses* atau Rugi-rugi daya sebesar 0,053 MW sesuai batas toleransi SPLN ( $\pm 10\%$ ) lebih kecil dibanding konfigurasi awal.
  3. Nilai tegangan ujung sebesar 98,791 % atau 19,7986 kV pada bus ujung sesuai batas nilai standar SPLN ( $+5\%$ ,  $-10\%$ ) dari tegangan nominal sebesar 20 kV.
  4. Nilai keandalan paling tinggi, dengan rata-rata indeks SAIDI atau durasi padam yang lebih singkat sebesar (7,0248 hr/Cs.yr), dari batas standar SPLN. Serta indeks ASAI yang lebih besar (0,9992 pu), hampir mendekati satu, atau indeks kesediaan sempurna.
  5. Indeks SAIFI sebesar (1,1763 f/Cs.yr), menunjuka jumlah gangguan dan kegagalan pada sistem konfigurasi loop lebih sedikit dibanding konfigurasi lain.
  6. Indeks ASAI sebesar (0,9992 pu) menunjukkan ketersediaan pelayanan sistem dalam kurun waktu tertentu, jadi semakin besar nilainya maka sistem semakin baik.
  7. Indeks EENS yang kecil (42,149 MW.hr/yr), menunjukkan lebih besar energi yang mampu disalurkan oleh sistem dengan menggunakan konfigurasi loop.

## 6. Saran

Dalam penelitian selanjutnya mengenai analisis terhadap parameter – parameter kelistrikan pada infrastruktur kelistrikan layanan publik, bisa dilakukan pada fasilitas kelistrikan layanan publik yang lain, seperti pelabuhan. Dimana parameter selanjutnya bisa ditambahkan mengenai analisis hubung singkat, nilai investasi serta kemungkinan pengembangan kapasitas pelayanan pada sistem tenaga listrik.

## Referensi

- [1] UNDANG-UNDANG No.25 2009 TENTANG PELAYANAN PUBLIK.
- [2] W. M. Tresna, "Studi Analisis Program Percepatan 10.000 MW Tahap I pada Operasi Sistem Tenaga Listrik Jawa Bali," FTUI, Depok, 2010.
- [3] W. Yusreni, "Buku AST (Analisis Sistem Tenaga)," ITP, Padang, 2013.
- [4] S. Sudirham, "buku-e.lipi," PDII LIPI, 2012. [Online]. Available: [www.darpublic.com](http://www.darpublic.com). [Accessed 1 Mei 2015].
- [5] J. J. Grainger and W. D. Stevenson, POWER SYSTEMS ANALISYS, Singapore: McGraw-Hill Book Co., 1994.
- [6] W. D. Stevenson, ANALISIS SISTEM TENAGA LISTRIK, JAKARTA: ERLANGGA, 1990.
- [7] S. Saodah, "EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK BERDASARKAN SAIDI DAN SAIFI," *NSAST AST AKPRINDA*, p. 45, 2008.
- [8] R. N. T. U. Bustani, "Analisis Peningkatan Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV di Samarinda," *EECCIS 2012*, vol. Volume I, no. Electrical Power Electrinoc Telecommunication, pp. A2-1, 2012.
- [9] Kelompok Pembakuan Bidang Distribusi PLN, "Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV," Departemen Pertambangan dan Energi, Jakarta, 1985.
- [10] S. Hendri, "Penentuan Prioritas Pemeliharaan Berdasarkan Indeks Keandalan Pada Sistem Distribusi Listrik Bandar Udara Soekarno-Hatta," FTUI, Depok, 2010.
- [11] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, "AERODROME DESIGN MANUAL," in *ELECTRICAL SYSTEM*, INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 1983, p. 5.
- [12] Kelompok Kerja Standar Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, Keriteria Desain Enjinereng Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, Jakarta: PT.PLN (Persero), 2010.