

 Search

HOME / ARCHIVES / Vol 13 No 2 (2014): (July - December) Majalah Ilmiah Teknologi Elektro

MAJALAH ILMIAH TEKNOLOGI ELEKTRO	
Vol. 13 No. 1 Januari - Juni 2014 P-ISSN: 1693-2951, e-ISSN: 2503-2372	
Proteksi Tegangan Nominal Dua Tegangan Langkah Di Lokasi Busbar Cerdas Untuk 500 kV Arus Miki Lili, Rigitu Gede Darmasuta, I Nyoman Satya Kumara	1-7
Desain Sistem Tenaga Daya Waranan Dengan Metode Optimalisasi Bus Bar Berdasarkan Matriks Di Abadiyah, Ummatun Nuzuliyah, I Nyoman Satya Kumara	8-15
Studi Analisis Cara Kerja Busbar Pemutus Tenaga Dengan Metode Simulasi I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati	16-20
Uji Coba Kinerja Sistem Tenaga Listrik I Ketut Gede Darma Putra	21-26
Studi Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Untuk Pemukiman I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	27-33
Studi Analisis Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Simulasi I Ketut Gede Darma Putra	34-37
Studi Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Untuk Pemukiman I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	38-41
Studi Analisis Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Simulasi I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	38-41
Studi Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Untuk Pemukiman I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	42-47
Studi Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Untuk Pemukiman I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	48-53
Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Untuk Pemukiman I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	54-60
Metode RFI Untuk Pemukiman Kompleks Perkotaan I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	61-68
Analisis Energi Listrik Terhadap Daya Pemukiman Kompleks Perkotaan I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	69-74
Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Untuk Pemukiman Kompleks Perkotaan I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	75-78
Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Untuk Pemukiman Kompleks Perkotaan I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	79-83
Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Untuk Pemukiman Kompleks Perkotaan I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	84-90
Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Untuk Pemukiman Kompleks Perkotaan I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	91-94
Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Untuk Pemukiman Kompleks Perkotaan I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	95-102
Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Untuk Pemukiman Kompleks Perkotaan I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	103-110
Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Untuk Pemukiman Kompleks Perkotaan I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati, I Nyoman Satya Kumara	111-117

PUBLISHED: 2014-12-29

## ARTICLES

### KLASIFIKASI WEBSITE MENGGUNAKAN ALGORITMA MULTILAYER PERCEPTRON

Nyoman Purnama, I Ketut Gede Darma Putra, Putu Agung Bayupati



DOI : <https://doi.org/10.24843/10.24843/MITE.2015.v13i02p01>

Abstract views: 371, PDF downloads: 886

### OPTIMASI PUSAT CLUSTER K-PROTOTYPE DENGAN ALGORITMA GENETIKA

Pivin Suwirmayanti, I Ketut Gede Darma Putra, I Nyoman Satya Kumara

 PDF

 DOI : <https://doi.org/10.24843/10.24843/MITE.2015.v13i02p02>

 Abstract views: 472,  PDF downloads: 324

## POPULARITAS SITUS WEB PEMERINTAH DAERAH di PROVINSI BALI

Gerson Feoh, Linawati -, Ni Made Ary Esta Dewi Wirastuti

 PDF

 DOI : <https://doi.org/10.24843/10.24843/MITE.2015.v13i02p03>

 Abstract views: 320,  PDF downloads: 93

## STUDI EMISI KARBON SISTEM PEMBANGKITAN BALI

I W A WINARTA, I A D GIRIANTARI, I W G ARIASTINA

 PDF

 DOI : <https://doi.org/10.24843/10.24843/MITE.2015.v13i02p04>

 Abstract views: 208,  PDF downloads: 1010

## EKSTRAKSI FITUR ALAT MUSIK TRADISIONAL MENGGUNAKAN TRANSFORMASI KOSINUS DISKRIT

Ricky Aurelius N. D, I Ketut Gede Darma Putra, Ni Made Ary Esta Dewi W

 PDF

 Abstract views: 213,  PDF downloads: 135

## PENGEMBANGAN APLIKASI LAYANAN INFORMASI KAMPUS PADA JURUSAN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS UDAYANA BERBASIS MOBILE DAN WEB SERVICE

Komang Isabella Anasthasia, Made Sudarma, I Made Arsa Suyadnya

 PDF

 Abstract views: 256,  PDF downloads: 104

## RANCANG BANGUN APLIKASI PEMETAAN COVERAGE AREA BERBASIS WEB RESPONSIVE SEBAGAI ALAT SIMULASI PERENCANAAN PEMBANGUNAN TOWER TELEKOMUNIKASI

Bayu Andika Virgunzena, Pande Ketut Sudiarta, I Made Arsa Suyadnya

 PDF

 DOI : <https://doi.org/10.24843/10.24843/MITE.2015.v13i02p07>

 Abstract views: 437,  PDF downloads: 1682

## PENGENALAN KEPRIBADIAN SESEORANG BERDASARKAN SIDIK JARI DENGAN

## METODE FUZZY LEARNING VECTOR QUANTIZATION DAN FUZZY BACKPROPAGATION

I Gede Sujana Eka Putra, I K G Darma Putra, I Putu Agung Bayupati

 PDF

 DOI : <https://doi.org/10.24843/10.24843/MITE.2015.v13i02p08>

 Abstract views: 362,  PDF downloads: 5980

## Studi Keamanan dan Keandalan Suplai Sistem Kelistrikan Bali Sesuai Rencana Operasi SUTET 500 kV

Bawa Adiputra, Wayan G Ariastina, I Wayan Sukerayasa

 PDF


 DOI : <https://doi.org/10.24843/10.24843/MITE.2015.v13i02p09>

 Abstract views: 366,  PDF downloads: 385

## Pengembangan Website Intranet Dengan Fitur Pemetaan

ICA Lukpratama, NMAED Wirastuti

 PDF


 DOI : <https://doi.org/10.24843/10.24843/MITE.2015.v13i02p10>

 Abstract views: 318,  PDF downloads: 118

## SISTEM INFORMASI PENGELOLAAN PROPOSAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT SECARA ON-LINE

Gede Sukadarmika, Linawati Linawati, I Gusti Made Arya Sasmita, Nyoman Putra Sastra

 PDF

 DOI : <https://doi.org/10.24843/10.24843/MITE.2015.v13i02p11>

 Abstract views: 325,  PDF downloads: 419

### Editorial Policies

[Editorial Policies](#)

[Ethics](#)

### Editorial Team

[Editorial Board](#)

[Reviewer](#)

## For Authors

[submission](#)

[Template Download](#)

[Pernyataan Author](#)

[Time Line](#)

## Index Journal

[Abstracting & Indexing](#)

[Statistics](#)

---

Copyright **Majalah Ilmiah Teknologi Elektro**; Published by [Magister Teknik Elektro Universitas Udayana](#); P-ISSN: 1693-2951; E-ISSN: 2503-2372

---

## BROWSE

1. [By Author](#)
2. [By Issue](#)



## STUDI KEAMANAN DAN KEANDALAN SUPLAJ SISTEM KELISTRIKAN BALI SESUAI RENCANA OPERASI SUTET 500 KV

**I. B. Bawa Adiputra, W. G. Ariastina, I W. Sukerayasa**  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361  
Email: gus\_bawaa@yahoo.com

### Abstrak

Kondisi eksisting kelistrikan Bali hingga tahun 2013 disuplai oleh tiga pembangkit tenaga listrik dan sebuah sistem interkoneksi Jamali dengan keseluruhan daya suplai sebesar 676 MW. Berdasarkan peramalan beban sistem Bali 2013-2030 diperoleh rata-rata pertumbuhan beban 6,61%. Berdasarkan hal tersebut PT PLN (Persero) merencanakan penambahan pasokan daya listrik ke pulau Bali dengan penambahan kabel laut, suplai melalui SUTET 500 kV interkoneksi Jawa-Bali, serta pembangunan PLTU Celukan Bawang 980 MW. Dengan beroperasinya unit-unit tersebut diperlukan analisis keamanan suplai sistem kelistrikan Bali, dengan dua skenario. Skenario 1 yaitu sistem Bali hanya menerima pasokan dari PLTU Celukan Bawang pada tahun 2016 sebesar 380 MW. Skenario 2, PLTU Celukan Bawang beroperasi sebesar 380 MW tahun 2016, kemudian pada tahun 2020 dan 2022 menambah daya masing-masing 300 MW. Selain analisis keamanan suplai dilakukan juga analisis keandalan dengan beroperasinya SUTET 500 kV di Bali. Analisis keandalan SUTET 500 kV menggunakan tiga skenario. Skenario 1 SUTET beroperasi dari Paiton sampai di GITET Gilimanuk, Skenario 2 SUTET beroperasi dari PAITON sampai di GITET New Kapal, dan Skenario 3 SUTET beroperasi dari Paiton sampai di GITET Kapal. Dari hasil analisis keamanan suplai diperoleh skenario 1, pada tahun 2022 beban puncak mencapai 1304,10 MW dan pada kondisi N-1 mengalami krisis daya listrik -48,3 MW. Skenario 2, pada tahun 2028 dengan beban puncak 1862,60 MW dan pada kondisi N-1 mengalami krisis daya listrik -6,8 MW. Sedangkan analisis keandalan beroperasinya SUTET 500 kV di Bali diperoleh: Skenario 1 nilai SAIFI = 2,0 kali/km/tahun dan nilai SAIDI = ±10 menit/tahun, Skenario 2 nilai SAIFI = 3,1 kali/km/tahun dan nilai SAIDI = ±15 menit/tahun, Skenario 3 nilai SAIFI = 3,3 kali/km/tahun dan nilai SAIDI = ±17 menit/tahun.

**Kata Kunci :** SUTET 500 kV, Keamanan suplai, Kandalan, SAIFI, SAIDI.

### 1. PENDAHULUAN

Energi listrik dapat dikatakan sebagai kebutuhan dasar dalam berbagai sektor di seluruh dunia. Di Indonesia, perusahaan penyedia listrik yaitu PT. PLN (Persero) dituntut untuk mampu menopang penyediaan listrik secara kontinyu di berbagai sektor. Bali merupakan salah satu pulau di Indonesia yang sektor perekonomiannya terus berkembang. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi, kebutuhan listrik di Bali juga meningkat. Kebutuhan energi listrik di Bali tercatat meningkat hingga 9,7% tiap tahunnya [1]. Beban puncak yang diperoleh PT. PLN pada akhir tahun 2012 mencapai ±600 Mega Watt.

Berdasarkan kondisi saat ini, Bali disuplai oleh tiga (3) pembangkit tenaga listrik lokal (Pesanggaran, Pamaron dan Gilimanuk) dengan daya 496MW. Selain itu ada sebuah sistem interkoneksi Jawa-Bali (dengan kabel laut) dengan daya mampunya 180MW. Sehingga daya mampu untuk sistem Bali keseluruhan adalah 676MW [2]. Daya cadangan yang tersisa hanya 76MW dari beban puncak ±600MW.

Dengan daya cadangan sebesar 76MW tidak cukup untuk memenuhi kriteria keamanan N-1, yaitu bila salah satu dari saluran transmisi atau pembangkit lokal (dengan daya mampu terbesar) padam atau tidak beroperasi karena sedang dalam perawatan.

Dengan demikian, Bali seharusnya menambah pasokan listrik untuk menyuplai kebutuhan listriknya hingga beberapa tahun kedepan. Sehubungan dengan hal tersebut, PT. PLN berencana untuk membangun saluran interkoneksi (SUTET) 500kV Jawa-Bali dengan kapasitas mencapai 1500MW.

Berdasarkan masalah tersebut, dilakukan studi mengenai keamanan serta keandalan dari suplai sistem transmisi SUTET 500 kV Jawa-Bali. Dengan adanya studi ini diharapkan dapat diketahui bagaimana keamanan dan keandalan suplai sistem Bali hingga 15 tahun kedepan sejak beroperasinya SUTET Jawa-Bali.

### 2. KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Tegangan Transmisi

Tegangan transmisi yang umum digunakan adalah tergolong dalam satuan *Extra High Voltage* (EHV) dan *High Voltage* (HV). Pembagian tegangan ini dibuat sesuai dengan standarisasi yang ditunjukkan pada tabel 1.

**Tabel 1. Klasifikasi Tegangan Transmisi**

Kelas Tegangan	Tegangan (V)
Tegangan Tinggi (HV)	115.000 138.000

	161.000
	230.000
Tegangan Ekstra Tinggi (EHV)	345.000
	500.000
	735.000
	765.000

Penyaluran listrik pada tegangan tinggi dan ekstra tinggi digunakan sebagai penghubung antara satu pembangkit dengan pembangkit lainnya, atau pembangkit dengan beban yang jauh, biasa disebut dengan sistem penyaluran atau pentransmisi tenaga listrik [3]. Sedangkan pada sistem distribusi tegangannya diturunkan untuk di distribusikan dengan tegangan menengah (*Medium Voltage*) dan tegangan rendah (*Low Voltage*). Tujuan dari penggunaan tegangan tinggi atau ekstra tinggi adalah untuk meningkatkan kualitas penyaluran (mengurangi drop tegangan) akibat dari jarak yang jauh.

Standar tegangan transmisi di Indonesia adalah: 66KV, 150KV, 380KV dan 500 KV, sehingga dapat diklasifikasikan menurut tegangan berikut ini: [4]

1. Tegangan tinggi sampai : 138 KV
2. Tegangan ekstra tinggi (EHV atau SUTET) : 220 sampai dengan 765 KV
3. Tegangan ultra tinggi (UHV atau SUTUT) : diatas 765 KV

## 2.2 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)

SUTET merupakan media penyaluran listrik oleh PLN (di Indonesia) berupa kawat dengan tegangan dinaikkan hingga mencapai 500KV, untuk menyalurkan listrik dari pusat pembangkit listrik menuju pusat-pusat beban yang jaraknya sangat jauh.

Tujuan penaikan tegangan listrik tersebut adalah untuk mengurangi energi listrik yang terbuang akibat diubah menjadi energi panas saat melewati penghantar sehingga energi listrik bisa disalurkan secara efisien. Hal tersebut penting dilakukan mengingat keadaan geografis Indonesia yang sangat luas dan terdiri atas pulau-pulau dimana tidak semua pulau memiliki sumber daya alam yang mampu diolah menjadi energi listrik.

## 2.3 Keamanan Suplai Tenaga Listrik

Konsep dasar dari keamanan suplai tenaga listrik adalah pada saat kondisi operasinya. Suatu sistem tenaga listrik dapat dikatakan aman jika suplai daya listrik tidak mengalami pemadaman yang menyebabkan terputusnya pasokan daya listrik ke konsumen [5].

Keamanan suplai tenaga listrik juga didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga listrik untuk menyediakan tenaga listrik sampai pada pengguna akhir (konsumen) dengan level kontinuitas dan kualitas tertentu secara berkelanjutan, yang berkaitan dengan standar yang ada dan perjanjian kontrak pada titik-titik pengiriman [6].

Penilaian kecukupan dilakukan dengan

menggunakan pengertian kontingensi N-1 pada sistem tenaga listrik. Apabila salah satu penyedia tenaga listrik terbesar keluar dari sistem (bisa pembangkit atau saluran transmisi), maka sisa pasokan yang tersedia harus dapat memenuhi kebutuhan yang ada. Sistem dikatakan aman apabila cadangan daya minimum dalam keadaan N-1 lebih besar dari nol [7].

## 2.4 Neraca Daya

Neraca daya didefinisikan sebagai gambaran kapasitas pembangkitan sistem (dalam satuan MW) yang terdiri dari daya mampu netto, daya mampu aktual, variasi musim, pemeliharaan dan gangguan pembangkit, beban sistem serta cadangan operasi sistem. Neraca daya inilah yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam menentukan tingkat keamanan suplai dari suatu sistem tenaga listrik.

Untuk membuat neraca daya beberapa parameter yang digunakan, yaitu:

1. Kapasitas suplai total: adalah jumlah dari kapasitas suplai yang tersedia saat ini dengan seluruh kapasitas suplai tambahan dalam satuan MW.
2. Kapasitas suplai dalam kondisi N-1: adalah kapasitas suplai total yang dikurangi dengan unit pembangkitan terbesar dalam sistem tersebut.
3. Daya cadangan dalam keadaan sistem beroperasi normal: adalah selisih dari kapasitas suplai total dengan beban puncak pada sistem tersebut.
4. Daya cadangan dalam kondisi N-1: adalah selisih dari kapasitas suplai dalam kondisi N-1 terhadap beban puncak pada sistem tersebut.

Contoh neraca daya suatu sistem tenaga listrik dari tahun 2005 sampai 2010 dalam tabel di bawah. Di dalam uraiannya terdapat parameter yang digunakan, yaitu kapasitas terpasang (suplai total), daya cadangan saat operasi normal dan saat kondisi N-1.

**Tabel 2. Neraca Daya Sistem Tenaga Listrik (MW)**

Uraian	Tahun					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Beban puncak	420,0	454,0	505,0	558,0	614,0	673,0
Kapasitas terpasang	652,11	653,53	653,53	653,53	653,53	653,53
Daya mampu	588,0	585,06	582,12	579,22	576,33	573,45
Cadangan Operasi	167,5	130,76	77,60	21,57	-37,51	-99,78
Cadangan daya bila unit terbesar keluar (N-1)	37,50	0,76	-52,40	-108,43	-267,51	-229,78
Cadangan daya dengan reserve margin	185,73	149,30	96,29	40,41	-18,52	-80,64
Cadangan pasti (N-1) %	6,40	0,10	-0,90	-18,70	-29,10	40,10

**2.5 Keandalan (Reliability) dan Indeksnya (Parameternya)**

Dalam sistem tenaga listrik, keandalan dapat didefinisikan sebagai suatu kemampuan sistem untuk memberikan suatu pasokan tenaga listrik yang cukup dengan kualitas yang memuaskan. Keandalan sistem tenaga listrik ditentukan oleh penilaian kecukupan (*adequacy assesment*) dan penilaian keamanan (*security assesment*).

Sistem tenaga listrik yang terdiri dari pembangkitan, penyaluran (transmisi) dan distribusi memiliki tingkat keandalan yang berbeda. Khusus untuk saluran transmisi, target yang harus dicapai dari parameter keandalan yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3. berikut ini.

**Tabel 3. Target Parameter Keandalan Sistem Transmisi**

Indeks	Target
SAIFI	1,0
SAIDI	1,0 – 1,5 jam
CAIDI	1,0 – 1,5 jam
ASAI	0,99983

Tabel 3. dapat digunakan untuk membedakan antara analisa keamanan dengan menentukan tingkat keandalan. Untuk keamanan digunakan analisa kontingensi pada sistem tenaga, sedangkan keandalan menggunakan target indeks seperti tabel 3 di atas.

Indeks keandalan pada dasarnya adalah suatu angka atau parameter yang menunjukkan tingkat pelayanan atau tingkat keandalan dari pada suplai tenaga listrik ke konsumen. Selama ini untuk menghitung nilai-nilai indeks keandalan, dilakukan dengan cara-cara yang konvensional, sehingga data-data yang diperoleh tidak akurat untuk menunjukkan keadaan yang sebenarnya terjadi di lapangan. Dalam sistem ketenagalistrikan, diketahui beberapa indeks keandalan sistem, diantaranya:

**SAIFI** (*System Average Interruption Frequency Index*) didefinisikan sebagai jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi per pelanggan yang dilayani oleh sistem per satuan waktu (umumnya per tahun). Perumusan SAIFI diekspresikan sebagai berikut [8]:

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{IN_i} \text{ (fault/year customer) } \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

- $\lambda_i$  = tingkat kegagalan (failure rate)
- $N_i$  = jumlah pelanggan pada *load point* i
- $IN_i$  = total pelanggan pada sistem jaringan

**SAIDI** (*System Average Interruption Duration Index*) didefinisikan sebagai nilai rata-rata dari lamanya kegagalan untuk setiap konsumen dalam selang waktu satu tahun. Indeks ini dinyatakan sebagai hasil pembagian dari jumlah total durasi kegagalan secara terus-menerus untuk semua pelanggan selama periode waktu yang telah

ditentukan dengan jumlah total pelanggan yang dilayani selama periode tsb. Bentuk perumusan matematis SAIDI diekspresikan sebagai berikut [8]:

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{IN_i} \text{ (fault/year customer) } \dots\dots\dots (2)$$

dengan:

- $U_i$  = durasi terputusnya pasokan listrik rata-rata sejumlah pelanggan
- $N_i$  = jumlah pelanggan pada *load point* i
- $IN_i$  = total pelanggan pada sistem jaringan

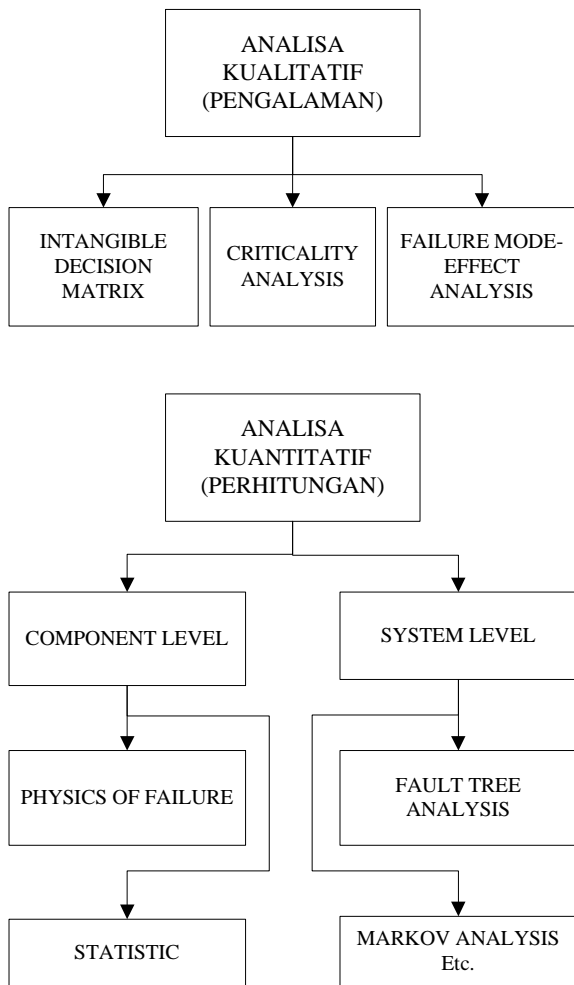
**2.6 Kajian Keandalan**

Secara umum ada dua metode yang secara luas dipakai untuk melakukan kajian keandalan terhadap suatu sistem rekayasa. Kedua metode analisa ini adalah analisa kualitatif yang berbasis pada pengalaman dari personel yang terlibat dalam analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dimana perhitungan dan metode yang dipakai sangat memainkan peranan yang sangat penting. Meskipun analisa kualitatif dan kuantitatif jelas berbeda, tetapi ada batas yang sama antara kedua analisis tersebut. Sebagai contoh, sebuah *intangibile decision matrix* dibuat berdasarkan perhitungan, oleh karena itu dapat diklasifikasikan ke dalam metode kuantitatif. Tetapi, figur-figur yang dipakai matriks di atas dibuat berdasarkan penilaian kualitatif dan oleh karena itu matriks ini dikategorikan ke dalam kelompok analisa kualitatif. Gambar 1 menunjukkan organisasi untuk analisa keandalan dan prosedur kerja secara umum bidang rekayasa keandalan (*reliability engineering*). Selain metode analisa keandalan yang sudah ditampilkan pada gambar 1, berikut ini beberapa metode analisa keandalan lain. Bentuk dari analisa keandalan secara kualitatif ini bisa berupa:

1. analisa mode dan dampak kegagalan (*failure mode and effects analysis - FMEA*)
2. analisa pohon kegagalan (*fault tree analysis - FTA*).

Sedangkan bentuk dari analisa keandalan secara kuantitatif bisa dikelompokkan lagi menjadi dua kelompok besar, yaitu analisa keandalan secara analitis dan analisa keandalan dengan menggunakan simulasi. Teknik simulasi yang paling sering dipakai untuk mengevaluasi keandalan dari sistem adalah teknik simulasi *montecarlo*. Metode evaluasi keandalan secara kuantitatif yang sering dipakai diantaranya [9] adalah perhitungan langsung (*direct calculation*) untuk sistem-sistem yang sederhana, pendekatan dengan probabilitas kondisional (*conditional probability approach*), metode *cut set*, metode *tie set*, pohon kejadian (*event trees*), pohon kegagalan (*fault trees*), rantai markov (*markov chain*), proses markov (*markov process*)





Gambar 1. Organisasi Analisa Keandalan Tingkat Kegagalan (*Failure Rate*)

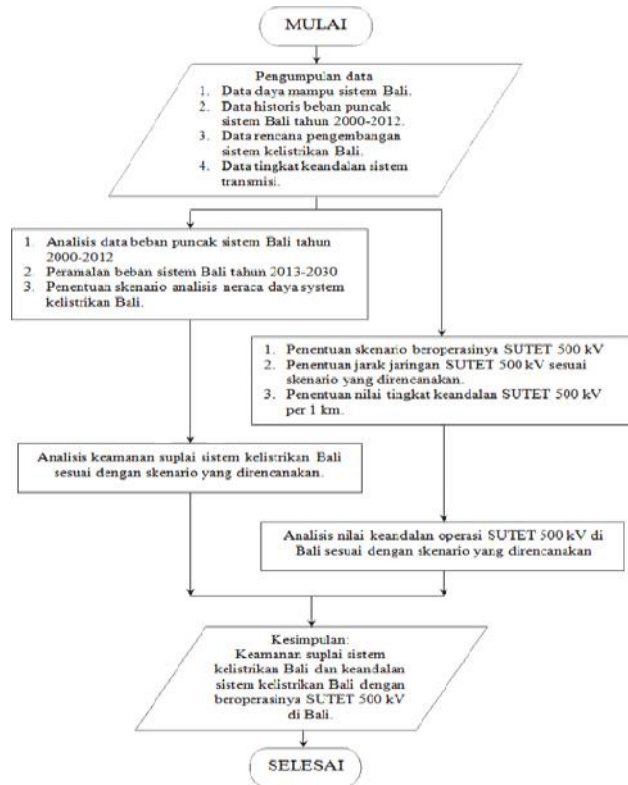
Tingkat kegagalan disebut juga laju kegagalan (*failure rate*) dinyatakan dalam  $\lambda$  (lambda). Untuk saluran *radial*, laju kegagalan untuk suatu lingkungan tertentu yang homogen, sebanding dengan panjang saluran yang bersangkutan.

**Lama Pemadaman (*Outage Time*)**

Lama pemadaman (*outage time*) dinyatakan dalam  $r$ , tergantung kepada waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan dan pemulihan.

**3. METODOLOGI PENELITIAN**

Analisis dalam penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yang digambarkan dalam diagram alir dapat dilihat pada Gambar 2.

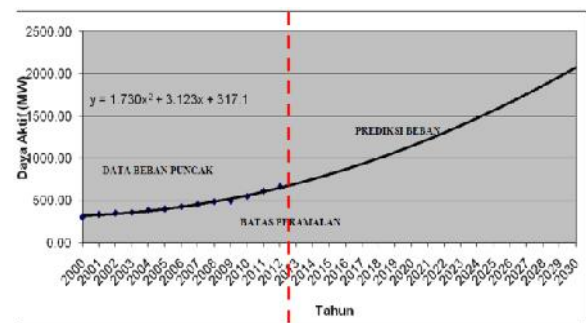


Gambar 2. Alur analisis

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Keamanan Suplai Sistem Kelistrikan Bali**

Untuk mengetahui sistem kelistrikan Bali dalam keadaan aman, maka dapat dilakukan analisis menggunakan neraca daya dan kriteria N-1. Kriteria N-1 merupakan keadaan dimana salah satu suplai daya listrik dengan kapasitas terbesar pada sistem kelistrikan Bali mengalami pemadaman atau keluar dari sistem, sehingga pasokan daya listrik menjadi berkurang. Sebelum analisis ini dilakukan peramalan beban puncak sistem Bali. Dalam analisis ini digunakan data *historis* berupa data pertumbuhan beban dari tahun 2000 sampai dengan 2012 dengan metode *time series*. Penggunaan data *historis* beban puncak pada sistem kelistrikan Bali dari tahun 2000 sampai dengan 2012 ini bertujuan memperoleh karakteristik pertumbuhan beban sistem kelistrikan Bali yang dapat mewakili pertumbuhan beban untuk tahun peramalan 2013 hingga tahun 2030.



Gambar 3. Prediksi Beban Puncak Sistem Kelistrikan Bali tahun 2000-2012

Dalam grafik garis lengkung yang dihasilkan dari pemodelan tersebut disebabkan oleh karakteristik beban *historis* yang mengalami pertumbuhan bervariasi setiap tahunnya. Berdasarkan pemodelan yang diperoleh, formula “x” merupakan tahun disaat peramalan tersebut akan dilakukan, sehingga perlu diketahui bahwa “x” pada tahun 2000 - 2012 merupakan tahun ke 1 sampai tahun ke 13. Sehingga untuk formula peramalan beban dengan formula “x” merupakan tahun ke 14 dimana peramalan tersebut mulai dilakukan pada tahun 2013.

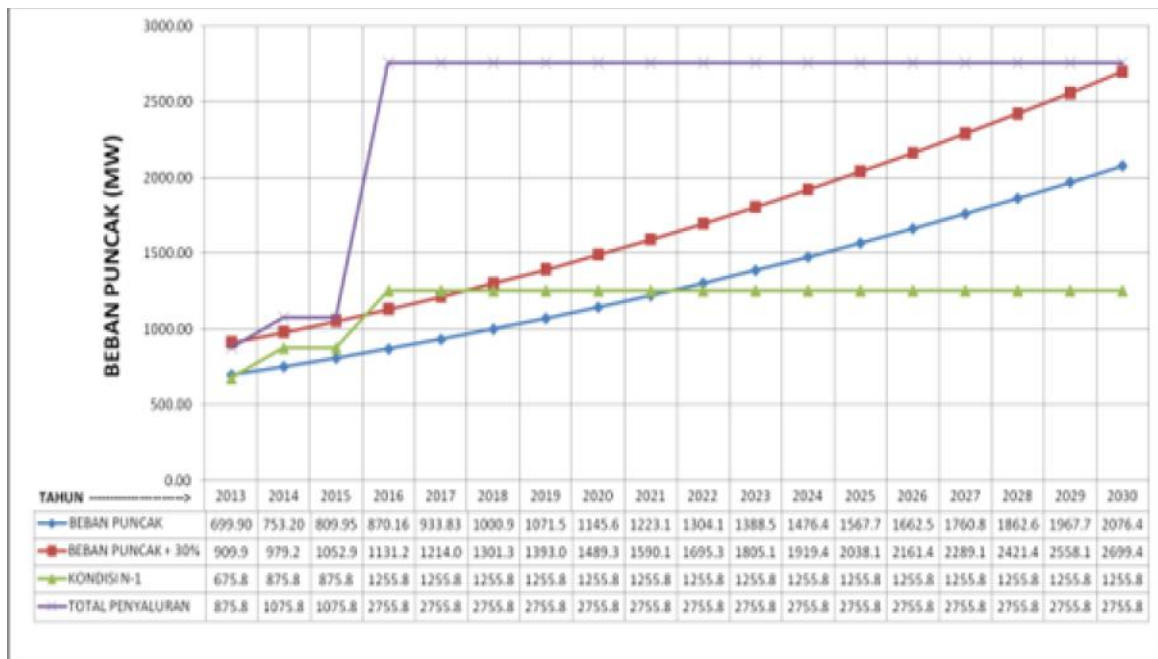
**Neraca Daya Sistem Kelistrikan Bali Skenario 1**

Skenario pertama, sistem kelistrikan Bali hanya memperoleh pasokan daya listrik dari PLTU Celukan

Bawang sebesar 380 MW pada tahun 2016, untuk seterusnya hingga tahun 2030 PLTU Celukan Bawang tidak menambah pasokan daya.

**Neraca Daya Sistem Kelistrikan Bali Skenario 2**

Skenario kedua sistem kelistrikan Bali memperoleh pasokan daya listrik dari PLTU Celukan Bawang sebesar 980 MW dalam tiga tahap operasi. Tahun 2016 PLTU Celukan Bawang beroperasi dengan kapasitas 380 MW, kemudian pada tahun 2020 dan tahun 2022 menambah daya mampu masing masing 300 MW sehingga pada tahun 2022 hingga tahun 2030 PLTU Celukan Bawang beroperasi dengan daya mampu 980 MW.



Gambar 4. Grafik Neraca Daya Sistem Kelistrikan Bali Skenario 1



Gambar 5. Grafik Neraca Daya Sistem Kelistrikan Bali Skenario 2

**4.2 Keamanan Suplai Sistem Kelistrikan Bali Dengan Beroperasinya SUTET 500 KV**

Dengan prediksi beban puncak yang terus mengalami peningkatan dengan prosentase 6,61 % setiap tahunnya, maka diharapkan pula pasokan daya juga harus bertambah untuk menjamin kontinuitas penyaluran daya listrik.

Untuk mengetahui lebih jelas mengenai keadaan sistem kelistrikan Bali sesuai dengan pengembangan sistem kelistrikan Bali yang mengacu pada RUPTL 2011-2020 Provinsi Bali, serta disesuaikan dengan skenario pengembangan PLTU Celukan Bawang dapat dilihat pada tabel 4 dan 5

**Tabel 4. Keamanan Suplai Sistem Kelistrikan Bali Skenario 1**

Tahun	Beban Puncak (MW)	Kapasitas Suplai (MW)	Kapasitas Unit Terbesar (MW)	Kondisi N-1 (MW)	Cadangan Daya (MW)	Keterangan
	(1)	(2)	(3)	(4)=(2)-(3)	(5)=(4)-(1)	
2013	699.90	875.8	200.0	675.8	-24.1	Tidak Aman
2014	753.20	1075.8	200.0	875.8	122.6	Aman
2015	809.95	1075.8	200.0	875.8	65.9	Aman
2016	870.16	2755.8	1500.0	1255.8	385.6	Aman
2017	933.83	2755.8	1500.0	1255.8	322.0	Aman
2018	1000.97	2755.8	1500.0	1255.8	254.8	Aman
2019	1071.56	2755.8	1500.0	1255.8	184.2	Aman
2020	1145.61	2755.8	1500.0	1255.8	110.2	Aman
2021	1223.13	2755.8	1500.0	1255.8	32.7	Aman
2022	1304.10	2755.8	1500.0	1255.8	-48.3	Tidak Aman
2023	1388.53	2755.8	1500.0	1255.8	-132.7	Tidak Aman
2024	1476.43	2755.8	1500.0	1255.8	-220.6	Tidak Aman
2025	1567.78	2755.8	1500.0	1255.8	-312.0	Tidak Aman
2026	1662.59	2755.8	1500.0	1255.8	-406.8	Tidak Aman
2027	1760.86	2755.8	1500.0	1255.8	-505.1	Tidak Aman
2028	1862.60	2755.8	1500.0	1255.8	-606.8	Tidak Aman
2029	1967.79	2755.8	1500.0	1255.8	-712.0	Tidak Aman
2030	2076.44	2755.8	1500.0	1255.8	-820.6	Tidak Aman

Tabel 4 merupakan tabel keadaan sistem kelistrikan Bali dengan pengembangan pada PLTU Celukan Bawang dengan daya mampu 380 MW, sedangkan tabel 5 merupakan tabel keadaan sistem kelistrikan Bali dengan pengembangan pada PLTU Celukan Bawang dengan daya mampu 980 MW.

**Tabel 5. Keamanan Suplai Sistem Kelistrikan Bali Skenario 2**

Tahun	Beban Puncak (MW)	Kapasitas Suplai (MW)	Kapasitas Unit Terbesar (MW)	Kondisi N-1 (MW)	Cadangan Daya (MW)	Keterangan
	(1)	(2)	(3)	(4)=(2)-(3)	(5)=(4)-(1)	
2013	699.90	875.8	200.0	675.8	-24.1	Tidak Aman
2014	753.20	1075.8	200.0	875.8	122.6	Aman
2015	809.95	1075.8	200.0	875.8	65.9	Aman
2016	870.16	2755.8	1500.0	1255.8	385.6	Aman
2017	933.83	2755.8	1500.0	1255.8	322.0	Aman
2018	1000.97	2755.8	1500.0	1255.8	254.8	Aman

2019	1071.56	2755.8	1500.0	1255.8	184.2	Aman
2020	1145.61	3055.8	1500.0	1555.8	410.2	Aman
2021	1223.13	3055.8	1500.0	1555.8	332.7	Aman
2022	1304.10	3355.8	1500.0	1855.8	551.7	Aman
2023	1388.53	3355.8	1500.0	1855.8	467.3	Aman
2024	1476.43	3355.8	1500.0	1855.8	379.4	Aman
2025	1567.78	3355.8	1500.0	1855.8	288.0	Aman
2026	1662.59	3355.8	1500.0	1855.8	193.2	Aman
2027	1760.86	3355.8	1500.0	1855.8	94.9	Aman
2028	1862.60	3355.8	1500.0	1855.8	-6.8	Tidak Aman
2029	1967.79	3355.8	1500.0	1855.8	-112.0	Tidak Aman
2030	2076.44	3355.8	1500.0	1855.8	-220.6	Tidak Aman

**4.3 Keandalan SUTET 500 KV Pada Sistem Kelistrikan Bali**

Keandalan sistem kelistrikan sangat dipengaruhi dari nilai  $\lambda$ , dan dinyatakan dalam per km tahun. Berdasarkan data yang diperoleh dari Laporan Statistik PLN tahun 2011, nilai  $\lambda$  untuk jumlah gangguan yang terjadi pada jaringan transmisi P3B Jawa-Bali bernilai 1,42 kali/100kms atau 0,0142 kali/kms

Dengan menggunakan data Laporan Statistik PLN tahun 2011 dimana jumlah gangguan transmisi per tahun 0,0142 kali/kms, serta disesuaikan dengan panjang jaringan SUTET 500 kV dari pusat pembangkit skenario 1 yaitu, Paiton sampai GITET Gilimanuk dengan prakiraan panjang jaringan dari unit pembangkit adalah 141 km. Skenario 2, Paiton sampai di GITET New Kapal dengan jarak 219,68 km dan skenario 3 dari unit pembangkit Paiton sampai di GITET Kapal dengan jarak 232,5 km. Maka, dapat dihitung kriteria keandalan SAIFI dan SAIDI sebagai berikut:

Jumlah pelanggan pada titik beban dan total pelanggan pada sistem jaringan diasumsikan 1 unit beban. Ini dikarenakan analisis keandalan hanya menitikberatkan pada kajian keandalan jaringan SUTET 500 kV.

$$SAIFI = \frac{0,0142 * 1}{1} = 0,0142 \text{ kali/km/tahun}$$

**Tabel 6. Nilai SAIFI masing masing skenario beroperasinya SUTET 500 kV di Bali**

No	Skenario	Jarak Jaringan	Nilai SAIFI per 1 km	Nilai SAIFI total
1	Skenario 1	141 km	0,0142kali/km/tahun	2,0022 kali/km/tahun
2	Skenario 2	219,8 km		3,119 kali/km/tahun
3	Skenario 3	232,5 km		3,3015 kali/km/tahun

Untuk melakukan perhitungan nilai SAIDI pada penelitian ini, dapat digunakan data acuan Statistik PLN tahun 2009-2011. Data statistik PLN tahun 2009-2011 mengenai lama gangguan yang terjadi pada jaringan transmisi P3B Jawa-Bali adalah 8,27 jam/100kms atau 0,0827 jam/kms. Dengan

menggunakan data Laporan Statistik PLN tahun 2011, maka dapat dilakukan perhitungan untuk kriteria keandalan SAIDI yang akan terjadi pada jaringan SUTET 500 kV di Bali sebagai berikut:

$$\text{SAIDI} = \frac{0,0827 \times 1}{1} = 0,0827 \text{ jam/km}$$

**Tabel 7. Nilai SAIFI masing-masing skenario beroperasinya SUTET 500 kV di Bali**

No	Skenario	Nilai SAIFI total	Nilai SAIDI per 1 kms	Nilai SAIDI Total	Keterangan
1	Skenario 1	2,0022 kali /km/tahun	0,0827 jam/kms	0,1655 jam/tahun	±10 menit/tahun
2	Skenario 2	3,119 kali /km/tahun		0,2579 jam/tahun	±15 menit/tahun
3	Skenario 3	3,3015 kali /km/tahun		0,2730 jam/tahun	±17 menit/tahun

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Beban sistem kelistrikan Bali meningkat dari tahun ketahun dengan pertumbuhan beban puncak tiap tahunnya 6,61%.
2. Skenario 1 menunjukkan pada tahun 2022 sistem kelistrikan Bali sudah mengalami krisis daya listrik, dengan beban puncak 1304,10 MW sedangkan daya mampu kondisi N-1 sistem Bali 1255,8 MW. Skenario 2 menunjukkan pada tahun 2028 dengan beban puncak 1862,60 MW sistem kelistrikan Bali sudah mengalami krisis daya listrik dengan kondisi N-1 kapasitas suplai 1855,8 MW.
3. Kriteria keandalan sistem kelistrikan Bali terutama pada jaringan SUTET 500 kV interkoneksi Jawa-Bali mengacu pada data Statistik PT PLN (Persero) tahun 2011 per kilometer per tahun dengan ruang lingkup daerah transmisi P3B Jawa-Bali. Analisis SAIFI menunjukkan jaringan SUTET 500 kV interkoneksi Jawa-Bali berpotensi mengalami pemadaman sebanyak 2,0022 kali/tahun pada Skenario 1, pada Skenario 2 sebanyak 3,119 kali/tahun dan pada Skenario 3 sebanyak 3,3015 kali/tahun.
4. Analisis SAIDI menunjukkan jaringan SUTET 500 kV interkoneksi Jawa-Bali mengalami pemadaman sekitar 10 menit/tahun pada Skenario 1, pada Skenario 2 mengalami pemadaman sekitar 15 menit/tahun dan pada skenario 3 mengalami pemadaman sekitar 17 menit/tahun.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT PLN (Persero). **Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero) 2011-2020**. Jakarta.
- [2] Program Studi Magister Teknik Elektro. **Laporan Kajian Pembangunan SUTET 500 kV di Bali**. Denpasar: Universitas Udayana. 2011.
- [3] Arismunandar, A. 2001. **Teknik Tegangan Tinggi (Jilid I)**. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [4] Hutauruk, T. S. 1990. **Transmisi Daya Listrik**. Jakarta: Erlangga.
- [5] Liang, S. Fan, M. dan Yang, F. 2010. *Research on Security standards of Power Supply in China and UK. International Conference on Power System Technology*.
- [6] \_\_\_\_\_. 2006. *Security of Electricity Supply - Roles, responsibilities and experiences within the EU. Brussels (Belgium): Union of the Electricity Industry-EURELECTRIC*.
- [7] \_\_\_\_\_. 2009. **Master Plan Pembangunan Ketenagalistrikan 2010 s.d. 2014**. Jakarta: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- [8] Billinton, R., Billinton, J. E. 1989, *Distribution System Reliability Indices. IEEE Trans. Power Delivery, vol. 4*.
- [9] Stevenson, W. D. 1990. **Analisis Sistem Tenaga Listrik**. Jakarta: Penerbit Erlangga.