

**THE ANALYSIS OF REABILITY DISTRIBUTION NETWORK SYSTEM
IN PT. PUTRA LESTARI JAYA SHIPYARD
IN SAMARINDA KALIMANTAN TIMUR
USING MONTECARLO METHODE**

Dwi Songgo
Jurusan Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surabaya
Email :dwisonggipanggayudi@gmail.com

Abstract

The increasing demand for electric power, demanding a power system that has reliability in the supply and distribution of power. To determine the reliability of the electrical power supply, need to be taken into account reliability index. The technique used in the evaluation of the reliability of the power system can be divided into two basic categories, namely the method of analysis and simulation methods. Describes the system as a method of analysis and mathematical models to evaluate the reliability index model using the mathematical solution. Simulation method can determine the probability of the index. On the basis of the above, then do an evaluation of the reliability of the distribution network through a Monte Carlo simulation approach that provides an opportunity to develop knowledge and information from the variability associated with the annual index.

Keyword : reliability, system distribution of power,

1.1 Latar Belakang

Pemenuhan energi listrik yang memadai dan handal, merupakan sarat mutlak dari keberlangsungan suatu industri, artinya suatu sistem distribusi sangat penting didalam proses produksi.

Keandalan energi listrik yang harus tersedia sangat tinggi, maka tujuan dari perusahaan yaitu dapat menyediakan daya listrik secara maksimal dapat terpenuhi, baik dari sisi konsumsi energi, kontinuitas pelayanan energi maupun kepuasan pelanggan dapat terpenuhi. Untuk mengetahui nilai keandalan suatu sistem perlu dilakukan studi-studi dan analisa.

Pada penelitian ini penulis meneliti, menganalisa dan menyampaikan tentang evaluasi keandalan system distribusi tenaga listrik di PT. Putra Lestari Jaya Shipyards di Samarinda Kalimantan Timur. Sebagaimana diketahui bahwasanya pesanan kapal semakin meningkat oleh karena itu, diperlukan pelayanan tenaga listrik yang baik guna menunjang kelangsungan proses produksi.

Salah satu cara untuk menganalisa keandalan adalah dengan analisa kehandalan secara teoritis dengan pembandingan menggunakan metode simulasi. Metode simulasi yang paling

banyak dipakai adalah metode simulasi Monte Carlo. Pada simulasi ini dibutuhkan data-data kerusakan pada sistem tersebut. Dari hasil simulasi tersebut akan didapatkan indeks keandalan suatu sistem yaitu berupa nilai SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*). SAIFI merupakan nilai yang menunjukkan berapa kali rata-rata sistem mengalami pemadaman setiap tahun. Sedangkan SAIDI adalah nilai yang menunjukkan berapa lama rata-rata waktu padam pada sistem tiap tahunnya. Untuk standar WCS (*World Class Service*) nilai SAIFI sebesar 3 kali pertahun, nilai SAIDI 100 menit pertahun.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini didapatkan penilaian terhadap keandalan suatu sistem distribusi, untuk mendapatkan penilaian tersebut, yang diperlukan untuk menjelaskan hal-hal berikut :

1. Bagaimana menentukan nilai MTTF dan MTTR
2. Bagaimana mengetahui indeks keandalan yang meliputi SAIDI dan SAIFI
3. Bagaimana perbedaan hasil antara perhitungan secara teoritis dengan simulasi metode Monte Carlo.

1.3 Batasan Masalah

Dalam mengerjakan Penelitian ini, perlu pembatasan masalah dengan asumsi sebagai berikut:

1. Data kegagalan yang digunakan adalah data yang diperoleh dari PT. PUTRA LESTARI JAYA SHIPYARD di SAMARINDA, KALIMANTAN TIMUR
2. Kegagalan yang digunakan adalah kegagalan yang memiliki rentang waktu gagalnya lebih dari 5 menit.
3. Jenis kegagalan pada genset dihitung jika tidak ada pelayanan (dalam kondisi perbaikan atau perawatan)
4. Metode yang digunakan dalam analisa keandalan system distribusi adalah analisa secara teori dengan pembandingan simulasi Monte Carlo yang sudah didapat dari olahan sistem komputer dalam perusahaan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam Penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa data kegagalan sistem distribusi,
2. Mengetahui indek kehandalan dari sistem
3. Membandingkan hasil dari analisa secara teori dengan hasil simulasi Monte Carlo.

1.5 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini diharapkan dapat mendatangkan beberapa manfaat antara lain sebagai berikut :

1.5.1 Bagi diri sendiri

Melatih dan meningkatkan kemampuan khususnya dalam bidang teknik sistem tenaga, serta menyegarkan pengetahuan yang telah dipelajari agar tetap terjaga.

1.5.2 Bagi dunia akademis

Sebagai bahan kajian dan analisa teori untuk memadukan dengan praktek yang ada dilapangan sehingga sangat bermanfaat sebagai wahana pengetahuan yang konkret.

1.5.3 Bagi dunia luar

Sebagai bahan masukan dan evaluasi dalam membuat dan merancang

sistem kelistrikan yang lebih handal serta efisiensi dimasa mendatang.

Distribusi Tenaga Listrik

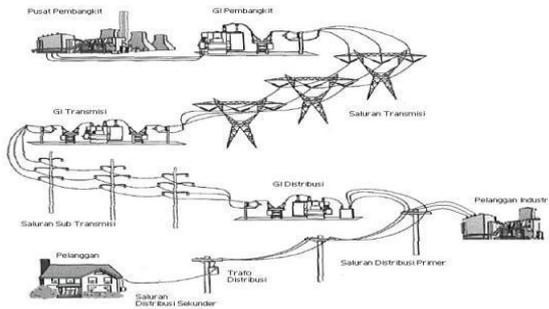
2.1.1 Pengertian Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV, EHV) menimbulkan beberapa

konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahal harganya perlengkapan-perengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo step-down. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda.



Gambar 2.1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

2.1.2 Pengelompokan Distribusi Tenaga Listrik

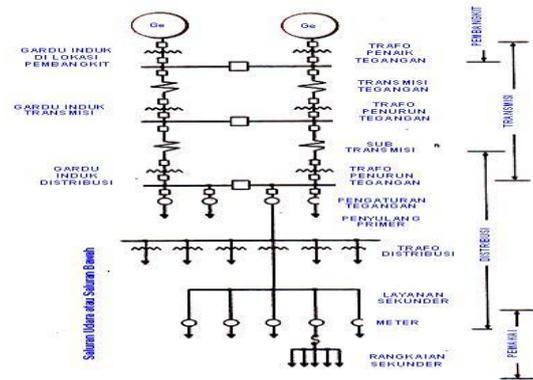
Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti pada Gambar

- Daerah I : Bagian pembangkitan (Generation)
- Daerah II : Bagian penyaluran (Transmission) , bertegangan tinggi (HV,UHV,EHV)
- Daerah III : Bagian Distribusi Primer, bertegangan menengah (6 atau 20kV).
- Daerah IV : (Di dalam bangunan pada beban/konsumen), Instalasi, bertegangan rendah

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat. Dengan demikian ruang lingkup Jaringan Distribusi adalah:

1. SUTM : terdiri dari : Tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor dan peralatan per-lengkapannya, serta peralatan pengamanan dan pemutus.

2. SKTM : terdiri dari : Kabel tanah, indoor dan outdoor termination, batu bata, pasir dan lain-lain.
3. Gardu trafo : terdiri dari : Transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat trafo, LV panel, pipa-pipa pelindung, Arrester, kabel-kabel, transformer band, peralatan grounding, dan lain-lain.
4. SUTR dan SKTR: terdiri dari: sama dengan perlengkapan/ material pada SUTM dan SKTM. Yang membedakan hanya dimensinya.



Gambar 2.2 Pengelompokan Sistem Tenaga Listrik

2.2 Sistem Distribusi

Bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan adalah jaringan distribusi. Jaringan distribusi juga adalah bagian sistem tenaga listrik yang paling banyak mengalami gangguan sehingga masalah utama dalam operasi sistem distribusi adalah mengatasi gangguan. Sistem distribusi kebanyakan merupakan jaringan yang diisi dari sebuah Gardu Induk (GI)

Sistem distribusi terdiri dari jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan rendah (JTR) baik JTM maupun JTR pada umumnya beroperasi secara radial. Dalam sistem yang perkembangannya masih baru, bebannya relatif masih rendah sehingga tidak diperlukan sistem transmisi.

Dalam pengoperasian sistem distribusi, masalah yang utama adalah mengatasi gangguan, karena jumlah gangguan dalam sistem distribusi relatif banyak dibandingkan dengan jumlah gangguan pada bagian sistem yang lain. Di samping itu masalah tegangan, bagian-bagian instalasi yang berbeban lebih dan rugi-rugi daya dalam jaringan merupakan masalah yang perlu

dicatat dan dianalisa secara terus menerus, untuk dijadikan masukan bagi perencanaan pengembangan sistem dan juga untuk melakukan tindakan-tindakan penyempurnaan pemeliharaan dan penyempurnaan operasi sistem distribusi.

Jaringan distribusi tegangan bermula dari sisi tegangan rendah pada transformator distribusi, yakni satu jaringan distribusi tegangan rendah dengan empat jurusan Saluran Udara Tegangan Rendah(SUTR). SUTR dapat berupa saluran udara dengan konduktor yang telanjang atau kabel udara. Saluran tegangan rendah dapat pula berupa kabel tanah namun hal ini jarang sekali dipakai di Indonesia mengingat harganya yang relatif mahal. SUTR yang menggunakan kabel udara banyak dikembangkan pemakaiannya oleh PLN karena gangguan yang lebih sedikit dibandingkan dengan SUTR yang menggunakan konduktor telanjang. Dibandingkan dengan kabel tanah tegangan rendah, SUTR yang memakai kabel udara masih lebih murah.

Masalah utama dalam operasi jaringan tegangan rendah adalah gangguan yang kebanyakan disebabkan oleh pohon, kotak kontak yang kendor, layang-layang dan lain-lain perbuatan manusia serta kelakuan binatang. Dengan menggunakan kabel udara maka gangguan yang disebabkan hal ini menjadi jauh berkurang kecuali yang disebabkan kotak kontak yang kendor tetap tidak berkurang.

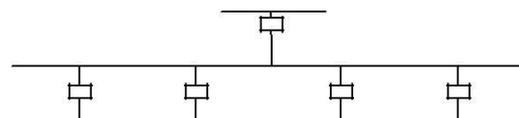
Ada beberapa desain jaringan distribusi antara lain sistem radial, ring, mesh dan spindel, masing-masing jenis tersebut memiliki kelemahan dan keunggulan, sehingga pemilihan sistem tergantung pada dimana sistem tersebut akan dipakai dan seberapa besar tingkat keandalan yang diinginkan.

2.2.1 Sistem Distribusi Radial

Sistem radial adalah sistem yang paling mudah dalam pengontrolannya, dan paling sederhana. Oleh karena itu sistem ini sering digunakan. Sistem tersusun dari saluran yang ditarik dari titik sumber dan akan dicabangkan ke beban. Ada beberapa tipe distribusi radial yaitu radial pohon, radial dengan pemisah, radial dengan pusat beban dan radial dengan pembagian fasa. Jaringan distribusi radial pohon adalah bentuk distribusi dengan satu saluran utama disuplai menurut beban, kemudian dicabangkan selanjutnya

ditambah cabang lagi yang disebut dengan anak cabang.

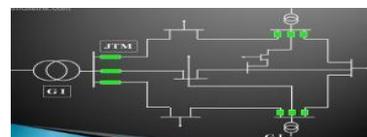
Jaringan distribusi radial dengan pemisah merupakan perubahan dari bentuk distribusi radial pohon tetapi dengan menambahkan pemisah yang digunakan untuk menjaga pelayanan konsumen, pemisah digunakan untuk melokalisasi wilayah yang terjadi gangguan agar tidak menyebar ke wilayah lain yang tidak terkena gangguan. Jaringan distribusi dengan pusat beban berbentuk jaringan yang menyuplai menggunakan penyulang utama langsung disalurkan ke pusat beban, dan dari pusat beban ini akan di salurkan ke beban yang lain. Jaringan distribusi radial dengan pembagian fasa memiliki system yang berbeda antara fasa yang satu dengan yang lain. Contoh dari system distribusi radial ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sistem Distribusi Radial

2.2.2 Sistem Distribusi Mesh

Jaringan distribusi mesh adalah jaringan distribusi yang mengkombinasikan jaringan radial dan ring, sistem ini lebih baik dari sistem-sistem yang lain serta dapat diandalkan, sistem ini digunakan jika daerah yang akan dilayani memiliki tingkat kepadatan konsumen yang sangat tinggi. Karena merupakan gabungan sistem ini memerlukan biaya investasi maupun perawatan yang tinggi. Selain biaya yang tinggi tingkat koordinasi alat pengaman juga sulit.

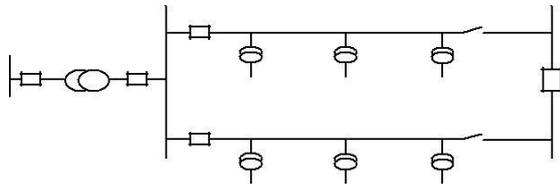


Gambar 2.4 Sistem Distribusi Mesh

2.2.3 Sistem Distribusi Ring

Jaringan distribusi ring merupakan bentuk jaringan distribusi yang tertutup, susunan penyulang berbentuk cincin yang memungkinkan beban dilayani oleh dua sumber atau lebih. Dengan disuplai dari dua atau lebih sumber maka sistem ini dapat menjaga kelangsungan pelayanan jika terdapat

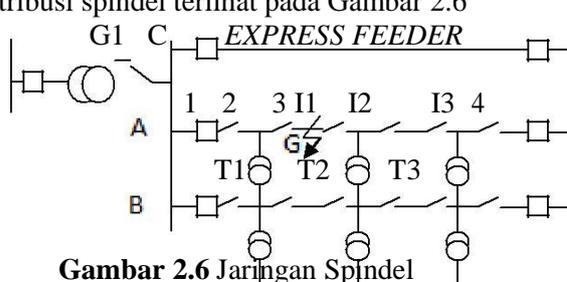
gangguan pada sumber. Tetapi jika beban yang akan dilayani bertambah kapasitas pelayanan akan menjadi jelek. Jaringan distribusi ring ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Sistem Distribusi Ring

2.2.4 Jaringan Distribusi Spindel

Dalam keadaan normal semua Pemutus (PMT) dan Pemisah (PMS) dari setiap feeder yang keluar dari GI dalam keadaan masuk kecuali PMT dan PMS feeder yang ada di Gardu Hubung (GH). Hanya PMT dan PMS dari *express feeder* di GH yang dalam keadaan masuk. Gambar dari jaringan distribusi spindel terlihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Jaringan Spindel

Misalnya terjadi gangguan pada titik G pada feeder A maka PMT no 1 trip, apabila feeder A adalah kabel tanah maka PMT no 1 tidak boleh dicoba masuk lagi. Untuk mengetahui tempat gangguan di titik G harus dikirim petugas untuk melihat indikator-indikator arus (I) yang ada setiap gardu distribusi. apabila indikator I mengeluarkan tanda bendera berarti letak gangguan di arah belakangnya, jikalau terjadi gangguan dititik G maka indikator I1 akan mengeluarkan tanda sedangkan indikator I2 dan I3 tidak akan mengeluarkan tanda, setelah letak gangguan diketahui maka PMS no 2 dan PMS no 3 dibuka kemudian PMT no 1 dan no 4 dimasukkan sehingga pelayanan bagi para pelanggan normal kembali sementara terdapat gangguan G telah dilokalisir dengan membuka PMS no 2 dan PMS no 3. Setelah gangguan dititik G selesai diperbaiki maka konfigurasi jaringan dapat dikembalikan seperti sebelum terjadi gangguan dengan membuka PMT no 1 dan PMT no 4 memasukan PMS no 2 dan PMS no3 kemudian memasukan kembali PMT no 1.

2.3 Keandalan Sistem Tenaga Listrik

Cara yang digunakan dalam keandalan evaluasi sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi dua cara dasar yaitu secara analitik dan cara simulasi. Teknik analitik banyak dikembangkan pada beberapa tahun belakang. Teknik analitik menggambarkan sistem dengan model matematik dan menghitung indek keandalan dari model tersebut menggunakan solusi matematik. Secara tepat persamaan matematik akan sangat terlibat, dan perkiraan akan sangat dibutuhkan jika system tersebut menjadi sangat kompleks. Teknik analitik pada umumnya digunakan untuk menghitung rata-rata atau nilai yang diharapkan dari titik beban dan indek keandalan sistem. Nilai rata-rata sangatlah berguna dan sebagai indek utama dari kecukupan daya dari perhitungan keandalan sistem dstribusi.

Faktor yang harus diketahui sebelum melakukan perhitungan maupun simulasi adalah MTTF, MTTR, Laju Kegagalan, Laju perbaikan. Untuk mendapatkan nilai –nilai tersebut perlu dilakukan perhitungan.

2.3.1 Mean Time To Failure

Mean time to failure (MTTF) adalah waktu rata-rata kegagalan yang terjadi selama waktu operasi yang dipelajari, dari suatu system maupun komponen sistem tersebut. MTTF dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{MTTF} = \frac{\text{Total Waktu Operasi}}{\text{Jumlah Kegagalan}} \quad (2.1)$$

Dimana :

T adalah waktu operasi

N adalah jumlah kegagalan

Dari data yang diperoleh nilai-nilai tersebut akan digunakan pada saat simulasi, data dari masing-masing feeder dari komponen akan diperlihatkan pada tabel di bab selanjutnya.

2.3.2 Mean Time To Repair

Mean time to repair (MTTR) adalah waktu rata-rata perbaikan yang dilakukan ketika terjadi kegagalan pada suatu komponen yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Total Waktu Perbaikan}}{\text{Jumlah Perbaikan}} \quad (2.2)$$

2)

Dengan :

L adalah waktu perbaikan
N adalah jumlah perbaikan

Dari data yang didapat maka akan dihitung MTTR dengan menggunakan rumus diatas setelah didapatkan maka akan dilakukan simulasi. Dari indikator ini dapat terlihat bagaimana peralatan-peralatan yang gagal tersebut ditangani semakin kecil MTTR maka dapat disimpulkan bahwa tindakan untuk perbaikan pada keadaan gagal dianggap cepat.

2.3.3 Laju Kegagalan.

Laju kegagalan atau *hazard rate* adalah frekuensi gagal pada komponen pada waktu sistem tersebut dipelajari. Semakin besar nilai laju kegagalan maka semakin jelek kondisi peralatan tersebut. Bisaanya peralatan akan sering gagal jika dibandingkan dengan peralatan tersebut pertama kali digunakan.

Dalam hubungan dengan keandalan laju kegagalan dapat digambarkan dengan rumus:

.....(2.3)

Dengan :

R adalah Keandalan

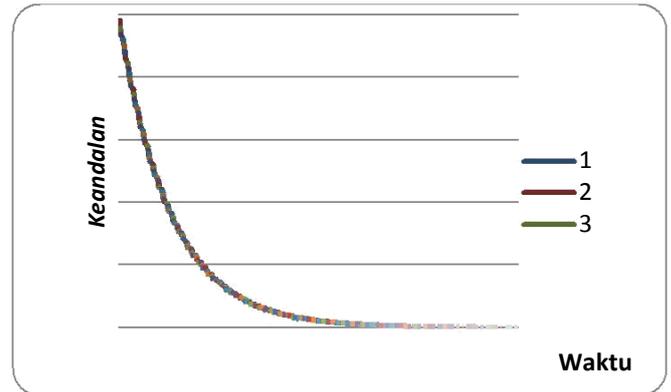
λ adalah Laju Kegagalan

t adalah Waktu

Dari rumus diatas dapat di gambarkan bahwa peluang kegagalan dari suatu alat dalam waktu t mengikuti distribusi eksponensial dari waktu tersebut. Hal ini membuktikan bahwa semakin lama sistem beroperasi maka keandalannya akan berkurang. Nilai dari laju kegagalan menggambarkan seberapa cepat peralatan tersebut akan gagal. Misalkan jika suatu peralatan memiliki laju kegagalan sebesar 0.2 kali pertahun artinya alat tersebut akan agar mengalami kegagalan sebanyak 2 kali diperlukan waktu 2 tahun. Nilai dari laju kegagalan didapatkan dari penelitian terhadap alat tersebut yang dilakukan selama bertahun-tahun dan dicatat setiap kegagalan yang terjadi. Dari data akan diperoleh nilai MTTF kemudian nilai dari laju kegagalan dapat dihitung dengan rumus:

.....(2.4)

Gambar 2.7 akan menunjukkan grafik dari kegagalan peralatan yang mengikuti rumus 2.3.



Gambar 2.7 Grafik Keandalan Alat

2.3.4 Laju Perbaikan

Waktu perbaikan atau *down time rate* adalah frekuensi lamanya suatu komponen dalam masa perbaikan. Jadi semakin besar nilai μ maka semakin cepat waktu perbaikan. Dari besarnya nilai dari laju perbaikan dapat diindikasikan bahwa jika peralatan memiliki laju perbaikan yang kecil maka dapat diindikasikan bahwa peralatan tersebut memiliki tingkat kesulitan yang tinggi dalam perbaikan. Nilai dari laju perbaikan didapatkan setelah diketahui rata-rata waktu perbaikan yang terjadi pada saat terjadi kegagalan dalam selang waktu penelitian. Rata-rata dari lama perbaikan dapat diperlihatkan dengan rumus:

.....(2.5)

Dengan r adalah rata-rata waktu perbaikan.

2.4 Keandalan Sistem Distribusi Radial

Sistem tenaga listrik sangatlah kompleks. Hal ini karena banyak faktor, beberapa diantaranya hanya ukuran fisik, persebaran jaringan yang secara geografi sangat luas, interkoneksi nasional dan internasional, fakta bahwa energi listrik tidak dapat disimpan dengan efisien atau efektif dengan jumlah yang besar, perilaku sistem yang tidak dapat diprediksi yang dapat menyebabkan dampak besar pada jarak yang jauh dari sumber kesalahan, dan banyak masalah lainnya. Yang menambah semakin kompleksnya sistem distribusi.

Sistem distribusi radial terdiri dari komponen yang tersusun secara seri, termasuk saluran, kabel, pemutus dan busbar. Pelanggan terhubung ke beberapa titik beban sistem yang

membutuhkan semua komponen antara pelanggan dengan titik *supply* yang bekerja. Ada tiga parameter dasar kehandalan dalam sistem ini yaitu laju kerusakan (λ), rata-rata pemadaman (r), dan rata-rata pemadaman pertahun, (Us). Yang dapat dirumuskan dibawah ini:

$$\dots\dots\dots(2.6)$$

$$(2.7) \frac{\dots}{\dots}$$

$$\dots\dots\dots(2.8)$$

Indek keandalan dilihat dari sisi pelanggan adalah sebagai berikut:

$$\dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana λ adalah laju kegagalan dan n adalah jumlah pelanggan pada titik beban i .

$$\dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana t adalah waktu pemadaman tahunan pelanggan.

2.5 Dasar Metode Monte Carlo

Metode Monte Carlo adalah algoritma komputasi untuk mensimulasikan berbagai perilaku sistem. metode ini juga digunakan pada berbagai aplikasi. Metode ini efisien dalam memecahkan permasalahan, karena perhitungannya yang sangat kompleks penggunaan simulasi ini dibantu dengan komputer dengan berbagai teknik simulasi komputer. metode ini dipopulerkan oleh para pionernya penggunaan nama Monte Carlo digunakan untuk menghormati paman seorang pioner yang merupakan penjudi. Penggunaan yang populer adalah penggunaan metode ini yang digunakan untuk menghitung sifat-sifat neutron yang pada tahun 1930 baru ditemukan oleh *enrico femi*. Keuntungan dan kekurangan teknik simulasi ini adalah:

1. Waktu yang dibutuhkan untuk mencari solusi secara analitis lebih singkat
2. Pemodelan numerik selalu mendapatkan hasil yang sama untuk

sistem, model, dan satu set data yang sama, sedangkan hasil simulasi tergantung dengan bilangan acak yang dibangkitkan

3. Model yang digunakan secara analitis bisaanya merupakan penyerderhanaan dari sebuah sistem dan terkandung terlalu disederhanakan sehingga menjauhi sifat yang benar dari system tersebut.

Metode Monte Carlo merupakan teknik khusus dimana bisa didapatkan hasil numerik tanpa secara aktual melakukan suatu percobaan atau eksperimen, dalam kehandalan sistem distribusi tidak diperlukan waktu pengamatan kegagalan dalam sistem dengan waktu yang lama sampai beberapa puluh tahun atau bahkan beberapa ratus tahun. Metode ini bisa mendapatkan hasil numerik dari data kejadian sebelumnya untuk menentukan distribusi probabilitas dari parameter-parameter yang di dapat dari data kejadian sebelumnya. Kemudian dari data yang didapat diperoleh informasi yang digunakan untuk membangkitkan data numerik. Dasar dari metode Monte Carlo adalah membangkitkan bilangan acak semu, metode ini menggambarkan kemungkinan penggunaan data contoh yang sudah ada.

Karena algoritma perhitungan memerlukan perulangan dan perhitungan yang kompleks, metode ini pada umumnya dilakukan dengan bantuan komputer, dengan memakai berbagai teknik simulasi komputer. Metode ini juga digunakan untuk menentukan solusi masalah matematik yang sulit untuk dipecahkan dengan perhitungan numerik maupun metode lainnya. Penggunaan metode Monte Carlo membutuhkan sejumlah besar angka acak sehingga metode ini menggunakan pembangkitan bilangan acak semu dengan menggunakan algoritma tertentu sesuai dengan kebutuhan. Metode ini juga digunakan untuk mendapatkan nilai yang paling mendekati kebenaran dengan cara melakukan pengujian dari nilai-nilai acak tersebut dan teori probabilitas.

Metode Monte Carlo dianggap sebagai teknik menggunakan nomor acak atau pseudorandom, untuk solusi dari sebuah model. Angka acak adalah variabel acak yang independen dengan interval satuan 0 sampai 1. Pada awal simulasi, keacakan dihasilkan oleh teknik manual, seperti melempar dadu dan

lainnya, kemudian metode ini ditinggalkan karena beralih kepada metode simulasi komputer dengan beberapa alasan:

- a. Cara mekanik atau manual terlalu lama untuk menghasilkan bilangan acak
- b. Tidak dapat menghasilkan bilangan acak yang berurutan
- c. Telah ditemukan bahwa angka-angka yang dihasilkan menunjukkan kedua bisa dan ketergantungan.

Meskipun dengan cara modern cepat dalam menghasilkan bilangan acak, tetapi masih memiliki kekurangan yaitu kurangnya pengulangan. Sekarang kebanyakan untuk menghasilkan bilangan acak tidak menggunakan penghasil bilangan acak dengan cara lama, tetapi menggunakan metode yang lebih sederhana yaitu menggunakan program komputer. Program komputer ini, memerlukan ruang penyimpanan kecil, dan mudah dapat mereproduksi urutan nomor acak. Yang penting, pembangkit bilangan acak yang baik menangkap semua sifat statistic penting dari urutan acak yang benar, meskipun urutan yang dihasilkan oleh algoritma deterministik. Untuk alasan ini, penghasil bilangan acak ini disebut pseudorandom.

2.5.1 Konsep Simulasi Monte Carlo

Simulasi adalah teknik numerik yang melakukan percobaan pada sistem digital komputer. Yang memasukan model matematika dan logika yang menjelaskan sifat dari suatu sistem, dengan waktu yang lebih lama dari waktu yang sebenarnya.

Ada beberapa alasan kenapa simulasi cocok untuk digunakan antara lain adalah :

1. Simulasi memungkinkan untuk mempelajari dan melakukan percobaan dengan interaksi internal yang kompleks dari suatu sistem.
2. Melalui simulasi kita dapat mempelajari pengaruh informasi tertentu, organisasi, dan perubahan lingkungan padapengoperasian sebuah sistem dengan membuat perubahan dalam model dari sistem dan mengamati dampak dari perubahan pada perilaku sistem.
3. Pengamatan rinci dari sistem yang ditinjau dapat menyebabkan pemahaman yang lebih baik tentang sistem dan sarana untuk memperbaikinya.

4. Simulasi dapat digunakan perangkat untuk mengajar baik mahasiswa dan praktisi keterampilan dasar dalam analisis teoritis, statistik analisis, dan pengambilan keputusan.
5. Pengalaman merancang model simulasi komputer mungkin lebih berharga daripada simulasi aktual itu sendiri. Pengetahuan yang diperoleh dalam merancang sebuah studi simulasi sering menunjukkan perubahan dalam sistem yang ditinjau. Efek dari perubahan ini kemudian dapat diuji melalui simulasi sebelum mengimplementasikannya pada system aktual
6. Simulasi dapat digunakan untuk bereksperimen dengan situasi baru, dengan informasi yang kita miliki meskipun informasi itu sedikit atau tidak ada sama sekali, sehingga dapat dipersiapkan apa yang mungkin terjadi.
7. Simulasi memungkinkan untuk mempelajari sistem secara dinamis baik dalam waktu sebenarnya, waktu kompresi, atau waktu diperluas.
8. Ketika komponen baru diperkenalkan ke dalam sistem, simulasi dapat digunakan untuk membantu meramalkankemacetan dan masalah lainnya yang mungkin timbul dalam pengoperasian sistem.

Pada simulasi pola perilaku yang identik dengan sistem yang beroperasi pada waktu yang sama akan bervariasi, termasuk jumlah kegagalan, waktu antara kegagalan, dan lain sebagainya. Ini dikarenakan kejadian alami yang berlangsung secara acak. Oleh karena itu perilaku yang spesifik pada sistem bisaanya dapat mengikuti beberapa pola perilaku kebiasaan ini. Proses simulasi dimaksudkan untuk memeriksa dan memprediksi pola perilaku sistem yang asli pada waktu simulasi, untuk memperhitungkan nilai yang diinginkan, dan rata-rata nilai dari parameter keandalan yang bervariasi.

2.5.2 Langkah-langkah simulasi Monte Carlo

Pada dasarnya Simulasi Monte Carlo merupakan metode yang memanfaatkan bilangan acak untuk dianalisa dan dibandingkan dengan parameter komponen yang telah diketahui dari data yang ada.

Masing-masing jenis jaringan distribusi tenaga listrik memiliki langkah –langkah yang berbeda dalam penggunaannya, untuk analisa distribusi jaringan sistem radial langkah–langkah simulasi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan nilai dari MTTR dan MTTF sistem
2. Menentukan nilai laju kegagalan (λ) dan laju perbaikan (μ) dari masing-masing peralatan.
3. Menentukan matrik hubung. Yaitu sebuah matrik yang memiliki arti hubungan antar peralatan yang ada pada sistem.
4. Melakukan simulasi selama satu tahun, yaitu dengan membangkitkan bilangan acak kemudian menentukan nilai keandalan suatu peralatan persatuan waktu.
5. Melakukan peangacakan peralatan, yang menentukan peralatan mana yang gagal.
6. Membandingkan antara nilai dari keandalan peralatan dengan bilangan acak
7. Menghitung jumlah kegagalan, dan berapa lama waktu tersebut gagal dengan mempertimbangkan hubungan antar peralatan.
8. Langkah (4) sampai (7) dilakukan selama waktu iterasi kemudian dianalisa hasilnya untuk menentukan nilai SAIDI dan SAIFI.

2.6 Generator Set (Genset)

Generator adalah mesin yang dapat mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Generator ini memperoleh energi mekanis dari prime mover. Generator arus bolak-balik (AC) dikenal dengan sebutan alternator. Generator diharapkan dapat mensuplai tenaga listrik pada saat terjadi gangguan, dimana suplai tersebut digunakan untuk beban prioritas. Sedangkan genset (generator set) merupakan bagian dari generator.

Genset merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Genset atau sistem generator penyaluran adalah suatu generator listrik yang terdiri dari panel, berenergi solar dan terdapat kincir angin yang ditempatkan pada suatu tempat. Genset dapat digunakan sebagai sistem

cadangan listrik atau "off-grid" (sumber daya yang tergantung atas kebutuhan pemakai). Genset sering digunakan oleh rumah sakit dan industri yang mempercayakan sumber daya yang mantap, seperti halnya area pedesaan yang tidak ada akses untuk secara komersial menghasilkan listrik. Generator terpasang satu poros dengan motor diesel, yang bisaanya menggunakan generator sinkron (alternator) pada pembangkitan. Generator sinkron terdiri dari dua bagian utama yaitu: sistem medan magnet dan jangkar. Ada 2 komponen utama dalam genset yaitu: Prime mover atau penggerak mula, dalam hal ini mesin diesel/engine & generator.

2.6.1 Mesin Diesel

Mesin diesel termasuk mesin dengan pembakaran dalam atau disebut dengan motor bakar ditinjau dari cara memperoleh energi termalnya. Untuk membangkitkan listrik sebuah mesin diesel menggunakan generator dengan sistem penggerak tenaga disel atauyang bisaa dikenal dengan sebutan Genset (Generator Set).

Prime mover merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Pada mesin diesel/engine terjadi penyalaan sendiri, karena proses kerjanya berdasarkan udara murni yang dimampatkan di dalam silinder pada tekanan yang tinggi (± 30 atm), sehingga temperatur di dalam silinder naik. Dan pada saat itu bahan bakar disemprotkan dalam silinder yang bertemperatur dan bertekanan tinggi melebihi titik nyala bahan bakar sehingga akan menyala secara otomatis.

Pada mesin diesel penambahan panas atau energi senantiasa dilakukan pada tekanan yang konstan. Pada mesin diesel, piston melakukan 2 langkah pendek menuju kepala silinder pada setiap langkah daya.

1. Langkah ke atas yang pertama merupakan langkah pemasukan dan penghisapan, di sini udara dan bahan bakar masuk sedangkan poros engkol berputar ke bawah.
2. Langkah kedua merupakan langkah kompresi, poros engkol terus berputar menyebabkan torak naik dan menekan bahan bakar sehingga terjadi pembakaran. Kedua proses ini (1 dan 2) termasuk proses pembakaran.
3. Langkah ketiga merupakan langkah ekspansi dan kerja, di sini kedua katup

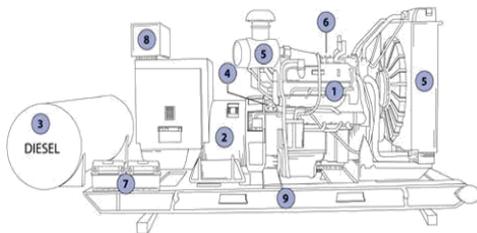
yaitu katup isap dan buang tertutup sedangkan poros engkol terus berputar dan menarik kembali torak ke bawah.

- Langkah keempat merupakan langkah pembuangan, disini katup buang terbuka dan menyebabkan gas akibat sisa pembakaran terbuang keluar. Gas dapat keluar karena padaproses keempat ini torak kembali bergerak naik keatas dan menyebabkan gas dapat keluar. Kedua proses terakhir ini (3 dan 4) termasuk proses pembuangan.
- Setelah keempat proses tersebut, maka proses berikutnya akan mengulang kembali proses yang pertama, dimana udara dan bahan bakar masuk kembali.

2.6.2 Komponen Generator

Komponen utama dari sebuah generator listrik dapat secara luas diklasifikasikan sebagai berikut:

- Mesin
- Alternator
- Sistem Bahan Bakar
- Voltage Regulator
- Pendingin dan Exhaust System
- Sistem Pelumasan
- Charger Baterai
- Control Panel



Gambar 2.8 Komponen Generator

A. Mesin

Mesin adalah sumber energi input mekanis untuk generator. Ukuran mesin berbanding lurus dengan output daya maksimum generator dapat pasokan. Ada beberapa faktor yang Anda perlu diingat saat menilai mesin generator Anda. Para produsen mesin harus dikonsultasikan untuk mendapatkan spesifikasi operasi mesin penuh dan jadwal pemeliharaan.

B. Alternator

Alternator, juga dikenal sebagai „genhead“, adalah bagian dari generator yang menghasilkan output listrik dari input mekanis

yang diberikan oleh mesin. Ini berisi perakitan bagian-bagian diam dan bergerak terbungkus dalam perumahan. Komponen bekerja sama untuk menyebabkan gerakan relatif antara medan magnet dan listrik, yang pada gilirannya menghasilkan listrik.

C. Sistem Bahan Bakar

Tangki bahan bakar bisaanya memiliki kapasitas yang cukup untuk menjaga generator operasional selama 6 sampai 8 jam pada rata-rata. Dalam kasus unit generator kecil, tangki bahan bakar adalah bagian dari dasar skid generator atau dipasang di atas bingkai generator. Untuk aplikasi komersial, mungkin perlu untuk mendirikan dan menginstal tangki bahan bakar eksternal. Semua instalasi tersebut tunduk pada persetujuan dari Divisi Perencanaan Kota.

D. Voltage Regulator

Sesuai namanya, komponen ini mengatur tegangan keluaran dari generator. Mekanisme ini dijelaskan di bawah ini terhadap satu komponen yang berperan dalam proses siklus regulasi tegangan.

(1) Voltage Regulator: Konversi Tegangan AC ke DC regulator tegangan memakan sebagian kecil dari output generator tegangan AC dan mengkonversikannya menjadi arus DC. Regulator tegangan DC ini kemudian feed saat ini untuk satu set gulungan sekunder di stator, yang dikenal sebagai gulungan exciter.

(2) Exciter Belitan: Konversi DC ke AC Current gulungan exciter sekarang mirip dengan gulungan stator utama fungsi dan menghasilkan arus AC kecil. Gulungan exciter yang terhubung ke unit yang dikenal sebagai berputar rectifier.

(3) Rotating Rectifier: Konversi dari AC ke DC Current ini memperbaiki arus AC yang dihasilkan oleh gulungan exciter dan mengubahnya menjadi arus DC. Ini arus DC diumpankan ke rotor / angker untuk menciptakan medan elektromagnetik selain medan magnet yang berputar rotor / angker.

(4) Rotor / Amature: Konversi DC sekarang untuk Tegangan AC – Rotor / angker sekarang menginduksi tegangan AC yang lebih besar di seluruh gulungan stator, yang kini memproduksi generator sebagai tegangan output AC yang lebih besar.

Siklus ini terus berlanjut sampai generator mulai memproduksi setara tegangan output untuk kapasitas operasi penuh. Sebagai

output dari kenaikan generator, regulator tegangan kurang menghasilkan arus DC. Setelah generator mencapai kapasitas operasi penuh, regulator tegangan mencapai keadaan kesetimbangan dan menghasilkan DC saat ini hanya cukup untuk mempertahankan output generator di tingkat operasi penuh.



Gambar 2.9 AVR (Automatic Voltage Regulator)

E. Pendingin dan Exhaust System

1. System Pendingin

Penggunaan terus menerus generator menyebabkan berbagai komponen untuk mendapatkan memanas. Sangat penting untuk memiliki pendingin dan sistem ventilasi untuk menarik panas yang dihasilkan dalam proses. Air baku / segar kadang-kadang digunakan sebagai pendingin untuk generator, tetapi ini sebagian besar terbatas pada situasi tertentu seperti generator kecil dalam aplikasi kota atau unit yang sangat besar di atas 2250 kW dan di atas. Hidrogen kadang-kadang digunakan sebagai pendingin untuk gulungan stator unit pembangkit besar karena lebih efisien dalam menyerap panas dari pendingin lainnya. Hidrogen menghilangkan panas dari generator dan transfer melalui penukar panas menjadi sirkuit pendingin sekunder yang berisi de-mineralisasi air sebagai pendingin. Inilah sebabnya mengapa sangat besar dan generator pembangkit listrik kecil sering memiliki menara pendingin yang besar di samping mereka. Untuk semua aplikasi umum lainnya, baik perumahan dan industri, radiator standar dan kipas terpasang pada generator dan bekerja sebagai sistem pendingin primer.

Hal ini penting untuk memeriksa tingkat pendingin generator setiap hari. Sistem pendingin dan pompa air baku harus memerah setelah setiap 600 jam dan penukar panas harus dibersihkan setelah setiap 2.400 jam operasi generator. Generator harus ditempatkan di daerah terbuka dan berventilasi

yang memiliki pasokan yang cukup dari udara segar. National Electric Code (NEC) mengamankan bahwa ruang minimal 3 kaki harus diperbolehkan di semua sisi generator untuk memastikan aliran udara pendingin.

2. System Exhaust

Exhaust asap yang dipancarkan oleh generator hanya seperti knalpot dari setiap diesel atau mesin gasonline dan mengandung bahan kimia yang sangat beracun yang perlu dikelola dengan baik. Oleh karena itu, adalah penting untuk menginstal sistem pembuangan yang memadai untuk membuang gas buang. Hal ini tidak dapat ditekankan cukup sebagai keracunan karbon monoksida tetap menjadi salah satu penyebab paling umum untuk kematian di daerah pasca badai yang terkena dampak karena orang cenderung tidak berpikir tentang hal itu sampai terlambat.

Pipa knalpot bisaanya terbuat dari besi cor, besi tempa, atau baja. Ini harus berdiri bebas dan tidak harus didukung oleh mesin generator. Pipa knalpot bisaanya melekat pada mesin dengan konektor fleksibel untuk meminimalkan getaran dan mencegah kerusakan pada sistem knalpot generator. Pipa knalpot berakhir di luar rumah dan mengarah menjauh dari pintu, jendela dan lubang lainnya ke rumah atau bangunan. Anda harus memastikan bahwa sistem pembuangan generator Anda tidak terhubung dengan yang peralatan lain. Anda juga harus berkonsultasi tata kota setempat untuk menentukan apakah operasi generator Anda akan perlu untuk mendapatkan persetujuan dari pemerintah daerah untuk memastikan anda sesuai dengan hukum setempat yang melindungi terhadap denda dan hukuman lain.

F. Sistem Pelumas

Sejak generator terdiri dari bagian yang bergerak dalam mesin, memerlukan pelumasan untuk memastikan operasi daya tahan dan halus untuk jangka waktu yang panjang. Mesin generator dilumasi oleh minyak disimpan dalam pompa. Anda harus memeriksa tingkat minyak pelumas setiap 8 jam operasi generator. Anda juga harus memeriksa kebocoran pelumas dan mengubah minyak pelumas setiap 500 jam operasi generator.

G. Charger Battery

Fungsi awal dari generator adalah dioperasikan dengan baterai. Pengisi daya baterai membuat baterai pembangkit

dibebankan dengan memasok dengan tegangan yang tepat „melayang“. Jika tegangan mengambang sangat rendah, baterai akan tetap undercharged. Jika tegangan mengambang sangat tinggi, akan mempersingkat masa pakai baterai. Pengisi baterai yang biasanya terbuat dari stainless steel untuk mencegah korosi. Mereka juga sepenuhnya otomatis dan tidak memerlukan pengaturan yang harus dilakukan atau pengaturan diubah. Output tegangan DC dari charger baterai ditetapkan sebesar 2,33 Volt per sel, yang adalah tegangan mengambang tepat untuk baterai asam timbal. Pengisi daya baterai memiliki output tegangan DC terpicu yang tidak mengganggu fungsi normal dari generator.

H. Control Panel

Ini adalah antarmuka pengguna dari generator dan mengatur beberapa ketentuan untuk outlet listrik dan kontrol. Artikel berikut memberikan rincian lebih lanjut mengenai panel kontrol pembangkit. Produsen yang berbeda telah bervariasi fitur yang ditawarkan dalam panel kontrol unit mereka. Beberapa di antaranya disebutkan di bawah.

1. Awal Electric dan shut-down – panel kontrol Auto awal secara otomatis memulai generator selama pemadaman listrik, memantau generator saat beroperasi, dan secara otomatis mematikan unit ketika tidak lagi diperlukan.
2. Mesin pengukur – pengukur yang berbeda menunjukkan parameter penting seperti tekanan minyak, suhu pendingin, tegangan baterai, kecepatan putaran mesin, dan durasi operasi. Pengukuran dan pemantauan konstan dari parameter ini memungkinkan built-in menutup generator ketika salah satu menyeberangi tingkat masing-masing ambang batas.
3. Generator alat pengukur – Panel kontrol juga memiliki meter untuk pengukuran arus keluaran dan tegangan, dan frekuensi operasi.
4. Kontrol lain – Tahap pemilih beralih, frekuensi switch, dan mesin saklar kontrol (mode manual, mode otomatis) antara lain.



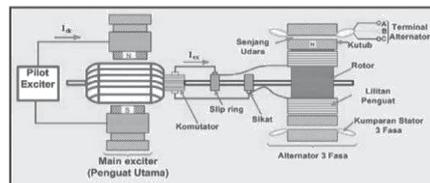
Gambar 2.10 Control Panel Generator

2.7 Konstruksi Mesin Sinkron

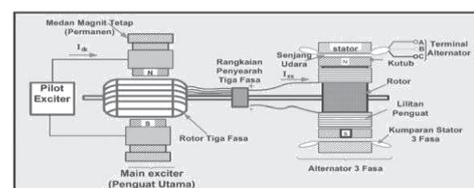
Ada dua struktur medan magnet pada mesin sinkron yang merupakan dasar kerja dari mesin tersebut, yaitu kumparan yang mengalirkan penguatan DC dan sebuah jangkar tempat dibangkitkannya ggl arus bolak-balik. Hampir semua mesin sinkron mempunyai belitan ggl berupa stator yang diam dan struktur medan magnet berputar sebagai rotor. Kumparan DC pada struktur medan yang berputar dihubungkan pada sumber luar melalui slipring dan sikat arang, tetapi ada juga yang tidak mempergunakan sikat arang yaitu sistem *brushless excitation*. Konstruksi dari sebuah Mesin Sinkron secara garis besar sebagai berikut.

2.7.1 Bentuk Penguatan

Untuk membangkitkan flux magnetik diperlukan penguatan DC. Penguatan DC ini bisa diperoleh dari generator DC penguatan sendiri yang seporos dengan rotor mesin sinkron. Pada mesin sinkron dengan kecepatan rendah, tetapi rating daya yang besar, seperti generator *hydroelectric*, maka generator DC yang digunakan tidak dengan penguatan sendiri, tetapi dengan *pilot exciter* sebagai penguatan atau menggunakan magnet permanen.



Gambar 2.11 Generator sinkron tiga phasa dengan penguatan generator DC *Pilot Exciter*.



memiliki lebih dari satu putaran. Bagian dari lilitan yang tidak terletak ke dalam alur biasanya disebut *winding overhang*, sehingga tidak ada tegangan dalam *winding overhang*.

2.7.6 Gaya Gerak Listrik Kumputaran

Untuk lebih mendekati nilai ggl sebenarnya yang terjadi maka harus diperhatikan faktor distribusi dan faktor kisar. Apabila $Z =$ Jumlah penghantar atau sisi lilitan dalam seri/fasa $= 2T$, dan $T =$ Jumlah lilitan per Fasa maka:

$$d\Phi = \Phi P \text{ dan } dt = \text{detik}$$

GGL induksi rata-rata per penghantar

$$E = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{2 \cdot f \cdot \Phi \cdot Z}{1} \text{ Volt} \quad (2.12)$$

Sedangkan $f = \frac{1}{T}$ atau $N = \frac{1}{T}$

Sehingga GGL induksi rata-rata per penghantar menjadi

$$E_r = \frac{2 \cdot f \cdot \Phi \cdot Z}{1} \quad (2.13)$$

Bila ada Z penghantar dalam seri / fasa maka ggl rata-rata / fasa

$$\begin{aligned} &= 2 \cdot f \cdot \Phi \cdot Z \text{ Volt} \\ &= 2 \cdot f \cdot \Phi \cdot (2T) \\ &= 4 \cdot f \cdot \Phi \cdot T \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} \text{Ggl efektif / fasa} &= 1,11 \times 4 \cdot f \cdot \Phi \cdot T \\ &= 4,44 \times f \cdot \Phi \cdot T \end{aligned} \quad (2.15)$$

Bila faktor distribusi dan faktor kisar dimasukkan maka ggl efektif / fasa

$$E = 4,44 \cdot K_d \cdot K_p \cdot f \cdot \Phi \cdot T \text{ Volt} \quad (2.16)$$

2.8 Prinsip Kerja Generator

Kecepatan rotor dan frekuensi dari tegangan yang dibangkitkan berbanding secara langsung memperlihatkan prinsip kerja dari sebuah generator AC dengan dua kutub, dan dimisalkan hanya memiliki satu lilitan yang terbuat dari dua penghantar secara seri, yaitu penghantar a dan a' . Lilitan seperti ini disebut *Lilitan terpusat*, dalam generator sebenarnya terdiri dari banyak lilitan dalam masing-masing Fasa yang terdistribusi pada masing-masing alur stator dan disebut *Lilitan terdistribusi*.

Diasumsikan rotor berputar searah jarum jam, maka flux medan rotor bergerak sesuai lilitan jangkar. Satu putaran rotor dalam satu detik menghasilkan satu siklus per detik atau 1 Hertz (Hz). Bila kecepatannya 60 revolution per menit (Rpm), frekuensi 1 Hz. Untuk frekuensi $f = 60$ Hz, maka rotor harus berputar 3600 Rpm. Untuk kecepatan rotor n rpm, rotor harus berputar pada kecepatan $n/60$ revolution per detik (rps). Bila rotor mempunyai lebih dari 1 pasang kutub, misalnya P kutub maka masing-masing revolution dari rotor menginduksikan $P/2$ siklus tegangan dalam lilitan stator.

Frekuensi dari tegangan induksi sebagai sebuah fungsi dari kecepatan rotor, $f = \frac{n}{60} \cdot \frac{P}{2}$ Hz (2.17)

Untuk generator sinkron tiga fasa, harus ada tiga belitan yang masing-masing terpisah sebesar 120 derajat listrik dalam ruang sekitar keliling celah udara seperti diperlihatkan pada kumparan $a - a'$, $b - b'$ dan $c - c'$ pada **Gambar 2.15**. Masing-masing lilitan akan menghasilkan gelombang fluksi sinus satu dengan lainnya berbeda 120 derajat listrik. Dalam keadaan seimbang besarnya fluksi sesaat:

$$\begin{aligned} \Phi_A &= \Phi_m \cdot \sin \omega t \\ \Phi_B &= \Phi_m \cdot \sin (\omega t - 120^\circ) \\ \Phi_C &= \Phi_m \cdot \sin (\omega t - 240^\circ) \end{aligned}$$

Besarnya fluks resultan adalah jumlah vektor ketiga fluks tersebut $\Phi_T = \Phi_A + \Phi_B + \Phi_C$, yang merupakan fungsi tempat (Φ) dan waktu (t), maka besar-besarnya fluks total adalah, $\Phi_T = \Phi_m \cdot \sin \omega t + \Phi_m \cdot \sin(\omega t - 120^\circ) + \Phi_m \cdot \sin(\omega t - 240^\circ)$. $\cos(\phi - 240^\circ)$.

Dengan memakai transformasi trigonometri dari:

$$\begin{aligned} \sin \alpha \cdot \cos \beta &= \frac{1}{2} \cdot \sin (\alpha + \beta) + \frac{1}{2} \sin (\alpha - \beta) \end{aligned}$$

maka dari persamaan 8-5 diperoleh: $\Phi_T = \frac{1}{2} \cdot \Phi_m \cdot \sin (\omega t + \phi) + \frac{1}{2} \cdot \Phi_m \cdot \sin (\omega t - \phi) + \frac{1}{2} \cdot \Phi_m \cdot \sin (\omega t + \phi - 240^\circ) + \frac{1}{2} \cdot \Phi_m \cdot \sin (\omega t - \phi - 240^\circ) + \frac{1}{2} \cdot \Phi_m \cdot \sin (\omega t + \phi - 480^\circ) + \frac{1}{2} \cdot \Phi_m \cdot \sin (\omega t - \phi - 480^\circ)$

Dari persamaan diatas, bila diuraikan maka suku kesatu, ketiga, dan kelima akan saling menghilangkan. Dengan demikian dari persamaan akan didapat fluksi total sebesar, $\Phi_T = \frac{3}{2} \Phi_m \cdot \sin (\omega t - \phi)$ Weber. Jadi medan resultan merupakan medan putar dengan modulus $\frac{3}{2} \Phi_m$ dengan sudut putar sebesar ω .

Besarnya tegangan masing-masing phasa adalah: $E_{maks} = B_m \cdot l \cdot \omega \cdot r$ Volt

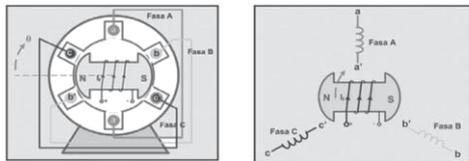
dimana:

B_m = Kerapatan Flux maximum kumparan medan rotor (Tesla)

l = Panjang masing-masing lilitan dalam medan magnetik (Weber)

ω = Kecepatan sudut dari rotor (rad/s)

r = Radius dari jangkar (meter)



Gambar 2.17 Diagram generator AC tiga phasa dua kutub

2.9 Karakteristik Beban dan Faktor Pusat Listrik

Lengkung beban (load curve) menunjukkan variasi beban dari beban setiap saat. Bentuk lengkung beban tersebut tergantung dari jenis beban yang ada. Dalam banyak hal dipergunakan lengkung beban untuk 24 jam dalam sehari dan disebut lengkung beban harian, demikian pula dipakai lengkung beban bulanan dan tahunan.

Lengkung lama beban (load duration curve) dibuat dengan mengatur lagi beban pada lengkung beban dalam suatu urutan nilai dari yang besar sampai yang kecil tanpa memperhatikan waktu, lengkung ini dipergunakan bersama-sama dengan lengkung beban. Faktor beban (load factor) adalah perbandingan antara beban rata-rata dalam suatu jangka waktu tertentu dan beban maksimum dalam jangka waktu tersebut.

Faktor pusat listrik (plant factor) adalah perbandingan antara daya rata-rata dalam jangka waktu tertentu (biasanya setahun) dan jumlah kapasitas terpasang pada suatu pusat listrik. Faktor pusat listrik menunjukkan bagaimana peralatan listrik telah dimanfaatkan. Faktor ini dipakai sebagai standar dalam membuat penilaian ekonomis dari pusat listrik. Faktor ini dapat juga dipakai untuk menunjukkan dan menentukan ketepatan kapasitas dari peralatan.

Secara umum beban maksimum adalah lebih kecil daripada tenaga listriknya. Hal ini dapat dijelaskan bahwa kenyataannya beban tidak digunakan pada waktu yang bersamaan. Beban maksimum atau permintaan

beban dari sekelompok konsumen aliran listrik dihitung dengan menggunakan hubungan :

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana : P_{inst} = Kapasitas tenaga listrik yang terpasang dari semua beban.

K_d = demand factor (faktor permintaan)

Pada umumnya K_d lebih besar atau sama dengan 1. Misalnya untuk instalasi penerangan di dalam rumah di daerah perkotaan dan permukiman $K_d = 0,4$ sampai $0,8$. Untuk beban tenaga listrik pada daerah kerja $K_d = 0,2$ sampai $0,7$.

Derajat ketidak-teraturan garis lengkung beban pusat pembangkit, ditandai oleh faktor beban (load factor) :

$$K_{lf} = \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana : P_{av} = beban rata-rata untuk setiap satuan waktu yang sama.

P_{max} = beban maksimum dari pusat pembangkit.

Dengan membandingkan faktor beban dari pusat pembangkit yang berbeda (untuk selang waktu yang sama), maka ialah mungkin untuk menentukan yang mana diantaranya telah bekerja dengan garis lengkung beban yang lebih seragam. Sebagaimana diketahui sampai dimana kapasitas terpasang dari sebuah pusat pembangkit telah dimanfaatkan ditandai oleh faktor pusat listrik (plant factor) :

$$K_{plf} = \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana : P_{inst} = jumlah keseluruhan kapasitas terpasang pusat pembangkit.

Identifikasi Masalah

Keandalan suatu sistem distribusi sangat penting artinya, karena dengan keandalan yang sangat tinggi maka tujuan dari perusahaan yaitu dapat menyediakan daya listrik secara maksimal dapat terpenuhi, dari sisi konsumen kepuasannya dapat terpenuhi.

Untuk mengetahui nilai keandalan suatu sistem perlu dilakukan studi-studi dan analisa. Salah satu cara untuk menganalisa keandalan adalah dengan analisa kehandalan

secara teoritis dengan pembandingan menggunakan metode simulasi.

3.1 Menetapkan Tujuan Penelitian

Merupakan langkah yang harus dilakukan, hal ini dilakukan dengan maksud untuk menghindari terjadinya penyimpangan antara tujuan yang akan dicapai dengan hasil yang didapat.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Data penelitian didapatkan di lokasi PT. Putra Lestari Jaya Shipyard Samarinda Kalimantan Timur. Untuk waktu penelitian dilakukan diantara bulan Februari sampai dengan juni 2013.

3.3 Studi Kepustakaan

Untuk menunjang penelitian maka diperlukan beberapa literatur buku, diantaranya : Reliability Evaluation of Power Systems oleh R. Billinton and R. N. Alan dan juga "Operasi Sistem Tenaga Listrik" oleh Marsudi, Djiteng serta masih banyak yang lainnya.

Selain literatur buku, juga ada software yang digunakan sebagai pembandingan dari metode analisa. Untuk software, digunakan program matlab & simulation release 2010a.

3.4 Alat Penelitian

Meliputi alat-alat yang digunakan sebagai media ataupun pengukur parameter-parameter tertentu misalnya :

a. Perangkat Computer

Satu unit Note Book (Laptop) dengan spesifikasi :

Pentium (R) Dual Core T4300 @ 2.10GHz, RAM 2 GB, harddisk Sagatta 500 GB 7200 rpm, Printer Canon Pixma iP 2770, Keyboard Mentari PS/2, Mouse lexus Optical Combo 1000 dpi, Perangkat Lunak Microsoft Office Word 2010.

b. Multitester / Avometer

Digunakan sebagai alat bantu untuk mengukur atau mengetahui nilai besaran-besaran listrik. Misalnya arus, tegangan, hambatan dan lain-lain.

c. Tang Ampere

Sebagai alat bantu pengukur arus listrik.

d. Megger

Merupakan alat bantu untuk mengukur nilai tahanan isolasi sebuah penghantar atau kabel.

3.5 Metode Analisa Data

Analisa data dan perhitungan untuk mendapatkan suatu nilai, ketetapan dari suatu besaran tertentu dilakukan dan diperoleh dengan melakukan perhitungan secara manual.

Dalam menyelesaikan dan memecahkan masalah dalam penelitian ini ditempuh dalam beberapa tahapan perhitungan diantaranya sebagai berikut :

1. Menghitung dan mencari nilai total beban Yaitu perhitungan terlebih dahulu terhadap daya total pada setiap kondisi operasi kapal, yang merupakan penjumlahan dari beban kontinyu dan beban sementara setelah dikalikan dengan diversity faktor.
2. Menghitung nilai load factor generator Load factor generator merupakan perbandingan antara daya total beban dengan kapasitas beban dari generator yang digunakan dikalikan seratus persen (100%).
3. Menghitung dan mencari nilai MTTF dan MTTR
4. Menghitung Laju kegagalan dan Laju perbaikan

Laju kegagalan atau *hazard rate* adalah frekuensi gagal pada komponen pada waktu sistem tersebut dipelajari. Sedangkan Nilai dari laju perbaikan didapatkan setelah diketahui rata-rata waktu perbaikan yang terjadi pada saat terjadi kegagalan dalam selang waktu penelitian.

3.6 Langkah-Langkah Simulasi

Pada dasarnya Simulasi Monte Carlo merupakan metode yang memanfaatkan bilangan acak untuk dianalisa dan dibandingkan dengan parameter komponen yang telah diketahui dari data yang ada. , untuk analisa distribusi jaringan sistem radial langkah-langkah simulasi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

9. Memasukkan nilai dari MTTR dan MTTF sistem
10. Menentukan nilai laju kegagalan (λ) dan laju perbaikan (μ) dari masing-masing peralatan.

11. Menentukan matrik hubung. Yaitu sebuah matrik yang memiliki arti hubungan antar peralatan yang ada pada sistem.
12. Melakukan simulasi selama satu tahun, yaitu dengan membangkitkan bilangan acak kemudian menentukan nilai keandalan suatu peralatan persatuan waktu.
13. Melakukan peangacakan peralatan, yang menentukan peralatan mana yang gagal.
14. Membandingkan antara nilai dari keandalan peralatan dengan bilangan acak
15. Menghitung jumlah kegagalan, dan berapa lama waktu tersebut gagal dengan mempertimbangkan hubungan antar peralatan.
16. Langkah (4) sampai (7) dilakukan selama waktu iterasi kemudian dianalisa hasilnya untuk menentukan nilai SAIDI dan SAIFI.

ANALISA DAN SIMULASI DATA

PT Putra Lestari Jaya Shipyards memiliki pembangkit listrik tenaga diesel 3 buah generator set (genset), yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan akan konsumsi daya listrik. Ke 3 generator set (genset) tersebut dibagi bergiliran dalam pemakaian, pembagiannya yaitu:

1. Generator set merk Mitsubishi 300 KVA
 2. Generator set merk Mitsubishi 300 KVA
 3. Generator set merk Mitsubishi 300 KVA
- Untuk Penelian ini, 3 generator set yang dianalisa yaitu : Generator set merk Mitsubishi 300 KVA. Alasan memilih ke 3 generator set tersebut karena ke 3 generator set melayani konsumsi daya listrik secara umum dan kontinyu.

Dalam bab ini akan dievaluasi keandalan dari sistem distribusi tenaga listrik di PT Putra Lestari Jaya Shipyards khususnya. Evaluasi dilakukan dengan metode analisis teoritis yaitu dengan perhitungan matematis dan akan dibandingkan dengan simulasi Monte Carlo yang telah ada di file perusahaan. Semua program simulasi Mote Carlo dibuat menggunakan software matlab 2010a menggunakan komputer dengan kecepatan prosesor 2,4 Mhz, memori 4Gb *operating system windows 7*. Melalui program simulasi didapatkan nilai SAIDI dan SAIFI, kemudian

dibandingkan dengan perhitungan dan standar Internasional WCS (*Word Class Services*), Gap dari SAIDI adalah 100 Menit, sedangkan SAIFI 3 kali.

4.1 Perawatan Generator Set

Untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi tenaga diperlukan data untuk perawatan atau perbaikan generator set. Data ini digunakan untuk mencari nilai dari mttf dan mtrr yang nantinya digunakan untuk menentukan nilai dari SAIFI dan SAIDI. Data perawatan diambil dari jurnal genset yang ada di bagian fasilitas dan pemeliharaan, data perawatan dapat dilihat pada lampiran 3.

4.2 Konsumsi Daya Listrik

Salah satu elemen penting untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik adalah jumlah konsumsi (pemakaian) daya listrik. Data ini nantinya digunakan sebagai faktor pengali dalam perhitungan untuk mencari nilai SAIFI dan SAIDI. Adapun data konsumsi daya listrik diambil dari bagian fasilitas dan pemeliharaan dan dapat dilihat pada lampiran 4.

4.3 Evaluasi 1 Tahun

Untuk menghitung keandalan sistem distribusi selama 1 tahun dilakukan dengan perhitungan teoritis dan dibandingkan dengan metode simulasi Monte Carlo.

4.3.1 Perhitungan Teoritis

MTTR = $\sum \Sigma$

1. 300 KVA I = _____
= _____
= 2.6 jam / 156 menit
2. 300 KVA II = _____
= _____
= 2.6 jam / 156 menit
3. 300 KVA III = _____
= _____
_____ = 2.5 jam / 150 menit

MTTF = Σ

1. 300 KVA I = T = 21-03-2010 → 26-03-2011
= _____
= 73 hari
1. 300 KVA II = T = 13-02-2010 → 18-02-2011
= _____
= 73 hari

$$2. \quad 300 \text{ KVA III} = T = 29-04-2010 \rightarrow 11-03-2011$$

$$= \text{---}$$

$$= 78 \text{ hari}$$

$$\lambda = \text{---}$$

$$1. \quad 300 \text{ KVA I} = \text{---}$$

$$=$$

$$0.0137 \quad 2. \quad 300 \text{ KVA II} =$$

$$=$$

$$0.0137 \quad 3. \quad 300 \text{ KVA III} =$$

$$= 0.0128$$

$$U = \lambda \times \text{mttr}$$

$$1. \quad 300 \text{ KVA I} = 0.0137 \times 2.6 \text{ jam}$$

$$= 0.0356$$

$$2. \quad 300 \text{ KVA II} = 0.0137 \times 2.6 \text{ jam}$$

$$= 0.0356$$

$$3. \quad 300 \text{ KVA III} = 0.0128 \times 2.5 \text{ jam}$$

$$= 0.032$$

$$\text{SAIFI} = \Sigma \text{---} =$$

$$= \text{---}$$

$$= 0.0134 \text{ jam/plg/thn}$$

$$= 0.804 \text{ mnt/plg/thn}$$

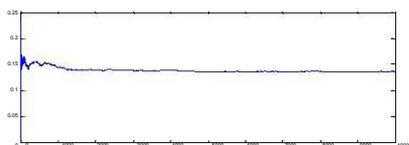
$$\text{SAIDI} = \Sigma \text{---} =$$

$$= \text{---}$$

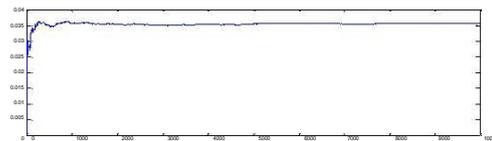
$$= 0.0345 \text{ kali/plg/thn}$$

4.3.2 Simulasi Monte Carlo

Simulasi dilakukan dengan lama simulasi selama beberapa iterasi. Iterasi yang digunakan sebesar 1000, 5000, dan 10000. Simulasi ini menggunakan nilai MTTF dan MTTR yang telah dihitung selama 1 tahun. Nilai MTTF dan MTTR akan digunakan untuk mencari nilai dari laju perbaikan dan laju kegagalan, kemudian nilai tersebut akan digunakan untuk parameter simulasi sehingga didapatkan nilai dari SAIFI dan SAIDI.



Gambar 4.1 Grafik SAIFI 1 tahun iterasi 10000



Gambar 4.2 Grafik SAIDI 1 tahun iterasi 10000

4.4 Evaluasi 2 Tahun

Untuk menghitung keandalan sistem distribusi selama 2 tahun dilakukan dengan perhitungan teoritis dan dibandingkan dengan metode simulasi Monte Carlo.

4.4.1 Perhitungan Teoritis

$$\text{MTTR} = \Sigma \lambda$$

$$1. \quad 300 \text{ KVA I} =$$

$$= \text{---}$$

$$= 2.69 \text{ jam} / 161 \text{ menit}$$

$$2. \quad 300 \text{ KVA II} =$$

$$= \text{---}$$

$$= 2.35 \text{ jam} / 141 \text{ menit}$$

$$3. \quad 300 \text{ KVA III} =$$

$$= \text{---}$$

$$= 2.71 \text{ jam} / 163 \text{ menit}$$

$$\text{MTTF} = \Sigma \lambda$$

$$1. \quad 300 \text{ KVA I} = T = 21-03-2010 \rightarrow 10-03-2012$$

$$= \text{---}$$

$$= 89 \text{ hari}$$

$$2. \quad 300 \text{ KVA II} = T = 13-02-2010 \rightarrow 20-02-2012$$

$$= \text{---}$$

$$= 73 \text{ hari}$$

$$3. \quad 300 \text{ KVA III} = T = 29-04-2010 \rightarrow 3-03-2012$$

$$= \text{---}$$

$$= 95 \text{ hari}$$

$$\lambda = \text{---}$$

$$1. \quad 300 \text{ KVA I} = \text{---}$$

$$= 0.0112$$

$$2. \quad 300 \text{ KVA II} = \text{---}$$

$$= 0.0137$$

$$3. 300\text{KVAIII} = - \\ = 0.0105$$

$$U = \lambda \times \text{mttr}$$

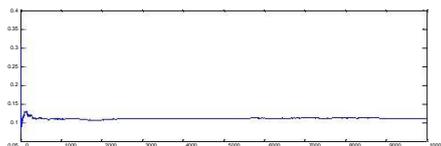
$$1. 300\text{KVA I} = 0.0112 \times 2.69 \\ = 0.0301 \\ 2. 300\text{KVA II} = 0.0137 \times 2.35 \\ = 0.0322 \\ 3. 300\text{KVA III} = 0.0105 \times 2.71 \\ = 0.0284$$

$$\text{SAIFI} = \frac{\Sigma}{\text{---}} =$$

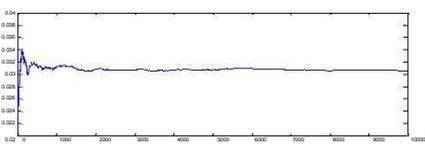
$$\text{---} = \text{---} \\ \text{---} = 0.0118 \text{ jam/plg/thn} \\ = 0.708 \text{ mnt/plg/thn SAIDI} = \Sigma = \\ \text{---} = \text{---} \\ = 0.0303 \text{ kali/plg/thn}$$

4.4.2 Simulasi Monte Carlo

Simulasi dilakukan dengan lama simulasi selama beberapa iterasi. Iterasi yang digunakan sebesar 1000, 5000, dan 10000. Simulasi ini menggunakan nilai MTTF dan MTTR yang telah dihitung selama 2 tahun. Nilai MTTF dan MTTR akan digunakan untuk mencari nilai dari laju perbaikan dan laju kegagalan, kemudian nilai tersebut akan digunakan untuk parameter simulasi sehingga didapatkan nilai dari SAIFI dan SAIDI.



Gambar 4.3 Grafik SAIFI 2 tahun iterasi 10000



Gambar 4.4 Grafik SAIDI 2 tahun iterasi 10000

4.5 Evaluasi 3 Tahun

Untuk menghitung keandalan sistem distribusi selama 3 tahun dilakukan dengan

perhitungan teoritis dan dibandingkan dengan metode simulasi Monte Carlo.

4.5.1 Perhitungan Teoritis

$$\text{MTTR} = \Sigma$$

$$1. 300 \text{ KVA I} = \text{---} \\ = \text{---} \\ = 2.58 \text{ jam} / 155 \text{ menit}$$

$$2. 300 \text{ KVA II} = \text{---} \\ = \text{---} \\ = 2.46 \text{ jam} / 148 \text{ menit}$$

$$3. 300 \text{ KVA III} = \text{---} \\ = \text{---} \\ = 2.7 \text{ jam} / 162 \text{ menit}$$

$$\text{MTTF} = \Sigma$$

$$1. 300 \text{ KVA I} = T = 21-03-2010 \rightarrow 10-02-2013 \\ = 1056 \text{ hari}$$

$$2. 300 \text{ KVA II} = T = 13-02-2010 \rightarrow 17-03-2013 \\ = 87 \text{ hari}$$

$$3. 300 \text{ KVA III} = T = 29-04-2010 \rightarrow 7-04-2013 \\ = 79 \text{ hari}$$

$$= \text{---} \\ = 88 \text{ hari}$$

$$\lambda = \text{---}$$

$$1. 300 \text{ KVA I} = - \\ = 0.0114$$

$$2. 300 \text{ KVA II} = - \\ = 0.0126$$

$$3. 300 \text{ KVA III} = - \\ = 0.0113$$

$$U = \lambda \times \text{mttr}$$

$$1. 300 \text{ KVA I} = 0.0114 \times 2.58 \text{ jam} \\ = 0.0294$$

$$2. 300 \text{ KVA II} = 0.0126 \times 2.46 \text{ jam} \\ = 0.0307$$

$$3. 300 \text{ KVA III} = 0.0113 \times 2.7 \text{ jam} \\ = 0.0305$$

$$SAIFI = \frac{\sum}{\sum} =$$

$$= 0.0117 \text{ jam/plg/thn}$$

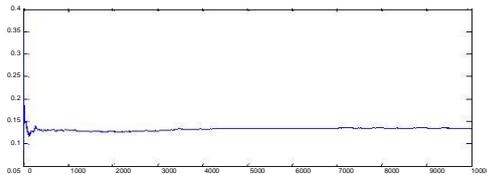
$$= 0.702 \text{ mnt/plg/thn}$$

$$SAIDI = \frac{\sum}{\sum} =$$

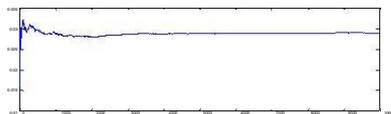
$$= 0.0301 \text{ kali/plg/thn}$$

4.5.2 Simulasi Monte Carlo

Simulasi dilakukan dengan lama simulasi selama beberapa iterasi. Iterasi yang digunakan sebesar 1000, 5000, dan 10000. Simulasi ini menggunakan nilai MTTF dan MTTR yang telah dihitung selama 3 tahun. Nilai MTTF dan MTTR akan digunakan untuk mencari nilai dari laju perbaikan dan laju kegagalan, kemudian nilai tersebut akan digunakan untuk parameter simulasi sehingga didapatkan nilai dari SAIFI dan SAIDI.



Gambar 4.5 Grafik SAIFI 3 tahun iterasi 10000



Gambar 4.6 Grafik SAIDI 3 tahun iterasi 10000

4.6 Perbedaan Nilai MTTF dan MTTR

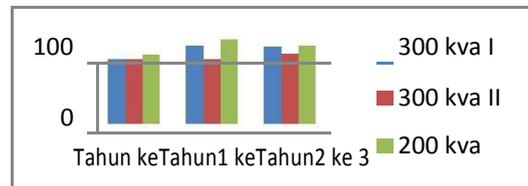
4.6.1 Perbedaan Nilai MTTF

Nilai MTTF (*mean time to failure*) dari masing-masing generator set berbeda beda dari tahun ke1 sampai tahun ke3, hal ini bisa dilihat di tabel 4.1

Tabel 4.1 Perbedaan nilai MTTF

	300 kva I	300 kva II	300 KVA
Tahun ke 1	73	73	78
Tahun ke 2	89	73	95
Tahun ke 3	87	79	88

Untuk generator set 300 kva I, dari tahun ke tahun terjadi kenaikan dan penurunan. Dari 73 hari (tahun ke1) naik 16 point ke 89 hari (tahun ke2) setelah itu turun 2 point ke 87 hari (tahun ke3). Untuk generator set 300 kva II, dari tahun ke tahun terjadi kenaikan dan penurunan. Dari 73 hari (tahun ke1) tetap ke 73 hari (tahun ke2) setelah itu naik 6 point ke 79 hari (tahun ke3). Untuk generator set 300 KVA, dari tahun ke tahun terjadi kenaikan dan penurunan. Dari 78 hari (tahun ke1) naik 17 point ke 95 hari (tahun ke2) setelah itu turun 7 point ke 88 hari (tahun ke3).



Gambar 4.7 Grafik Perbedaan Nilai

MTTF

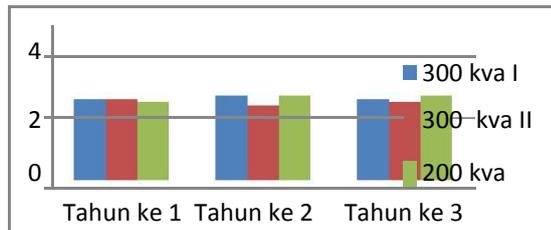
4.6.2 Perbedaan Nilai MTTR

Nilai MTTR (*mean time to repair*) dari masing-masing generator set berbeda beda dari tahun ke1 sampai tahun ke3, hal ini bisa dilihat di tabel 4.2

Tabel 4.2 Perbedaan Nilai MTTR

	300 kva I	300 kva II	300 KVA III
Tahun ke 1	2,6	2,6	2,5
Tahun ke 2	2,7	2,4	2,7
Tahun ke 3	2,6	2,5	2,7

Untuk generator set 300 kva I, dari tahun ke tahun terjadi kenaikan dan penurunan. Dari 2,6 jam (tahun ke1) naik 0,1 point ke 2,7 jam (tahun ke2) setelah itu turun 0,1 point ke 2,6 jam (tahun ke3). Untuk generator set 300 kva II, dari tahun ke tahun terjadi kenaikan dan penurunan. Dari 2,6 jam (tahun ke1) turun 0,2 point ke 2,4 jam (tahun ke2) setelah itu naik 0,1 point ke 2,5 jam (tahun ke3). Untuk generator set 300 KVA III, dari tahun ke tahun terjadi kenaikan. Dari 2,5 jam (tahun ke1) naik 0,2 point ke 2,7 jam (tahun ke2) setelah itu tetap 2,6 jam (tahun ke3).



Gambar 4.8 Grafik Perbedaan Nilai MTTR

4.7 Perbedaan Nilai SAIFI dan SAIDI

4.7.1 Perbedaan Nilai SAIFI

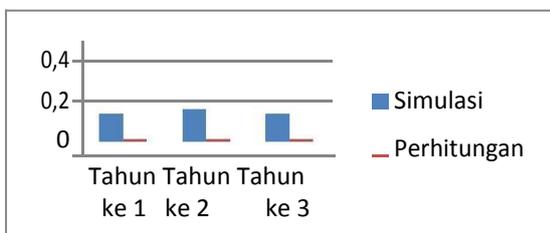
Nilai SAIFI (*system average interruption frequency index*) berbeda beda untuk tiap tahun. SAIFI merupakan index yang digunakan untuk mengetahui rata-rata kegagalan yang terjadi per pelanggan yang dilayani oleh system per satuan waktu. Untuk mengetahui nilai dari SAIFI baik secara perhitungan maupun simulasi, bisa di lihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Nilai SAIFI

	Simulasi	Perhitungan
Tahun ke 1	0,1355	0,0134
Tahun ke 2	0,1556	0,0118
Tahun ke 3	0,1345	0,0117

Untuk hasil dari simulasi, terjadi kenaikan dan penurunan pada nilai SAIFI. Pada tahun ke1 nilainya 0,1355 jam/plg/thn, tahun berikutnya naik 0,02 point menjadi 0, 1556 dan tahun ke3 turun 0,021 menjadi 0,1345 jam/plg/thn. Untuk hasil perhitungan juga

sebaliknya, terjadi kenaikan dan penurunan. Pada tahun ke1 nilainya 0,0134 jam/plg/thn, tahun berikutnya naik 0,0017 point menjadi 0, 0118 dan tahun ke3 turun 0,0001 menjadi 0,0117 jam/plg/thn.



Gambar 4.9 Grafik Perbedaan Nilai SAIFI

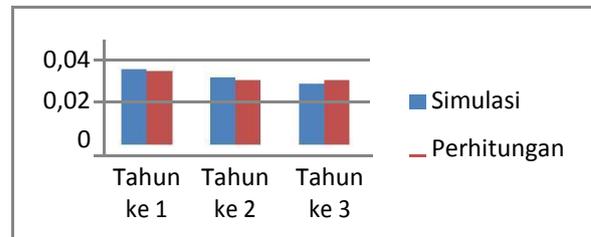
3.7.2 Perbedaan Nilai SAIDI

Nilai SAIDI (*system average interruption duration index*) berbeda beda untuk tiap tahun. SAIDI merupakan index yang digunakan untuk mengetahui rata-rata lamanya kegagalan

Tabel 4.4 Nilai SAIDI

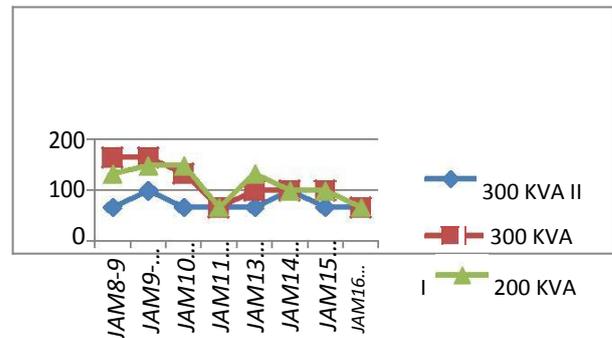
	Simulasi	Perhitungan
Tahun ke1	0,0355	0,0345
Tahun ke2	0,0315	0,0303
Tahun ke3	0,0285	0,0301

Untuk hasil dari simulasi, terjadi penurunan pada nilai SAIFI. Pada tahun ke1 nilainya 0.0355 kali/plg/thn tahun berikutnya turun 0,0040 point menjadi 0,0315 dan tahun ke 3 turun 0,0030 menjadi 0,0285 kali/plg/thn. Untuk hasil dari perhitungan, terjadi penurunan pada nilai SAIFI. Pada tahun ke1 nilainya 0.0345 kali/plg/thn tahun berikutnya turun 0,0042 point menjadi 0,0303 dan tahun ke 3 turun 0,0002 menjadi 0,0301 kali/plg/thn.



Gambar 4.10 Grafik Perbedaan Nilai SAIDI

4.8 Analisa Karakteristik Beban dan Faktor Pusat Listrik



untuk setiap konsumen selama 1 tahun. Untuk mengetahui nilai dari SAIDI baik secara perhitungan maupun simulasi, bisa di lihat pada tabel 4.4

Gambar 4.11 Grafik LBH 1 Juni 2013

1 Juni 2013

300 KVA = 170 KW

$$P_{av} = \frac{\dots}{\dots} \quad P_{av} = \dots$$

$$P_{av} = 111,25 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} P_{max} = 0,7 \times 170 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 119 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \frac{\dots}{\dots} \quad K_{lf} = \dots$$

$$K_{lf} = 0,93$$

$$K_{plf} = \text{---} \quad K_{plf} = \text{---}$$

$$K_{plf} = 0,654$$

$$300 \text{ KVA I} = 255 \text{ KW}$$

$$P_{av} = \text{_____} \quad P_{av} = \text{_____}$$

$$P_{av} = 111,125 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 255 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 178,5 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \text{_____} \quad K_{lf} = \text{_____}$$

$$K_{lf} = 0,62$$

$$K_{plf} = \text{_____} \quad K_{plf} = \text{_____}$$

$$K_{plf} = 0,44$$

$$300 \text{ KVA II} = 255 \text{ KW}$$

$$P_{av} = \text{_____} \quad P_{av} = \text{_____}$$

$$P_{av} = 74,25 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 255 \text{ KW}$$

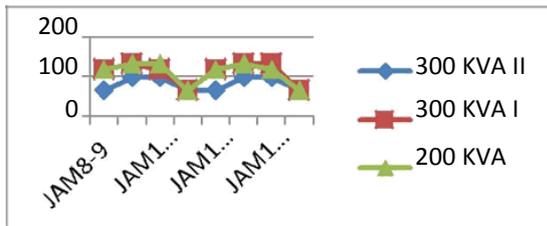
$$P_{max} = 178,5 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \text{_____} \quad K_{lf} = \text{_____}$$

$$K_{lf} = 0,42$$

$$K_{plf} = \text{_____} \quad K_{plf} = \text{_____}$$

$$K_{plf} = 0,29$$



Gambar 4.12 Grafik LBH 3 Juni 2013
3 Juni 2013
300 KVA = 170 KW

$$P_{av} = \text{_____} \quad P_{av} = \text{_____}$$

$$P_{av} = 110,25 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 170 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 119 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \text{_____} \quad K_{lf} = \text{_____}$$

$$K_{lf} = 0,926$$

$$K_{plf} = \text{_____} \quad K_{plf} = \text{_____}$$

$$K_{plf} = 0,65$$

$$300 \text{ KVA I} = 255 \text{ KW}$$

$$P_{av} = \text{_____} \quad P_{av} = \text{_____}$$

$$P_{av} = 110,25 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 255 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 178,5 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \text{_____} \quad K_{lf} = \text{_____}$$

$$K_{lf} = 0,62$$

$$K_{plf} = \text{_____} \quad K_{plf} = \text{_____}$$

$$K_{plf} = 0,43$$

$$300 \text{ KVA II} = 255 \text{ KW}$$

$$P_{av} = \text{_____} \quad P_{av} = \text{_____}$$

$$P_{av} = 82,5 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 255 \text{ KW}$$

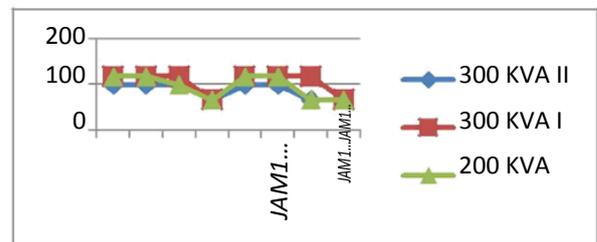
$$P_{max} = 178,5 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \text{_____} \quad K_{lf} = \text{_____}$$

$$K_{lf} = 0,46$$

$$K_{plf} = \text{_____} \quad K_{plf} = \text{_____}$$

$$K_{plf} = 0,32$$



Gambar 4.13 Grafik LBH 4 Juni 2013
4 Juni 2013
300 KVA = 170 KW

$$P_{av} = \text{_____} \quad P_{av} = \text{_____}$$

$$P_{av} = 96,125 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 170 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 119 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \text{_____} \quad K_{lf} = \text{_____}$$

$$K_{lf} = 0,81$$

$$K_{plf} = \text{_____} \quad K_{plf} = \text{_____}$$

$$K_{plf} = 0,56$$

$$300 \text{ KVA I} = 255 \text{ KW}$$

$$P_{av} = \text{_____} \quad P_{av} = \text{_____}$$

$$P_{av} = 105 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 255 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 178,5 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \text{_____} \quad K_{lf} = \text{_____}$$

$$K_{lf} = 0,59$$

$$K_{plf} = \text{_____} \quad K_{plf} = \text{_____}$$

$$K_{plf} = 0,41$$

$$300 \text{ KVA II} = 255 \text{ KW}$$

$$P_{av} = \text{_____} \quad P_{av} = \text{_____}$$

$$P_{av} = 86,6 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 255 \text{ KW}$$

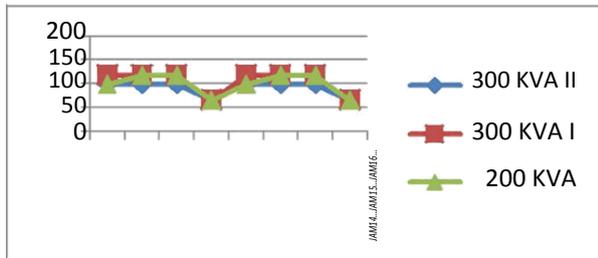
$$P_{max} = 178,5 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \text{-----} \quad K_{lf} = \text{-----}$$

$$K_{lf} = 0,48$$

$$K_{plf} = \text{-----} \quad K_{plf} = \text{-----}$$

$$K_{plf} = 0,34$$



Gambar 4.14 Grafik LBH 5 Juni

2013
5 Juni 2013
300 KVA = 170 KW

$$P_{av} = \text{-----} \quad P_{av} = \text{-----}$$

$$P_{av} = 100,25 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 170 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 119 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \text{-----} \quad K_{lf} = \text{-----}$$

$$K_{lf} = 0,84$$

$$K_{plf} = \text{-----} \quad K_{plf} = \text{-----}$$

$$K_{plf} = 0,59$$

300 KVA I = 255 KW

$$P_{av} = \text{-----} \quad P_{av} = \text{-----}$$

$$P_{av} = 105 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 255 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 178,5 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \text{-----} \quad K_{lf} = \text{-----}$$

$$K_{lf} = 0,59$$

$$K_{plf} = \text{-----} \quad K_{plf} = \text{-----}$$

$$K_{plf} = 0,41$$

300 KVA II = 255 KW

$$P_{av} = \text{-----} \quad P_{av} = \text{-----}$$

$$P_{av} = 90,75 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 255 \text{ KW}$$

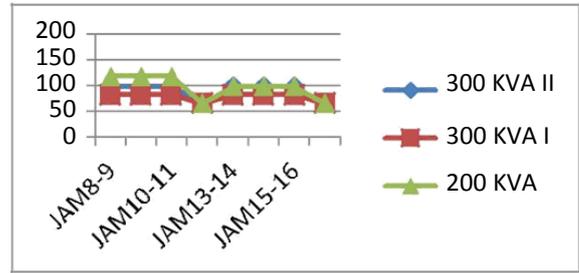
$$P_{max} = 178,5 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \text{-----} \quad K_{lf} = \text{-----}$$

$$K_{lf} = 0,51$$

$$K_{plf} = \text{-----} \quad K_{plf} = \text{-----}$$

$$K_{plf} = 0,36$$



Gambar 4.15 Grafik LBH 6 Juni

2013
6 Juni 2013
300 KVA = 170 KW

$$P_{av} = \text{-----} \quad P_{av} = \text{-----}$$

$$P_{av} = 97,87 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 170 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 119 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \text{-----} \quad K_{lf} = \text{-----}$$

$$K_{lf} = 0,82$$

$$K_{plf} = \text{-----} \quad K_{plf} = \text{-----}$$

$$K_{plf} = 0,58$$

300 KVA I = 255 KW

$$P_{av} = \text{-----} \quad P_{av} = \text{-----}$$

$$P_{av} = 78 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 255 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 178,5 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \text{-----} \quad K_{lf} = \text{-----}$$

$$K_{lf} = 0,44$$

$$K_{plf} = \text{-----} \quad K_{plf} = \text{-----}$$

$$K_{plf} = 0,31$$

300 KVA II = 255 KW

$$P_{av} = \text{-----} \quad P_{av} = \text{-----}$$

$$P_{av} = 90,75 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 255 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 178,5 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = \text{-----} \quad K_{lf} = \text{-----}$$

$$K_{lf} = 0,51$$

$$K_{plf} = \text{-----} \quad K_{plf} = \text{-----}$$

$$K_{plf} = 0,36$$

200	300 KVA II
100	300 KVA I
0	200 KVA

Gambar 4.16 Grafik LBH 7 Juni 2013

7 Juni 2013

300 KVA = 170 KW

$$P_{av} = P_{av}$$

$$P_{av} = 106,75 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 170 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 119 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = K_{lf}$$

$$K_{lf} = 0,90$$

$$K_{plf} = K_{plf}$$

$$K_{plf} = 0,63$$

300 KVA I = 255 KW

$$P_{av} = P_{av}$$

$$P_{av} = 93,125 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 255 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 178,5 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = K_{lf}$$

$$K_{lf} = 0,52$$

$$K_{plf} = K_{plf}$$

$$K_{plf} = 0,37$$

300 KVA II = 255 KW

$$P_{av} = P_{av}$$

$$P_{av} = 86,625 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 255 \text{ KW}$$

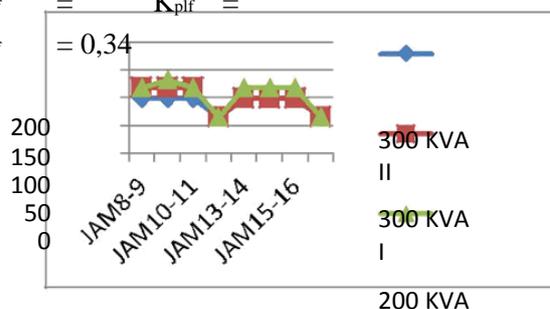
$$P_{max} = 178,5 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = K_{lf}$$

$$K_{lf} = 0,49$$

$$K_{plf} = K_{plf}$$

$$K_{plf} = 0,34$$



Gambar 4.17 Grafik LBH 8 Juni 2013

$$K_{plf} = \frac{P_{av}}{P_{max}}$$

$$K_{plf} = 0,39$$

300 KVA II = 170 KW

300 KVA I = 255 KW

$$P_{av} = P_{av}$$

$$K_{lf} = 0,483$$

$$P_{av} = 106,75 \text{ KW}$$

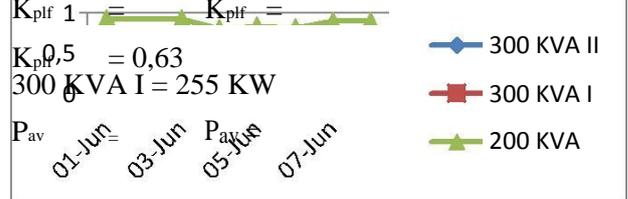
$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 170 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 119 \text{ KW}$$

$$K_{plf} = K_{plf} \quad K_{lf} =$$

$$K_{plf} = 0,334$$

$$K_{lf} = 0,90$$



$$P_{av} = 97,875 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 255 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 178,5 \text{ KW}$$

$$K_{lf} = K_{lf}$$

$$K_{lf} = 0,55$$

$$K_{plf} = K_{plf}$$

$$K_{plf} = 0,384$$

300 KVA I = 255 KW

$$P_{av} = P_{av}$$

$$P_{av} = 90,475 \text{ KW}$$

$$P_{max} = K_d \times P_{inst} \quad P_{max} = 0,7 \times 255 \text{ KW}$$

$$P_{max} = 178,5 \text{ KW}$$

Karakteristik beban dan faktor pusat listrik didapatkan hasil bahwa untuk load faktor yang paling maksimal adalah generator 300 KVA I, sedangkan untuk plant faktor juga generator 300 KVA III yang paling maksimal.

Beban Mingguan

300 KVA III

Kesimpulan

Dari beberapa perhitungan dan simulasi yang dilakukan dalam Penelitian ini maka dapat diambil kesimpulan :

Untuk nilai MTTF paling baik yaitu generator 300 kva, III, Sedangkan untuk nilai MTTR paling baik yaitu generator 300 kva II.

Nilai perhitungan SAIFI bernilai 0,0123 kali/plg/thn atau 0,738 mnt/plg/thn.

Nilai perhitungan SAIDI bernilai 0,0316 kali/plg/thn. Nilai simulasi SAIFI bernilai 0,1419 jam/plg thn atau 8,5 mnt/plg/thn.

$$K_{plf} =$$

Nilai perhitungan bernilai 0,0318 kali/plg/thn.

3. Perbedaan nilai SAIFI antara perhitungan dan simulasi $\pm 0,13$ point, Perbedaan nilai SAIDI antara perhitungan dan simulasi $\pm 0,0002$ point. Berdasarkan hasil yang diperoleh bisa disimpulkan bahwa keandalan sistem distribusi tenaga listrik di PT Putra lestari Jaya Samarinda Shipyard sangat baik, mengacu ke standart *world class services* (WCS).
4. Berdasarkan analisa perhitungan load factor serta plant factor, maka dapat disimpulkan bahwa generator (plant) yang paling maksimal dalam proses distribusi tenaga listrik yaitu generator 300 KVA III.

Saran

Dari data percobaan dan simulasi nilai SAIFI terdapat perbedaaan yang cukup besar, maka perlu dilakukan pengecheckan ulang (*up-grade*) program simulasi Monte Carlo yang dibuat menggunakan software matlab 2010a hal ini agar mudah untuk pengawasan serta pemeliharaan sistem distribusi tenaga listrik. Secara keseluruhan sistem distribusi berjalan sangat baik, hal ini dikarenakan komponen-komponen (generator set, instalasi dll) masih terbilang baru. Untuk ke depan diharapkan pemeliharaan yang baik untuk komponen-komponen sistem distribusi agar tetap berjalan dengan baik.

