

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang relevan

Berdasarkan penelitian yang akan dilakukan, penulis mengacu pada beberapa jurnal nasional dan internasional, diantaranya;

[1] **“Performance Test of Gas Turbine Part Of The Combined Cycle”** menjelaskan bahwa tentang pengujian parameter turbin gas dari suatu pembangkit listrik tenaga gas dan uap , dimana sistem ini dirancang untuk sistem bahan bakar ganda, baik bahan bakar minyak maupun bahan bakar gas.

[2] **“Tinjauan singkat system PLTP siklus gabungan sarulla menggunakan format *energy converter*”**. Dimana dalam jurnalnya menjelaskan tentang teknologi ormat *energy converter* dapat dikembangkan dan digunakan di pembangkit listrik panas bumi di Indonesia, dan dapat diinjeksi Kembali ke dalam bumi melalui reinjection well dan dapat dimanfaatkan Kembali untuk menghasilkan listrik untuk kapasitas kecil.

[3] **“Analisa Efisiensi dan pemanfaatan gas buang turbin gas alshtom pada pembangkit listrik tenaga gas kapasitas 20 Mw”** , dalam jurnalnya menjelaskan bahwa siklus dari suatu turbin gas yakni menyimpang dari siklus ideal, yang disebabkan karena adanya kerugian pada komponen kompresor.

[4] **“Perancangan turbin uap untuk siklus gabungan”** dalam jurnalnya menjelaskan bahwa turbin gas beroperasi pada temperature yang tinggi sekitar 1100-1650 *Celcius*. Temperatur gas-gas hasil pembakaran pada turbin gas biasanya masih cukup tinggi.

[5]” **Analisis efisisensi siklus *combined cycle power plant (CCPP) Gas turbine generator* terhadap beban operasi PT Kratau Daya listrik** “dalam jurnalnya menjelaskan bahwa menganalisa jumlah *energy* yang dihasilkan dari sebuah pembangkit merupakan factor penting dalam menjaga agar *efisiensi* sekitar 70 %- 90 %.

[6]”**Analisa aliran Daya pada system tenaga listrik menggunakan ETAP 12.6”** yang menjelaskan *study* Analisa aliran daya yaitu pembelajaran dalam rangka mendapatkan mengenai analisa *load flow* atau aliran daya pada suatu kondisi saat *system* operasi yang dimana tujuan dilakukannya Adalah untuk mengetahui dan mendapatkan operasi *system* yang baik dan terevaluasi sesuai dengan kondisi dari pembangkitan dan pembebanan aliran daya tersebut. Factor daya dan arus serta paling utama yaitu perhitungan dan bagaimana mengetahui proses dari aliran daya pada *system* tenaga Listrik.

[7]“***Medelling Renewable Energy Sources For Harmonic Assessments in DIgSILENT Power Factory : Comparison of different Approaches***” oleh Grazia Todeschi membahas tentang analisis pemindaian frekuensi dapat dilihat sebagai penyelesaian persamaan jaringan, yang menjelaskan bahwa masing masing *vector* arus, *vector* tegangan, dan *matriks* admitansi pada *orde harmonic*. Yang menginjeksikan satu arus pu dan menghitung tegangan yang sesuai, admitansi *system* yang diperoleh dengan asumsi *linsentitas system*, analisis yang selalu menghasilkan frekuensi yang menghasilkan impedansi yang sama.

[8]“**Analisis factor-faktor yang memengaruhi permintaan tenaga Listrik konsumen sektor social PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)**” oleh Aminullah Assagaf yang membahas tentang perkembangan teknologi dan juga peningkatan peralatan elektronik dapat mereflesikan variable bebas yang dimana tingkat pemanfaatan kapasitas ternyata sangatlah berdampak terhadap permintaan kwh konsumen dari sektor social.

[9]“**Analisis Pernandingan Unjuk Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigen HFC R-134A dan Hidrokarbon MC-134)**” oleh Roswati Nurhasanah yang membahas tentang penggunaan *refrigerant* HFC merupakan salah satu alternatif pengganti CFC yang ternyata memiliki dampak *Global Warming*, sehingga untuk mengurangi hal tersebut harus dilakukan penggantian refrigerant yang lebih ramah yaitu R013A jenis Hidrokarbon.

[10] “**Analisa Study Kelayakan Pembangunan PLTS 10 kWp di Graha YPK PLN)**” oleh Pawenary yang membahas tentang perencanaan PLTS di Graha YPK PLN sebagai pengganti penggunaan Listrik konvensional, membuat *system on grid* yang merupakan PLTS yang bisa mengurangi konsumsi Listrik di Graha YPK PLN.

[11]“**Analisa Kelayakan Eknomi dan Financial Pembangunan Jalan Tol Mengwi-Gilimanuk)**” oleh Jyoti Krisnanda yang membahas tentang kondisi *project* sebelum dilakukan memiliki besar derajat lalu lintas ditinjau dari sudut pandang investor dan dinyatakan layak sebab masih dalam keadaan baik dan menguntungkan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1. Industri Ketenagalistrikan

Industri ketenagalistrikan di dunia merupakan salah satu sektor yang sangat berpengaruh dalam jasa dan pelayanan suatu pekerjaan yang berhubungan dengan ketenagalistrikan. Adapun Bagian bagian yang merupakan kategori *industry* ketenagalistrikan adalah;

1. Sektor Pembangkitan
2. Sektor Transmisi

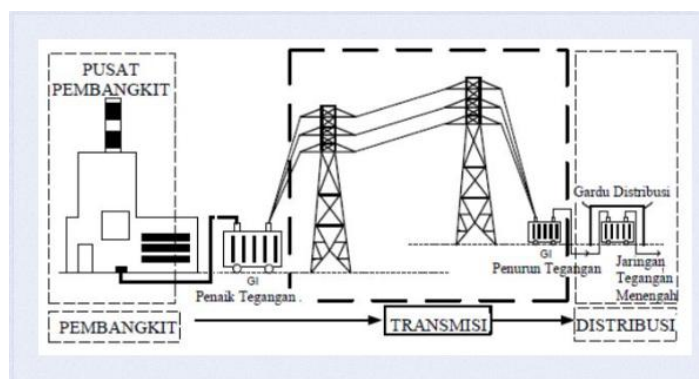
3. Sektor Distribusi

4. Sektor Instalasi Tenaga Listrik (layanan jasa pekerjaan ketenagalistrikan)

Semua sektor tersebut saling terhubung dan akan menghasilkan *industry* ketenagalistrikan yang dibutuhkan setiap wilayah dalam memenuhi kebutuhan pasokan *energy* listrik dalam menunjang kehidupan sehari-hari. Industri ketenagalistrikan merupakan suatu sektor yang memegang peran penting dalam kebutuhan hidup, semua kebutuhan dan juga kelangsungan hidup manusia bisa dibilang bergantung pada *industry* ini, sebagai contoh dalam kehidupan kita membutuhkan listrik untuk kelangsungan hidup agar lebih mudah, setiap rumah rumah membutuhkan sentuhan *industry* ini, kemudian kebutuhan sehari-hari seperti air yang bisa dengan mudah diperoleh dengan mudah dengan bantuan *energy* listrik. Kebutuhan transportasi dan masih banyak hal lainnya.

2.2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari sistem pembangkitan, distribusi, transmisi, dan pembebanan. Proses suatu penyampaian tenaga listrik ke pelanggan yaitu dengan cara tenaga listrik yang dibedakan dalam suatu listrik seperti PLTA, PLTB, dan jenis pembangkit lainnya, kemudian dari pembangkit barulah disalurkan ke saluran transmisi, dimana sebelumnya dinaikkan tegangannya oleh *transformator* ke saluran transmisi dimana sebelumnya dinaikkan dulu tegangannya oleh *transformator step up* pada pusat listrik tersebut, kemudian saluran transmisi di PLN secara garis besar memiliki tegangan sebesar 66 kV, 150 kV, dan 500 kV (Tegangan Ekstra Tinggi). Berikut ilustrasi sistem tenaga listrik :



Gambar 2 1 Ilustrasi Sistem Tenaga Listrik

Ketika tenaga listrik tersebut disalurkan melalui saluran transmisi, kemudian disalurkan kembali ke tenaga listrik menuju Gardu Induk (GI) dimana setelah itu diturunkan tegangannya melalui *Trafo Step Down* atau tegangan menengah

2.2.3. Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik adalah sistem yang mengubah berbagai bentuk energi primer (seperti energi kimia, panas, mekanik, atau potensial air) menjadi energi listrik yang dapat digunakan oleh masyarakat dan industri. Proses konversi ini dilakukan melalui mekanisme elektromagnetik pada generator, di mana energi mekanik diubah menjadi energi listrik dengan memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik.

2.2.3.1 Prinsip Dasar Konversi Energi

Secara umum, setiap pembangkit listrik terdiri atas tiga tahap utama:

1. Konversi energi primer menjadi energi mekanik (misalnya dari uap, air, atau angin yang memutar turbin).
2. Konversi energi mekanik menjadi energi listrik menggunakan generator sinkron.
3. Penyaluran energi listrik melalui sistem transmisi dan distribusi menuju konsumen.

2.2.3.2. Jenis-jenis Pembangkit Tenaga Listrik

a. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU memanfaatkan pembakaran bahan bakar (batubara, minyak, atau gas) untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi. Uap tersebut digunakan untuk memutar turbin yang terhubung ke generator. Berikut gambar pembangkit listrik tenaga uap :



Gambar 2 2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Komponen utama:

1. *Boiler* (penghasil uap)
2. Turbin uap
3. Kondensor
4. *Generator*
5. Sistem pendingin

b. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

PLTG menggunakan gas hasil pembakaran langsung untuk memutar turbin gas yang menggerakkan generator. Sistem ini sering dipakai sebagai pembangkit beban puncak karena waktu *start-up* yang cepat.

Berikut gambar pembangkit listrik tenaga Gas:

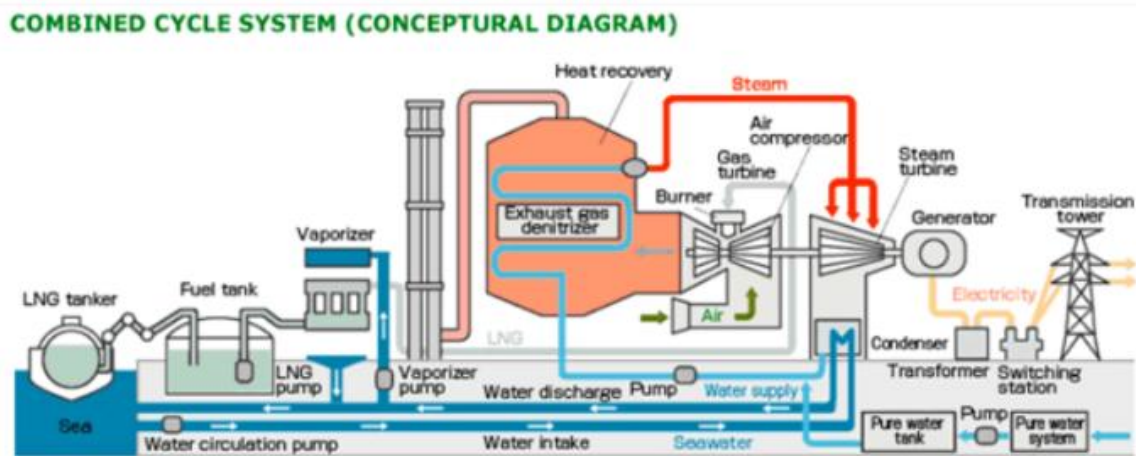


Gambar 2 3 Pembangkit Listrik Tenaga Gas

2.2.4. Combined Cycle Power plant

Peningkatan kebutuhan energi listrik global mendorong munculnya berbagai teknologi pembangkit yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Salah satu inovasi yang berkembang adalah sistem pembangkit listrik tenaga gas siklus gabungan (*Combined Cycle Power plant/CCPP*).

Teknologi ini mengombinasikan dua siklus *termodinamika*, yaitu siklus *Brayton* pada turbin gas dan siklus *Rankine* pada turbin uap, untuk memaksimalkan pemanfaatan energi dari bahan bakar. Berikut gambar konsep diagram *combined cycle* :



Gambar 2 4 Ilustrasi Combined Cycle

2.2.4.1. Prinsip Dasar *Combined Cycle Power plant*

PLTG Siklus Gabungan bekerja dengan prinsip pemanfaatan panas buang dari turbin gas untuk menghasilkan uap air yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Integrasi ini meningkatkan efisiensi termal sistem secara signifikan. Dalam sistem konvensional, sebagian besar panas terbuang ke atmosfer, sedangkan pada CCPP, panas tersebut diubah menjadi energi tambahan melalui siklus uap.

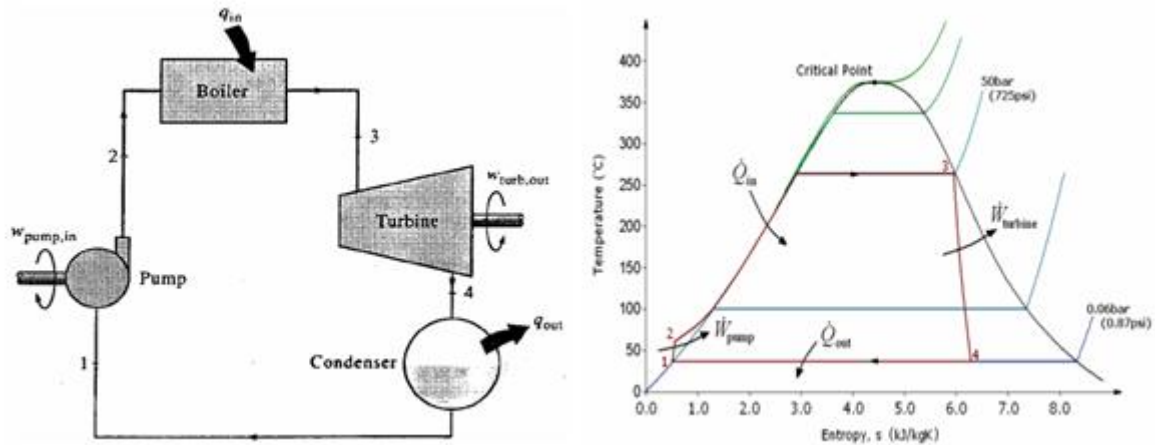
2.2.4.2. Komponen Utama Sistem

Komponen utama dalam sistem ini meliputi:

1. Turbin Gas, yang mengubah energi panas hasil pembakaran menjadi energi mekanik;
2. *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG), yaitu alat penukar panas yang mengonversi gas buang panas menjadi uap;
3. Turbin Uap, yang menghasilkan energi listrik tambahan dari uap yang dihasilkan HRSG, serta Sistem pendingin dan generator

2.2.4.3. Siklus *Termodinamika: Brayton dan Rankine*

Siklus *Brayton* berfungsi sebagai siklus atas (*topping cycle*) dengan proses utama kompresi udara, pembakaran bahan bakar, dan ekspansi gas pada turbin. Sementara itu, siklus *Rankine* sebagai siklus bawah (*bottoming cycle*) memanfaatkan panas buang dari turbin gas untuk menguapkan air menjadi uap yang memutar turbin uap. Kombinasi kedua siklus ini menghasilkan efisiensi termal lebih dari 55% hingga 60% pada kondisi optimal. Berikut gambar siklus termodinamika *Brayton* dan *Rankie* :



Gambar 2.5 Siklus Termodinamika Bryaton dan Rankie

Dalam sistem pembangkit tenaga listrik, energi panas diubah menjadi energi mekanik, kemudian menjadi energi listrik melalui proses termodinamika tertentu yang disebut siklus daya (*power cycle*). Dua siklus utama yang banyak digunakan adalah Siklus *Brayton* dan Siklus *Rankine*. Keduanya menggambarkan bagaimana *fluida* kerja mengalami proses pemanasan, ekspansi, pendinginan, dan kompresi secara berulang untuk menghasilkan energi.

A). Siklus *Brayton* (*Gas Turbine Cycle*)

a. Prinsip Dasar

Siklus *Brayton* digunakan pada pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) atau turbin gas. *Fluida* kerja yang digunakan biasanya udara atau campuran gas pembakaran.

Proses utama dalam siklus ini berlangsung secara kontinu dan melibatkan empat tahap:

1. Kompresi *Isentropik*

Udara dikompresi oleh *compressor*, sehingga tekanan dan suhu meningkat.

2. Pemanasan *Isobarik*

Udara bertekanan tinggi dipanaskan dalam ruang bakar pada tekanan konstan. Energi panas berasal dari pembakaran bahan bakar gas.

3. Ekspansi *Isentropik*

Gas panas diekspansikan di *turbine*, menghasilkan energi mekanik yang digunakan untuk memutar generator dan kompresor.

4. Pembuangan *Isobarik*

Gas buang keluar dari turbin pada tekanan konstan dan dibuang ke *atmosfer* atau digunakan lagi (pada sistem siklus gabungan).

b. Diagram T–S (Temperatur–*Entropi*)

Pada diagram T–S, siklus *Brayton* membentuk empat titik:

Kompresi (1–2): kenaikan tekanan

Pemanasan (2–3): kenaikan suhu

Ekspansi (3–4): turbin menghasilkan kerja

Pendinginan (4–1): pelepasan panas

B). Siklus *Rankine* (*Steam Turbine Cycle*)

a. Prinsip Dasar

Siklus *Rankine* merupakan siklus dasar pada pembangkit tenaga uap (PLTU), di mana air digunakan sebagai *fluida* kerja. Tujuan utamanya adalah mengubah energi panas dari bahan bakar menjadi energi mekanik dan listrik.

Empat tahap utama dalam siklus *Rankine* adalah

1. Pemompaan *Isentropik*

Air cair ditekan menggunakan *feedwater pump* dari tekanan kondensor ke tekanan boiler.

2. Pemanasan *Isobarik*

Air bertekanan tinggi dipanaskan dalam *boiler* hingga menjadi uap jenuh atau *superheated*.

3. Ekspansi *Isentropik*

Uap bertekanan tinggi masuk ke *turbine* dan mengembang, menghasilkan energi mekanik.

4. Pembuangan *Isobarik*

Uap keluaran turbin didinginkan dalam *kondensor* hingga menjadi air cair, kemudian dikembalikan ke pompa untuk mengulangi siklus.

b. Diagram T–S (Temperatur–Entropi)

Siklus *Rankine* juga memiliki empat proses utama:

(1–2) Kompresi cair oleh pompa

(2–3) Pemanasan dan penguapan di *boiler*

(3–4) Ekspansi uap di turbin

(4–1) Kondensasi di kondensor

2.2.3.4. Konfigurasi Sistem

Dua konfigurasi umum digunakan dalam CCPP, yaitu konfigurasi poros tunggal (*single-shaft*) dan konfigurasi multi-poros (*multi-shaft*). Pada sistem *single-shaft*, turbin gas, HRSG, dan turbin uap dihubungkan pada satu poros dengan satu generator.

Sementara pada sistem *multi-shaft*, setiap turbin gas memiliki HRSG terpisah dan dihubungkan ke turbin uap tersendiri. Beberapa sistem juga menggunakan pembakar

tambahan (*supplementary firing*) untuk meningkatkan produksi uap.

2.2.3.5. Efisiensi dan Keunggulan

Efisiensi termal yang tinggi menjadi keunggulan utama PLTG siklus gabungan. Dengan memanfaatkan panas buang, konsumsi bahan bakar per satuan energi listrik yang dihasilkan dapat dikurangi. Selain itu, emisi karbon dioksida lebih rendah dibandingkan pembangkit berbahan bakar fosil konvensional. Sistem ini juga memiliki fleksibilitas operasi yang baik, mampu menyesuaikan diri terhadap variasi beban listrik dengan cepat.

2.2.3.6. Tantangan dan Aspek Lingkungan

Meskipun efisien, sistem CCPP memiliki tantangan seperti kebutuhan investasi awal yang besar dan ketergantungan terhadap ketersediaan air untuk sistem pendingin. Selain itu, meskipun emisi CO₂ lebih rendah, tetap terdapat emisi *nitrogen oksida* (NO_x) yang perlu dikendalikan menggunakan teknologi reduksi katalitik. Penggunaan sistem pendingin kering menjadi alternatif untuk mengurangi kebutuhan air, namun dapat menurunkan efisiensi operasi.

2.2.5. Perangkat Lunak *DIgSILENT*

DIgSILENT PowerFactory merupakan perangkat lunak profesional untuk analisis sistem tenaga listrik yang digunakan secara luas di dunia industri dan akademik. Aplikasi ini mampu mensimulasikan sistem pembangkitan, transmisi, distribusi, serta integrasi sumber energi terbarukan. PowerFactory dikembangkan oleh perusahaan *DIgSILENT GmbH* dari Jerman, dan dikenal karena keakuratan model matematis serta fleksibilitasnya dalam analisis teknik tenaga.

2.2.4.1. Aplikasi Utama *DIgSILENT Power Factory*

Power Factory digunakan untuk berbagai keperluan, antara lain:

- Analisis Aliran Daya (*Load Flow Analysis*) .

Berikut gambar aplikasi *DIgSILENT* :



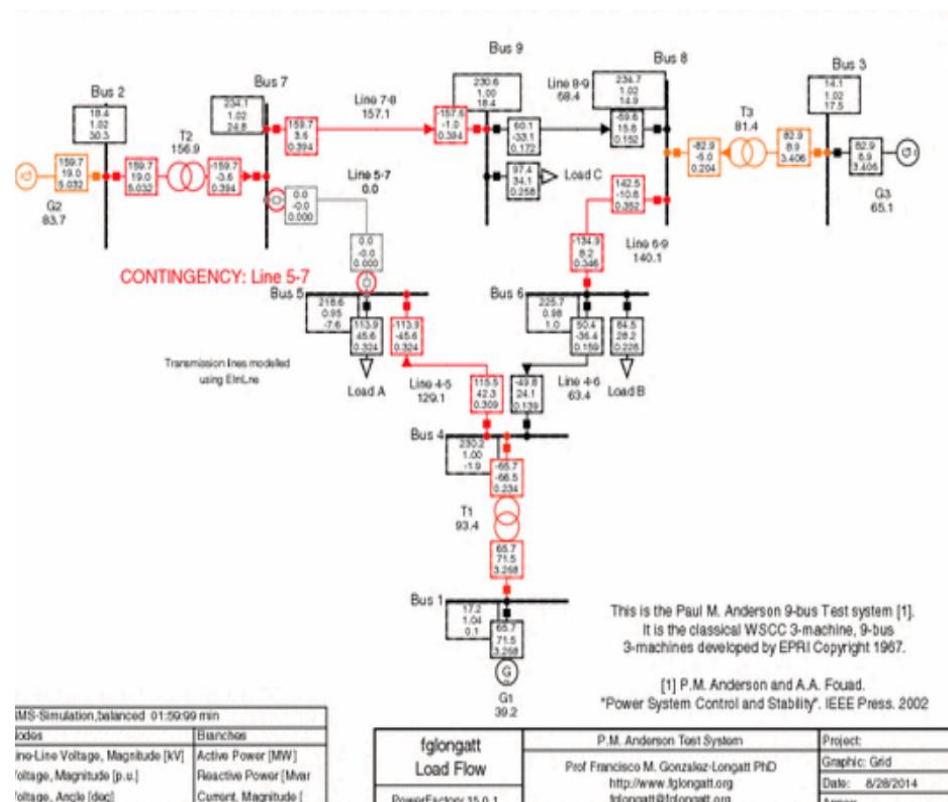
Gambar 2 6 Aplikasi *DIgSILENT*

Suatu analisis *load flow* yang merupakan proses perhitungan dalam suatu sistem tenaga listrik yang dimana memiliki tujuan untuk mengetahui bagaimana daya listrik baik aktif maupun istilah reaktif, tujuan utama analisis aliran daya yaitu bisa menentukan nilai dari tegangan di setiap bus atau node suatu sistem tenaga, bisa menghitung daya aktif, reaktif pada saluran transmisi, juga bisa menghitung rugi rugi daya atau losses di jaringan.

- Studi Hubung Singkat (*Short Circuit Analysis*)

Suatu teknik analisis dalam suatu sistem tenaga listrik yang bertujuan untuk menghitung arus gangguan atau biasa di sebut arus hubung singkat yang dimana terjadi ketika terdapat dua atau lebih titi penghantar yang dimana seharusnya di katakan istilah terisolasi atau satu sama lain mengalami kontak langsung dan tidak langsung.

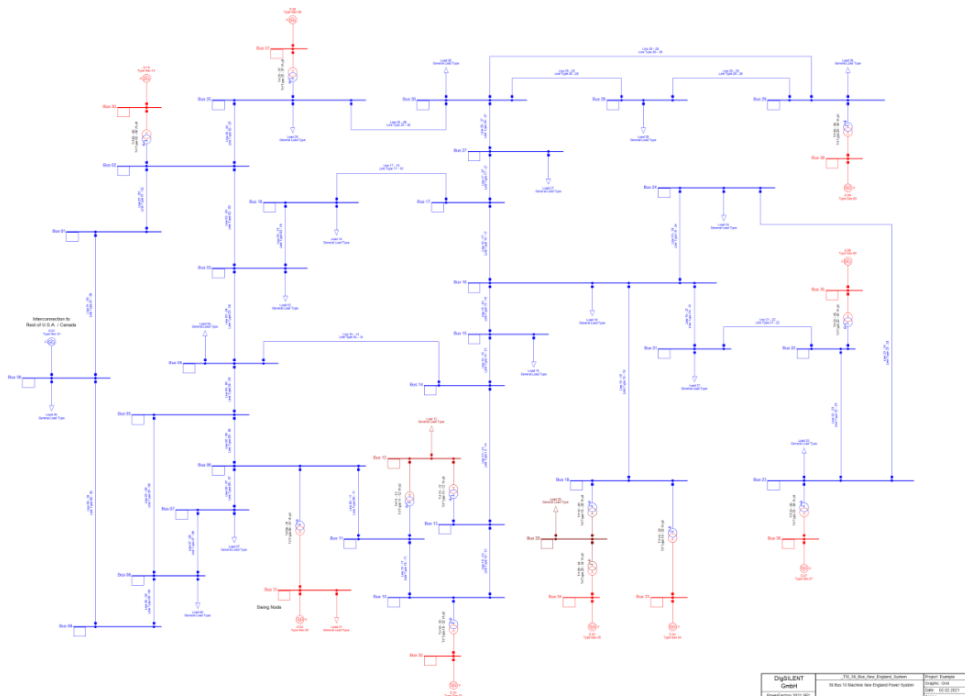
Berikut gambar pengoperasian analisis *DigSilend*.



Gambar 2 7 Pengoperasian Analis DigSILENT

Study hubung singkat juga dapat dikatakan untuk menentukan besarnya arus gangguan yang muncul di titik titik tertentu pada sistem tenaga kelistrik.

Berikut gambarnya :



Gambar 2.8 Contoh Pengoperasian DigSILENT

- Studi *Stabilitas Transien* dan Dinamis

Suatu analisis yang menggunakan suatu perilaku sistem tenaga listrik yang setelah terjadi suatu gangguan seperti hubung singkat, kehilangan beban atau terdapatnya trip pada suatu generator), pada fitur analisis ini juga di masukkan kedalam kategori analisis jangka pendek seperti detik hingga puluhan detik dari sistem tenaga listrik.

a). Studi *stabilitas transient*, yaitu suatu *study* yang bisa merespon dalam jangka pendek mulai dari detik sampai dengan puluhan detik, kemudian fokus utama pada *study* ini yaitu berfokus pada sudut rotor generator, frekuensi, dan suatu tegangan agar dapat di tentukannya suatu sistem tersebut dalam keadaan sinkron. Atau dalam istilah lain yaitu merupakan fitur yang digunakan untuk simulasi dari waktu ke waktu (*time domain simulation*) terhadap suatu persamaan dinamik mesin, governor, AVR dan sistem eksitasi.

b). *Study Stabilitas Dinamis* (*Dynamic stability study*) yaitu suatu *study* yang bisa menganalisis respon jangka menengah hingga panjang atau menit , dimana setelah sistem kembali ke kondisi normal pasca gangguan, fokus utama dari *study stabilitas* dinamis yaitu pada daya daya kecil, kontrol otomatis dan respon pada pengatur frekuensi dan tegangan.

- Analisis *Harmonik* dan *Flicker*

Suatu analisis pada Digsilent yang merupakan analisis harmonik dan flicker atau singkatnya merupakan bagian dari studi kualitas daya (*power quality analysis*) yang dapat digunakan untuk

menilai seberapa baik sistem tenaga listrik tersebut untuk mempertahankan bentuk gelombang dari tegangan dan arus ideal (*sinusoidal*). Adapun analisis ini juga dapat mengetahui distorsi dari gelombang tegangan dan arus akibat adanya beban yang termasuk dalam kategori *Non-Linear* sebagai contoh *inverter*, *rectifier*, atau peralatan elektronik industri. Metode yang digunakan dalam analisis ini yaitu *frequency scan* atau harmonik *load flow* yang melakukan perhitungan total dari *harmonic distortion* (THD) dan juga *individual harmonic order*, atau rentang waktu seperti 3rd, 5th, 7th.

Sedangkan untuk analisis *Flicker* yaitu analisis yang menilai *fluktuasi* tegangan jangka pendek dan panjang yang menyebabkan terjadinya kedipan cahaya/*Light flicker*.

- Optimasi Operasi Sistem Tenaga

- Integrasi Energi Terbarukan (*Wind*, Solar PV, *Hydro*)

Suatu fitur yang berfungsi untuk mengintegrasikan *energy* terbarukan (*renewable energy integration*) yang digunakan untuk menganalisis dampak, kinerja, dan juga stabilitas sistem tenaga atau sumber energi tenaga listrik digabungkan ke dalam jaringan listrik.

- Analisis Proteksi dan Koordinasi *Relay*

Merupakan suatu fitur yang bertujuan untuk melakukan analisis proteksi untuk melihat kondisi keandalan, selektivitas pada sistem proteksi dari tenaga listrik tersebut. Dimana agar gangguan tersebut dapat diisolasi secepat dan juga sesempit mungkin tanpa memengaruhi bagian dari sistem lain yang bisa dikatakan normal. Analisis ini juga akan menghitung nilai dari sistem proteksi seperti *relay*, *fuse*, CB apakah bisa mendeteksi atau pun memutus gangguan/ *short circuit*, *overload*, *ground fault* yang terjadi.

Sedangkan untuk koordinasi relay bertujuan untuk memastikan kembali urutan kerja dari relay dan juga CB atau pemutus tenaga tersebut sudah selektif atau belum, dimana apa bila relay terdekat dengan titik gangguan yang diberikan bekerja terlebih dahulu akan menyebabkan relay upstream bekerja sebagai backup dalam waktu tertentu. Fitur ini juga menampilkan grafik hubungan arus dan juga waktu antar relay tersebut.

Perangkat ini mendukung berbagai jenis jaringan, baik sistem tegangan tinggi, menengah, maupun rendah.

2.2.6. Konsep Dasar Uji Kelayakan Ekonomi

Uji kelayakan ekonomi adalah proses untuk menilai apakah suatu proyek layak dijalankan dari sisi uang, atau apakah manfaat finansial yang diterima di masa depan cukup untuk menutup biaya investasi dan biaya operasional, dengan mempertimbangkan nilai waktu uang (uang hari ini lebih berharga daripada uang di masa depan)

Dalam praktiknya, uji kelayakan ekonomi membahas tentang apakah proyek menghasilkan nilai

tambah, seberapa menarik tingkat pengembaliannya, dan seberapa cepat modal kembali, dan seberapa sensitif proyek terhadap perubahan kondisi.

Dalam praktik studi kelayakan, uji ini digunakan sebagai dasar keputusan management, dimana menjelaskan apakah proyek layak diteruskan, perlu perbaikan skema, atau sebaiknya ditunda/ditolak karena beban biaya dan risiko terlalu tinggi dibandingkan manfaatnya.

1. Prinsip Utama (Nilai Waktu Uang)

Landasan penting dalam kelayakan ekonomi adalah nilai waktu uang. Uang yang dimiliki sekarang bisa dipakai untuk kegiatan produktif (misalnya diinvestasikan) dan risikonya lebih kecil dibanding menunggu uang yang sama diterima beberapa tahun lagi. Karena itu, arus kas masa depan harus dikonversi ke nilai saat ini menggunakan tingkat diskonto. Semakin tinggi tingkat diskonto, semakin kecil nilai arus kas di masa depan jika dinilai pada waktu sekarang.

2. Arus Kas (*Cash Flow*)

Uji kelayakan ekonomi umumnya memakai arus kas (*cash flow*), bukan laba akuntansi. Alasannya, laba bisa dipengaruhi oleh metode pencatatan (penyusutan, amortisasi, kebijakan akuntansi), sedangkan arus kas lebih menggambarkan kemampuan proyek “menghasilkan uang nyata” untuk:

- mengembalikan investasi,
- membayar biaya operasional,
- menutup pajak,
- dan memenuhi kewajiban lain (misalnya cicilan/biaya pendanaan jika dihitung).

Karena itu, komponen utama yang dihitung biasanya:

1. *CAPEX*: biaya investasi awal dan biaya konstruksi/pengadaan utama.
2. *OPEX*: biaya operasi dan pemeliharaan selama proyek berjalan.
3. *Revenue*: pendapatan dari output proyek (misalnya penjualan energi).
4. Pajak: sesuai aturan yang berlaku.
5. Nilai sisa (jika ada): nilai aset di akhir umur proyek.

3. Tingkat Diskonto

Tingkat diskonto adalah angka yang dipakai untuk “menarik” nilai arus kas masa depan ke nilai sekarang. Dalam proyek, tingkat ini sering dianggap mewakili biaya modal dan tingkat risiko, sehingga digunakan sebagai patokan minimal: proyek seharusnya menghasilkan arus kas yang cukup untuk “mengalahkan” biaya modal tersebut. Secara logika, jika proyek menghasilkan pengembalian lebih rendah daripada biaya modal, maka secara finansial proyek tidak menarik, karena modal akan lebih efisien dipakai untuk alternatif.

4. Ukuran Kelayakan Ekonomi

Untuk menilai proyek, biasanya digunakan beberapa indikator agar keputusan bisa dinyatakan layak dengan mencari nilai dari :

1) *Net Present Value* (NPV)

NPV menggambarkan nilai tambah bersih proyek dalam satuan uang saat ini. Konsepnya sederhana: semua arus kas tahunan didiskontokan, kemudian dijumlahkan dan dibandingkan dengan investasi awal. Jika hasil akhirnya positif, artinya proyek memberi nilai tambah pada tingkat diskonto yang digunakan. Bila negatif, berarti manfaat finansial tidak cukup menutup biaya pada standar risiko/biaya modal tersebut.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{Rt}{(1+r)^t} - I_0 \dots\dots\dots(2.1) [12].$$

Dengan lebih rinci sebagai berikut: [13].

$$NPV = \frac{C_1}{(1+r)^1} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \frac{C_3}{(1+r)^3} + \dots \frac{C_n}{(1+r)^n} - C_0 \dots\dots\dots(2.2) [12].$$

Dimana;

- C_t : *Cash Flow* (Arus kas masuk bersih) yang di hasilkan pada periode waktu t (atau biasa di sebut tahun 1,2,3 dst.
- NPV adalah *Net Present Value* atau nilai bersih yang dihasilkan dari perhitungan
- C_0 : *Initial Cost* Atau istilah lain merupakan investasi awal yang merupakan jumlah uang yang di keluarkan pada waktu 0 , atau biaya modal awal)
- r : adalah discount rate atau biasa di sebut tingkat diskonto, atau biaya modal dari suatu perusahaan
- t : suatu periode waktu dari tahun ke-1 , ke-2,dst.
- n : dapat diartikan sebagai umur ekonomis atau periode total dari suatu investasi.

2) *Internal Rate of Return* (IRR)

IRR adalah tingkat pengembalian internal yang membuat proyek berada pada kondisi “impas” secara nilai sekarang (NPV = 0). IRR sering dipakai untuk melihat seberapa besar kemampuan proyek menghasilkan return. Dalam pengambilan keputusan, IRR biasanya dibandingkan dengan tingkat diskonto/biaya modal: jika IRR lebih tinggi, proyek cenderung menarik; jika lebih rendah, proyek dianggap kurang kompetitif.

Menurut Husnan dan suwarnono, dapat di hitung melalui rumus:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{Rt}{(1+r)^t} - I_0 \dots\dots\dots(2.3) [14].$$

Dimana :

Nilai IRR adalah tingkat diskonto yang merupakan $NPV = 0$. Sehingga IRR yang digunakan untuk mengukur *efisiensi investasi* dan membandingkan dengan Tingkat pengembalian yang di harapkan.

3) *Profitability Index (PI)*

PI menunjukkan efisiensi investasi dalam bentuk rasio, berapa besar nilai sekarang manfaat dibandingkan nilai sekarang biaya. PI berguna ketika ada beberapa proyek dan dana terbatas, karena membantu memilih proyek yang memberikan nilai manfaat paling besar per satuan dana investasi.

Untuk rumus dari *Profitability index (PI)*.

$$PI = \frac{\text{Nilai Sekarang Arus Kas Masuk Masa Depan}}{\text{Nilai Sekarang Arus Kas Keluar (Investasi Awal)}} \dots\dots\dots(2.4) [14]$$

Atau jika berkaitan dengan NPV :

$$PI = \frac{NPV + \text{Investasi Awal}}{\text{Investasi Awal}} \dots\dots\dots(2.5) [15]$$

4) *Payback Period (PP)*

PP menunjukkan berapa lama waktu yang dibutuhkan agar modal kembali melalui akumulasi arus kas. Metode ini populer karena mudah dan cepat memberi gambaran risiko likuiditas. Namun, PP biasanya dipakai sebagai indikator pendukung, karena versi sederhana tidak menilai nilai waktu uang dan tidak memperhitungkan manfaat setelah periode balik modal.

Berikut Rumus *Payback Period*

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{investasi awal}}{\text{Arus kas masuk bersih tahunan}} \dots\dots\dots(2.6). [16].$$