

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Konsumsi listrik di Pulau Bali setiap tahun terus meningkat, sejalan dengan pertumbuhan ekonomi yang ada dan berkembangnya industri pariwisata. Prakiraan kebutuhan energi listrik jangka panjang di Pulau Bali sangat diperlukan agar dapat menggambarkan kondisi kelistrikan saat ini dan dimasa mendatang. Dengan diketahuinya prakiraan dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik di Pulau Bali tahun 2020-2025 akan dapat ditentukan solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik selama kurun waktu tersebut.

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka berikut memuat uraian sistematis tentang pembahasan penelitian terdahulu yang ada hubungannya dengan prakiraan daya sistem 150 KV Pulau Bali.

Analisis aliran daya merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui kondisi sistem dalam keadaan normal, sehingga sangat dibutuhkan dalam perencanaan sistem untuk masa yang akan datang dan merupakan bahan evaluasi terhadap sistem yang ada. Analisis ini meliputi penentuan besarnya nilai tegangan (V), daya aktif (P) dan reaktif (Q) dan sudut fasa (δ) setiap bus dalam sistem. (Salman dkk., 2017)

Metode *Newton-Raphson* dikembangkan dari Deret *Taylor* dengan mengabaikan derivatif pertama fungsi dengan satu variabel dari persamaan Deret *Taylor* berikut ini :

$$f(x) = f(x_0) + \frac{1}{1!} \frac{df(x_0)}{dx} (x - x_0) + \frac{1}{2!} \frac{d^2f(x_0)}{dx^2} (x - x_0)^2 + \dots + \frac{1}{n!} \frac{d^n f(x_0)}{dx^n} (x - x_0)^n + o(n) \quad (2.1)$$

Jika :

$$|V_i| = V_i \angle |V_i| = V_i e^{jq_i}$$

$$q_{ik} = q_i - q_k$$

$$Y_{ik} = G_{ik} + jB_{ik}$$

Maka Persamaan 2.1 menjadi 2.2 :

$$|P_i| = \sum_{k=1}^n V_i V_k [G_{ik} \cos(q_i - q_k) + B_{ik} \sin(q_i - q_k)]$$

$$|Q_i| = \sum_{k=1}^n V_i V_k [G_{ik} \sin(q_i - q_k) + B_{ik} \cos(q_i - q_k)]$$

n

$$Q_i = \sum_{k=1}^n V_i V_k [G_{ik} \sin(q_i - q_k) + B_{ik} \cos(q_i - q_k)]$$

$k=1$

untuk $i, k = 1, 2, 3, \dots, n$

G = Konduktansi

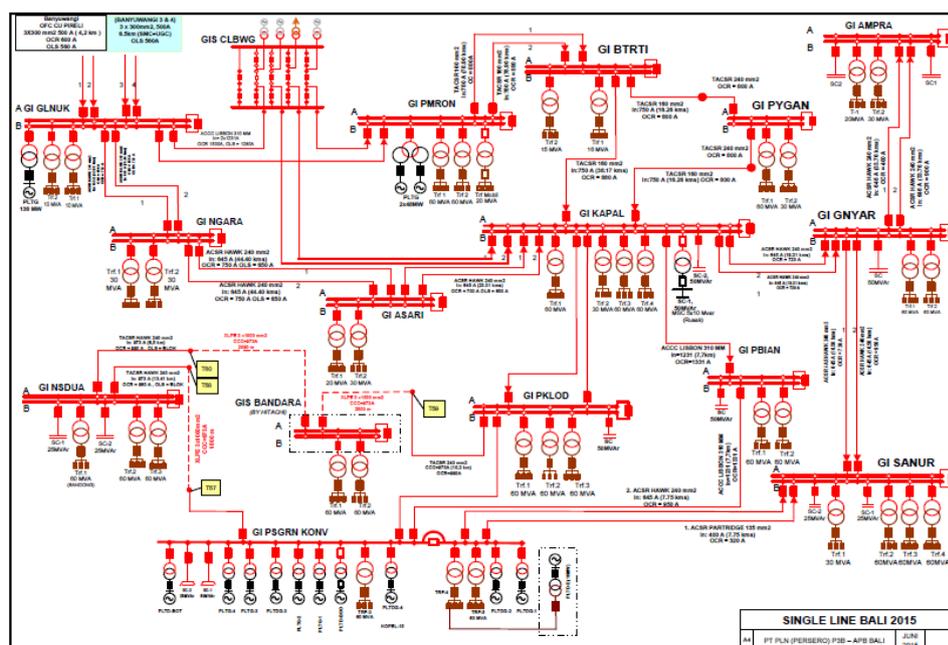
B = Suseptansi Y = Admitansi

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Analisis sistem tenaga listrik yang dapat dilakukan di ETAP adalah analisis

aliran daya, analisis hubung singkat, Starting motor, koordinasi proteksi, analisis kelebihan transien,dll. (Multa L, dkk, 2013)

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem tenaga yang mengirimkan energi listrik dari pembangkit ke beban sesuai *demand* dan mengkompensasi rugi – rugi daya karena penggunaan sistemnya. Komponen utama dari sistem tenaga listrik meliputi pembangkit, transmisi, dan distribusi. (Fadli dkk., 2012)

Komponen utama dari sistem tenaga listrik meliputi pembangkit, transmisi, dan distribusi. Sistem 150 KV Pulau Bali memiliki sumber Tenaga listrik dari PLTG Gilimanuk 138 MW, PLTU Celukan Bawang 426 MW, PLTG Pemaron 96 MW dan PLTDG Pesanggaran 326 MW. Selain itu, Bali “mengimpor” energi listriknya yang berasal dari pulau Jawa via kabel laut sebesar 350 MW Sistem 150 KV Pulau Bali terdiri dari 4 pembangkit, 15 bus dan 38 beban. Terlihat pada (Gambar 2.1)



Gambar 2.1 Single Line Diagram Sistem 20 KV Pulau Bali

Prakiraan atau *forecast* pada dasarnya merupakan dugaan atau prakiraan mengenai terjadinya suatu kejadian atau peristiwa di waktu yang akan datang. Prakiraan bisa bersifat kualitatif (tidak berbentuk angka) maupun kuantitatif (berbentuk angka). Prakiraan kualitatif sulit dilakukan untuk memperoleh hasil yang baik karena variabelnya sangat relatif sifatnya. Prakiraan kuantitatif dibagi dua yaitu : prakiraan tunggal (*point forecast*) dan prakiraan selang (*interval forecast*). Prakiraan tunggal terdiri dari satu nilai, sedangkan prakiraan selang terdiri dari beberapa nilai, berupa suatu selang (interval) yang dibatasi oleh nilai batas bawah (prakiraan batas bawah) dan batas atas (prakiraan tinggi). Kelemahan dari prakiraan tunggal ialah bahwa nilai yang diperoleh berupa gambaran berapa jauh jarak atau selisih nilai prakiraan dengan nilai sebenarnya. Prakiraan selang dimaksudkan untuk memperkecil kesalahan hasil prakiraan dengan kenyataan. (Nugroho, 2015)

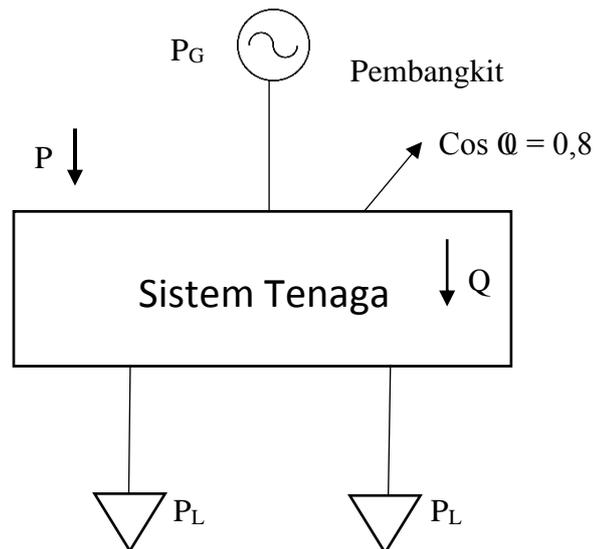
2.2 Landasan Teori

Landasan teori berikut memuat kosep-konsep atau teori yang berkaitan dengan pemenuhan kebutuhan listrik dan analisis aliran daya.

2.2.1 Kecukupan daya

Kecukupan daya suatu sistem tenaga listrik ditentukan oleh pertumbuhan bebannya, pola beban harian, jumlah dan kapasitas unit pembangkit, dan laju kegagalan unit pembangkit (FOR: *failure of rate*). Demand suatu sistem adalah beban yang diterima pada sistem dalam periode waktu tertentu. Beban bisa dalam satuan kW, kVAr, kVA, maupun kilo ampere. Dari besar beban dapat ditentukan kebutuhan listrik yang harus dipasok.

Kebutuhan listrik adalah jumlah antara daya listrik yang dibutuhkan beban dengan kompensasi rugi-rugi karena penggunaan sistem (Gambar 2.2.1). Selain itu, prosentase beban biasanya ditentukan juga oleh kapasitas trafo, kapasitas trafo dikatakan *overload* jika kapasitas lebih dari 80%. Apabila hal ini terjadi dalam waktu yang lama, isolasi pada trafo mengalami kerusakan karena panas yang berlebihan yang berujung pada rusaknya trafo. Selain hal tersebut, kelebihan beban pada trafo juga dapat menyebabkan terjadinya *drop* (jatuh) tegangan.



Gambar 2.2.1 Persamaan Kebutuhan Daya Listrik

Maka persamaan untuk mencari kebutuhan daya listrik yang harus dipasok oleh pembangkit adalah :

$$PG = \left(\sqrt{PL^2 + Q^2} \right) \times \frac{1}{0,80} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan = P_G : Pembangkit

P : Daya Aktif

Beban konsumen bervariasi ukuran tergantung pada waktu penggunaan, lama penggunaan, tegangan yang dipakain, faktor daya, puncak sesaat dan lain-lain yang sesuaidengan kebutuhannya. Ada kalanya kebutuhan konsumen secara bersamaan dalam waktu yang sama, hal ini menyebabkan puncak dan lembah pada kurva beban (Norberto Suarez,dkk.2013).

Pelanggan tenaga listrik di sektor domestik menggunakan beban variatif seiring dengan perkembangan yang pesat dalam bidang kelistrikan. Penggunaan beban tidak linier seperti televisi, komputer, *microwave*, lampu-lampu *fluorescent* yang menggunakan ballast elektronik, motor listrik yang dikontrol oleh konverter statis terus meningkat dengan pertimbangan efisien. Disisi lain, beban tidak-linier mengakibatkan mutu daya listrik menjadi menurun (Daniel Rohi,2009).

2.2.2 Analisis aliran daya

Analisis aliran daya merupakan suatu analisis aliran yang digunakan untuk melihat besarnya daya pada suatu sistem tenaga listrik. Dimana memperlihatkan bagaimana aliran energinya, aliran energi tadi hanya ada dua yaitu daya aktif dan daya reaktif karena daya aktif dan daya reaktif digunakan untuk mengetahui kondisi sistem dalam keadaan normal, sehingga sangat dibutuhkan dalam perencanaan sistem untuk masa yang akan datang dan merupakan bahan evaluasi terhadap sistem yang ada.

Sebelum analisis aliran daya dilakukan, komponen sistem yang terdiri dari pembangkit (generator), transformator, saluran transmisi dan beban harus di representasikan atau di modelkan melalui diagram satu garis (*oneline diagram*) dengan menganggap sistem tiga fasa dalam keadaan seimbang. Diagram ini di

maksudkan untuk memberikan gambaran secara ringkas suatu sistem tenaga listrik secara keseluruhan, dalam hal ini sistem tenaga listrik. Untuk itu di butuhkan data-data yang terkait dengan komponen-komponen tersebut. Data-data yang dibutuhkan untuk analisis aliran daya adalah sebagai berikut :

- a) Data pembangkit (generator), yaitu kapasitas daya aktif (P) dalam satuan Megawatt (MW) dan reaktif (Q) dalam satuan Megavolt Ampere (MVA) , tegangan terminal (V) dalam satuan Kilovolt (KV) dan reaktansi sinkron (X) dalam satuan Ohm (Ω).
- b) Data Transformator Daya, yaitu kapasitas tiap trafo dalam satuan Megavolt Ampere (MVA), tegangan (V) dalam satuan Kilovolt (KV) dan reaktansi bocor (X) dalam satuan Ohm (Ω).
- c) Data saluran transmisi, yaitu resistansi (R) dalam ohm (Ω) dan reaktansi (X) dalam ohm (Ω).
- d) Data beban, yaitu daya aktif (P) dalam Megawatt (MW) dan daya reaktif (Q) dalam satuan Megavolt Ampere (MVA).

2.2.3 Prakiraan Beban

Prakiraan atau *forecast* pada dasarnya merupakan dugaan atau prakiraan mengenai terjadinya suatu kejadian atau peristiwa di waktu yang akan datang. Prakiraan bisa bersifat kualitatif maupun kuantitatif. Prakiraan kebutuhan energi listrik (*Demand Forecast*) merupakan langkah awal dari Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL). Dimana RUPTL disusun oleh PT. PLN (Persero). Prakiraan kebutuhan energi listrik pada unit bisnis PLN di setiap wilayah memiliki peranan yang sangat penting dalam penyusunan RUPTL.

Maka persamaan untuk mencari prosentase kenaikan beban adalah:

$$\%kenaikan = \frac{\text{Nilai akhir}-\text{nilai awal}}{\text{Nilai Awal}} \times 100\% \quad \dots\dots (2.2)$$

Menurut Kurniawan (2006), prakiraan kebutuhan energi listrik dapat dikelompokkan menurut jangka waktunya, yaitu prakiraan jangka pendek, prakiraan jangka menengah dan prakiraan jangka panjang.

Kebutuhan energi listrik suatu daerah tergantung dari letak daerah, jumlah penduduk, standar kehidupan, rencana pembangunan atau pengembangan daerah dimasa yang akan datang. Prakiraan kebutuhan energi listrik yang kurang tepat (lebih rendah dari permintaan) dapat menyebabkan kapasitas pembangkitan tidak mencukupi untuk melayani konsumen yang dapat merugikan perekonomian negara dan sebaliknya, bila prakiraan terlalu besar dari permintaan maka akan mengalami kelebihan pembangkitan yang mengakibatkan pemborosan.

2.2.4 Analisis metode *newthon-rapshon*

Analisis metode newton-rapshon adalah analisis yang melihat aliran daya dan memisahkan antara daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) karena itu menggunakan parameter lain yaitu sudut dan magnitud untuk memisahkan nilai real dan imaginer, sehingga bentuknya akan hybrid yaitu rektangular dan polar. Untuk sistem tenaga listrik yang berskala besar metode *Newton-Raphson* lebih efisien dan praktis, dimana jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk perhitungan lebih sedikit jika dibandingkan dengan metode yang lainnya. Dasar dari penyelesaian metode Newton-Raphson menggunakan penyelesaian Deret Taylor untuk suatu fungsi dengan dua atau lebih variabel. Matriks yang digunakan dalam metode ini adalah

matrik jacobian pada aliran dayanya. Sebelum proses iterasi dicari terlebih dahulu daya terhitung dengan rumus :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j V_{ij}| \cos (\delta_i - \delta_j + \delta_{ij}) \quad (2.2)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j V_{ij}| \sin (\delta_i - \delta_j + \delta_{ij}) \quad (2.3)$$

dengan :

- P_i : Daya aktif terhitung
- Q_i : Daya reaktif terhitung
- V_i, δ_i : Magnitude tegangan dan sudut phasa pada bus i
- V_j, δ_j : Magnitude tegangan dan sudut phasa pada bus j
- V_{ij}, δ_{ij} : Magnitude dan sudut phasa elemen matrik admitansi Y

Selanjutnya persamaan (2.3) diatas diubah kedalam bentuk matriks jacobian yang terdiri dari 4 submatrik yaitu J₁, J₂, J₃, dan J₄. Setelah diperolehnya harga dari masing-masing elemen pada submatrik Jacobian maka selanjutnya dibentuk matrik Jacobian dengan menggabungkan keempat submatrik Jacobian tersebut sehingga terbentuk rumus umum untuk menghitung aliran daya dengan metoda Newton Raphson :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Kemudian matrik Jacobian yang terbentuk diinvers dengan menggunakan metoda dekomposisi LU dan kemudian sudut phasa dan magnitude tegangan tiap bus yang baru dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Hasil perkalian yang diperoleh selanjutnya dipisah-pisah. Perbedaan nilai sudut phasa dan magnitude tegangan tiap bus antara yang lama dengan yang baru

selanjutnya dibandingkan dengan nilai ketelitian yang telah ditentukan, jika nilai ketelitian belum tercapai maka iterasi diulangi dari awal sampai ketelitian terpenuhi dan konvergensi tercapai. (Salman dkk., 2017)

Didalam operasi aliran daya etap untuk menghitung kecukupan daya terlebih dahulu menggunakan persamaan :

$$S = P + jQ \text{ atau } S = V \times I \quad (2.6)$$

Nilai I didalam persamaan diatas nilai I tersebut terinjeksi sehingga nilai I harus lebih disederhanakan lagi menjadi persamaan :

$$I = \frac{v}{z} \text{ atau } v \times y \quad (2.7)$$

Nilai Y tersebut berasal dari konfigurasi pada sistem sehingga nilai persamaan nilai I menjadi :

$$I = v \sum y - \sum xy \quad (2.8)$$

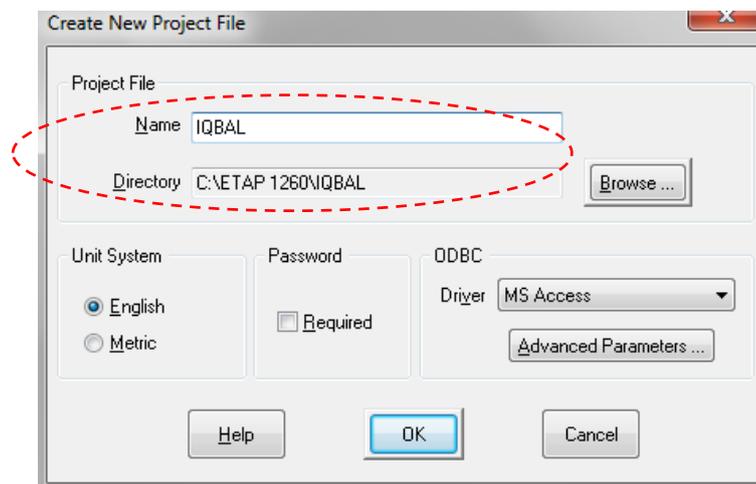
2.2.5 *Electric Transient and Analysis Program*

Electric Transient and Analysis Program (ETAP) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-*

time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisis pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP 12.6.0 *Power Station* memungkinkan anda untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar *single line diagram*. Analisis sistem tenaga listrik yang dapat dilakukan di ETAP adalah analisis aliran daya, analisis hubung singkat, Starting motor, koordinasi proteksi, analisis kelebihan transien,dll. (Multa L dkk., 2013)

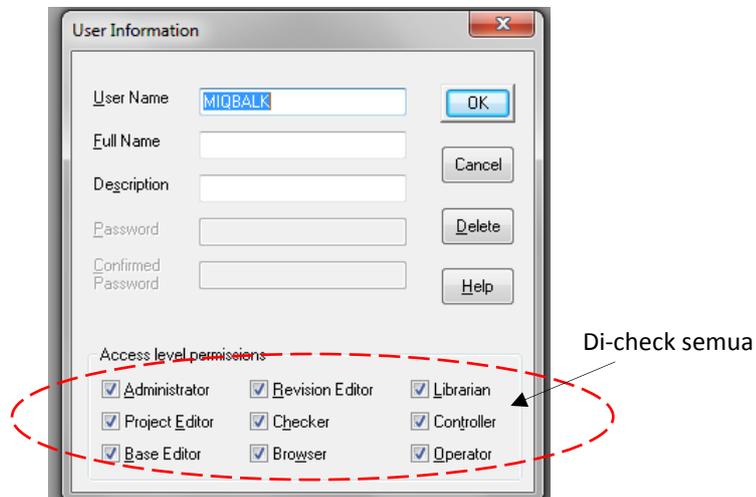
Penulis menggunakan aplikasi ETAP dalam menganalisis aliran daya pada Sistem 150 kV Pulau Bali. Langkah – langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Klik menu File -> New Project -> Tulis nama project (IQBAL), tampilan terlihat seperti (Gambar 2.2) berikut.



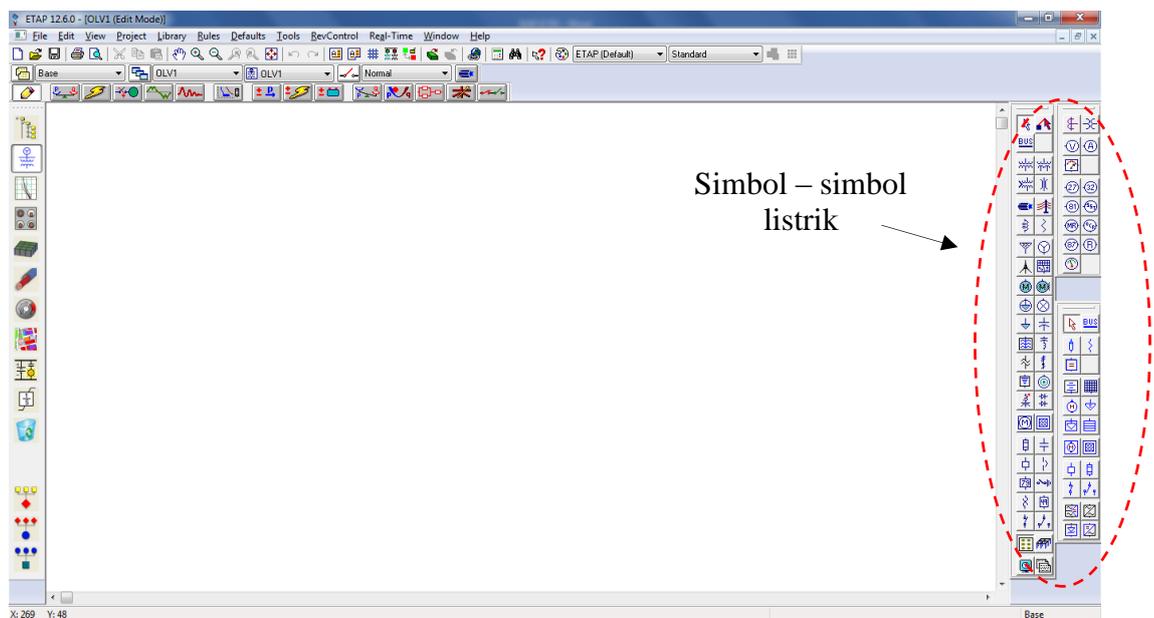
Gambar 2.2 *New Project*

2. Access lever permission harus di- check semua. Tampilan terlihat seperti (Gambar 2.3)



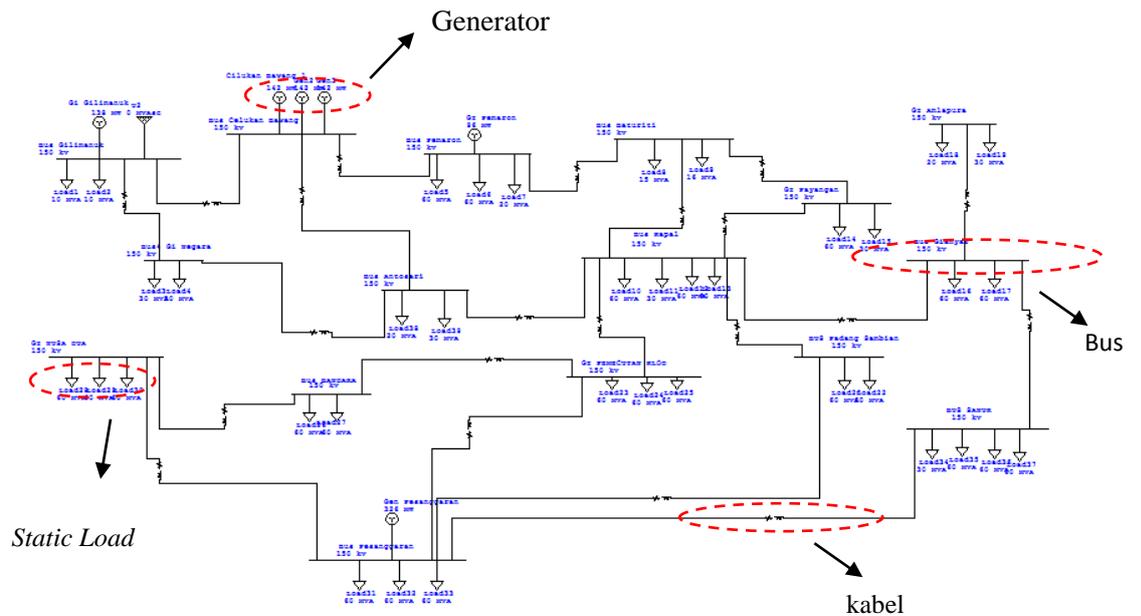
Gambar 2.3 Acces level permissions

3. Lembar kerja berwarna putih beserta simbol-simbol listrik di sebelah kanan sudah tampil. Tampilan terlihat seperti (Gambar 2.4) berikut.



Gambar 2.4 Lembar kerja ETAP

4. Klik *icon - icon* listrik (generator, bus,trafo,kabel,dan *static load*) disebelah kanan dan meletakkannya di lembar kerja, lalu mengkoneksikan semuanya. Tampilan terlihat seperti (Gambar 2.5)

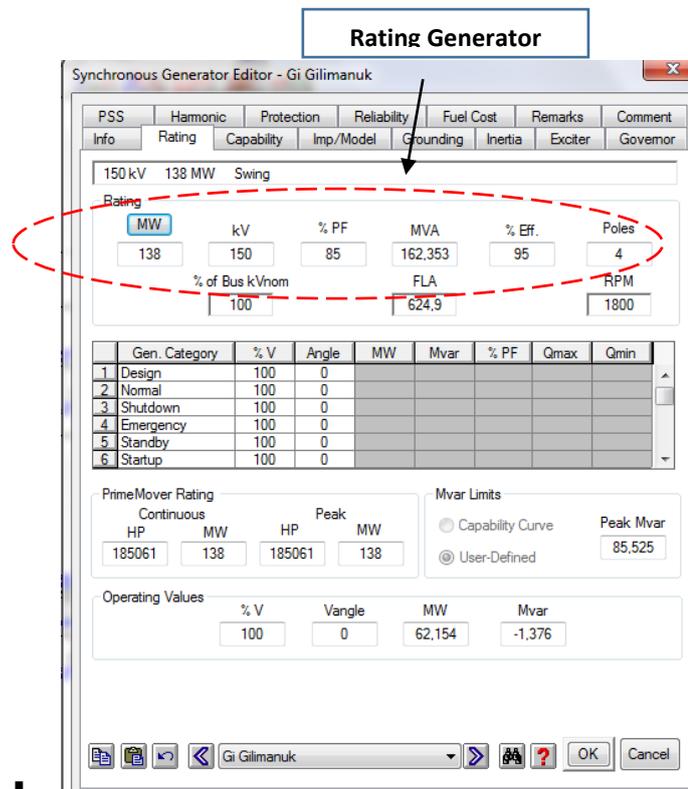


Gambar 2.5 Single Line Diagram

5. Memasukan parameter nilai. (Klik dua kali setiap *icon*). Tampilan terlihat seperti (Gambar 2.6, 2.7, 2.8, dan 2.9)

Generator:

- *Info: Generator Swing dipilih*
- *Rating: 2,5MW dan 150 KV. Sisanya akan otomatis terisi.*
- *Klik Ok.*



Gambar 2.6 Parameter Nilai

* Nilai di bus akan ikut berubah.

Trafo:

- Tegangan sekunder: 150 kv dan 150MVA.
- Klik Typical Z & X/R, sehingga nilai Z dan X/R trafo keluar.
- Klik Ok.

2-Winding Transformer Editor - T9

Reliability Remarks Comment

Info Rating Impedance Tap Grounding Sizing Protection Harmonic

20 MVA ANSI Liquid-Fill Other 65 C 70 20 kV

Voltage Rating kV FLA Bus kVnom Z Base

Prim. 20 165 70 MVA

Sec. 20 577.4 20 20

Other 65

Power Rating MVA Alert - Max

Rated 20 20

Derated 20 Derated MVA

% Derating 0 User-Defined

MFR Installation

Type / Class Altitude 3300 ft

Type Sub Type Class Temp. Rise

Liquid-Fill Other Other 65

OK Cancel

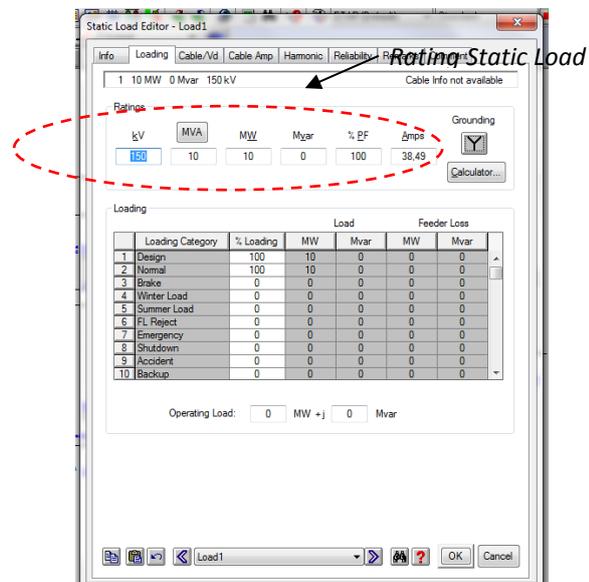
Gambar 2.7 Parameter Nilai

* Nilai di bus juga akan berubah.

Static Load:

- Info : *condition* dipilih In, *connection* dipilih 3 *phasa*
- *Rating*: 20 kV, dan 754 kVA
- Klik OK.

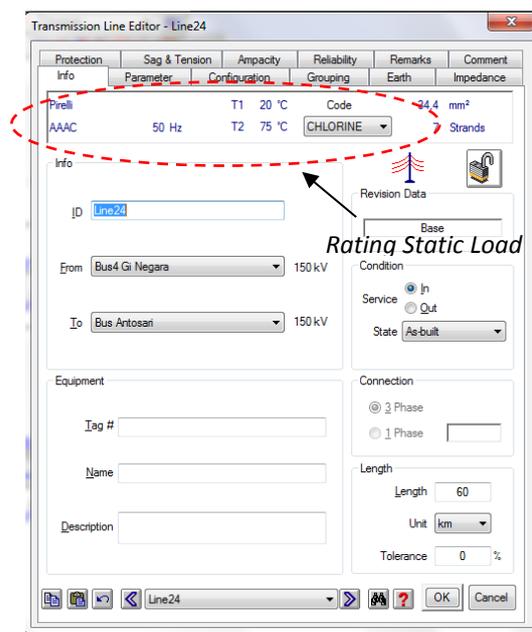
* static load (beban) mempunyai parameter nilai yang berbeda.



Gambar 2.8 Parameter Nilai

Kabel

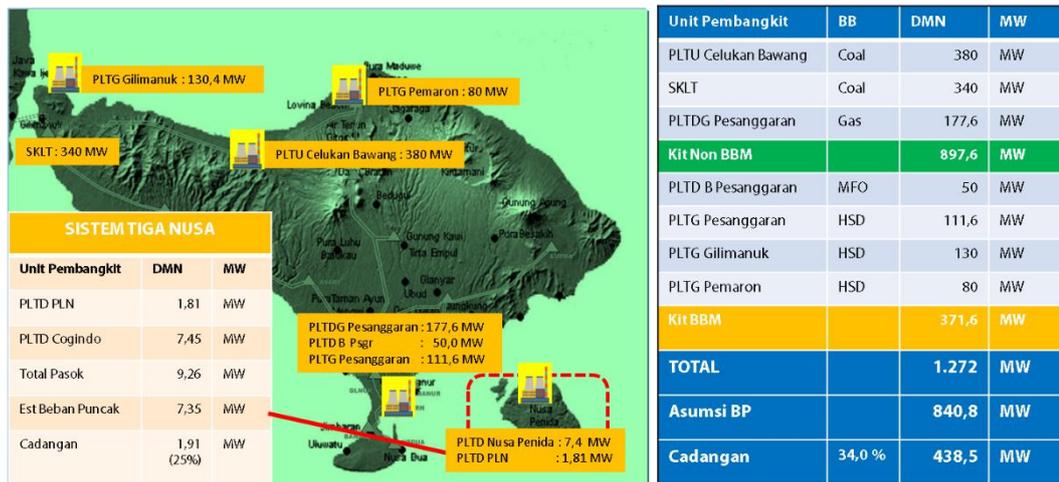
- Info : *Lenght* 100 km, unit *Metrik*, *freq* 50, type *CU*, 20 kV, *insul XLPE*,
source Heesung
- Klik OK



Gambar 2.9 Parameter nilai

Pesanggaran 326 MW. Selain itu, Bali “mengimpor” energi listriknya yang berasal dari pulau Jawa via kabel laut sebesar 350 MW.

SISTEM KELISTRIKAN BALI



Gambar 2.12 Peta Sistem Kelistrikan Pulau Bali

Sistem 150 kV Pulau Bali memiliki beberapa pembangkit sebagai sumber tenaga listrik, juga memiliki beberapa bus yang dapat digunakan untuk menyalurkan energi listrik ke beban. Pembangkit-pembangkit tersebut terdiri dari PLTG Gilimanuk 138 MW, PLTU Celukan Bawang 426 MW, PLTG Pamaron 96 MW dan PLTDG Pesanggaran 326 MW. Selain itu, Bali “mengimpor” energi listriknya yang berasal dari pulau Jawa via kabel laut sebesar 350 MW. Sistem kelistrikan Pulau Bali memiliki surplus daya hingga 34,0 %. Sistem 150 KV Pulau Bali terdiri dari 4 pembangkit, 15 bus dan 38 beban. Dari keseluruhan daerah yang disuplai oleh Sistem 150 kV Pulau Bali paling banyak pada sektor pariwisata dan rumah tangga.