

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang perbaikan sistem distribusi daya listrik tegangan rendah pada suatu obyek seperti gedung bertingkat, industri hingga bangunan rumah tinggal telah banyak dilakukan oleh para akademisi. Tujuan utama dari penelitian tersebut adalah untuk menganalisis kapasitas komponen utama distribusi daya listrik yang sesuai standart instalasi kelistrikan sehingga didapatkan suatu sistem yang handal, aman dan nyaman. Standar yang digunakan tentunya yang berlaku di Indonesia yaitu Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011). Metode analisis yang digunakan pada penelitian untuk mengevaluasi maupun merencanakan desain sistem distribusi daya listrik telah berkembang dengan beberapa *software* diantaranya adalah *ecodial 3.38*. Penggunaan *software* untuk mempermudah perhitungan kapasitas komponen seperti *circuit breaker*, trafo distribusi, kabel penghantar dan juga perhitungan jatuh tegangan sehingga didapat hasil yang akurat. Sebagian penelitian juga masih menggunakan perhitungan manual untuk menganalisis kapasitas komponen distribusi daya listrik.

Penelitian dengan perhitungan manual diantaranya mengenai evaluasi instalasi listrik pada gedung. Gedung perkantoran x sudah ada sejak tiga puluh tahun yang lalu, adanya penambahan beban serta usia instalasi menjadi dasar untuk menganalisis kapasitas *circuit breaker* dan ukuran kabel penghantar yang sesuai dengan kapasitas beban yang ada saat ini. Faktor kebutuhan (*demand factor*) mencapai 50 % lebih dari daya tersambung oleh PLN sebesar 1.250 kVA. Gedung tersebut didominasi oleh beban tenaga yaitu motor penggerak pompa baik 1 fasa maupun 3 fasa. Data daya beban pada tiap lantai yang meliputi beban penerangan dan tenaga pada gedung dihitung arus nominalnya sehingga didapat kapasitas *circuit breaker* dan ukuran penghantar yang sesuai dengan beban terpasang. Dari hasil analisis terdapat beberapa ketidak sesuaian kapasitas *circuit breaker* dan ukuran penghantar dengan beban yang disuplai yaitu dibawah nilai arus nominal beban x (Yayat, 2007).

Analisis untuk merencanakan pemilihan *circuit breaker* dan ukuran penghantar pada lokasi pengeboran minyak dan gas juga menggunakan perhitungan manual. Berbeda dengan suplai daya pada gedung maupun industri pada umumnya, suplai utama pada lokasi pengeboran minyak dan gas ini menggunakan *gas engine generator*. Proses analisis perhitungannya sama dengan penentuan komponen pengaman dan penghantar instalasi pada gedung yaitu dengan mendata besar daya beban yang akan disuplai, menentukan arus nominal beban serta perhitungan jatuh tegangan. Tetapi untuk standar instalasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu standar *IEC (International Electrotechnical Commission)* dan standar – standar yang digunakan pada industri pengeboran minyak dan gas bumi. Pada penelitian ini didapatkan hasil perhitungan arus nominal terbesar adalah 1519,3 A dengan jatuh tegangan masih di bawah 5 %. Sebagai pengaman utama dipilih *ACB (Air Circuit Breaker)*, dan kabel penghantar terbesar yaitu dari pembangkit menuju panel switchgear sehingga dipilih penghantar dengan tiga tarikan tiap fasanya dan ditambah dua tarikan untuk netral dan pentanahan (Hari dan Syahrial, 2013).

Penelitian dengan menggunakan *software* dilakukan pada Evaluasi Dan Perencanaan Pengembangan Sistem Jaringan Listrik Politeknik Negeri Ambon. Penelitian ini dilakukan karena kondisi instalasi yang memprihatinkan. Penambahan beban serta perubahan fungsi ruang membuat berubahnya kapasitas beban listrik. Hal ini tidak diimbangi dengan reinstalasi jaringan listrik kampus terutama kapasitas *circuit breaker* dan luas penampang penghantarnya. *Software* yang digunakan untuk mensimulasikan jaringan yaitu dengan *software docwin* dan *matlab*. Kedua hasil simulasi dibandingkan untuk menentukan kapasitas *circuit breaker* dan ukuran kabel penghantar pada instalasi. Dari hasil simulasi menggunakan *docwin* menunjukkan arus beban peralatan telah melebihi KHA penghantar dan rating arus *circuit breaker* sebagai pengaman tiap panel beban, maka jaringan listrik harus dikonfigurasi ulang dan merubah kapasitas *circuit breaker*, kabel penghantar dan kapasitas trafo distribusi (Pieter dkk, 2015).

Penelitian untuk perencanaan sistem instalasi listrik dan panel listrik tegangan rendah menggunakan *software ecodial 3.36* juga telah dilakukan pada Perencanaan Instalasi Listrik Dan Panel Listrik Menggunakan *Ecodial 3.3* Pada Pabrik Coklat

Dengan Daya 197 kVA Di Surabaya. Perancangan instalasi menggunakan *software ecodial* yaitu untuk menggantikan perancangan instalasi listrik tegangan rendah secara manual, karena dapat mempersingkat waktu serta hasil perhitungan dengan akurasi tinggi. Pada penelitian ini seluruh data yang dikumpulkan yaitu data jenis beban, kapasitas daya dan pembagian panel distribusi untuk kelompok beban. Data tersebut di olah dan dianalisis dengan perhitungan manual dan perhitungan menggunakan *ecodial* 3.36. Kedua hasil perhitungan kemudian dibandingkan sebagai dasar menentukan kapasitas komponen distribusi daya seperti *circuit breaker* , ukuran kabel penghantar serta kebutuhan suplai daya. Secara umum dari hasil perbandingan terdapat banyak kesamaan pada ukuran *circuit breaker* dan kabel penghantar yang direncanakan. Pada penelitian ini standar yang digunakan adalah PUIL 2000 (Gregorius, 2006).

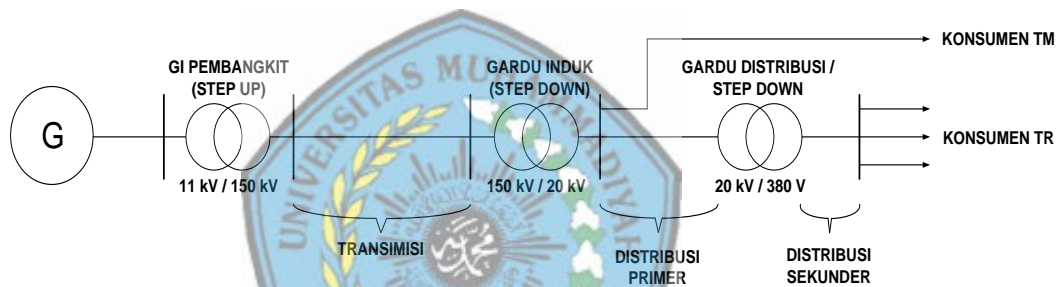
Dari penelitian-penelitian yang dilakukan memperlihatkan bahwa untuk menentukan komponen distribusi daya listrik yaitu berdasarkan arus nominal beban penuh pada jaringan, hasil perhitungan menggunakan manual dan *software* mempunyai perbedaan yang tidak terlalu signifikan, tetapi dari segi waktu dan keakuratan tentunya analisis menggunakan *software* akan lebih unggul. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu obyek yang diteliti memiliki luas area yang sangat besar sehingga jarak beberapa panel distribusi dengan panel utama tegangan rendah cukup jauh. Perhitungan dengan *software* menggunakan *ecodial* versi 3.38 dan perhitungan manual menggunakan bantuan *excel* untuk efisiensi waktu. Selain itu pada penelitian ini standar yang digunakan adalah PUIL 2011 dan standar-standar yang lain seperti *IEC 60364* tentang instalasi listrik tegangan rendah. Data yang dibandingkan yaitu hasil perhitungan *ecodial* 3.38, perhitungan manual dan kapasitas komponen *eksisting*.

2.2. Penyaluran Tenaga Listrik

Pada dasarnya sistem penyaluran tenaga listrik yang lengkap mengandung tiga unsur. Pertama, adanya unsur pembangkit tenaga listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik skala besar umumnya merupakan Tegangan Menengah (TM). Kedua, adalah sistem penyaluran, diantaranya saluran transmisi, yang dilengkapi dengan gardu induk. Karena jarak pengiriman yang cukup jauh dan besarnya daya yang

dikirim maka diperlukan penggunaan Tegangan Tinggi (TT), atau Tegangan Ekstra Tinggi (TET) (Abrar dan Arlenny, 2015) dan yang ketiga adalah sistem distribusi.

Sistem Distribusi tenaga listrik dibedakan menjadi 2 yaitu Sistem Distribusi Primer dan Sistem Distribusi Sekunder. Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan (Pieter S, dkk 2015). Sedangkan Sistem Distribusi Sekunder digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari trafo distribusi menuju beban konsumen seperti industri, gedung perkantoran, hotel, hingga konsumen rumah tangga.



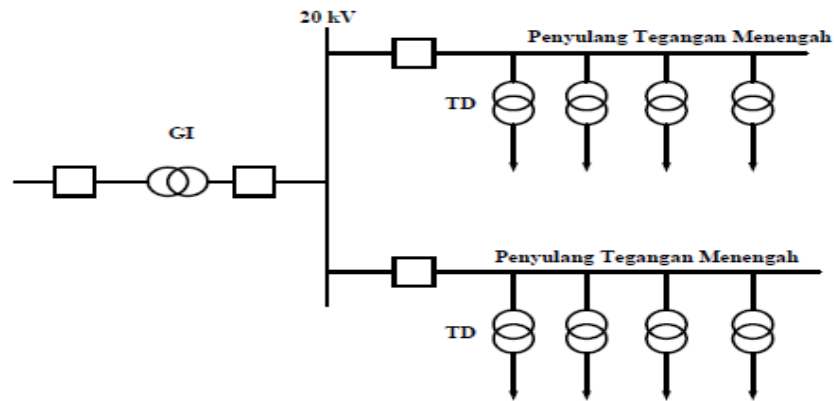
Gambar 2.1. Sistem Penyaluran Tenaga Listrik Di Indonesia

Apabila saluran transmisi digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi ke pusat-pusat beban dalam tegangan tinggi atau menengah, maka saluran distribusi berfungsi membagikan tenaga listrik tersebut ke beban melalui saluran tegangan rendah (M. Hasan Basri, 2008).

2.2.1 Jaringan Distribusi Radial

Konfigurasi radial merupakan interkoneksi antar gardu distribusi, dimana beberapa gardu distribusi terhubung seri disuplai oleh sebuah busbar Gardu Induk (GI). Konfigurasi ini terdiri dari beberapa penyulang yang keluar dari GI dan sumber tegangannya hanya satu arah saja. Dalam penyulang tersebut terdapat gardu-gardu distribusi yang dilengkapi oleh trafo penurun tegangan menjadi tegangan rendah.

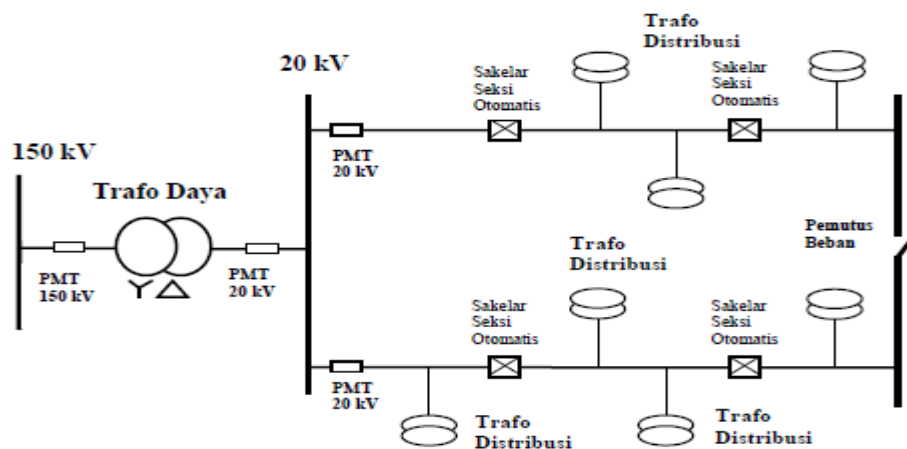
Konfigurasi ini merupakan konfigurasi yang paling sederhana dan mudah dalam pengoperasiannya (Abrar dan Arlenny, 2015).



Gambar 2.2. Jaringan Distribusi *Radial*

2.2.2 Jaringan Distribusi *Loop (Ring)*

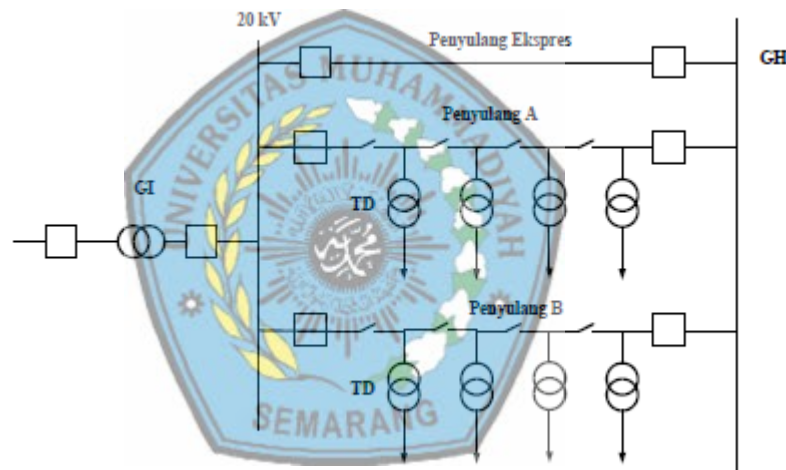
Konfigurasi lup merupakan interkoneksi antar gardu distribusi yang membentuk suatu lingkaran tertutup (lup). Pada konfigurasi ini bisa terdapat lebih dari satu busbar GI, dan masing-masing penyulangnya membentuk suatu rangkaian tertutup dengan GI. Keuntungan dari konfigurasi lup ini adalah pasokan daya listrik dari GI lebih terjamin. Sebab jika salah satu GI mengalami gangguan maka penyulang akan tetap mendapatkan pasokan dari GI yang lain yang tidak mengalami gangguan (Abrar dan Arlenny, 2015).



Gambar 2.3. Jaringan Distribusi *Loop (Ring)*

2.2.3 Jaringan Distribusi *Spindel*

Sistem saluran distribusi *spindel* merupakan sistem perkembangan dari sistem saluran *loop*, dimana perluasan ini berupa penambahan saluran utama yang kesemuanya bertemu pada satu titik, dimana titik pertemuan tersebut merupakan sebuah Gardu Hubung (GH). Perbedaan sistem saluran *loop* dengan sistem saluran *spindel* yaitu pada sistem saluran *loop*, besar ukuran penampang saluran penghantar harus mampu untuk memikul seluruh beban sedangkan pada sistem saluran *spindel* besar penampang penghantar berdasarkan atas jumlah beban yang paling besar pada saluran utama (Abrar, 2014).



Gambar 2.4. Jaringan Distribusi *Spindel*

2.3. Distribusi Daya Dan Sistem Kelistrikan

Sistem Distribusi Tenaga Listrik dapat diartikan sebagai sistem sarana penyampaian tenaga listrik dari sumber ke pusat beban. Oleh karena itu sumber tenaga listrik untuk beban memiliki kondisi dan persyaratan tertentu, maka sarana penyampaiannya pun dikehendaki memenuhi persyaratan tertentu pula. Kondisi dan persyaratan tersebut antara lain (Affan, 2009) :

1. Setiap peralatan listrik dirancang memiliki rating tegangan, frekuensi, dan daya nominal tertentu.
2. Letak titik sumber dengan pembangkit tidak selalu berdekatan.

3. Pada pengoperasian peralatan listrik perlu dijamin keamanan bagi peralatan itu sendiri, bagi manusia pengguna dan bagi lingkungannya.

Sistem kelistrikan adalah suatu sistem yang membahas segala sesuatu yang berhubungan dengan listrik baik sumber listrik, beban listrik maupun jaringan harus dirancang sedemikian rupa agar didapatkan efisiensi dan optimasi dari sebuah sistem yang dipasang. Dengan adanya tuntutan tersebut, maka diperlukan suatu sistem yang baik, aman, ekonomis dan fleksibel dalam pengembangannya di masa yang akan datang (Yayat S, 2007). Suatu instalasi tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian yaitu Penyediaan tenaga listrik, Sistem pembagian, Saluran tenaga listrik, Pengamanan, Pentanahan (Samuel dkk, 2015).

Instalasi listrik pada suatu obyek seperti gedung dan industri harus aman digunakan oleh penghuni yang memanfaatkannya. Kebutuhan tenaga listrik pada suatu industri harus disesuaikan dengan keadaan produktivitas perusahaan itu sendiri, yang paling penting adalah kontinuitas dan keandalan yang tinggi dalam pelayanannya (Riki, 2015). Untuk menjamin tingkat keandalan dan keamanan tersebut, maka semua peralatan listrik yang digunakan maupun instalasi listriknya harus mematuhi standar yang telah ditetapkan. Terdapat tiga kriteria utama yang harus dipenuhi agar suatu jaringan listrik dapat dikatakan baik yaitu Fleksibelitas, Kepercayaan dan Keamanan (Sunarno, 2006). Selain Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL), beberapa peraturan yang dijadikan acuan pada sistem instalasi listrik, yaitu Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang keselamatan kerja beserta peraturan pelaksanaannya, Undang-Undang Nomor 23 Tahun 1997 tentang pengelolaan lingkungan hidup dan Undang-Undang Nomor 15 Tahun 2002 tentang ketenagalistrikan.

2.4. Daya Listrik

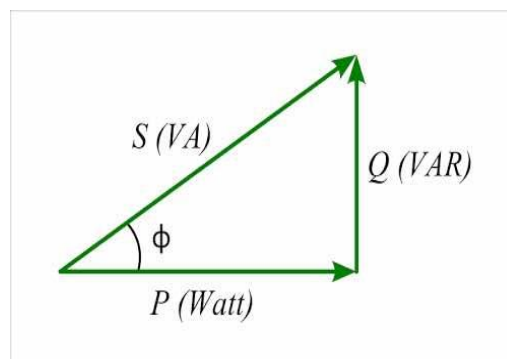
Terdapat 3 jenis daya listrik, yaitu daya nyata, daya reaktif, dan daya semu. Daya semu merupakan gabungan dari daya nyata dengan daya reaktif. Satuan yang digunakan untuk daya nyata adalah Watt, satuan untuk daya reaktif adalah VAR (*Volt-Ampere-*

Reactive), dan satuan yang digunakan untuk daya semu adalah *Volt Ampere* (Hendra, 2012). Daya semu dinyatakan dengan satuan Volt Ampere (VA) menyatakan kapasitas peralatan listrik, seperti yang terdapat pada peralatan generator dan transformator, pada suatu instalasi listrik khususnya instalasi pada pabrik atau industri juga terdapat beban tertentu seperti motor listrik yang memerlukan daya reaktif (VAR) untuk membuat medan magnet atau dengan kata lain daya reaktif adalah suatu daya yang terpakai sebagai energi pembangkit fluk magnet, sehingga timbul magnet dan daya ini dikembalikan ke sistem karena efek induksi elektromagnet itu sendiri. Sehingga daya ini sebenarnya merupakan beban pada suatu sistem tenaga listrik.

Pada sistem beban linier, konsep daya untuk sistem satu phasa dapat didefinisikan sebagai:

1. Daya semu (S) = $V I$ (VA)
2. Daya aktif (P) = $V I \cos \phi$ (W)
3. Daya reaktif (Q) = $V I \sin \phi$ (VAR)

Dalam teori listrik arus bolak-balik penjumlahan daya dilakukan secara vektoris, yang dibentuk vektornya merupakan segitiga siku-siku, yang dikenal dengan segitiga daya. Sudut θ merupakan sudut pergeseran phasa, semakin besar sudutnya, semakin besar Daya Semu (S), dan semakin besar pula Daya Reaktif (Q), sehingga faktor dayanya ($\cos \theta$) semakin kecil. Perbandingan antara besar daya aktif dengan daya semu disebut faktor daya ($\cos \theta$) (Abrar T, Arlenny, 2015).



Gambar 2.5. Segitiga Daya

2.5. Klasifikasi Daya Listrik

Klasifikasi daya listrik pada umumnya dibagi menjadi tiga bagian. Daya tersambung adalah daya yang disambungkan oleh pihak PLN kepada konsumen. Dalam menyalurkan energi listriknya pihak PLN mempunyai aturan-aturan tertentu sehingga konsumen harus mengikuti aturan yang telah ditetapkan tersebut. Daya terpasang adalah besarnya daya yang dihitung dari besarnya masing-masing beban yang terpasang. Beban yang terpasang dapat berupa lampu, motor listrik, dan beban listrik lainnya. Daya terpasang biasanya dinyatakan dalam kVA. Besarnya daya terpasang ini bisa lebih besar dari daya tersambung karena ada kemungkinan beban yang ada tidak beroperasi secara bersamaan (Pieter S dkk, 2015).

Daya terpakai adalah besarnya pemakaian daya listrik dari beban yang terpasang. Besarnya pemakaian daya listrik ini dapat diketahui dari peralatan pengukur, misalnya watt meter dan peralatan lainnya. Beban yang terpasang ada kemungkinan tidak dioperasikan secara serentak, sehingga besarnya daya yang terpakai dibawah daya yang tersambung (Pieter S dkk, 2015).

2.6. Arus Nominal Beban

Perhitungan arus nominal atau arus beban pada instalasi listrik dipengaruhi oleh besarnya beban, faktor daya dan tegangan sistem, nilai arus beban berbanding terbalik dengan tegangan sistem dan faktor daya atau arus beban berbanding lurus dengan jumlah beban (Hasyim, 2011). Untuk menentukan I nominal beban terpasang dapat dicari dengan persamaan (2.1) dan (2.2) sebagai berikut (P.Van Harten, 1992; 144) :

1. Beban 1 Fasa :

$$I = \frac{P(\text{Watt})}{V(\text{Volt}).\text{Cos}\varphi} \quad (2.1)$$

2. Beban 3 Fasa :

$$I = \frac{P(\text{Watt})}{\sqrt{3}.V_{L-L}(\text{Volt}).\text{Cos}\varphi} \quad (2.2)$$

Keterangan :

- I = Arus Nominal beban (Ampere)
P = Daya (Watt)

- V = Tegangan Fasa dengan netral
- V_{L-L} = Tegangan Fasa dengan Fasa (380 Volt)
- $\text{Cos } \varphi$ = Faktor Daya Beban

2.7. Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan ujung pengiriman dan tegangan ujung penerimaan (Hasyim, 2011). Tegangan antara ujung pengirim dan penerima pasti akan terjadi suatu perbedaan nilai. Tegangan di beban akan bernilai lebih kecil dari pada tegangan sumbernya. Hal ini disebabkan oleh adanya faktor arus dan impedansi saluran. Perbedaan tegangan antara kedua titik tersebut disebut sebagai susut tegangan (*Drop Voltage*), biasanya dinyatakan dalam persen (Yayat, 2007). Sesuai standar yang telah dipersyaratkan dalam PUIL 2011 bagian 2.2.3 yaitu nilai jatuh tegangan pada titik-titik beban tidak boleh lebih dari 4 % dari tegangan di ujung pengiriman pada saat kabel penghantar dialiri arus beban penuh.

Untuk menentukan susut tegangan sistem 1 fasa dan 3 fasa pada penghantar dapat ditentukan dengan persamaan (2.3) dan (2.4) sebagai berikut :

1. Sistem 1 Fasa

$$\Delta V = I.L.R \quad (2.3)$$

2. Sistem 3 Fasa

$$\Delta V = \sqrt{3}.I.L.R \quad (2.4)$$

Keterangan :

- ΔV = Rugi Tegangan dalam penghantar (Volt)
- I = Kuat arus dalam penghantar (Ampere)
- L = Panjang Penghantar (meter)
- R = Resistansi Saluran (Ω / km)

Maka untuk mencari presentase (%) drop tegangan pada penghantar antara ujung pengirim dengan ujung penerima (beban) yaitu dengan persamaan (2.5) yaitu :

$$\Delta V (\%) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan :

ΔV (%) = Rugi Tegangan dalam persen (%)

ΔV = Rugi Tegangan dalam penghantar (Volt)

V = Tegangan Sumber (Volt)

2.8. Menganalisis Kapasitas Komponen Distribusi Daya

Kebutuhan tenaga listrik pada suatu industri harus disesuaikan dengan keadaan produktivitas perusahaan itu sendiri, yang paling penting adalah kontinuitas dan keandalan yang tinggi dalam pelayanannya. Mengingat bahwa tenaga listrik sangat penting dalam proses produksi, maka sumber tenaga listrik ini harus dijaga dari adanya berbagai macam gangguan (Riki Z, 2015).

Kebutuhan daya maksimum sangat perlu diketahui agar dapat ditentukan kebutuhan akan besarnya kapasitas transformator (Hendra, 2012). Seluruh beban pada masing – masing panel baik penerangan, beban 1 fasa maupun 3 fasa harus diketahui kapasitas daya dan faktor dayanya. Untuk menentukan kapasitas pengaman dan penghantar yang digunakan perlu dihitung arus nominal beban yang terpasang.

Perhitungan jatuh tegangan yang diperlukan tidak hanya untuk peralatan sistem saja namun juga untuk dapat menjamin tegangan terpasang yang dapat dipertahankan dalam batas-batas yang layak (Abrar, 2014). Pada perhitungan jatuh tegangan jika jatuh tegangannya masih $> 4\%$, maka pemilihan kabel dilakukan kembali untuk meminimalisir presentase jatuh tegangannya.

Sistem tenaga bisa dikatakan handal kalau aman dari gangguan yang terjadi akibat arus hubung singkat dan beban lebih dengan pengaman dan penghantar yang dipakai sesuai dengan beban yang digunakan (Yayat, 2007). Instalasi listrik dan panel listrik yang baik akan memberikan suplai daya listrik kepada beban listrik sesuai kebutuhan. Perencanaan instalasi listrik dan panel listrik ini menggunakan program *ecodial* untuk menggantikan perencanaan instalasi listrik dan panel listrik secara manual (Gregorius M, 2006). *Ecodial* merupakan *software* milik *Schneider Electric* yang mengacu pada standar Internasional *IEC (International Electrotechnical Comission)*. *Ecodial* dapat digunakan diantaranya untuk menentukan (*Schneider Electric, 2008*) :

1. Perhitungan arus hubung singkat

2. Optimasi ukuran kabel
3. Kapasitas Circuit Breaker
4. Diskriminasi Proteksi
5. Jatuh Tegangan

2.9. Komponen Distribusi Daya Listrik

Pendistribusian tenaga listrik pada industri terdiri dari komponen – komponen utama yaitu sebagai berikut :

1. Penyulang Tegangan Menengah

Merupakan jaringan (kabel/*busduct*) penyalur tegangan menengah dari gardu distribusi PLN (Hendra, 2012). Dari gardu distribusi inilah suplai energi listrik kemudian disalurkan menuju panel tegangan menengah (*MVMDP*) atau juga disebut *cubicle* seperti ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Gardu Distribusi Terminal LPG Semarang

2. Cubicle

Cubicle atau *MVMDP* (*Medium Voltage Main Distribution Panel*) adalah panel *switching* tegangan menengah yang berfungsi sebagai *switcher* dan pengendali daya TM di sisi pengguna (Hendra, 2012). Bagian utama dari *Cubicle* yaitu *Incoming*, *Metering* dan *Outgoing*. Sisi *Incoming* merupakan sisi penerima

tegangan dari Gardu PLN sebesar 20 kV, *Metering* merupakan alat ukur tegangan, arus dan daya, kemudian sisi *Outgoing* merupakan sisi keluaran tegangan 20 kV yang dikirim ke primer *Trafo Step Down*. Komponen utama yang perlu diperhatikan pada *MVMDP* antara lain (Hendra, 2012) :

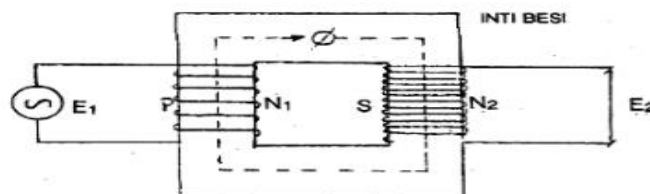
- A. *Main CB/LBSMV*
- B. *Fuse*
- C. Peralatan proteksi/*safety devices*



Gambar 2.7. Panel *Cubicle* Terminal LPG Semarang

3. Transformator Distribusi

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui gandingan magnet dan berdasarkan prinsip – prinsip induksi elektromagnet (Zuhal, 1982).



Gambar 2.8. Konstruksi Dasar Trafo

Trafo Step Down adalah transformator pada tegangan output pada kumparan sekunder yang lebih rendah dibandingkan dengan tegangan input pada kumparan

primer. Jenis transformator ini mempunyai lilitan sekunder yang kurang daripada lilitan primer (M.Hasan Basri, 2008). Perbandingan antara jumlah lilitan primer dengan lilitan sekunder menentukan perbandingan tegangan primer dengan tegangan sekunder.

$$\text{Rasio Lilitan} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \quad (2.6)$$

Keterangan :

- N_p = Jumlah lilitan primer
- N_s = Jumlah lilitan sekunder
- V_p = Tegangan primer (Volt)
- V_s = Tegangan sekunder (Volt)

Di dalam bidang tenaga listrik, pemakaian transformator dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu :

- A. Transformator Daya
- B. Transformator Distribusi
- C. Transformator Pengukuran yang terdiri dari transformator arus (*CT*) dan transformator tegangan (*PT*)

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum ampere dan hukum faraday, yaitu arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Pada umumnya ada 3 jenis hubungan belitan transformator 3 fasa, yaitu (Gregorius, 2006) :

- A. Hubungan Bintang
- B. Hubungan Delta
- C. Hubungan Zigzag

4. Panel LVMDP

Panel LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*) atau panel utama tegangan rendah merupakan panel utama yang menerima suplai tegangan 220/380 V dari sisi sekunder trafo *step down*. Panel ini berfungsi untuk mendistribusikan daya listrik ke panel-panel SDP (*Sub Distribution Panel*). Panel LVMDP ditempatkan

pada ruang khusus atau juga disebut *power house*. Menurut PUIL 2011 bagian 5.11 bahwa di sekitar panel hubung bagi dan kendali harus terdapat ruang yang cukup luas sehingga mudah dalam pemeliharaan, pemeriksaan dan perbaikan. Pencahayaan juga harus memadai serta ruang untuk penempatan panel harus dari bahan yang tidak mudah terbakar. Komponen utama pada panel *LVMDP* yaitu *circuit breaker*, *busbar*, *kabel penghantar* dan *power meter*.



Gambar 2.9. Panel *LVMDP*

5. **Panel Kapasitor Bank**

Secara garis besar fungsi dari *Bank Kapasitor* adalah untuk perbaikan faktor daya pada suatu jaringan listrik yang mempunyai $\cos \phi$ dibawah standar PLN yaitu 0.85. Perlunya dilakukan perbaikan *Cos Phi* tersebut adalah dimaksudkan untuk salah satunya menghindari biaya yang timbul akibat dari pemakaian kelebihan *KVARH*. Kapasitor dapat membangkitkan daya reaktif kapasitif yang dibutuhkan untuk mengkompensir daya reaktif induktif dari beban (Affan, 2009).

6. **Panel SDP**

Panel SDP (Sub Distribution Panel) yaitu panel yang berfungsi mendistribusikan daya listrik dari Panel *LVMDP* (Panel Utama Tegangan Rendah) menuju panel beban peralatan seperti panel lampu penerangan dan stop kontak, panel motor, panel peralatan elektronik dan lain – lain. Panel *SDP* berfungsi sebagai switcher dan pengaman beban lebih (Hendra, 2012). Komponen utama pada *SDP* yaitu pengaman berupa *MCCB*, *NFB* maupun *MCB*, busbar, fuse lampu tanda, dan

kabel penghantar serta tambahan peralatan pengukuran daya listrik yaitu *volt meter* dan *ampere meter*.

7. **Panel Beban**

Panel beban merupakan panel kendali yang digunakan untuk menyuplai beban akhir. Panel beban dibedakan menjadi beberapa kelompok karena jenis beban yang disuplai dan dikendalikan, seperti panel penerangan, panel tenaga, panel motor dan juga panel peralatan elektronik. Sesuai standar PUIL 2011 bahwa kelompok beban pencahayaan, kelompok tenaga, kelompok beban 1 fasa dan 3 fasa harus dipisah.

8. **Circuit Breaker**

Circuit Breaker adalah peralatan yang berfungsi untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian pada saat berbeban maupun tidak berbeban serta akan membuka pada saat terjadi gangguan arus lebih dan hubung singkat pada rangkaian instalasi listrik (Affan, 2009). Sebuah *CB* harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (Hasyim Adnan, 2010) :

- A. Harus dapat menghantarkan arus beban penuh untuk waktu yang lama.
- B. Harus mampu menahan arus hubung singkat dalam waktu tertentu sampai gangguan dapat dibatasi oleh pemutus lain yang letaknya paling berdekatan dengan titik gangguan.
- C. Harus mampu menahan efek busur api pada kontak-kontaknya dan kenaikan temperatur yang disebabkan oleh arus hubung singkat yang lewat.
- D. Celah diantara kontak-kontaknya pada saat terbuka harus mampu menahan tegangan sistem.

Jenis – jenis *circuit breaker* yang digunakan pada instalasi kelistrikan pada industri diantaranya yaitu :

1. *ACB (Air Circuit Breaker)*

Air circuit Breaker (ACB) merupakan jenis *circuit breaker (CB)* dengan rating arus yang tinggi. *ACB* banyak dipakai pada panel distribusi utama tegangan

rendah (*LVMDP*), dimana dibutuhkan tingkat pengamanan yang tinggi dan kontinuitas pelayanan sumber daya listrik. Udara pada tekanan ruang atmosfer digunakan sebagai peredam bunga api yang timbul pada proses switching maupun gangguan.

Rating *Air Circuit Breaker* pada tegangan rendah dan tegangan menengah :

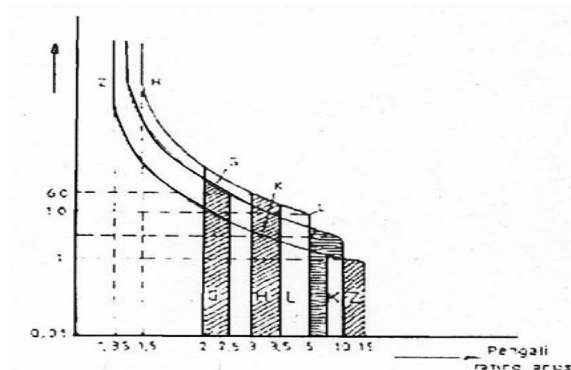
460 V	400 – 3500 A	40 -75 kA
3,3 KV	400 – 3500 A	13,1 – 31,5 kA
6,6 KV	400 – 2400 A	13,1 – 20 kA

2. *MCCB (Moulded Case Circuit Breaker)*

MCCB adalah peralatan pengamanan untuk mengamankan rangkaian dari arus lebih dan hubung singkat. *MCCB* memiliki rating arus yang cukup tinggi dan dapat disetting sesuai kebutuhan. Spesifikasi *MCCB* umumnya dibagi dalam 2 parameter operasi yaitu U_e (Tegangan Kerja) dan I_e (arus kerja atau arus nominal) (M.Hasan Basri, 2008).

3. *MCB (Miniatur Circuit Breaker)*

Mini Circuit Breaker (MCB) merupakan alat pengamanan terhadap gangguan arus beban lebih dan arus hubung singkat. Berdasarkan konstruksinya *MCB* dilengkapi dengan komponen dwi logam yang digunakan untuk pengamanan arus beban lebih dan electromagnet untuk pengaman arus hubung singkat (Yayat, 2007). Karakteristik pemutusan *MCB* dapat ditunjukkan pada gambar 2.10.

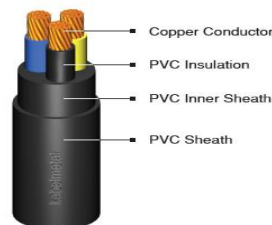


Gambar 2.10. Karakteristik Pemutusan *MCB*

Peralatan-peralatan ini harus disusun untuk memutuskan sirkit sebelum suatu kerusakan yang disebabkan oleh pengaruh termal atau elektromagnetik yang disebabkan karena arus gangguan mencapai nilai yang ditentukan. Peralatan untuk proteksi terhadap arus beban lebih dan arus hubung singkat harus sanggup memutuskan setiap arus lebih yang terjadi di tempat peralatan dipasang (Hari, Syahrial, 2013). Keuntungan dari *circuit breaker* dibandingkan dengan sikring adalah kemampuan untuk dapat dipergunakan kembali setelah mengalami trip, sedangkan sikring harus diganti dengan yang baru bila mengalami trip (Koes dkk, 2007).

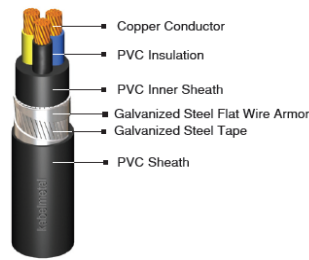
9. Kabel Penghantar

Salah satu komponen penting dalam pendistribusian tenaga listrik pada industri, gedung, maupun hunian rumah tangga yaitu Penghantar. *Penghantar* adalah suatu benda yang berbentuk logam maupun non logam yang bersifat konduktor dan dapat mengalirkan arus dari satu titik ke titik yang lain. Ada 2 jenis penghantar dalam instalasi distribusi listrik yaitu kabel dan kawat penghantar. *Kabel* adalah penghantar yang dilindungi dengan isolasi dan keseluruhan inti dilindungi dengan selubung pelindung bersama, contohnya kabel *NYY*, *NYF*, *NYM*, *NYFGbY* dan lain sebagainya. Kabel daya pada sistem instalasi di industri maupun gedung biasa menggunakan kabel jenis *NYY* dan juga *NYFGbY*. Untuk kabel jenis *NYY* pada pemasangan dalam tanah harus diberi perlindungan tambahan untuk menghindari kerusakan mekanis.



Gambar 2.11. Kabel *NYY*

Sedangkan untuk *NYFGbY* pada pemasangan dalam tanah tidak memerlukan perlindungan, karena telah dilengkapi dengan perisai kawat baja pipih.



Gambar 2.12. Kabel NYFGbY

Sedangkan *kawat penghantar* adalah penghantar yang tidak diberi isolasi contohnya kawat *BC (Bare Cooper)*, *ACSR* dan lain sebagainya (Ismansyah, 2009). Berdasarkan PUIL 2000 Bagian 4.2.2.2 yaitu Semua penghantar harus mempunyai KHA sekurang-kurangnya sama dengan arus yang mengalir melaluinya.

10. Penghantar Rel (*Busbar*)

Busbar merupakan penghantar listrik yang disusun untuk menerima arus dari satu atau lebih sirkit *incoming*, mengumpulkannya dan kemudian menghantarkan atau mendistribusikan arus listrik yang sama tersebut kepada satu atau lebih sirkit *outgoing* (Gregorius M, 2006). Berdasarkan standar PUIL 2000, dalam penggunaannya diberikan warna yang berbeda antara R, S, T, N dan PE (Ground). *Busbar* terbuat dari tembaga dan juga aluminium.

11. Pentanahan

Grounding atau Pentanahan adalah pengamanan bagian aktif atau pengamanan bagian konduktif yang merupakan bagian dari sirkit suatu instalasi listrik yang dalam keadaan bekerja normal umumnya bertegangan dan dialiri arus listrik. Tujuan dari pentanahan adalah untuk menghindari kemungkinan terjadinya tegangan sentuh dan untuk mengurangi beda tegangan antara badan peralatan dengan tanah, sehingga didapatkan harga yang aman (Yayat, 2007). Maksimum harga tahanan yang diijinkan yaitu 5Ω pada gedung atau bangunan (Abrar dan Arlenny, 2015).

2.10. Pemilihan *Circuit Breaker*

Circuit Breaker dipasang pada instalasi distribusi listrik untuk 2 tujuan dasar, yaitu (Affan, 2009) :

1. Berfungsi selama kondisi pengoperasian normal, yaitu untuk menghubungkan dan memutuskan rangkaian dalam keadaan berbeban dengan tujuan untuk pengoperasian dan perawatan dari rangkaian maupun bebannya.
2. Bekerja selama kondisi operasional yang tidak normal, yaitu jika terjadi hubung singkat atau arus lebih.

Arus lebih maupun hubung singkat dapat mengakibatkan kerusakan pada instalasi suplai daya listrik dan juga komponen peralatan apabila dibiarkan mengalir dalam waktu yang lama. Sesuai dengan pernyataan pada PUIL 2011 Bagian 2.2.7.2.1 yaitu Gawai proteksi harus disediakan agar secara otomatis memisahkan konduktor aktif dari sirkit dalam peristiwa :

1. arus beban lebih
2. arus hubung pendek atau
3. arus bocor ke bumi.

Gawai-gawai ini harus disusun untuk memutuskan sirkit sebelum suatu kerusakan yang disebabkan oleh pengaruh termal atau elektromagnetik yang disebabkan karena arus lebih atau arus bocor ke bumi mencapai nilai yang ditentukan. Proteksi ini dapat dicapai dengan pemilihan suatu gawai tunggal atau suatu gabungan dari gawai-gawai terpisah yang memberikan proteksi terhadap beban lebih, hubung pendek dan arus bocor ke bumi.

2.11. Menentukan Rating Arus Nominal *Circuit Breaker*

Untuk menentukan kapasitas *circuit breaker* pada instalasi kelistrikan, beban yang terpasang harus ditentukan besar arus nominalnya terlebih dahulu. Beban-beban yang terpasang terbagi menjadi 2 yaitu beban 3 fasa seperti motor induksi 3 fasa, dan pendingin ruangan 3 fasa. Untuk beban 1 fasa terdiri dari lampu penerangan, AC ruangan 1 fasa, komputer, stop kontak dan lain – lain. Arus nominal beban dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.1) untuk beban 1 fasa dan persamaan (2.2) untuk beban 3 fasa.

Setelah arus nominal (I_n) beban terpasang diketahui, maka rating arus *circuit breaker* yang akan dipakai sebagai proteksi pada panel dapat ditentukan dengan perhitungan sesuai PUIL 2011 yaitu dengan persamaan (2.4) dan (2.5) sebagai berikut :

1. Beban Penerangan Dan Stop Kontak

Untuk menentukan kapasitas *circuit breaker* utama pada panel *SDP* penerangan dan stop kontak yaitu sesuai PUIL 2011 dapat ditentukan dengan rumus :

$$I_{CB} = (115 \% \times I_n \text{ terbesar}) + I_n \text{ yang lainnya.} \quad (2.7)$$

keterangan :

- I_{CB} = Nilai arus nominal *circuit breaker* (A)
- I_n terbesar = Arus nominal terbesar beban yang dilayani (A)
- I_n lainnya = Arus nominal beban yang lainnya (A)

2. Beban Tenaga

Untuk menentukan kapasitas *circuit breaker* utama pada panel *MCC* yang berupa beban motor yaitu sesuai PUIL 2011 dapat ditentukan dengan rumus :

$$I_{CB} = (115 \% \times I_n \text{ terbesar}) + I_n \text{ yang lainnya.} \quad (2.8)$$

keterangan :

- I_{CB} = Nilai arus nominal *circuit breaker* (A)
- I_n terbesar = Arus nominal terbesar beban yang dilayani (A)
- I_n lainnya = Arus nominal beban yang lainnya (A)

2.12. Menentukan KHA Kabel Penghantar

Seperti yang telah dipersyaratkan dalam PUIL 2011 bagian 2.2.2.2 bahwa setiap konduktor harus mempunyai KHA (Kapasitas Hantar Arus), tidak kurang dari arus yang mengalir di dalamnya. Setelah memperoleh hasil perhitungan arus beban yang akan dilewatkan pada penghantar, maka untuk mencari KHA kabel dapat dihitung dengan rumus sesuai PUIL 2011 yaitu :

$$I_{KHA} = (125 \% \times I_n \text{ terbesar}) + I_n \text{ yang lainnya} \quad (2.9)$$

keterangan :

- I_{KHA} = KHA kabel penghantar (A)

In terbesar = Arus nominal terbesar beban yang dilayani (A)

In lainnya = Arus nominal beban yang lainnya (A)

Persamaan di atas untuk menentukan KHA pada penghantar dari trafo distribusi menuju Panel Utama Tegangan Rendah (*LVMDP*) hingga ke Panel Beban Penerangan, Stop Kontak dan juga Motor – Motor induksi 3 fasa maupun 1 fasa. Sesuai dengan PUIL 2011 bagian 510.5.3.2 yaitu Penghantar sirkit akhir yang mensuplai dua motor atau lebih, tidak boleh mempunyai KHA kurang dari jumlah arus beban penuh semua motor itu ditambah 25 % dari arus beban penuh motor yang terbesar dalam kelompok tersebut. Yang dianggap motor terbesar ialah yang mempunyai arus beban penuh tertinggi.

2.13. Menentukan Kapasitas Transformator

Untuk menentukan kapasitas trafo distribusi, daya (S) tiap panel *SDP* harus diketahui. Daya (S) diseluruh *SDP* dijumlahkan kemudian dibagi dengan faktor daya. Langkah untuk menentukan daya (S) pada masing – masing Panel *SDP* yaitu dengan persamaan (2.10) sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_n \quad (2.10)$$

keterangan :

S = Daya beban pada panel *SDP* (VA)

V = Tegangan sistem 3 fasa (V)

I_n = I nominal beban pada panel *SDP* (A)

Setelah seluruh daya (S) pada masing – masing *SDP* diketahui, kemudian dijumlahkan untuk menentukan kapasitas trafo, dengan persamaan (2.11) sebagai berikut :

$$S_{\text{trafo}} = \frac{S_{\text{total}}}{\text{Cos}\varphi} \quad (2.11)$$

keterangan :

S_{trafo} = Kapasitas Trafo (kVA)

S_{total} = Daya Total Beban Terpasang (kVA)

$\text{Cos } \varphi$ = Faktor Daya

2.14. Program *Ecodial 3.38*

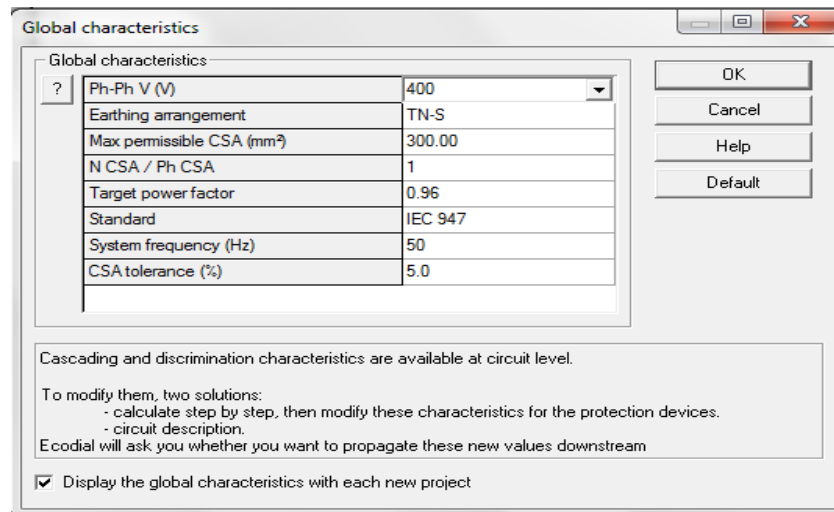
Software ecodial adalah *software* yang dimiliki oleh *Schneider Electric* yang digunakan untuk mensimulasikan instalasi listrik tegangan rendah pada gedung, perkantoran, pabrik, infrastruktur energi hingga hunian rumah tangga. *Ecodial 3.38* mengacu pada standar internasional *IEC (International Electrotechnical Commission)*. *software ecodial* digunakan untuk menggantikan perancangan dan analisa instalasi listrik tegangan rendah secara manual. Fungsi *ecodial* diantaranya adalah (*Schneider electric, 2008*) :

1. Menentukan Kapasitas Circuit Breaker
2. Menentukan ukuran kabel instalasi kelistrikan.
3. Menghitung jatuh tegangan.
4. Diskriminasi Proteksi.

Menurut Gregorius, 2006, *Ecodial* bukan merupakan:

1. Sebuah program untuk mendesain jaringan listrik tegangan menengah.
2. Program yang dapat digunakan secara langsung, insinyur profesional harus memeriksa dan menjamin hasil dari *Ecodial 3.38*.
3. Solusi untuk kemungkinan masalah desain, yang satu mungkin ketemu.

Pada *software ecodial 3.38* terdapat karakteristik umum yang akan menjadi acuan dalam mensimulasikan instalasi listrik tegangan rendah. Karakteristik umum tersebut diantaranya adalah tegangan sistem yang digunakan, sistem pentanahan, frekuensi dan target faktor daya seperti ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Karakteristik Global *Ecodial 3.38*



Gambar 2.14. Tampilan Keseluruhan Layar *Ecodial 3.38*

Gambar 2.14 merupakan layar utama pada *ecodial 3.38* yaitu layar untuk merancang *single diagram* instalasi kelistrikan. Pada layar kanan bawah adalah layar yang berisi komponen sistem kelistrikan seperti trafo, *busbar*, proteksi, dan juga beban. Pada layar sebelah kiri atas merupakan layar untuk menampilkan informasi komponen yang dirangkai dan layar kiri bawah yaitu layar untuk menampilkan nilai kapasitas komponen yang direncanakan.