



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Deskripsi Sistem Tenaga Listrik¹

Sekalipun tidak terdapat suatu sistem tenaga listrik yang ”tipikal”, namun pada umumnya dapat dikembalikan batasan pada suatu sistem yang lengkap mendapat empat unsur:

1. Adanya suatu unsur pembangkit tenaga listrik tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik itu biasanya merupakan tegangan menengah (TM).
2. Suatu sistem transmisi, lengkap dengan gardu induk. Karena jaraknya yang biasanya jauh, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi (TT).
3. Adanya saluran distribusi, yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dengan tegangan menengah (TM), dan saluran distribusi sekunder dengan tegangan rendah (TR).
4. Adanya unsur pemakaian atau utilisasi, yang terdiri atas instalasi pemakaian tenaga listrik. Instalasi rumah tangga biasanya memakai tegangan rendah, sedangkan pemakai besar seperti industri menggunakan tegangan menengah ataupun tegangan tinggi.

2.2 Konfigurasi Jaringan Distribusi¹

Sebagaimana diketahui pada sistem distribusi terdapat dua bagian; yaitu distribusi primer, yang mempergunakan tegangan menengah. Dan distribusi sekunder, yang menggunakan tegangan rendah.

2.2.1 Konfigurasi jaringan distribusi primer

Pada distribusi primer terdapat empat jenis dasar, yaitu:

1. Sistem Radial
2. Sistem Lup (*loop*)

¹ Abdul Kadir, *Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik* (Jakarta: UIP, 2000), Hal. 3-5.

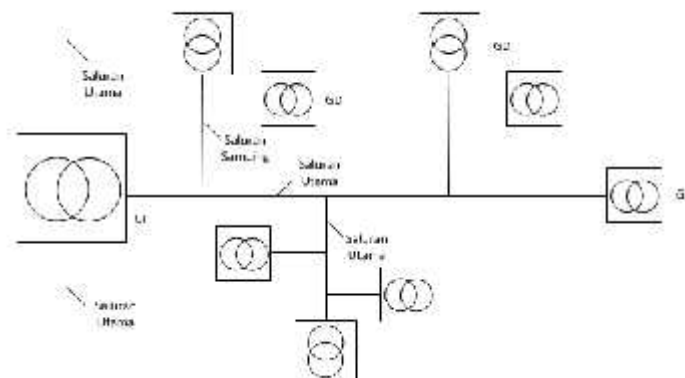
¹ Abdul Kadir, *Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik* (Jakarta: UIP, 2000), Hal. 21-27.



3. Sistem Jaringan Primer
4. Sistem Spindle.

2.2.1.1 Sistem radial

Sistem radial adalah yang paling sederhana dan yang paling banyak dipakai, terdiri atas fider (*feeders*) atau rangkaian tersendiri, yang seolah - olah keluar dari suatu sumber atau wilayah tertentu secara radial. Fider itu juga dapat dianggap sebagai terdiri atas suatu bagian utama darimana saluran samping atau lateral lain bersumber dan dihubungkan dengan transformator distribusi. Saluran samping sering disambung pada fider dengan sekering (*fuse*). Dengan demikian maka gangguan pada saluran samping tidak akan mengganggu seluruh fider. Bilamana sekering itu tidak bekerja atau terdapat gangguan pada fider, proteksi pada saklar daya di gardu induk akan bekerja dan seluruh fider akan kehilangan energy.



Gambar 2.1 Konfigurasi Jaringan Radial

Keterangan Gambar 2.1:

GI = Gardu Induk

GD = Gardu Distribusi

2.2.1.2 Sistem Lup (*Loop*)

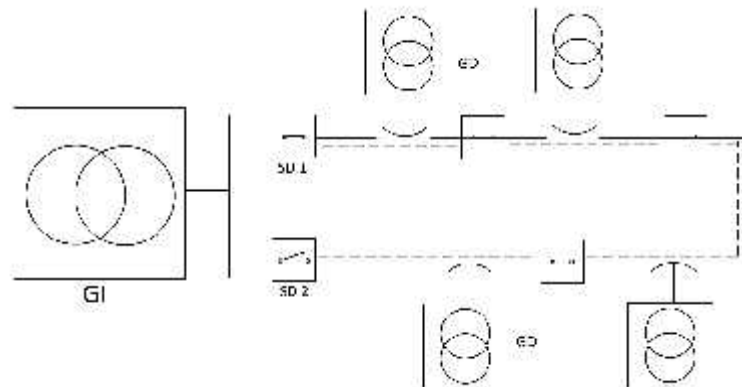
Suatu cara lain mengurangi lama interupsi daya yang disebabkan gangguan adalah dengan mendesain fider sebagai lup (*loop*) dengan menyambung kedua ujung saluran. Hal ini mengakibatkan bahwa suatu pemakai dapat



memperoleh pasokan energi dari dua arah. Bilamana pasokan dari satu arah terganggu, pemakai itu akan disambung pada pasokan arah yang lainnya. Kapasitas cadangan yang cukup besar harus tersedia pada tiap fider. Sistem lup dapat dioperasikan secara terbuka, maupun tertutup.

Pada sistem loop terbuka, bagian - bagian fider tersambung melalui alat pemisah (*disconnectors*), dan kedua ujung fider tersambung pada sumber energi. Pada suatu tempat tertentu pada fider, alat pemisah sengaja dibiarkan dalam keadaan terbuka. Pada dasarnya, sistem ini terdiri atas dua fider yang dipisahkan oleh pemisah, yang dapat berupa sekering, atas daya. Bila terjadi gangguan, bagian saluran dari fider yang terganggu dapat dilepas dan menyambungnya pada fider yang tidak terganggu. Sistem demikian biasanya dioperasikan secara manual dan dipakai pada jaringan - jaringan yang relative kecil.

Pada sistem lup tertutup diperoleh suatu tingkat keandalan yang lebih tinggi. Pada sistem ini alat - alat pemisah biasanya berupa saklar daya yang lebih mahal. Saklar - saklar daya itu digerakkan oleh relay yang membuka saklar daya pada tiap ujung dari bagian saluran yang terganggu, sehingga bagian fider yang tersisa tetap berada dalam keadaan berenergi. Pengoperasian relay yang baik diperoleh dengan mempergunakan kawat pilot yang menghubungkan semua saklar daya. Kawat pilot ini cukup mahal untuk dipasang dan dioperasikan. Kadang - kadang rangkaian telepon yang disewa dapat dipakai sebagai kawat pilot.



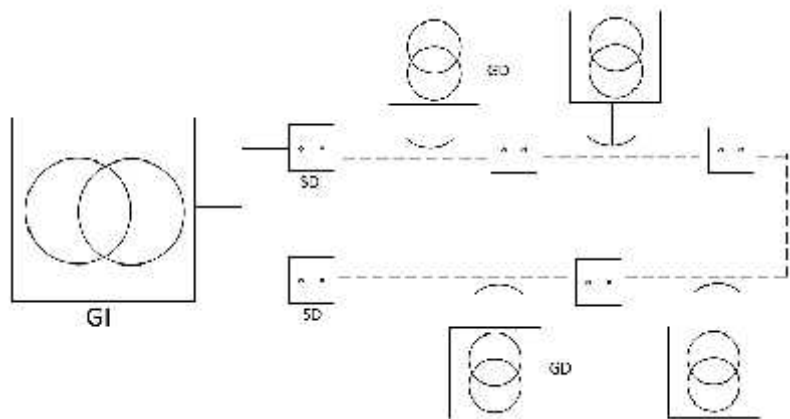
Gambar 2.2 Konfigurasi Rangkaian Lup Terbuka



Keterangan Gambar 2.2 :

SD1 = Saklar Daya, biasanya tertutup

SD2 = Saklar Daya, biasanya terbuka



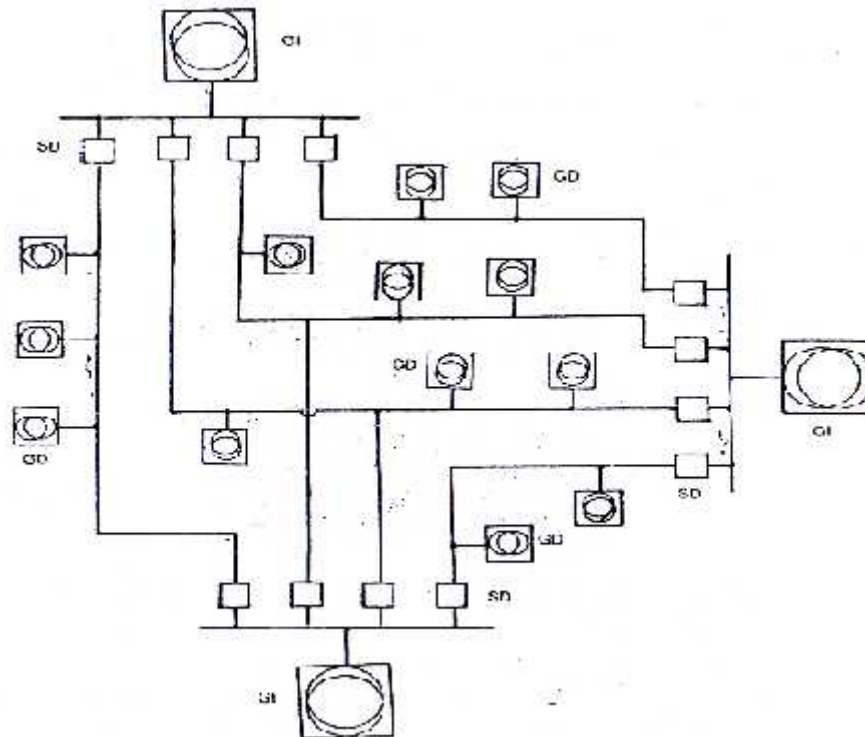
Gambar 2.3 Konfigurasi Rangkaian Lup Tertutup

Keterangan Gambar 2.3:

SD = Saklar Daya, tertutup, dikendalikan melalui kawat pilot

2.2.1.3 Sistem jaringan primer

Walaupun beberapa studi memberi indikasi bahwa pada kondisi – kondisi tertentu sistem jaringan primer lebih murah dan lebih andal dari pada system radial, secara relative tidak banyak sistem jaringan primer yang kini dioperasikan. Sistem ini terbentuk dengan menyambung saluran - saluran utama atau fider yang terdapat pada sistem radial sehingga merupakan suatu kisi - kisi atau jaringan. Jaringan ini diisi dari beberapa sumber atau gardu induk. Sebuah saklar daya antara transformator dan jaringan yang dikendalikan oleh relai *arm* balik (*reversecurrents*), melindungi jaringan terhadap terjadinya arus - arus gangguan bila hal ini terjadi pada sisi pengisian dari gardu induk. Bagian - bagian jaringan yang terganggu akan dipisahkan oleh saklar daya atau sekring.



Gambar 2.4 Konfigurasi Sistem Jaringan Primer

Keterangan Gambar 2.4:

- GI = Gardu Induk
- GD = Gardu Distribusi
- SD = Saklar Daya

Alat untuk pemisahan feeder tidak diperlihatkan

2.2.1.4 Jaringan spindle

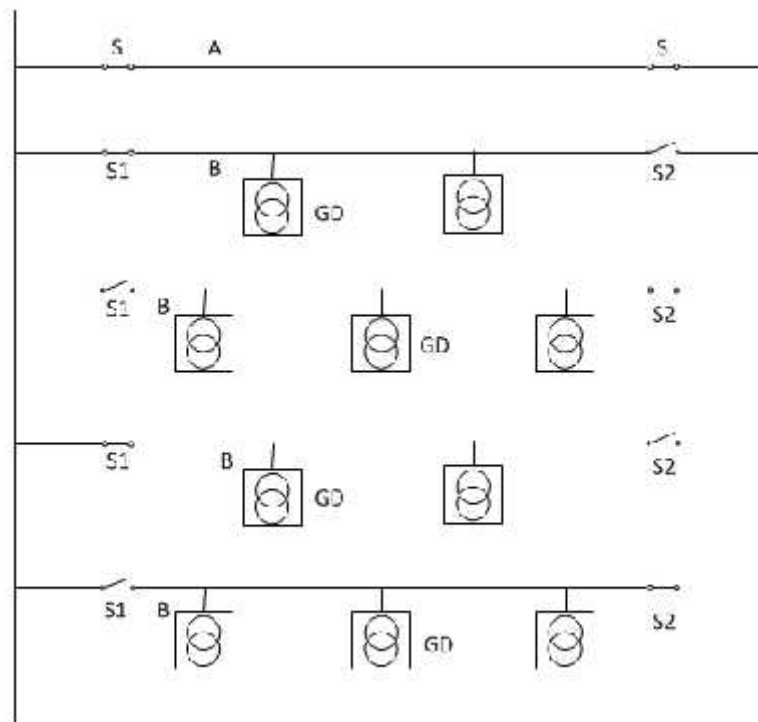
Terutama di kota yang besar, terdapat suatu jenis gardu tertentu, yang tidak terdapat transformator daya. Gardu demikian dinamakan Gardu Hubung (GH). GH pada umumnya menghubungkan dua atau lebih bagian jaringan primer kota itu. Dapat pula terjadi bahwa pada suatu GH terdapat sebuah transformator pengatur tegangan. Karena besar kota itu, kabel-kabel tegangan menengah (TM) mengalami terlampaui banyak turun tegangan. Tegangan yang agak rendah ini



dinaikkan kembali dengan bantuan transformator pengatur tegangan. Dapat juga terjadi bahwa pada GH, ditumpangi atau dititipi sebuah Gardu Distribusi (GD).

Gambar 2.5 merupakan skema prinsip dari sistem spindle. Spindle ini menghubungkan rel dari satu GI atau GH dengan rel dari GI atau feeder, yang mengisi beberapa buah GD, terdapat satu kabel (Kabel A pada Gambar II:17) yang tidak mendapat beban GD. Kabel A ini selalu menghubungkan rel kedua GI atau GH itu. Sedangkan kabel - kabel memperoleh pengisian hanya dari salah satu GI atau GH. Bilamana salah satu kabel B atau salah satu GD terganggu, maka pengisian dapat diatur sedemikian rupa, dari sisi I dan atau sisi II hingga dapat dihindari terjadinya suatu pemadaman, ataupun pemadaman terjadi secara minimal.

Sistem ini banyak dipakai di Jakarta dan kota-kota besar lainnya di Indonesia. Sistem ini memberi keandalan operasi yang cukup tinggi dengan investasi tambahan berupa kabel A yang relative rendah. Bilamana kabel A terganggu maka saklar S akan bekerja, dan sistem spindle ini sementara akan bekerja sebagai suatu sistem “biasa”.



Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Spindle



Keterangan Gambar 2.4:

GI : Gardu Induk	GH : Gardu Hubung
GD : Gardu Distribusi	S : Saklar
A : Pengisi khusus tanpa beban GD	
B : Pengisi khusus tanpa beban GD	

2.2.2 Konfigurasi sistem distribusi sekunder¹

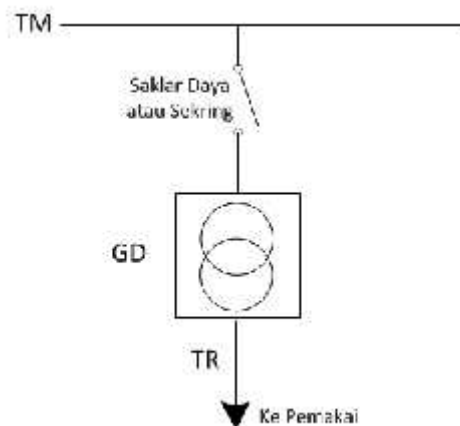
Distribusi sekunder mempergunakan tegangan rendah. Sebagaimana halnya dengan distribusi primer, terdapat pula pertimbangan perihal keandalan dan regulasi tegangan. Sistem sekunder dapat terdiri atas empat jenis umum:

1. Sebuah transformator tersendiri untuk tiap pemakai
2. Penggunaan satu transformator dengan saluran tegangan rendah untuk sejumlah pemakai.
3. Penggunaan satu saluran tegangan rendah yang tersambung pada beberapa transformator secara paralel. Sejumlah pemakai dilayani dari saluran tegangan rendah ini. Transformator - transformator diisi dari satu sumber energi. Hal ini disebut "*Bangking Sekunder Transformator*".
4. Suatu jaringan sekunder (tegangan rendah) yang agak besar diisi oleh beberapa transformator, yang pada gilirannya diisi oleh dua sumber energi atau lebih. Jaringan tegangan rendah ini melayani suatu jumlah pemakai yang cukup besar. Hal ini dikenal sebagai jaringan sekunder atau jaringan tegangan rendah.

2.2.2.1 Pelayanan dengan transformator tersendiri

Pelayanan dengan transformator tersendiri dilakukan untuk pemakai yang agak besar atau bila para pemakai terletak agak berjauhan terutama didaerah luar kota, sehingga saluran tegangan rendahnya akan menjadi terlampau panjang. Skema ini terlihat pada Gambar 2.6

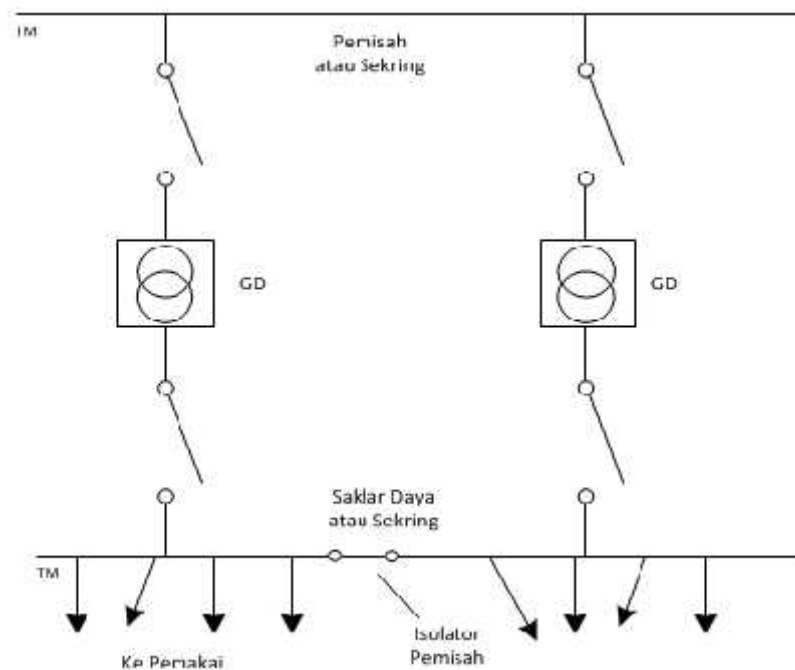
¹ Abdul Kadir, *Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik* (Jakarta: UIP, 2000), Hal. 27-34.



Gambar 2.6 Sambungan Pemakai Besar dengan Satu Gardu Distribusi Tersendiri

2.2.2.2 Penggunaan satu transformator untuk banyak pemakai

Yang mungkin terbanyak dipakai adalah sistem yang mempergunakan satu transformator dengan saluran tegangan rendah yang melayani sejumlah pemakai. Sistem ini memperhatikan beban dan keperluan pemakai yang berbeda-beda sifat bebannya. Gambar 2.6 memperlihatkan situasi ini. Di Indonesia sistem ini banyak dipakai.



Gambar 2.7 Penggunaan Satu Gardu Distribusi untuk Banyak Pemakai

Keterangan Gambar 2.7:

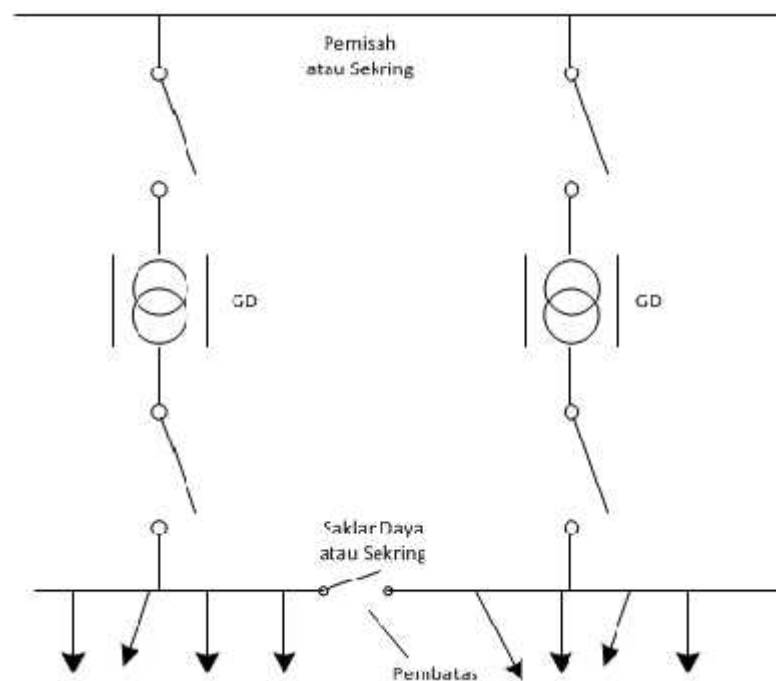
TM : Tegangan Menengah

GD : Gardu Distribusi

TR : Tegangan Rendah

2.2.2.3 Bangking sekunder

Sistem yang menggunakan bangking sekunder tidak begitu banyak dipakai. Antara transformator dan saluran sekunder biasanya terdapat sekering atau saklar daya otomatis guna melepaskan transformator dari saluran tegangan rendah bila terdapat gangguan pada transformator. Dapat juga dipasang sekering antara seksi-seksi pada saluran tegangan rendah. Lihat pada gambar 2.7. Kelebihan sistem ini dianggap dapat memberikan pelayanan yang tidak terganggu dalam waktu begitu lama. Di lain pihak bilamana salah satu transformator terganggu, beban tambahan yang harus dipikul transformator-transformator lain dapat mengakibatkan banyak transformator turut terganggu.



Gambar 2.8 Bangking Sekunder, dengan dua gardu distribusi dihubungkan juga pada sisi Tegangan Rendah



Keterangan Gambar 2.7:

TM : Tegangan Menengah

GD : Gardu Distribusi

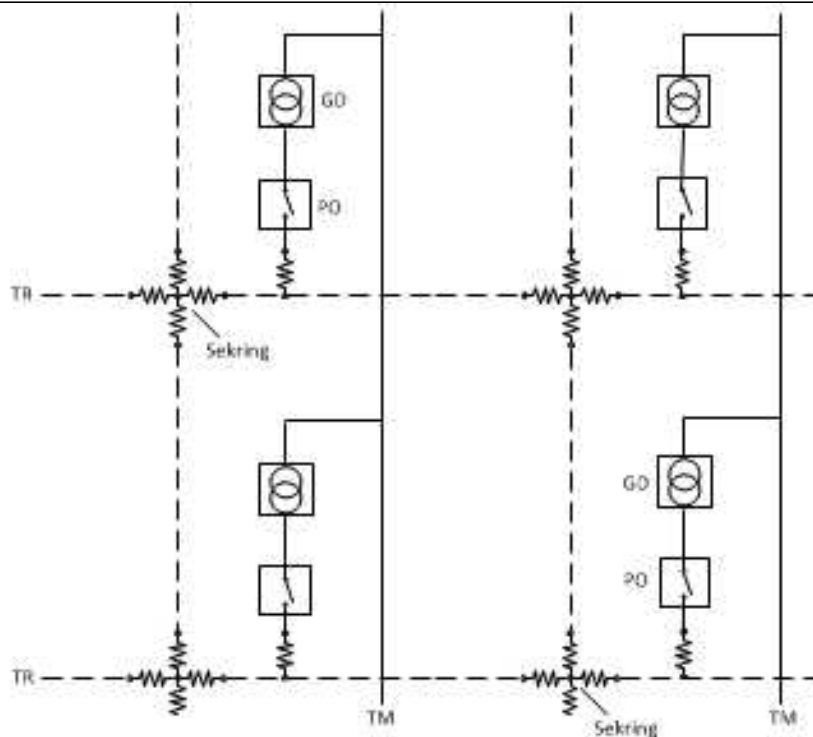
TR : Tegangan Rendah

2.2.2.4 Jaringan sekunder

Sistem jaringan sekunder yang baik pada saat ini memberikan taraf keandalan pada jaringan tegangan rendah di daerah dengan kepadatan yang tinggi, sehingga biayanya yang tinggi dapat dipertanggung jawabkan dan tingkat keandalan ini dipandang diperlukan. Pada keadaan tertentu dapat terjadi bahwa satu pelanggan tunggal mendapat penyediaan tenaga listrik dengan jenis sistem ini yang dikenal dengan nama jaringan spot (*spot networks*).

Pada umumnya jaringan sekunder terjadi dengan menghubungkan semua sisi tegangan rendah dari gardu-gardu transformator yang diisi oleh dua atau lebih feeder tegangan menengah. Pada sisi tegangan rendah gardu distribusi terdapat saklar daya yang dioperasikan secara otomatis. Lihat gambar 2.7. Proteksi ini akan melepaskan transformator dari jaringan sekunder bilamana pengisian primer hilang tegangan. Hal ini menghindari suatu arus balik dari sisi tegangan rendah ke sisi tegangan menengah. Saklar daya yang didukung oleh sebuah peralatan sekering sehingga bilamana proteksi otomatis gagal sekering akan bekerja dan melepaskan transformator dari jaringan sekunder.

Jumlah pengisi primer pada sisi tegangan menengah adalah penting. Bila misalnya ada hanya dua feeder dapat terjadi bahwa satu feeder terganggu maka akan perlu adanya kapasitas cadangan transformator yang cukup agar sistem yang masih bekerja tidak mengalami kelebihan beban. Jenis jaringan ini dinamakan jaringan kesiapan pertama (*single contingency network*).



Gambar 2.9. Jaringan Sekunder Tegangan Rendah

Keterangan Gambar 2.9:

PO : Proteksi Otomatik

TM : Tegangan Menengah

GD : Gardu Distribusi

TR : Tegangan Rendah

2.3 Jenis Sistem Kelistrikan¹

Ada banyak jenis-jenis sistem kelistrikan yang digunakan di Indonesia, berikut kami uraikan beberapa diantaranya:

2.3.1 Sistem satu fasa satu kawat

Sistem ini dikenal sebagai sistem satu kawat batik tanah (SKBT), atau dalam bahasa Inggris *single wire earth return* (SWER). Skema terlihat pada Gambar 2.1. Sistem ini sangat hemat dengan material karena memerlukan satu kawat saja. Arus balik dilakukan melalui bumi. Sistem ini dapat dipergunakan bila keadaan tanah sangat lembap, seperti sawah. Bilamana tanah kering, maka pembumian sistem memiliki resistansi yang tinggi.

¹ Abdul Kadir, 2000, *Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik* (Jakarta: UIP, 2000), Hal. 8-19.



2.3.2 Sistem Satu Fase Dua Kawat

Sistem yang tertua terdiri atas satu fase dan dua konduktor sebagaimana terlihat pada Gambar 2.2. beban disambung antara kedua konduktor. Biasanya salah satu konduktor, dinamakan netral, dibumikan. Pembumian ini pada dasarnya merupakan langkah keamanan. Bilamana konduktor bertegangan mengalami gangguan, maka sistem proteksi akan dapat bekerja.

2.3.3 Sistem Satu Fase Tiga Kawat

Pada dasarnya sistem tiga kawat merupakan kombinasi dari dua system dua kawat, sedangkan satu kawat dipergunakan sebagai netral masing - masing sistem dua kawat bertegangan. Pada sisi sumber maka bila salah satu kawat yang hidup bertegangan E volt (misal: 114 volt) di "atas" netral, maka konduktor hidup yang lain adalah E volt (110 Volt) di "bawah" netral, sedangkan tegangan antara kedua konduktor bertegangan adalah $2E$ volt (220 Volt).

2.3.4 Sistem Arus Bolak Balik Dua Fase

Sistem arus bolak balik dua fase kini mulai menghilang walaupun disana - sini masih dapat ditemukan. Pada dasarnya sistem dua fase tiga kawat terjadi bilamana dua kawat "netral" digabung menjadi satu sehingga merupakan kawat "bersama". Sistem dua fase lima kawat, skema ini pada dasarnya merupakan system dua fase empat kawat dimana titik tengah dari kedua fase dibebankan dan digabung menjadi kawat kelima. Bilamana beban pada setiap fase seimbang, maka kawat netral tidak dialiri arus listrik. Bila tidak seimbang, netral dilalui arus yang merupakan jumlah vektoral dari arus - arus yang tidak seimbang di kedua fase.

2.3.5 Sistem Arus Bolak Balik Tiga Fase Tiga Kawat

Sistem arus bolak balik yang banyak dipakai adalah tiga fase. Distribusi primer, yaitu tegangan menengah, biasanya memakai tiga fase tiga kawat, sedangkan distribusi sekunder atau tegangan rendah, memakai tiga fase empat kawat. Sistem arus bolak balik tiga fase tiga kawat banyak dipakai pada saluran



distribusi primer. Bahkan sistem ini juga dipakai untuk saluran transmisi tegangan tinggi dan ekstra tinggi. Pada sistem ini, beban dapat berbentuk bintang ataupun delta, yang masing -masing fase diberi suatu tanda. Yaitu R, S dan T, atau U, V dan W. juga sering diberi warna sebagai tanda, yaitu merah untuk R (atau U), kuning untuk S (atau V), dan biru untuk T (atau W). pembumian diberi warna hitam. Beban perlu diusahakan agar sebanyak mungkin seimbang.

Beban dapat juga dipasang antara fase dan fase, akan tetapi hal ini akan banyak berpengaruh pada keseimbangan sistem secara menyeluruh. Pada beban seimbang maka seluruh daya adalah sama dengan tiga kali daya tiap fase. Begitu pula rugi - rugi keseluruhan adalah tiga kali rugi - rugi tiap fase. Sistem ini dapat dibumikan atau tidak. Standar tegangan menengah di Indonesia adalah 20 kV.

2.3.6 Sistem Arus Bolak Balik Tiga Fase Empat Kawat

Sebagaimana dikemukakan sebelumnya, sistem arus bolak balik tiga fase empat kawat dipakai pada distribusi sekunder. Selain fase - fase R,S dan T, terdapat pula kawat netral atau fase O. karena langsung berhubungan dengan pelanggan, yaitu masyarakat, maka untuk keamanan manusia sistem ini senantiasa dibumikan pada fase O. beban pada pemakai kecil biasanya satu fase, yaitu antara fase dan nol. Beban dapat pula dihubungkan antara dua fase, ataupun tiga fase. Dapat dikemukakan bahwa tegangan antara dua fase adalah akar tiga lebih besar dari tegangan antara fase dan nol.

Sebagaimana juga berlaku pada sistem tiga fase tiga kawat, bila beban seimbang, maka daya seluruh sistem adalah tiga kali daya perfase. Karena pada distribusi sekunder para pemakai terbanyak merupakan pelanggan satu fase, maka beban biasanya tidak begitu seimbang dan perusahaan listrik harus senantiasa berusaha untuk secara berkala menyesuaikan penyambungan para pelanggan agar mendekati keseimbangan.



2.3.7 Sistem Arus Bolak Balik Tiga Fase Enam Kawat

Sistem enam fase pada dasarnya terdiri atas dua sistem tiga fase yang dihubungkan demikian rupa sehingga sistem tiga fase kedua bergeser 180° dari sistem tiga fase pertama. Sistem ini biasanya dipakai pada jaringan untuk alat - alat penyearah atau converter sinkron yang menghasilkan arus searah. Converter sinkron juga dipakai untuk memperbaiki faktor daya pada suatu sistem arus bolak balik. Suatu kawat ketujuh, atau netral, dapat diperoleh dengan melakukan hubungan. Sistem ini dapat dimanfaatkan untuk penggunaan - penggunaan distribusi, dengan titik netral dihubungkan dengan titik netral sistem - sistem lain.

2.3.8 Perbandingan Efisiensi Antara Sistem Arus Bolak Balik

Suatu perbandingan relatif antara efisiensi beberapa sistem arus bolak balik, dengan menganggap memiliki beban yang sama dan seimbang, tegangan yang sama antaraa kawat dan ukuran konduktor yang sama, terlihat pada table berikut, dengan mempergunakan rangkaian satu fase dua kawat sebagai perbandingan.

Tabel 2.1 Efisiensi Komparatif Beberapa Sistem Arus Bolak Balik

Jenis Sistem Arus Bolak Balik	Jumlah Konduktor	Rugi – Rugi Daya	Turun Tegangan (Kira-Kira)
Satu Fase 2 Kawat	1.0	1.0	1.0
3 Kawat	1.5	0.25	0.25
Dua Fase 3 Kawat	1.5	0.50	0.50
4 Kawat	2.0	0.25	0.25
5 Kawat	2.5	0.25	0.25
Tiga Fase 3 Kawat	1.5	0.167	0.167
4 Kawat	2.0	0.167	0.167

Sumber: Abdul Kadir, 2000, Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik (Jakarta: UIP, 2000), Hal. 19.



2.4 Komponen Peralatan Jaringan Tegangan Rendah²

Jaringan Distribusi Tegangan Rendah adalah bagian hilir dari suatu sistem tenaga listrik. Melalui jaringan distribusi ini disalurkan tenaga listrik kepada para pemanfaat /pelanggan listrik. Mengingat ruang lingkup konstruksi jaring distribusi ini langsung berhubungan dan berada pada lingkungan daerah berpenghuni, maka selain harus memenuhi persyaratan kualitas teknis pelayanan juga harus memenuhi persyaratan aman terhadap pengguna dan akrab terhadap lingkungan.

2.4.1 Papan hubung bagi tegangan rendah³

Perangkat hubung bagi menurut definisi PUIL, adalah suatu perlengkapan untuk mengendalikan dan membagi tenaga listrik dan atau mengendalikan dan melindungi sirkit dan pemanfaat tenaga listrik. Adapun bentuknya dapat berupa box, panel, atau lemari.

Perangkat hubung bagi ini merupakan bagian dari suatu sistem suplai. Sistem suplai itu sendiri pada umumnya terdiri atas : pembangkitan (generator), transmisi (penghantar), pemindahan daya (transformator). Sebelum tenaga listrik sampai ke peralatan konsumen seperti motor-motor, katup solenoid, pemanas, lampu-lampu penerangan, AC dan sebagainya, biasanya melalui PHB terlebih dahulu.

Panel Perlengkapan Hubung Bagi (PHB) harus memenuhi persyaratan² :

- 1) Kemampuan hantar arus
- 2) Kemampuan hubung singkat
- 3) Kemampuan kondisi klimatik (Tingkat IP)
- 4) Kemampuan mekanis

²Kelompok Kerja Standar Kontruksi Disribusi Jaringan Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia., *Buku 3 : Standar Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik Tegangan Rendah*. (Jakarta: PT. PLN PERSERO, Hal. 20-23)

³ Rio Chandra, *Papan Hubung Bagi*, diakses dari <http://riochandra42.blogspot.com/2010/10/phb-perangkat-hubung-bagi.html>, pada 6 Juni 2014 Pukul 09.36.



Perlengkapan Hubung Bagi dan Kendali (PHB) dipergunakan dari jenis

- 1) Pasangan Luar, dengan kualifikasi IP.45 (Outdoor free Standing)
- 2) Pasangan Dalam, dengan kualifikasi IP.44 (Indoor wall mounting)

Spesifikasi teknis PHB sistem Fasa 3 adalah sebagai berikut :

- 1) Ketebalan plat sekurang-kurangnya 3 mm.
- 2) Kemampuan Hantar Arus (KHA) rel pembagi sekurang-kurangnya 125% dari KHA kabel masuk.
- 3) Arus pengenalan gawai kendali sisi masuk sekurang-kurangnya 115% dari KHA kabel.
- 4) *Short time withstand current* 25 kA selama 0,5 detik (RMS).
- 5) Tingkat keamanan terhadap iklimat sekurang-kurangnya IP 45 atau untuk pasangan luar – outdoor free standing.
- 6) Pengaman sirkit keluar memakai pengaman lebur jenis HRC tipe NH/NT.
- 7) Jumlah sirkit keluar sebanyak-banyaknya 6 buah.
- 8) Jenis rel tembaga.
- 9) Pintu dilengkapi dengan kaca atau bahan tembus pandang.
- 10) Lampu indikator merah kuning biru pada sisi sirkit masuk.
- 11) Panel PHB dihubung tanah / dibumikan.
- 12) Seluruh fisik metal konstruksi di galvanis.

Untuk pemakaian PHB dibagi atas dua jenis:

- 1) PHB Utama dengan kabel sirkit masuk ukuran Cu 95 mm² dan Cu 70 mm².
- 2) PHB Cabang dengan kabel sirkit masuk ukuran Cu 50 mm² dan Cu 25 mm².

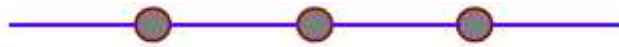


2.4.2 Konstruksi penghantar jaringan tegangan rendah⁴

Dibawah ini adalah beberapa macam-macam konstruksi tiang pada penghantar jaringan tegangan rendah:

2.4.2.1 Konstruksi tiang penyangga (TR-1)

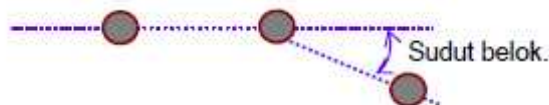
Pada jaringan tegangan rendah yang lurus atau dengan sudut belok maksimum 15 derajat, dipakai konstruksi tiang penyangga atau penggantung kabel.



Gambar 2.10. Konstruksi Tiang Penyangga (TR-1)

2.4.2.2 Konstruksi tiang sudut (TR-2)

Jaringan dengan sudut belok lebih besar dari 15 derajat sampai dengan 90 derajat, dipakai konstruksi TR-2 ini.



Gambar 2.11 Konstruksi Tiang Sudut (TR-2)

2.4.2.3 Konstruksi Tiang Awal (TR-3)

Pada awal jaringan yaitu tempat dipasangnya trafo distribusi, dipakai konstruksi TR-3.



Gambar 2.12 Konstruksi Tiang Awal (TR-3)

⁴Suhadi, dkk., Tehnik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1. Halaman 80-81



2.4.2.4 Konstruksi tiang akhir (TR-3)

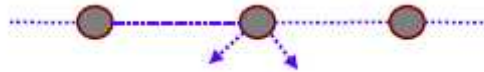
Pada ujung jaringan dipasang konstruksi TR-3



Gambar 2.13 Konstruksi Tiang Akhir (TR-3)

2.4.2.5 Konstruksi tiang penegang (TR-5)

Secara umum pada setiap 5 gawang panjang jaringan lurus diperlukan konstruksi penegang, yang dikenal sebagai konstruksi TR-5



Gambar 2.14 Konstruksi Tiang Penegang (TR-5)

2.4.2.6 Konstruksi guy wire

Seperti halnya pada SUTM, juga pada tiang awal, tiang akhir, dan tiang penegang, dari suatu SUTR diperlukan topang tarik untuk mengimbangi beban vertikal yang bekerja pada tiang.

2.4.2.7 Konstruksi horizontal guy wire

Bila penempatan anchor blok di dekat tiang tersedia, maka dapat di pasang konstruksi ini, sama halnya dengan yang dipakai pada SUTM.

2.4.2.8 Konstruksi strut pole

Dalam suatu kondisi tidak memungkinkan dipasang konstruksi guy wire maupun horizontal guy wire, dipasang suatu konstruksi penyangga yaitu konstruksi Strut Pole.



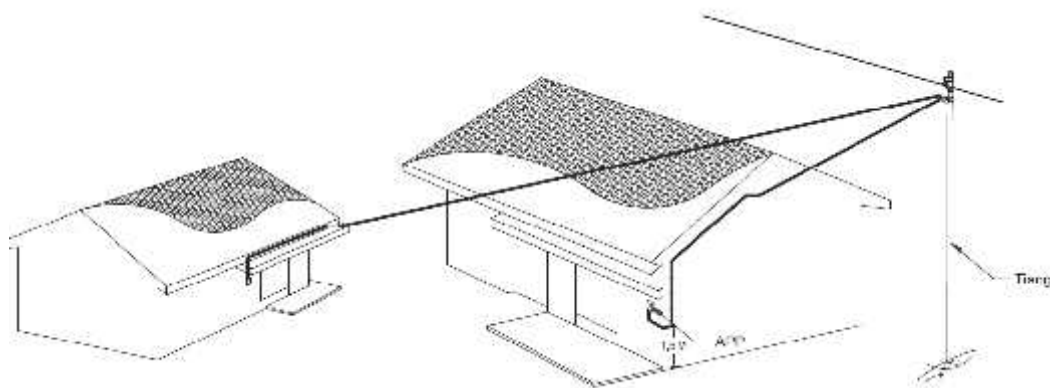
2.4.3 Sambungan rumah⁵

Sambungan rumah berfungsi menghubungkan antara tiang tegangan rendah dengan rumah pelanggan. Hantaran sambungan rumah untuk pelanggan satu fasa menggunakan kabel berisolasi (LVTC) 2X6 mm², sedangkan pelanggan tiga fasa menggunakan kabel berisolasi (LVTC) 4x6 mm² atau 4x10 mm² tergantung besar daya terpasang.

Berdasarkan jenis konstruksi dibedakan sambungan tipe A, Tipe B, Tipe C (pada SPLN No 56 – 1984 disebut tipe D), Tipe D (pada SPLN No 56 – 1984 disebut tipe F), Tipe E (pada SPLN No 56 – 1984 disebut tipe UG), tipe F (APP terpusat pada tiang) dan G (APP terpusat pada bangunan).

2.4.3.1 Konstruksi sambungan tenaga listrik tipe a

Konstruksi tipe A adalah konstruksi sambungan tenaga listrik tanpa memakai tiang atap / dak standar dan di pergunakan jika jarak antara tiang dan bangunan (sambungan luar pelayanan) sampai dengan APP tidak melebihi 30 meter. Sambungan masuk pelayanan tidak mengenai fisik bangunan dan di lindungi dengan pipa PVC tahan mekanis atau sejenis.

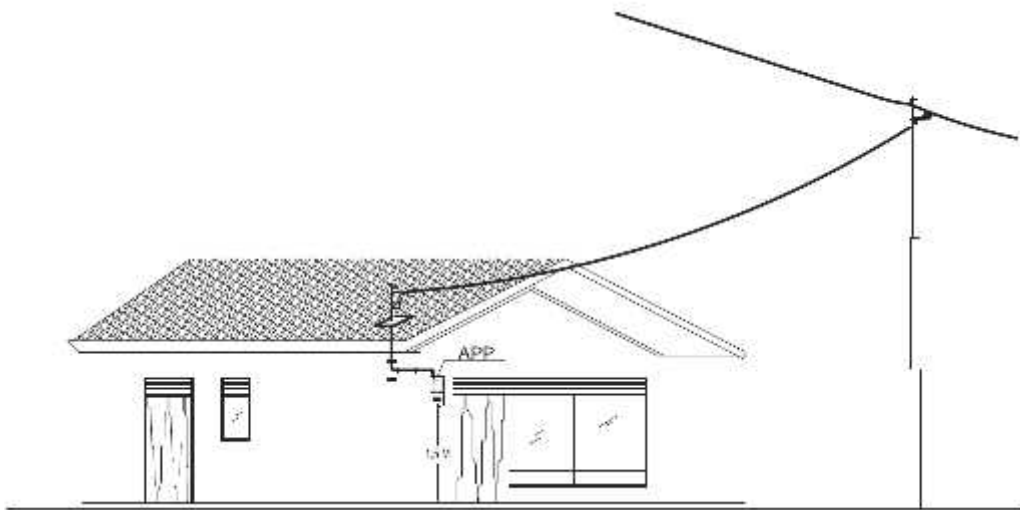


Gambar 2.15 Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik Tipe A

2.4.3.2 Konstruksi sambungan tenaga listrik tipe b

⁵Kelompok Kerja Standar Kontruksi Distribusi Jaringan Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia, Buku 2 : Standar Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik. (Jakarta: PT. PLN PERSERO, Hal. 16-18)

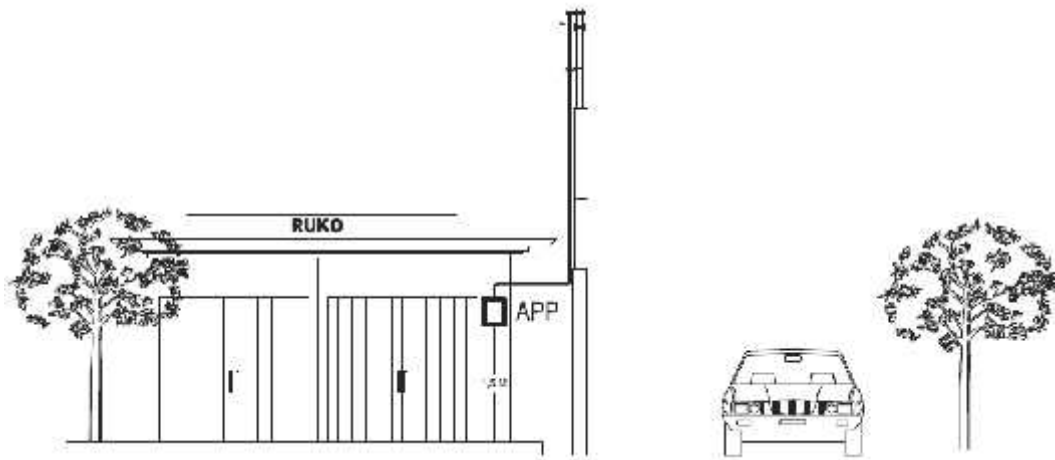
Konstruksi tipe B adalah konstruksi sambungan tenaga listrik memakai tiang atap/dak standar dan di pergunakan apabila jarak aman terhadap lingkungan atau permukaan jalan tidak memenuhi syarat jika memakai sambungan tipe A. Penghantar sambungan masuk pelayanan, diluar pipa dak standar, dilindungi dengan pipa PVC atau sejenis; ujung pipa bagian atas di tutup dengan protective cup dan bagian bawah di tutup dengan cable gland.



Gambar 2.16 Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik Tipe B

2.4.3.3 Konstruksi sambungan tenaga listrik tipe c

Konstruksi tipe C adalah sambungan pelayanan dengan sambungan luar pelayanan mendatar dimana jarak bangunan dan tiang atap sangat dekat (± 3 meter). Umumnya digunakan pada daerah pertokoan/ruko/rukan. Ketentuan mengenai SMP sama dengan Tipe A atau B.

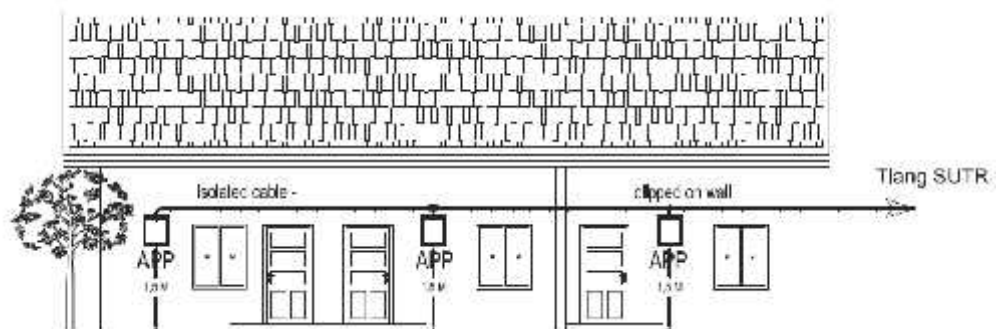


Gambar 2.17 Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik Tipe C

2.4.3.4 Konstruksi sambungan tenaga listrik tipe d

Konstruksi tipe D untuk sambungan tenaga listrik seri pada ruko, rumah petak, toko dan pertokoan atau mall. Sambungan pelayanan memakai kabel jenis NYFGbY atau NYY yang di masukan dalam pipa PVC tahan mekanis. Semua kabel dilindungi secara fisik dari sentuhan tangan. Pada konstruksi ini sadapan pencabangan dapat dilakukan dengan:

- a. T doos atau kotak pencabangan
- b. Konektor/H atau O Pressed Connector atau tipe piercing



Gambar 2.18 Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik Tipe D

2.4.3.5 Konstruksi sambungan tenaga listrik pada tiang melalui kabel bawah tanah tipe e

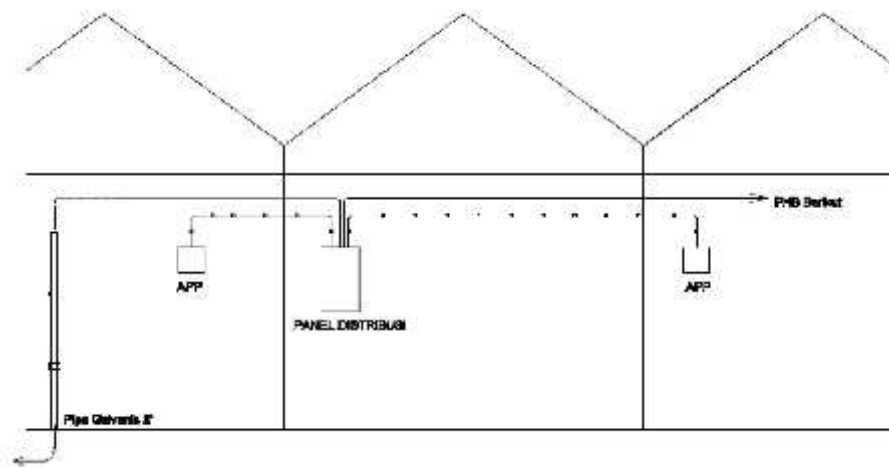
Konstruksi E menggunakan kabel NYFGbY yang ditarik dari tiang SUTR. Ujung kabel pada tiang harus diterminasi. Sambungan ke jaringan harus memakai bimetal joint Al- Cu yang di bungkus dengan heathshrink sleeve. Kabel turun ke tanah diberi pelindung pipa galvanis 1 1/2 inci sepanjang 2,5 meter di atas tanah dan tiap 1,5 meter diikat dengan stainless steel dan link dan protective plastic tape. Selanjutnya persyaratan konstruksi sama dengan persyaratan konstruksi kabel bawah tanah. Kabel naik di dalam bangunan di lindungi dengan pipa galvanis 1 1/2 inci yang diikatkan pada tembok.



Gambar 2.19 Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik Tipe E

2.4.3.6 Konstruksi sambungan tenaga listrik tipe f

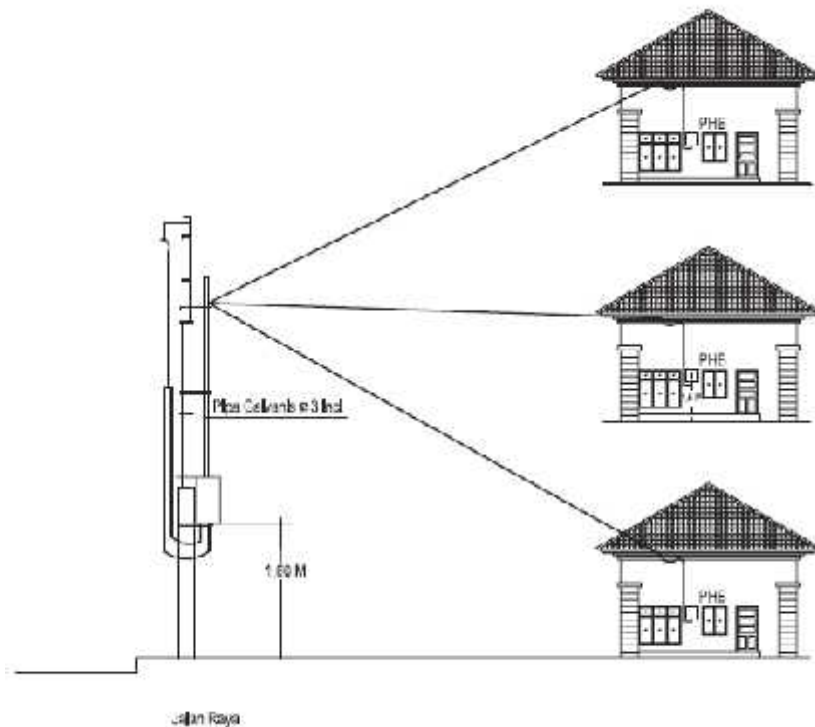
Konstruksi tipe F merupakan sambungan tenaga listrik dengan alat pengukur kWh dan pembatas terpasang terpusat pada tiang untuk beberapa rumah/bangunan.



Gambar 2.20 Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik Tipe F

2.4.3.7 Konstruksi sambungan tenaga listrik tipe g

Konstruksi tipe G sama dengan tipe F, hanya alat pengukur kWh dan pembatas terpasang terpusat pada bangunan.



Gambar 2.21 Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik Tipe G



2.5 Gardu Distribusi⁶

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V). .

Konstruksi Gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan Pemerintah setempat. Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

- a) Jenis pemasangannya:
 - Gardu pemasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol
 - Gardu pemasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios
- b) Jenis Konstruksinya:
 - Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton)
 - Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol)
 - Gardu Kios
- c) Jenis Penggunaannya
 - Gardu Pelanggan Umum
 - Gardu Pelanggan Khusus

Khusus pengertian Gardu Hubung adalah gardu yang ditujukan untuk memudahkan manuver pembebanan dari satu penyulang ke penyulang lain yang dapat dilengkapi/tidak dilengkapi RTU (*Remote Terminal Unit*). Untuk fasilitas ini lazimnya dilengkapi fasilitas DC Supply dari Trafo Distribusi pemakaian sendiri atau Trafo distribusi untuk umum yang diletakkan dalam satu kesatuan.

⁶Kelompok Kerja Standar Kontruksi Disribusi Jaringan Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia, *Buku 4 : Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. (Jakarta: PT. PLN PERSERO, Hal. 23-27)



2.5.1 Gardu Tiang

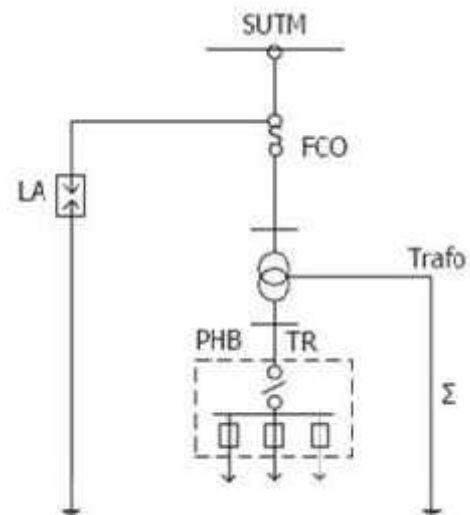
Gardu tiang merupakan gardu distribusi yang dipasang ditiang pada jaringan distribusi. Gardu Tiang umumnya terdiri dari bahan : beton, besi, kayu

2.5.1.1 Gardu portal

Umumnya konfigurasi Gardu Tiang yang dicatu dari SUTM adalah T section dengan peralatan pengaman Pengaman Lebur Cut-Out (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur (*pengaman lebur link type expulsion*) dan *Lightning Arrester* (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir.



(A)



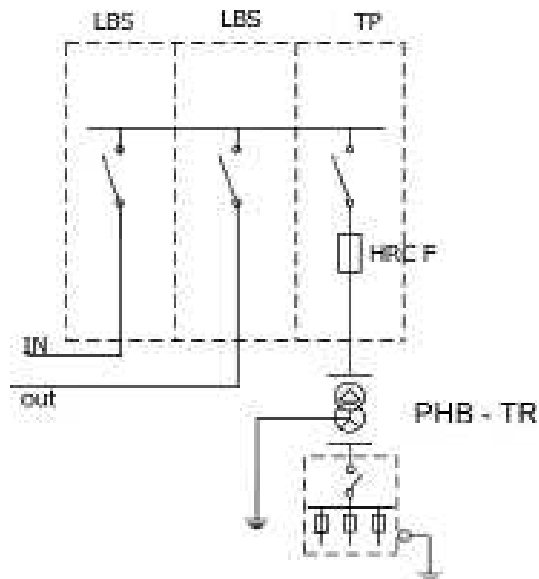
(B)

Gambar 2.22.A. Gardu Portal

B. Bagan Satu Garis Gardu Portal



Untuk Gardu Tiang pada sistem jaringan lingkaran terbuka (open-loop), seperti pada sistem distribusi dengan saluran kabel bawah tanah, konfigurasi peralatan adalah π section dimana transformator distribusi dapat di catu dari arah berbeda yaitu posisi **Incoming – Outgoing** atau dapat sebaliknya.



Gambar 2.23 Bagan satu garis konfigurasi π section pada gardu portal

Guna mengatasi faktor keterbatasan ruang pada Gardu Portal, maka digunakan konfigurasi switching/proteksi yang sudah terakit ringkas sebagai RMU (*Ring Main Unit*). Peralatan switching incoming-outgoing berupa Pemutus Beban atau LBS (*Load Break Switch*) atau Pemutus Beban Otomatis (PBO) atau CB (*Circuit Breaker*) yang bekerja secara manual (atau digerakkan dengan remote control).

Fault Indicator (dalam hal ini PMFD : *Pole Mounted Fault Detector*) perlu dipasang pada section jaringan dan percabangan untuk memudahkan pencarian titik gangguan, sehingga jaringan yang tidak mengalami gangguan dapat dipulihkan lebih cepat.



2.5.1.2 Gardu cantol

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya ≤ 100 kVA Fase 3 atau Fase 1.

Transformator terpasang adalah jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.



Gambar 2.24 Gardu Cantol

Perlengkapan perlindungan transformator tambahan LA (*Lightning Arrester*) dipasang terpisah dengan Penghantar pembumiannya yang dihubungkan langsung dengan badan transformator. Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua Bagian Konduktif Terbuka (BKT) dan Bagian Konduktif Ekstra (BKE) dihubungkan dengan pbumian sisi Tegangan Rendah.

2.5.1.3 Gardu beton

Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan switching/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (masonry wall



building).Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.



Gambar 2.25Gardu Beton

2.5.1.4 Gardu kios

Gardu tipe ini adalah bangunan *prefabricated* terbuat dari konstruksi baja, fiberglass atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu Kios Kompak, Kios Modular dan Kios Bertingkat.



Gambar 2.26Gardu Kios

Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun Gardu Beton.Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas

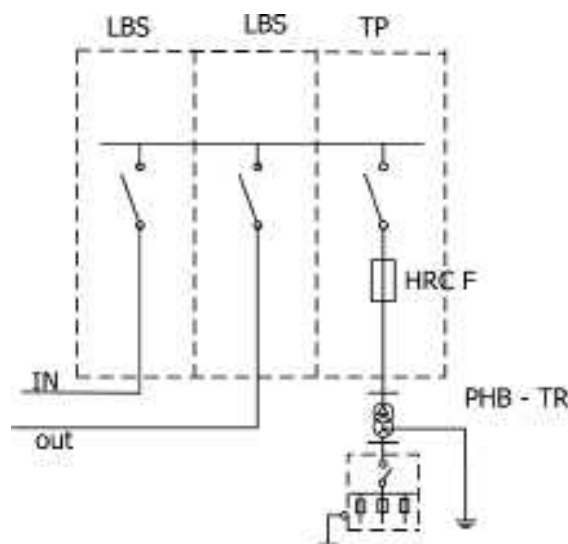


transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400 kVA, dengan 4 jurusan Tegangan Rendah.

Khusus untuk Kios Kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnya di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut kelokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya.

2.5.1.5 Gardu pelanggan umum

Umumnya konfigurasi peralatan Gardu Pelanggan Umum adalah π section, sama halnya seperti dengan Gardu Tiang yang dicatu dari SKTM.



Gambar 2.27 Bagan satu garis konfigurasi π section gardu pelanggan umum

Karena keterbatasan lokasi dan pertimbangan keandalan yang dibutuhkan, dapat saja konfigurasi gardu berupa **T section** dengan catu daya disuplai PHB-TM gardu terdekat yang sering disebut dengan **Gardu Antena**.

Untuk tingkat keandalan yang dituntut lebih dari Gardu Pelanggan Umum biasa, maka gardu dipasok oleh SKTM lebih dari satu penyulang sehingga jumlah saklar hubung lebih dari satu dan dapat digerakan secara Otomatis (**ACOS** : *Automatic Change Over Switch*) atau secara remote control.

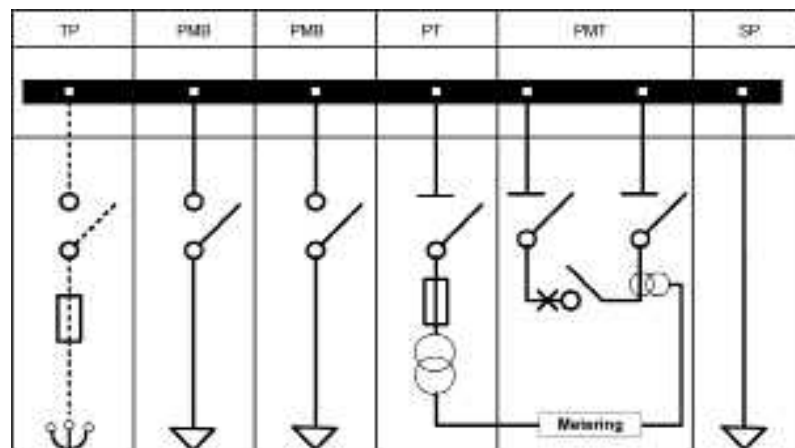
2.5.1.6 Gardu pelanggan khusus



Gardu ini dirancang dan dibangun untuk sambungan tenaga listrik bagi pelanggan berdaya besar. Selain komponen utama peralatan hubung dan proteksi, gardu ini dilengkapi dengan alat-alat ukur yang dipersyaratkan.

Untuk pelanggan dengan daya lebih dari 197 kVA, komponen utama gardu distribusi adalah peralatan PHB-TM, proteksi dan pengukuran Tegangan Menengah. Transformator penurun tegangan berada di sisi pelanggan atau diluar area kepemilikan dan tanggung jawab PT PLN (Persero).

Pada umumnya, Gardu Pelanggan Khusus ini dapat juga dilengkapi dengan transformator untuk melayani pelanggan umum.



Gambar 2.28 Bagan satu garis gardu pelanggan khusus

Keterangan Gambar 2.26 :

- TP = Pengaman Transformator
- PMB = Pemutus Beban – LBS
- PT = Trafo Tegangan
- PMT = Pembatas Beban Pelanggan
- SP = Sambungan Pelanggan

2.5.1.7 Gardu hubung



Gardu Hubung disingkat GH atau Switching Substation adalah gardu yang berfungsi sebagai sarana manuver pengendali beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik, program pelaksanaan pemeliharaan atau untuk maksud mempertahankan kontinuitas pelayanan.

Isi dari instalasi Gardu Hubung adalah rangkaian saklar beban (Load Break switch – LBS), dan atau pemutus tenaga yang terhubung paralel. Gardu Hubung juga dapat dilengkapi sarana pemutus tenaga pembatas beban pelanggan khusus Tegangan Menengah.

Konstruksi Gardu Hubung sama dengan Gardu Distribusi tipe beton. Pada ruang dalam Gardu Hubung dapat dilengkapi dengan ruang untuk Gardu Distribusi yang terpisah dan ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh. Ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh dapat berada pada ruang yang sama dengan ruang Gardu Hubung, namun terpisah dengan ruang Gardu Distribusinya.

2.6 Rugi Energi Listrik (Losses)⁷

Di dalam sistem distribusi tenaga listrik terdapat faktor yang dinamakan susut energi listrik (losses). Losses didefinisikan sebagai suatu bentuk kehilangan energi listrik yang berasal dari selisih sejumlah energi listrik yang dibeli dengan sejumlah energi listrik yang terjual atau jumlah energi yang hilang atau menyusut, terjadi karena sebab-sebab teknik maupun non teknik pada waktu penyediaan dan penyaluran energi

2.6.1 Jenis- jenis susut (losses)

⁷ *Revenue Assurance dan Susut Energi*, diakses dari <http://plnrevenueassurance.wordpress.com/>, <http://plnrevenueassurance.wordpress.com/2013/09/25/revenue-assurance-dan-susut-energi/>, diakses pada 30 Mei 2014 Pukul 09.31



Jenis susut (losses) energi listrik dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

Berdasarkan sifatnya:

- 1 Susut teknis, yaitu hilangnya energi listrik pada saat penyaluran mulai dari pembangkit hingga ke pelanggan karena berubah menjadi panas. Susut teknis ini tidak dapat dihilangkan karena merupakan kondisi bawaan atau susut yang terjadi karena alasan teknik dimana energi menyusut berubah menjadi panas pada jaringan Tegangan Tinggi (JTT), Gardu Induk (GI), Jaringan Tegangan Menengah (JTM) Gardu Distribusi (GD) , Jaringan Tegangan Rendah (JTR), Sambungan Rumah (SR) dan Alat Pengukur dan Pembatas (APP)
- 2 Susut non teknis, yaitu hilangnya energi listrik yang dikonsumsi pelanggan maupun non pelanggan karena tidak tercatat dalam penjual

Berdasarkan tempat terjadinya

- 1 Susut transmisi yaitu hilangnya energi listrik yang dibangkitkan pada saat disalurkan melalui jaringan transmisi ke gardu induk atau susut teknik yang terjadi pada jaringan transmisi yang meliputi susut pada jaringan Tegangan Tinggi (JTT) dan pada Gardu Induk (GI)
- 2 Susut Distribusi yaitu hilangnya energi listrik yang didistribusikan dari gardu induk melalui jaringan distribusi ke pelanggan atau susut teknik dan non teknik yang terjadi pada jaringan distribusi yang meliputi susut pada Jaringan menengah (JTM) Gardu Distribusi (GD) Jaringan Tegangan Rendah (JTR), Sambungan Rumah (SR) serta Alat Pembatas dan Pengukur (APP) pada pelanggan TT, TM dan TR. Bila terdapat jaringan tegangan tinggi yang berfungsi sebagai jaringan distribusi maka susut jaringan ini dimaksudkan sebagai susut distribusi.

Setelah mengetahui definisi susut energi tersebut, diharapkan terjadinya pengertian yang benar tentang revenue assurance itu sendiri. Secara umum dapat dikatakan program penurunan susut energi berbeda dengan program revenue assurance. Meskipun demikian program revenue assurance di PLN juga melakukan rekonsiliasi energi untuk memetakan kebocoran dan mendorong terjadinya perbaikan yang dilaksanakan pada program penurunan susut energi.



2.6.2 Rugi energi listrik (kWh) pada jaringan tegangan rendah

Dalam perhitungan rugi energi pada Jaringan Tegangan Rendah (Sekunder), PT. PLN (Persero) memiliki rumus tersendiri yang dapat dilihat sebagai contoh pada lampiran 7, yang kemudian dapat dirumuskan seperti berikut:

$$(1) \quad \text{Rugi Energi Listrik} = \text{Energi listrik Siap Jual} - \text{Energi listrik terjual..(2.1)}$$

Rumus persentasenya, yaitu:

$$(2) \quad \text{Persentase Rugi Energi Listrik} = (\text{Kwh Susut/ Kwh Siap Salur}) \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Sebelum menghitung rugi energi listrik berdasarkan kedua rumus diatas, terlebih dahulu harus mencari:

Pertama, jumlah energi listrik yang diterima:

$$\text{Jumlah Terima Energi} = \text{Jumlah terima dari A} + \text{Jumlah terima dari B} + \text{Jumlah Terima dari C} + \text{Jumlah terima D} \dots \dots \dots (2.3)$$

Lalu menghitung Energi listrik yang dikirim:

$$\text{Jumlah Kirim Energi} = \text{Jumlah kirim ke E} + \text{Jumlah kirim ke F} \dots \dots \dots (2.4)$$

Menghitung Energi Siap Salur:

$$\text{Energi Siap Salur} = \text{Jumlah Terima Energi} + \text{Jumlah Kirim Energi} \dots \dots \dots (2.5)$$

Selanjutnya mengetahui PS Distribusi dengan cara:

$$\text{PS Distribusi} = 0.09\% \times \text{Energi Siap Salur} \dots \dots \dots (2.6)$$

Langkah terakhir adalah mencari Energi Siap Jual:

$$\text{Energi Siap Jual} = \text{Jumlah Terima Energi} + \text{Jumlah Kirim Energi} - \text{PS Distribusi} \dots \dots \dots (2.7)$$

Atau,

$$\text{Energi Listrik Siap Jual} = \text{Energi Siap Salur} - \text{PS Distribusi} \dots \dots \dots (2.8)$$



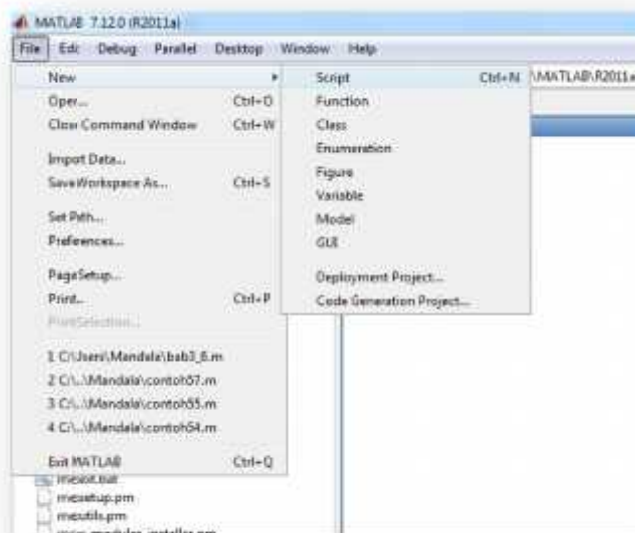
Setelah itu, perhitungan rugi energi listrik dan persentasenya pada JTR Rayon Kenten dapat diketahui berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.2

2.7 Program Matlab⁸

Merupakan singkatan dari MatrixLaboratory yang merupakan bahasa pemrograman yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain yang sudah ada lebih dahulu seperti Delphi, Basic maupun C++. Matlab merupakan bahasa pemrograman level tinggi yang dikhususkan untuk kebutuhan komputasi teknis, visualisasi dan pemrograman seperti komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi dan pemodelan dan grafik-grafik perhitungan.

2.7.1 Menyusun program sederhana

Anda dapat mengedit suatu file text yang tersusun dari beberapa perintah Matlab. Ini dapat dilakukan dengan menekan double-click pads icon "New M-File" icon di Matlab toolbar

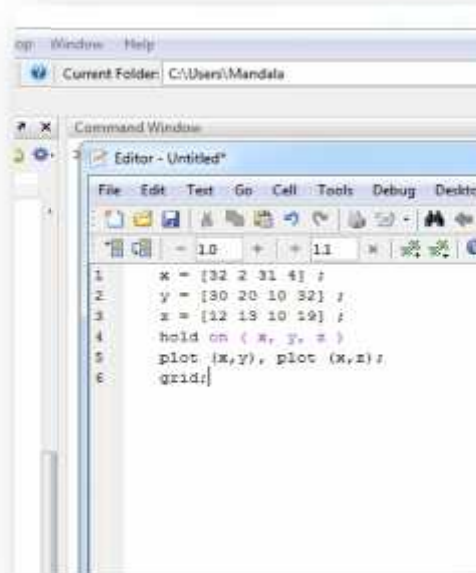


Gambar2.29 Langkah Awal Menyusun Program Sederhana pada Matla

⁸Guntur Sanjaya, Praktikum Matlab, diakses dari <http://www.guntursanjaya.com>, <http://www.guntursanjaya.com/2010/02/praktikum-matlab-pada-sistem-kontrol.html>, Pada tanggal 6 Juni 2014 Pukul 08.30.

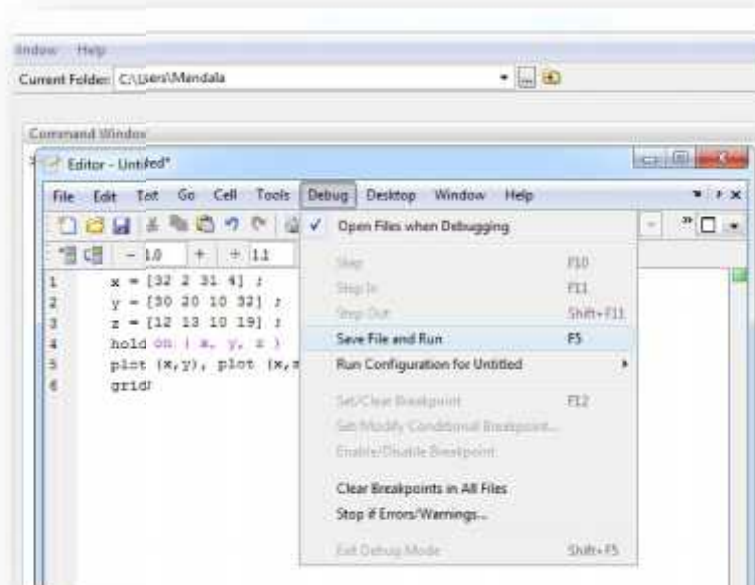


Selanjutnya anda buat program yang diinginkan, sebagai contoh:



Gambar 2.30 Contoh Penulisan Program pada Matlab Edit

Lalu anda save dan jalankan programnya dengan cara:



Gambar2.31 Cara Menyimpan Dan Mengeksekusi Program pada Matlab