



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum¹

LRT Palembang merupakan sistem transportasi yang akan digunakan untuk pergerakan penumpang dari stasiun bandara hingga stasiun Direktoral Jendral Perkerataapian (DJKA). Sistem catu daya untuk LRT Palembang didesain untuk memasok kebutuhan daya listrik yang diperlukan untuk operasional kendaraan LRT, sistem kontrol, komunikasi dan persinyalan di stasiun dan OCC. Operasional kendaraan LRT akan menggunakan tegangan DC 750V, sehingga sistem catu daya akan mengkonversi tegangan AC 20 kV dari gardu PLN menjadi tegangan DC 750V yang diperlukan.

LRT Palembang memiliki panjang total trek dari stasiun bandara sampai dengan stasiun DJKA adalah 23.5 km (*elevated*), di mana jumlah stasiunnya terdapat 13 stasiun dan 9 gardu listrik. Maksimum gradient sepanjang *track* adalah sebesar 20‰ pada *mainline*.

Sistem ini akan menggunakan 3 kereta per train set, untuk layanan komersial dengan total 26 train set (*Appendix E, SIEMENS Palembang LRT Simulation Report, Doc No: GEN-83PO00219-E0001*). Untuk perawatan kereta dilakukan di area depot yang letaknya bersebelahan dengan station depot. Semua kegiatan perawatan kereta akan dilakukan di tempat ini.

2.2. Sistem Distribusi

2.2.1. Pengertian Sistem Distribusi²

Sistem distribusi mengambil daya dari gardu atau langsung dari saluran transmisi. Tegangan saluran distribusi lebih rendah bila dibandingkan dengan saluran transmisi agar tidak membahayakan pada waktu melintasi jalan – jalan

¹ Edo Sumageka, *Detail Design Power Supply System LRT Palembang*, (Palembang : PT.LEN Industries, 2017), hlm. 3

² Prof. Ir. Budiono Mismail, M.S.E.E., Ph.D, *Dasar Teknik Elektro Sistem Tenaga Dan Telekomunikasi*, (Univevrsitas Brawijaya Press, 2011), hlm. 739-740



di kota (sistem distribusi primer). Selanjutnya tegangan itu akan diturunkan ke tegangan yang langsung dapat dipakai oleh pelanggan pada sistem distribusi sekunder.

Seperti halnya dengan saluran transmisi, saluran distribusi juga ada dua jenis yaitu, saluran udara yang diletakkan di tiang listrik dan saluran bawah tanah. Cara penyaluran daya dari gardu distribusi ke beban bergantung kepada macam pelanggan yang dilayani. Beberapa macam itu antara lain adalah beban industri, beban komersial, beban perumahan dan listrik pedesaan.

Pabrik besar dan industri yang lain umumnya memerlukan daya yang sangat besar. Beban besar itu sering dilayani dengan memberikan satu gardu distribusi di tempat industri itu berada. *Transformator* yang digunakan dipilih berdasarkan kebutuhan beban industri tersebut.

Untuk beban yang relatif terpisah, seperti gedung komersial besar, pusat perbelanjaan, universitas, atau rumah sakit, daya diambil melalui jaringan tegangan menengah dari gardu distribusi itu diturunkan dengan *transformator* di dekat beban komersial tersebut.

2.2.2. Gardu Distribusi³

Gardu Distribusi tenaga listrik adalah suatu bangunan gardu listrik yang dipasok dengan tegangan menengah 20 kV dari saluran kabel tegangan menengah atau saluran udara tegangan menengah. 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 pelanggan baik dengan tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/330V).

2.2.3. Transformator Daya⁴

Transformator Daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.

³ Bambang Soeroso, *Identifikasi Gardu Distribusi Tenaga Listrik Di Kota Manado Berbasis Sistem Informasi Geografis*, (Manado : E-Journal Teknik Elektro dan Komputer, 2016), hlm.2

⁴ Sigi Syah Wibowo, *Analisa Sistem Tenaga*, (Malang : Polinema Press, 2016), hlm.31



Dalam operasi penyaluran tenaga listrik *transformator* dapat dikatakan jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu *transformator* diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bisa secara terus menerus tanpa berhenti).

Berdasarkan tegangan operasinya dapat dibedakan menjadi *transformator* 500/150 kV dan 150/70 kV biasa disebut *Interbus Transformator (IBT)*. *Transformator* 150/20 kV dan 70/20 kV disebut juga trafo distribusi. Titik netral *transformator* ditanahkan sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan/proteksi, sebagai contoh *transformator* 150/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV dan *transformator* 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan rendah atau tahanan tinggi atau langsung di sisi netral 20 kV nya.

Adapun *transformator* yang digunakan di gardu traksi LRT Sumsel adalah trafo penurun tegangan, yang menurunkan tegangan 20 kV dari PLN menjadi 590 V AC. LRT Sumsel memiliki 2 *transformator* pada setiap gardu traksinya, satu sebagai trafo utama, dan yang lainnya sebagai trafo cadangan.

Transformator harus dirancang untuk operasi terus menerus pada daya *ratingnya* tanpa melebihi batas kenaikan suhu pada kelas H pada belitan HV dan kelas H pada lilitan LV (115/115).

Transformer harus berupa trafo penyearah tipe kering *cast resin* untuk aplikasi traksi kereta api. Trafo traksi harus memiliki *rating* yang cukup untuk memasok beban penuh. Nilai pembebanan penuh *transformator* traksi harus digunakan untuk mengakomodasi beban abnormal pada saat antrian kereta atau kondisi abnormal pada penyulang DC ke sistem rel ketiga.¹

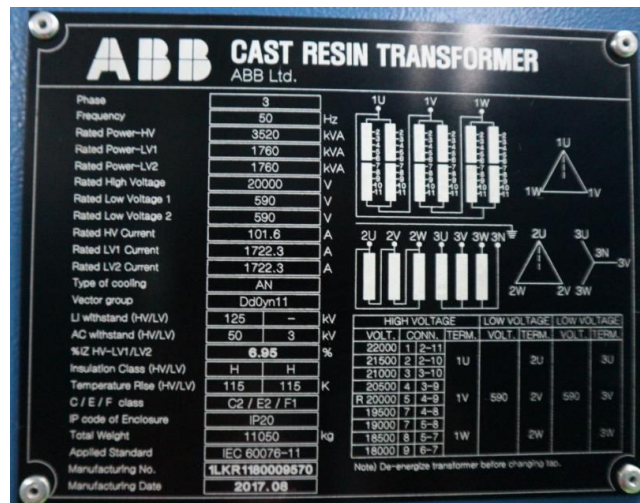
Setiap *transformator* traksi harus dirancang sesuai dengan persyaratan kinerja minimum sebagai berikut: ¹

- a) 100% continuous
- b) 150% beban lebih – 120 menit
- c) 200% beban lebih – 5 menit
- d) 300% beban lebih – 1 menit



Gambar 2.1 Transformator

Adapun spesifikasi dari transformator pada gardu traksi LRT Sumsel dapat dilihat dari gambar di bawah ini:



Gambar 2.2 Spesifikasi transformator LRT Sumsel

2.2.4. Silicon Rectifier⁵

Silicon Rectifier merupakan suatu unit peralatan yang berfungsi sebagai pengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC).

⁵ Prof. DR. Zuhul M.Sc.EE *Prinsip Dasar Elektronik*, (Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama,2004), hlm. 111

Terdapat beberapa jenis rangkaian penyearah,, yang masing-masing jenis memberikan hasil yang berbeda-beda terhadap bentuk tegangan DC yang keluar. Perbandingan antara tegangan DC yang keluar terhadap tegangan AC yang ikut serta pada hasil *output* dinamakan faktor *ripple*.

Adapun pada gardu traksi di LRT Sumsel digunakan dua *Silicon Rectifier* (SR1). SR 1 digunakan sebagai SR utama sedangkan SR 2 digunakan sebagai SR cadangan apabila SR 1 mengalami kerusakan.

Silicon Rectifier yang dipakai di gardu traksi LRT Sumsel menggunakan *Silicon Rectifier ABB Poland*, dengan nilai tegangan input 3540 V AC dan tegangan *output* 750 V DC. Adapun spesifikasi lengkap dari *Silicon Rectifier* dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah.



Gambar 2.3 *Silicon Rectifier* Tampak luar



Gambar 2.4 *Silicon Rectifier* Tampak Dalam



Gambar 2.5 Spesifikasi *Silicon Rectifier*



2.2.5. High Speed Circuit Breaker (HSCB)⁶

Sebuah peralatan listrik yang dirancang sedemikian rupa untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik pada *supply* kereta LRT secara cepat dengan menggunakan sistem *elektromagnetis*. Dalam proteksinya settingan arus di atur menurut fungsinya dalam kisaran 2 – 8 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 500 – 900 V DC. HSCB juga menggunakan sistem *Arc Chute* dengan cara memecah atau meredam busur api yang timbul akibat terhubungnya atau terputusnya *Main Contact* dengan *Fixed Contact* melalui keramik yang disusun di atasnya.

Kompartemen *Circuit breaker* (CB) terdiri dari *trolis circuit breaker*, bagian mekanik untuk mekanisme penguncian, rel kereta *trolis*, *trolis earthing* kontak. Pada *trolis* yang dapat ditarik terpasang *circuit breaker*. Peralatan pengukuran terpasang secara *shunt* dengan kabel. Kabel alat uji, peralatan kontrol *circuit breaker*. *Trolley* yang dapat ditarik dapat dengan mudah digeser antara posisi “*service*” dan “*test*” dengan mekanisme yang sesuai. Posisi CB dan *trolis* yang dapat ditarik terlihat melalui kaca di pintu *kompartemen* CB.

Impuls Counter (tanpa reset) dipasang untuk melaporkan jumlah CB saat *trip* (fungsi ini juga tersedia ke unit display jika tersedia). Pada saat pengujian, kontak utama CB dipisahkan dari Busbar dan kabel *feeder*. *Self-activated closing shutters* disediakan antara *kompartemen* CB dan *kompartemen* kabel sebagai proteksi untuk mencegah sentuhan saat kontak CB terbuka. *Shutter* ditutup saat *trolis* dalam kondisi “*Test*”. Dalam kondisi tertutup, *shutter* akan terkunci. Peluncuran *shutter* yang tidak disengaja atau menekan kontak “*opening*” dari sisi depan dicegah. Jika *shutter* terkunci, maka tidak akan bisa memasukkan *trolis* HSCB. Setelah mencabut *Auxiliary connector*, keluar dari posisi “*test*”, maka *trolis* dapat ditarik sepenuhnya dan dapat dipindahkan tanpa alat tambahan. *Kompartemen* CB dapat di akses. Busbar tertutup dan aman dari kontak. Setelah menarik *trolis* secara sempurna, maka pintu dapat ditutup dan dikunci. Pintu ini memungkinkan akses ke *trolis* dan ke *kompartemen* CB dihubungkan dengan posisi *trolis*. Pintu diblokir dalam posisi tertutup ketika *trolis* berada dalam posisi servis atau selama *trolis* berada

⁶ Mohamed E. El-Hawary, *Electrical Railway Transportation Systems*, (New Jersey : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2018).

dalam posisi tengah antara posisi *service* dan posisi *test*. Pintu dapat dibuka dalam posisi uji untuk mengekstrak troli, namun harus ditutup agar bisa menggeser troli di posisi servis. Gerakan troli di dalam panel hanya memungkinkan dengan keadaan saat CB terbuka. Operasi CB tidak mungkin dilakukan kecuali jika berada dalam posisi yang telah ditentukan.¹



Gambar 2.6 *High Speed Circuit Breaker*

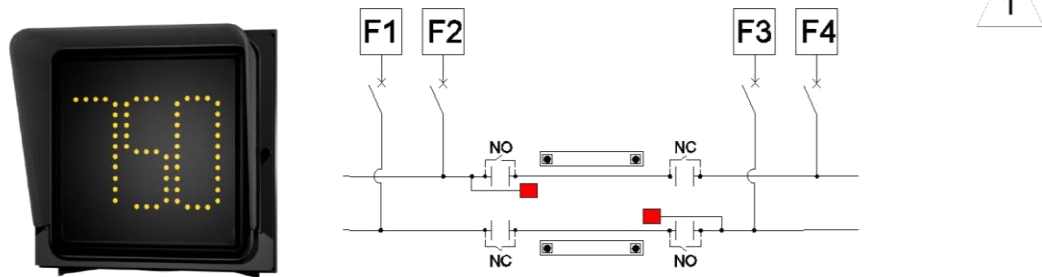
2.3 Pengertian *Mainline*

Mainline Atau petak jalan adalah bagian dari lintas kereta antar stasiun yang berurutan atau berdekatan. Dimana di *mainline* tersebut terdapat peralatan *power system* yang dirancang untuk mensuplai tegangan ke sarana penggerak LRT dan mengamankan peralatan di *mainline* tersebut. Adapaun peralatan *mainline* tersebut sebagai berikut.

2.3.1 Lampu Indikator 750 VDC

Lampu indikator untuk sistem 750 VDC merupakan komponen yang dipasang di bagian *third rail* yang bertujuan untuk kepentingan *safety*. Lampu indikator ini akan memberikan informasi adanya aliran listrik kepada petugas LRT (masinis, *maintenance*) sehingga mereka dapat lebih berhati-hati melintasi daerah *track*. Fungsi lebih lanjut dari lampu indikator ini ialah memberikan informasi tegangan di *thirdrail* pada saat terjadi gangguan dimana saat terjadi gangguan daerah yang

seharusnya tidak bertegangan dapat teraliri listrik akibat *short* dari kereta maupun dari DS.



Gambar 2.7 Lampu Indikator 750VDC, Posisi lampu indikator di *track*
2.3.2 Third Rail

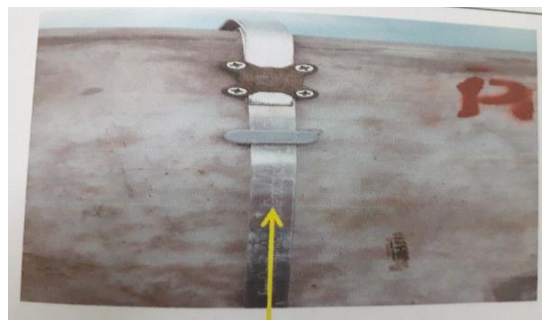
Third rail atau rel ketiga adalah media untuk mengalirkan arus positif sebagai sumber tegangan untuk menggerakkan kereta



Gambar 2.8 *Third Rail*

2.3.3 Aluminium Tap

Aluminium Tap adalah sebagai *Grounding* Peralatan *mainline* apabila terjadi induksi dari peralatan dan sambar petir.



Gambar 2.9 Aluminium Tap

2.3.4 Kabel PDS

Kabel $3 \times 35 \text{mm}^2$ digunakan untuk PDS (*Power Distribution System*) yang akan memasok daya stasiun dan diplo dari gardu traksi. Kapasitas kabel didesain untuk mampu memasok daya ke stasiun, baik untuk sistem kontrol, komunikasi, dan persinyalan stasiun dan diplo. Spesifikasi kabel 20kV N2XSEBY $3 \times 35 \text{mm}^2$ dapat dilihat pada Tabel 3.3

1. Conductor

Round stranded compacted annealed Copper wire (em) Provided with non-conductive water sealing material

2. Conductor Screen

Semi-conductive compound

3. Insulation

Cross-linked polyethylene (XLPE)

Colour : Natural

4. Insulation Screen

Semi-conductive compound (strippable)

5. Water Blocking

Semi-conductive water blocking tape, Helical, Overlap

6. Metallic Screen

Copper tape, helical, overlap

7. Water Blocking

Non-conductive water blocking tape, Helical, Overlap

8. Identification of cores

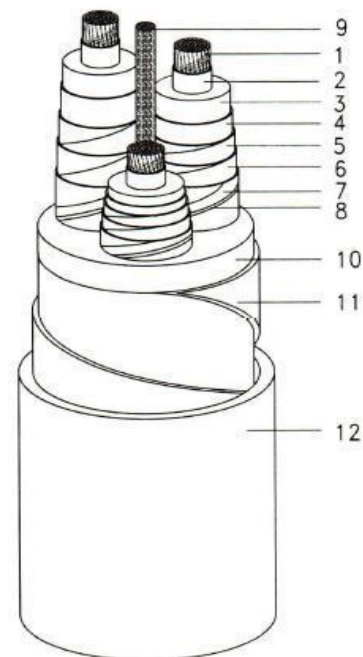
Polyethylene (PE) strip

Colour : Red – Yellow – Blue

9. Filler

Non hygroscopic

10. Inner sheath



Polyvinyl chloride (PVC)

Colour : Black

a. Armour

Double Galvanized steel tape, Helical, Gap

b. Outer sheath

Polyvinyl chloride (PVC), UV Resistant, Anti Rodent Flame

Retardant , Colour : Red

Tabel 2.1 Spesifikasi kabel 20kV N2XSEBY 3×35mm²

Spesifikasi	Definisi
Standar	IEC 60502
Rating tegangan	12/20 kv
Isolasi	XLPE
Insulation screen	Extrude Semi Conductor Compound
Water blocking layer	Non conductive water blocking
Konduktor	Cooper
Maks DC resistansi pada 20° C/ mm ²	0.524 Ω/km
Rating hubung singkat	5.18 kA untuk 1 detik

2.3.5 Kabel NYY SCCS

Kabel SCCS adalah kabel yang digunakan untuk penghantar dari arus liar kabel ini berjenis NYY

Kepanjangan dari kabel NYY ,yaitu

N = Kabel inti tembaga

Y = isolasi PVC

Y = Selubung luar isolasi PVC

Kabel NYY adalah kabel dengan inti tembaga berisolasi PVC,dengan inti tunggal atau lebih dari satu ,dengan selubung luar PVC, kabel ini dirancang untuk instalasi tetap di dalam tanah atauun berbagai kondisi seperti di *outdoor* yang dimana harus tetap dibrikan perlindungan khusus misalnya dust, pipa PVC atau pipa besi ,terutama pada aliran listrik tegangan tinggi kabel kabel NYY dapat di tempatkan di dalam dan di luar ruangan ,dalam kondisi lembab ataupun

kering jenis kabel NYY ini sudah dilengkapi dengan anti gigitan tikus dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.10 Kabel NYY SCCS

2.3.6 *Box* SCCS

Box SCCS adalah terminal tempat penghubung kabel SCCS terletak diantara *track* 1 dan *track* 2 dimana terminal *box* SCCS ini di dalamnya terdapat busbar.yang menghubungkan antara kabel SCCS dari *track* 1 dan *track* 2 selain itu terminal *box* ini juga berfungsi sebagai pelindung dari cuaca baik hujan maupun panas .



Gambar 2.11 *Box* terminal SCC

2.3.7 *Master Grounding Line*

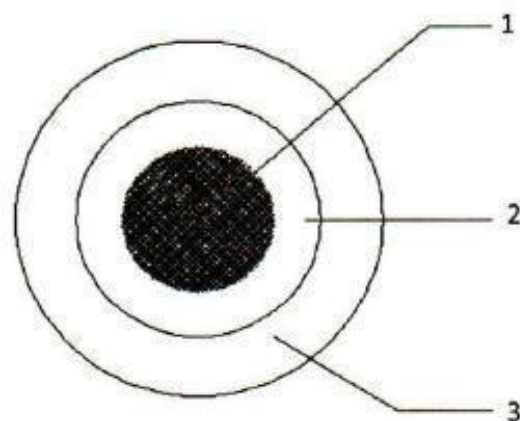
Sebagai pengaman untuk peralatan yg ada di *mainline* yg disebabkan oleh petir, induksi dan tegangan liar dari peralatan dan melakukan pembagian dalam menyalurkan *residu* ke titik *grounding* yang terdekat ada di tiang bangunan LRT



Gambar 2.12 Master Grounding Line

2.3.8 Kabel Outgoing atau Power Feed

Kabel ini digunakan untuk menyambung *output DC switchgear ke third rail* yang akan memasok kendaraan LRT. Jenis kabel yang digunakan adalah yang memiliki *extra-flexible stranding* (class 5) dan menggunakan *flexible insulation material* (non XLPE). Kapasitas kabel didesain mampu untuk memasok seluruh kendaraan LRT pada kondisi *ultimate*. Spesifikasinya ditunjukkan pada Tabel 3.7.



Gambar 2.13 Konstruksi Kabel LV 750VDC 1×300mm²

Keterangan:

a. *Conductor*

Sd Flexible annealed copper wire (f)

b. *Insulation*

Colour : Black

c. *Outer sheath*

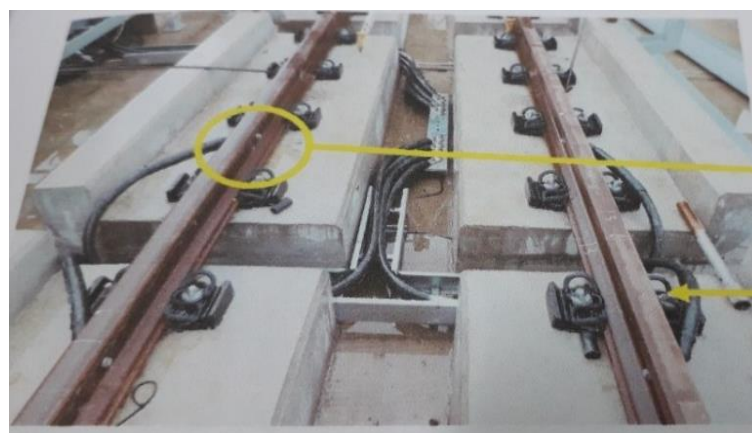
Low Smoke Zero Halogen (LSZH), flame retardant, UV resistant & anti rodent Colour : Black

Tabel 2.2 Spesifikasi kabel 750VDC LSZH 1×300mm²

Spesifikasi	Definisi
Standar	IEC 60228
Rating tegangan	1.8/3 kv
Isolasi	Non XLPE
Konduktor	<i>Cooper</i>
Rating hubung singkat	34.79 ka untuk 1 detik
Fitur	<i>Anti uv, flame retardant, low smoke zero halogen</i>

2.3.9 Kabel Negatif

Kabel Negatif adalah media yang berfungsi sebagai saluran untuk melakukan proses *looping* tegangan/ arus dalam sistem kelistrikan kereta.



Gambar 2.14 Kabel Negatif

2.3.10 Panel Negatif

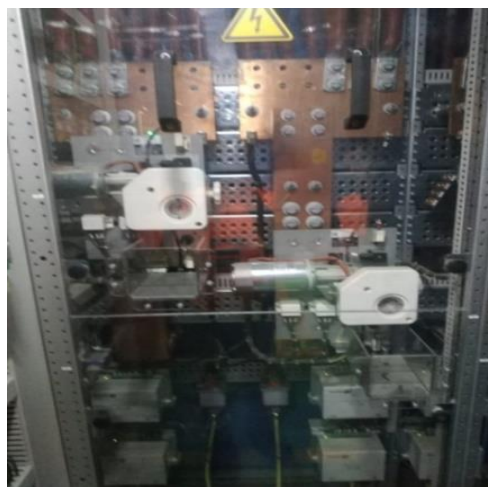
Panel Negatif adalah sebuah perangkat yang berfungsi untuk sebagai perantara untuk melakukan proses *looping* tegangan/ arus dalam sistem kelistrikan LRT SumSel.



Gambar 2.15 Panel Negatif

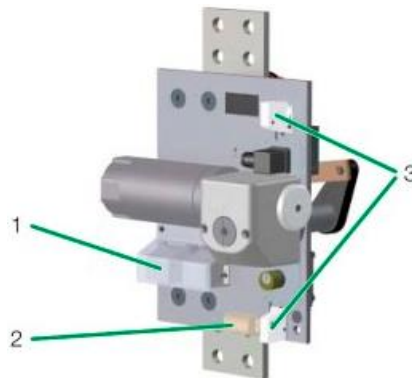
2.3.11 *Disconnecting Switch (DS)*

Pemisah (PMS) atau *Disconnecting Switch (DS)* adalah sebuah alat yang dipergunakan untuk menyatakan secara visual bahwa suatu peralatan masih tersambung atau sudah bebas dari tegangan kerja.



Gambar 2.16 *Disconnecting Switch*

Dari penjelasan itu, dapat diketahui fungsi dari DS adalah sebagai saklar pemisah rangkaian listrik tanpa arus beban (memisahkan peralatan listrik dari peralatan lain yang bertegangan), dimana pembukaan atau penutupan PMS ini hanya dapat dilakukan dalam kondisi tanpa beban. Pada Gardu ini DS yang digunakan adalah *Motorized Electrical Mode* dengan tipe SWS 18.40 MO 1P.



Gambar 2.17 Keterangan *Disconnecting Switch*

Keterangan Gambar 3.4. :

1. Terminal tempat menghubungkan kabel dari sakelar bantu pada sirkit utama.
2. Terminal tempat menghubungkan kabel dari motor pengendali DS.
3. Terminal tempat menghubungkan kabel dari sakelar bantu pada kunci opsional.

2.3.12 Voltage Limiting Device

Pada sistem perkeretaapian listrik kenaikan tegangan antara rel dengan tanah dapat terjadi karena operasi normal atau karena terjadinya hubungan singkat. Peningkatan tegangan tersebut dapat menyebabkan potensi bahaya bagi *operator* dan penumpang. Oleh karena itu, sebuah perangkat pembatas tegangan harus dipasang antara rangkaian balik dan struktur pembumian (EN 50122-1) untuk mencegah adanya tegangan sentuh yang berbahaya.

VLD adalah peralatan dengan fungsi untuk menjaga agar tegangan antara rel dengan tanah tetap sama dan juga sebagai peralatan pembatas tegangan ketika telah mencapai lebih setting proteksinya.



Gambar 2.18 *Voltage Limiting Device* Tampak Depan



Gambar 2.19 *Voltage Limiting Device* Tampak Dalam

2.4 *Distribution Supply Substation (DSS)*

Distribution Supply Substation (DSS) adalah peralatan catu daya bagian dari sistem distribusi daya yang berada di *signal* berfungsi untuk mengubah tegangan masukan 20 KV AC menjadi tegangan 380/220V AC yang digunakan untuk mensuplai peralatan persinyalan, telekomunikasi dan peralatan pendukung lainnya.

Adapun Peralatan-peralatan pada *Distribution Supply Substation* (DSS) yang digunakan sebagai berikut.

2.4.1 *Load Break Switch*

Load Break Switch (LBS) merupakan suatu alat pemutus atau penyambung sirkuit pada sistem distribusi listrik dalam keadaan berbeban. LBS mirip dengan alat pemutus tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) dan biasanya dipasang dalam saluran distribusi listrik. LBS digunakan untuk pemutusan lokal apabila terjadi gangguan atau ingin dilakukan perawatan jaringan distribusi pada daerah tertentu sehingga daerah yang tidak mengalami gangguan atau perawatan tidak mengalami pemadaman listrik. Pada saat terjadi bencana atau gangguan listrik, seperti gempa, angin ribut, pohon tumbang, dan lain-lain sering terjadi gangguan pada jaringan distribusi seperti kabel tumbang. Pada kasus seperti itu diperlukan tindakan yang cepat dalam memutuskan saluran listrik untuk menghindari bahaya yang dapat ditimbulkan.

Berikut adalah Foto *Load Break Switch* (LBS) yang digunakan LRT Sumsel :



Gambar 2.20 *Load Break Switch*



2.4.2 Auxiliary Transformator

Trafo yang dirancang adalah trafo tiga fasa dengan tipe kering yang di *casting* dengan *isolasi epoxy resin* mengacu standar IEC60076-11, trafo di desain lebih kompak dan cocok untuk instalasi di dalam ruangan. Rating daya di dalam satuan kVA untuk setiap posisi *step* sadapan dan rasio tegangan nominal trafo tanpa beban adalah 20000/380 Volt dengan sistem frekuensi 50 Hz.

Pemilihan trafo kering mempunyai beberapa kehandalan sebagai berikut :

- Tahan api : kumparan cor dengan *epoxy resin* dengan karakteristik tidak mudah terbakar
- Kemampuan terhadap hubung singkat lebih tinggi : kumparan cor dengan *epoxy resin* dengan kekuatan elektrik dan mekanik yang tinggi diproduksi dalam suatu struktur yang kuat terhadap kekuatan elektro *mechanical* yang terjadi selama hubungan singkat, dampak eksternal, dan getaran yang abnormal.
- *Moisture Proof* : Kumparan cor dengan epoxy resin memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi dan tidak akan mengalami kerusakan properti dielektrik karena kelembaban dan efek penuaan bahan isolasi, bahkan setelah jangka panjang tanpa pemeliharaan.
- *Maintenance* Lebih Mudah : tidak ada pemeriksaan tegangan tembus oil (*purifikasi oil*), hanya membersihkan debu dipermukaan resin.

Berikut adalah Foto *Auxiliary Transformator* (ATR) yang digunakan LRT Sumsel di Stasiun Cinde :



Gambar 2.21 Auxiliary Transformator



Gambar 2.22 Name Plate Auxiliary Transformator



2.4.3 Panel Change Over Switch

Changeover Switch atau yang sering disebut COS atau Ohm Saklar adalah alat listrik yang digunakan untuk memindahkan daya listrik dari sumber listrik utama (PLN) dengan sumber listrik cadangan (Genset) dan sebaliknya. *Change over Switch* ini merupakan alat listrik yang penting untuk pemasangan instalasi dengan genset. *Change over switch*, dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu *change over switch* manual dan *change over switch motorized*.

2.4.3.1 Change Over Switch Manual

Change over switch manual akan berfungsi memindahkan daya listrik dengan dioperasikan secara manual, yaitu memutar *handle* ohm saklar ke arah PLN atau Genset. *Change over Switch* Manual memiliki pilihan *ampere* yang lengkap, mulai dari 16 Ampere hingga 1250 Ampere, yang dapat disesuaikan dengan daya listrik PLN dan daya genset yang digunakan. Untuk pemasangan saklar genset di rumah, dapat menggunakan *Wisenseimer change over switch* tipe GZ yang sudah dilengkapi dengan *box*, untuk mempermudah instalasi listriknya. *Change over Switch* dengan *box*, tersedia pilihan 16 Ampere, 25 Ampere, 32 Ampere, 40 Ampere, 63 Ampere dan 100 Ampere. *Change over switch* manual tanpa *box*, pada umumnya digunakan untuk dirakit pada Panel *Change Over Switch* dan memiliki pilihan *ampere* yang lebih besar. Tersedia pilihan lengkap mulai dari 160 *Ampere* hingga 1250 *Ampere* dari merek *Socomec* dan *Wisenseimer*.

2.4.3.2 Change Over Switch Motorized

Apabila menginginkan pemindahan daya listrik secara otomatis antara PLN dan Genset, dapat menggunakan *Change Over Switch Motorized*. *Changeover Switch* ini dilengkapi dengan motor yang dapat memindahkan daya secara otomatis tanpa perlu memutar handel ohm saklar tersebut. *Changeover Switch Motorized* pada umumnya dirakit pada panel ATS-AMF (*Automatic Transfer Switch - Automatic Mains Failure*). Dengan *change over switch motorized* dan panel ATS-AMF, apabila listrik PLN padam, maka panel akan menyalakan genset dan memindahkan *change over switch* ke genset secara otomatis, dan sebaliknya, setelah listrik PLN menyala kembali, maka panel akan mematikan genset dan mengembalikan posisi COS ke PLN secara otomatis. *Change Over Switch*

Motorized pada panel ATS-AMF cocok digunakan di rumah sakit, data center, kantor kepolisian, pemadam kebakaran dan tempat lain yang memerlukan supply daya listrik terus menerus dimana pemadaman listrik yang lama dapat menyebabkan kerugian yang signifikan. Tersedia Pilihan merek *Wisnheimer* dan *Socomec*, dengan pilihan dari 100 A hingga 3200 A.

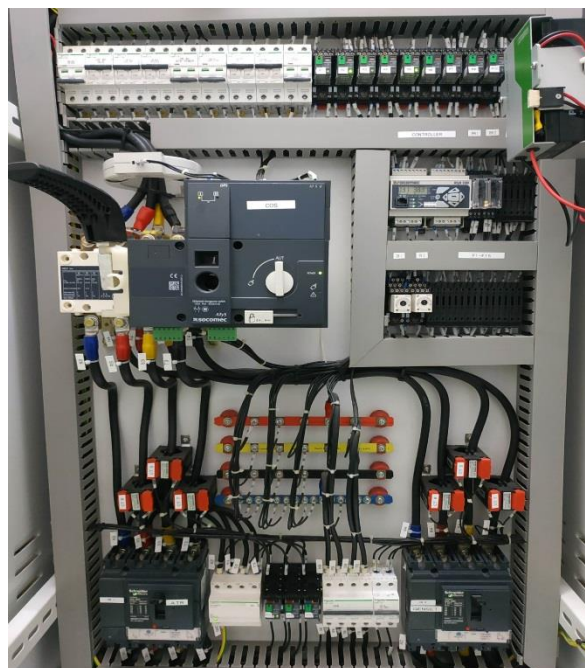
Berikut adalah foto *Panel Change Over Switch* yang digunakan LRT Sumsel di Stasiun Cinde :



Gambar 2.23 Panel *change over switch*



Gambar 2.24 Isi panel *change over switch*

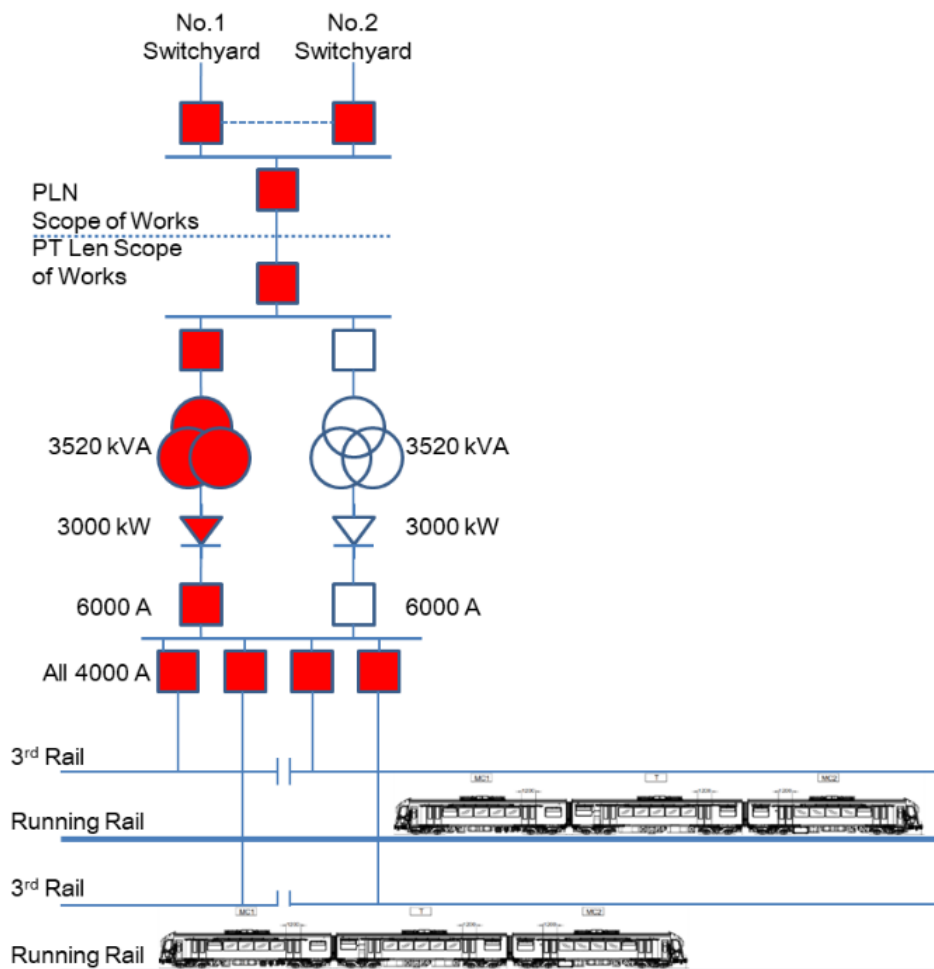


Gambar 2.25 Isi panel *change over switch*

2.5 Sistem Kelistrikan LRT Sumsel⁷

2.5.1 *Single Line Diagram* Pada Gardu Traksi Yang Mensuplai ke Kereta

Adapun gambar *Single Line Diagram* di bawah ini saya dapatkan dari buku panduan milik PT. KAI LRT Sumsel.



Gambar 2.26 *Single Line Diagram* Gardu Traksi Yang Mensuplai ke Kereta

Adapun penjelasan proses penyuplaian daya dari gardu traksi ke kereta adalah sebagai berikut :

Tegangan 20 kV dari PLN masuk ke panel 20 kV gardu traksi melalui panel *incoming*. Kemudian melalui panel *outgoing* RTR 1 dan panel *outgoing* RTR 2

⁷ Power System Profile PT. Kereta Api Indonesia (Persero), slide 1-3.

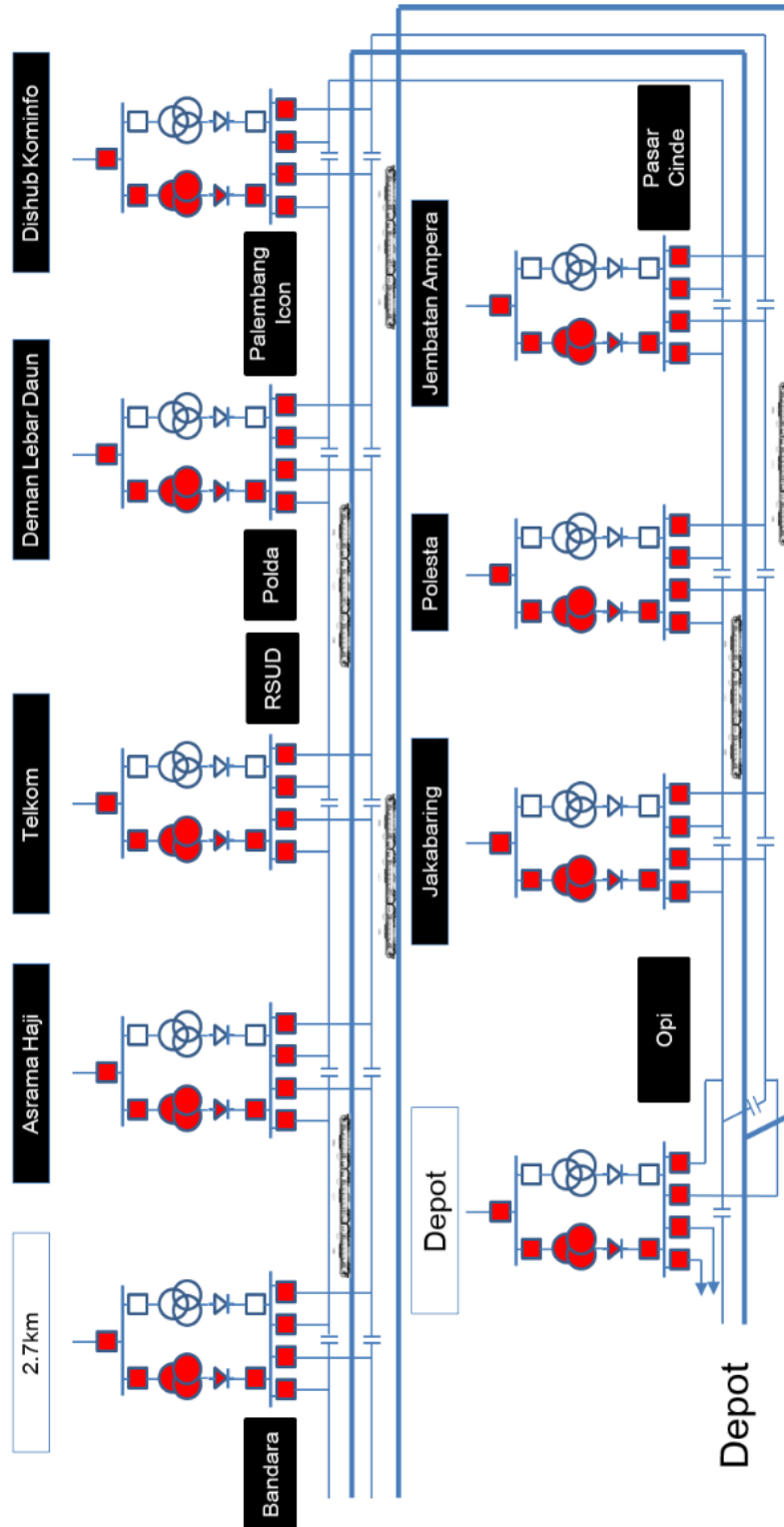


tegangan 20 kV menuju ke trafo *rectifier* 1 dan trafo *rectifier* 2 dengan kapasitas 3,520 kVA dan diturunkan tegangannya menjadi 590 V. Dari trafo *rectifier* 1 dan trafo *rectifier* 2, tegangan 590 V masuk ke panel *rectifier* 1 dan panel *rectifier* 2 yang memiliki kapasitas 3,000 kW 12 *pulse*. Tegangan yang keluar dari *rectifier* menjadi DC 750 V. Tegangan DC 750 V kemudian masuk ke panel DC, di mana untuk tegangan DC 750 V positif(+) masuk ke *incoming* panel DC dan tegangan DC 750V negatif (-) masuk ke negatif panel. Kemudian tegangan DC 750 V positif (+) yang terdiri dari empat *outgoing feeder* yaitu untuk menyuplai track 1 (*uptrack*) dari DJKA ke Bandara, *track* 2 (*down track*) dari bandara ke DJKA. Sementara untuk tegangan DC 750V negatif (-) akan mensuplai rail melalui panel negatif.

Kemudian tegangan 20 kV dari panel *outgoing* menuju ATR 1 menyuplai trafo *auxiliary* 1 dengan kapasitas 50 kVA dan diturunkan tegangannya menjadi 380V. Begitupun panel *outgoing* menuju ATR 2 menyuplai ke trafo *auxiliary* 2 dengan kapasitas 50 kVA. Keluaran dari trafo *auxiliary* 1 dan trafo *auxiliary* 2 menuju ke panel AC/DC. Di mana di dalam panel AC/DC terdapat *change over switch* (COS) yang fungsinya sebagai saklar pindah sumber tegangan. Di panel AC/DC tegangan 380V dan 220 V dapat digunakan untuk kebutuhan *battery charger* dan *auxilliary*.

Untuk kebutuhan tegangan DC, terdapat panel *battery charger* yang inputnya bersumber dari panel AC/DC 380 V yang dirubah menjadi 110 VDC dan juga terdapat *battery* untuk kebutuhan backup. Tegangan 110 VDC ini digunakan untuk kebutuhan kontrol pada peralatan-peralatan gardu.

2.5.2 Single Line Diagram Untuk Setiap Gardu Traksi ⁷



Gambar 2.27 Single Line Diagram Untuk Setiap Gardu Traksi



Adapun penjelasan proses penyuplaian daya dari *Single Line Diagram* di atas adalah sebagai berikut : ¹

Tegangan AC 20 kV akan didistribusikan dari gardu traksi ke masing-masing stasiun dan depot. Tidak semua gardu traksi yang akan mensuplai tegangan distribusi ini, namun hanya beberapa saja dan gardu traksi ini disebut dengan gardu traksi sumber PDS yaitu Gardu KM 2.7, Gardu Demang Lebar Daun, Gardu Jembatan Ampera dan Gardu Depo. Tegangan tersebut akan diturunkan menjadi 380V untuk digunakan sebagai suplai beban sistem persinyalan, telkom dan kontrol.

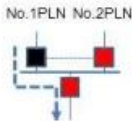
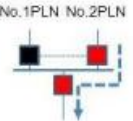

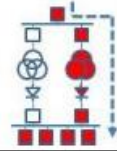
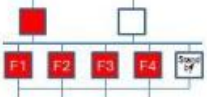
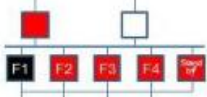
Komponen gardu traksi sistem LRT Palembang akan didesain dengan mempertimbangkan kemudahan dalam instalasi dan pemeliharaannya. Tata letak komponen juga akan mempertimbangkan aliran udara di dalam gardu traksi. Terdapat sensor suhu yang akan mendeteksi suhu di dalam ruangan gardu, sehingga jika suhu yang ada sudah mencapai batas tertentu, *exhaustfan* akan bekerja secara otomatis.

2.5.3 Kegagalan Tunggal dan Ganda¹

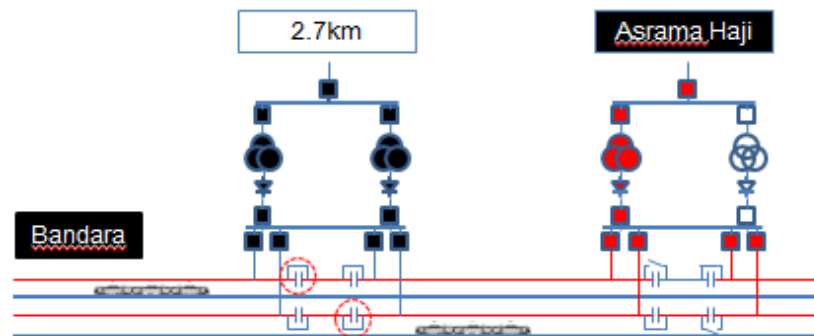
Daya kereta harus terus menerus disuplai oleh gardu traksi di LRT Palembang ini. Namun terkadang terjadi gangguan yang harus bisa ditanggulangi. Untuk kondisi *single failure* merupakan kondisi dimana terjadi gangguan hanya di 1 baik di sisi PLN maupun gardu. Pada kondisi *single failure*, peralatan di LRT Palembang harus tetap menjamin mensuplai daya ke kereta. Oleh karena itu, setiap peralatan di PLN dan di gardu traksi memiliki 1 peralatan back up yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Pada sisi PLN, PLN memiliki gardu induk yang memiliki 2 CB *breaker* sehingga saat 1 CB terbuka karena gangguan, maka 1 CB akan membackup untuk mensuplai ke gardu traksi.
- b. Pada sisi peralatan AC di gardu traksi, jika 1 RTR dan/atau *rectifier* terganggu, maka aliran daya akan pindah ke RTR dan/atau *rectifier* disebelahnya.
- c. Pada sisi peralatan DC 750 V, jika salah 1 HSCB *feeder* terganggu, maka 1 HSCB cadangan akan menggantikan HSCB yang mengalami gangguan.
- d. Penjelasan lebih detail dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 *Single Failure Mode*

Single Failure	Failure Mode	Redundancy Mode
1 Kabel PLN terganggu	 <p>No.1PLN No.2PLN</p>	 <p>No.1PLN No.2PLN</p>
1 RTR dan/atau 1 Rectifier terganggu		
1 kabel feeder HSCB terganggu	 <p>F1 F2 F3 F4 Stage 1F</p>	 <p>F1 F2 F3 F4 Stage 1F</p>

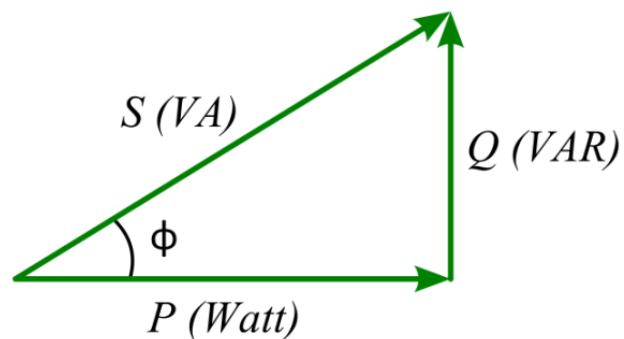
Untuk kondisi *Double failure* atau kegagalan ganda merupakan kondisi dimana peralatan utama dan backup yang dijelaskan pada *kondisi single failure* sama-sama mengalami gangguan. Kondisi ini juga identik dengan kondisi 1 gardu traksi mengalami gangguan. Pada kondisi ini, *Disconnecting Switch* yang ada di DC *Switchgear* akan berperan menyalurkan daya dari gardu lain ke gardu yang mengalami gangguan. Performa dari gardu traksi akan mengalami penurunan karena adanya *drop* tegangan sehingga akan menaikkan *headway* yang menyebabkan jarak kedatangan kereta menjadi lama. Walaupun terjadi penurunan peforma karena *drop voltage*, namun nilai *drop voltage* masih masuk dalam kondisi wajar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.28.



Gambar 2.28 TSS Asrama Haji mensuplai daya ke TSS KM 2.7 yang mengalami gangguan melalui DS

2.5.4 Segitiga Daya⁸

Daya listrik merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan baik atau tidaknya kualitas dari suatu sistem kelistrikan dalam memenuhi kebutuhan konsumen. Dalam suatu sistem tenaga listrik, daya listrik dibedakan menjadi 3 jenis daya, seperti gambar 2.8



Gambar 2.29 Segitiga Daya

Keterangan :

S = Daya semu (VA)

P = Daya aktif (W)

Q = Daya reaktif (VAR).

Dimana :

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (2-1)$$

⁸ Cekmas Cekdin & Taufik Berlian, Rangkaian Listrik (Palembang: ANDI, 2013) hal.74



$$P = S \times \cos \varphi \quad (2-2)$$

$$Q = S \times \sin \varphi \quad (2-3)$$

2.5.4.1 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya, dimana dalam persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (2-4)$$

Dimana :

$\cos \varphi$ = Faktor kerja ($^{\circ}$)

V = Tegangan phasa (V)

P = Daya Aktif (W)

2.5.4.2 Daya Semu

Daya semu adalah daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi, dimana daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dibawah ini :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (2-5)$$

Dimana :

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan phasa (V)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A)

2.5.4.3 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, yang mana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas. Daya reaktif ini adalah hasil dari besarnya arus dikalikan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor kerja sin ($\sin \varphi$).

Daya reaktif ini dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \quad (2-6)$$

Dimana :

Q = Daya reaktif (VAR)



- $\sin \varphi$ = Faktor kerja ($^{\circ}$)
 V = Tegangan phasa (V)
 I = Arus (A)

2.5.5 Resistansi

Resistansi dari konduktor saluran transmisi/distribusi atau pada penghantar kereta LRT adalah sangat penting karena menyebabkan *drop* tegangan didalam saluran. Nilai tahanan arus searah dapat ditentukan dari persamaan :

$$R_{dc} = \rho \frac{L}{A} \quad (2-7)$$

Dimana :

- ρ = resistivitas penghantar ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
 L = Panjang Penghantar (m)
 A = Luas penampang penghantar (mm^2)

2.5.6 Drop Tegangan

Drop tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. *Drop* tegangan pada saluran tenaga listrik umumnya berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban, serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besar *Drop* tegangan dapat dinyatakan dalam persen maupun dalam satuan volt. Perhitungan *Drop* tegangan dapat diketahui dengan menggunakan metode perhitungan. Berdasarkan SPLN No. 01 :1995, *Drop* tegangan atau jatuh tegangan yang diperbolehkan untuk sistem distribusi tegangan menengah adalah maksimum +5% dan minimum -10%.

Untuk perhitungan besar *Drop* tegangan Arus Searah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V_{DC} = 2 \times I \times R_C \times L / 1000 \quad (2-9)$$

Dimana :

- V_{DC} = *Drop* Tegangan (V)
 I = Arus (A)
 L = Panjang Saluran (Km)
 R_C = Resistansi Penghantar (Ω/km)