



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Umum<sup>1</sup>

LRT Palembang merupakan sistem transportasi yang digunakan untuk pergerakan penumpang dari stasiun bandara hingga stasiun OPI. 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 20kV dari gardu PLN menjadi tegangan DC 750V yang diperlukan.

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

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 Distribusi<sup>2</sup>

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

---

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

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

pada waktu melintasi jalan – jalan 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 dipergunakan 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 Distribusi<sup>3</sup>

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).

---

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

### 2.2.3. PHB sisi Tegangan Menengah (PHB-TM)<sup>4</sup>

Berikut ini adalah Komponen Utama PHB-TM yang sudah terpasang/terangkai secara lengkap yang lazim disebut dengan Kubikel-TM, yaitu :

a. Pemisah – *Disconnecting Switch* (DS)

Berfungsi sebagai pemisah atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemisah hanya dapat dioperasikan dalam keadaan tidak berbeban.



**Gambar 2.1** Pemisah – *Disconnecting Switch* (DS)

b. Pemutus beban – *Load Break Switch* (LBS)

Berfungsi sebagai pemutus atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemutus beban dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban dan terpasang pada kabel masuk atau keluar gardu distribusi.

Kubikel LBS dilengkapi dengan sakelar pembumian yang bekerja secara interlock dengan LBS. Untuk pengoperasian jarak jauh (*remote control*), *Remote Terminal Unit* (RTU) harus dilengkapi catu daya penggerak.

<sup>4</sup> Drs. M. Mustaghfirin Amin, MBA, *Gardu Induk*, (Kemendikbud, 2013) hlm. 51-52



**Gambar 2.2** Pemutus beban – *Load Break Switch (LBS)*

c. Pemutus Tenaga - *Circuit Breaker (CB)*

Berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik dengan cepat dalam keadaan normal maupun gangguan hubung singkat. Peralatan Pemutus Tenaga (PMT) ini sudah dilengkapi dengan rele proteksi arus lebih (*Over Current Relay*) dan dapat difungsikan sebagai alat pembatas beban. Komponen utama PHB-TM tersebut diatas sudah terakit dalam kompartemen kompak (lengkap), yang sering disebut Kubikel Pembatas Beban Pelanggan.



**Gambar 2.3** Pemutus Tenaga - *Circuit Breaker (CB)*

#### 2.2.4. Transformator Daya<sup>5</sup>

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

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

Berdasarkan tegangan operasinya dapat dibedakan menjadi transformator 500/150 kV dan 150/70 kV biasa disebut *Interbus Transformer* (IBT). Transformator 150/20 kV dan 70/20 kV disebut juga trafo distribusi. Titik netral transformator ditanahkan sesuai dengan kebutuhan untuk system 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 590V 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).

Transformator 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.<sup>1</sup>

<sup>5</sup> Sigi Syah Wibowo, *Analisa Sistem Tenaga*, (Malang : Polinema Press, 2016), hlm.23-31

Setiap transformator traksi harus dirancang sesuai dengan persyaratan kinerja minimum sebagai berikut: <sup>1</sup>

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



**Gambar 2.4** Transformator

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

ABB CAST RESIN TRANSFORMER		ABB Ltd.	
Phase	3		
Frequency	50	Hz	
Rated Power-HV	3520	kVA	
Rated Power-LV1	1760	kVA	
Rated Power-LV2	1760	kVA	
Rated High Voltage	20000	V	
Rated Low Voltage 1	590	V	
Rated Low Voltage 2	590	V	
Rated HV Current	101.6	A	
Rated LV1 Current	1722.3	A	
Rated LV2 Current	1722.3	A	
Type of cooling	AN		
Vector group	Dd0yn11		
LI withstand (H-V/LV)	125	-	kV
AC withstand (H-V/LV)	50	3	kV
%I <sub>Z</sub> HV-LV1/LV2	6.95	%	
Insulation Class (H-V/LV)	H	H	
Temperature Rise (H-V/LV)	115	115	K
C / E / F class	C2 / E2 / F1		
IP code of Enclosure	IP20		
Total Weight	11050	kg	
Applied Standard	IEC 60076-11		
Manufacturing No.	TLKR180008570		
Manufacturing Date	2017.08		

HIGH VOLTAGE			LOW VOLTAGE		
VOLT.	CONN.	TERM.	VOLT.	TERM.	VOLT. TERM.
22000	1	2-11	590	1V	590
21500	2	2-10	590	2V	590
21000	3	3-10	590	3V	590
20500	4	3-9	590	2W	590
R 20000	5	4-8	590	3W	590
19500	7	4-8	590	2W	590
19000	7	5-8	590	3W	590
18500	8	5-7	590	2W	590
18000	8	6-7	590	3W	590

**Gambar 2.5** Spesifikasi transformator LRT Sumsel

### 2.2.5. Silicon Rectifier<sup>6</sup>

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



**Gambar 2.6** *Silicon Rectifier* Dan Spesifikasinya

*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 diatas.

<sup>6</sup> Prof. DR. Zuhul M.Sc.EE *Prinsip Dasar Elektronik*, (Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama,2004), hlm. 111

### 2.2.6. *High Speed Circuit Breaker (HSCB)*<sup>7</sup>

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 troli *circuit breaker*, bagian mekanik untuk mekanisme penguncian, rel kereta troli, troli *earthing* kontak. Pada troli 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 troli 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 troli 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 troli HSCB. Setelah mencabut *Auxiliary connector*, keluar dari posisi “*test*”, maka troli dapat ditarik sepenuhnya dan dapat dipindahkan tanpa alat tambahan. Kompartemen CB dapat di akses; Busbar tertutup dan aman dari kontak.

---

<sup>7</sup> Mohamed E. El-Hawary, *Electrical Railway Transportation Systems*, (New Jersey : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2018).

Setelah menarik troli secara sempurna, maka pintu dapat ditutup dan dikunci. Pintu ini memungkinkan akses ke troli dan ke kompartemen CB dihubungkan dengan posisi troli. Pintu diblokir dalam posisi tertutup ketika troli berada dalam posisi *service* atau selama troli berada 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 *service*. 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.<sup>1</sup>



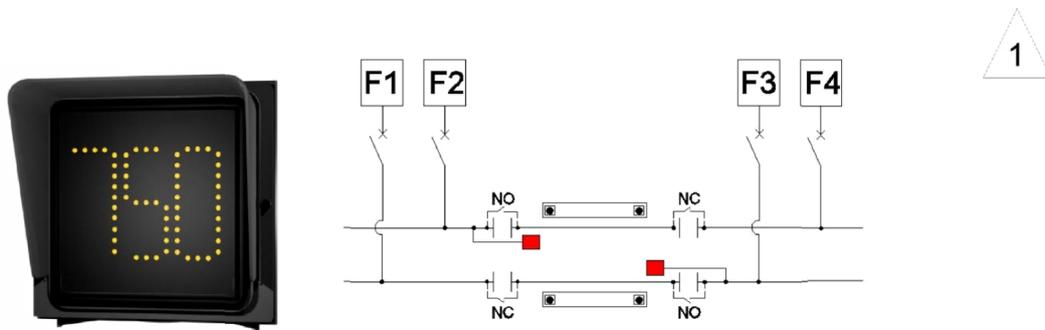
**Gambar 2.7** *High Speed Circuit Breaker*

### **2.3. 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. Adapun beberapa peralatan yang terdapat pada *mainline* adalah sebagai berikut:

## 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 2.8 Lampu Indikator 750VDC

## 2. Third Rail

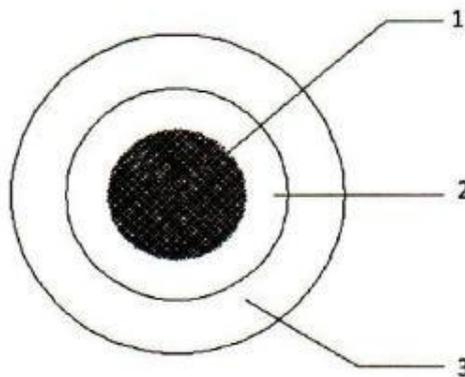
*Third rail* atau rel ketiga adalah media untuk mengalirkan arus positif sebagai sumber tegangan untuk menggerakkan kereta.



Gambar 2.9 *Third Rail*

### 3. Kabel *Outgoing* atau *Powerfeed*

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*



**Gambar 2.10** Konstruksi Kabel LV 750VDC 1×300mm<sup>2</sup>

Keterangan:

a. *Conductor*

*Sd Flexible annealed copper wire (f)*

b. *Insulation*

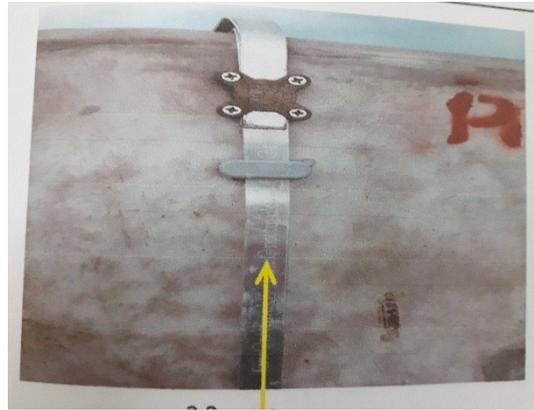
*Colour : Black*

c. *Outer sheath*

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

#### 4. Aluminium Tap

Aluminium Tap adalah sebagai *Grounding* Peralatan *mainline* apabila terjadi induksi dari perlatan dan sambaran petir.



**Gambar 2.11** Aluminium Tap

#### 5. Kabel Negatif

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

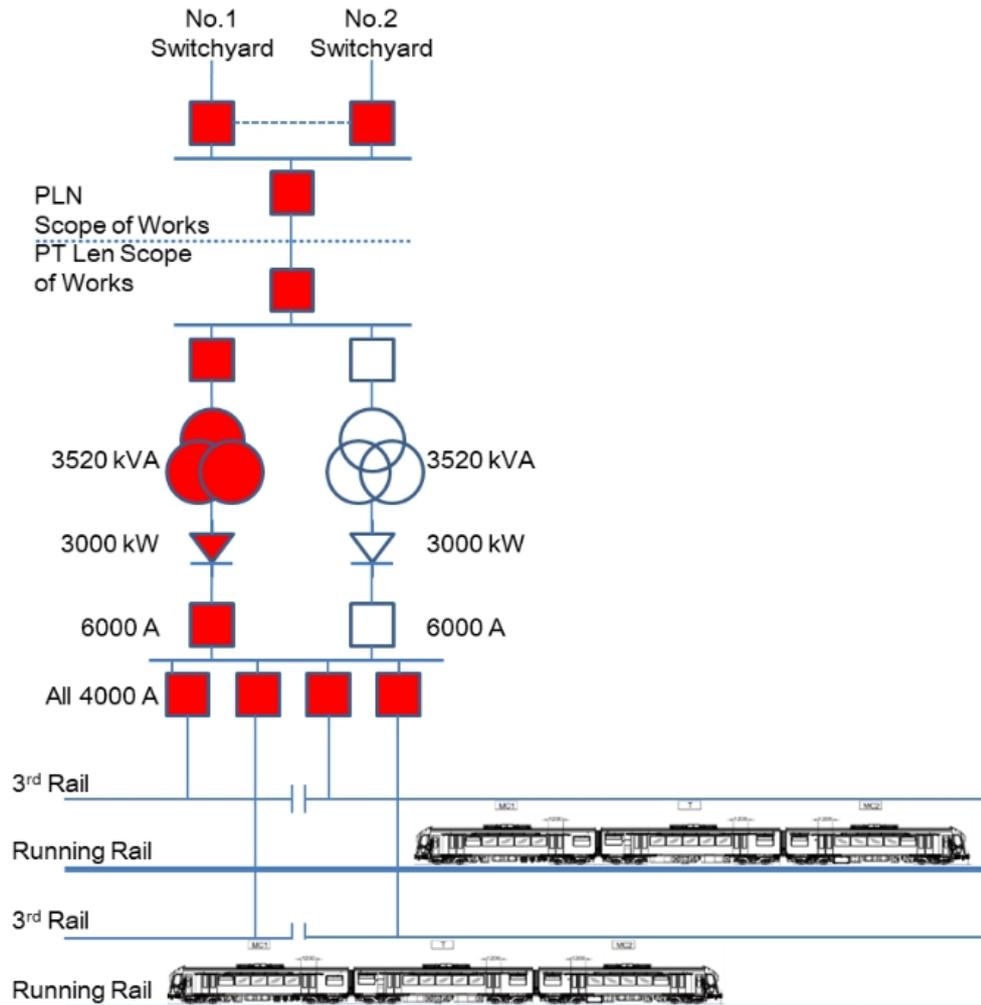


**Gambar 2.12** Kabel Negatif

## 2.4. Sistem Kelistrikan LRT Sumsel<sup>8</sup>

### 2.4.1 *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 2.13** *Single Line Diagram* Gardu Traksi Yang Mensuplai ke Kereta

Adapun penjelasan proses penyuplaian daya dari gardu traksi ke kereta adalah sebagai berikut : <sup>1</sup>

<sup>8</sup> Power System Profile PT. Kereta Api Indonesia (Persero), slide 1-3.

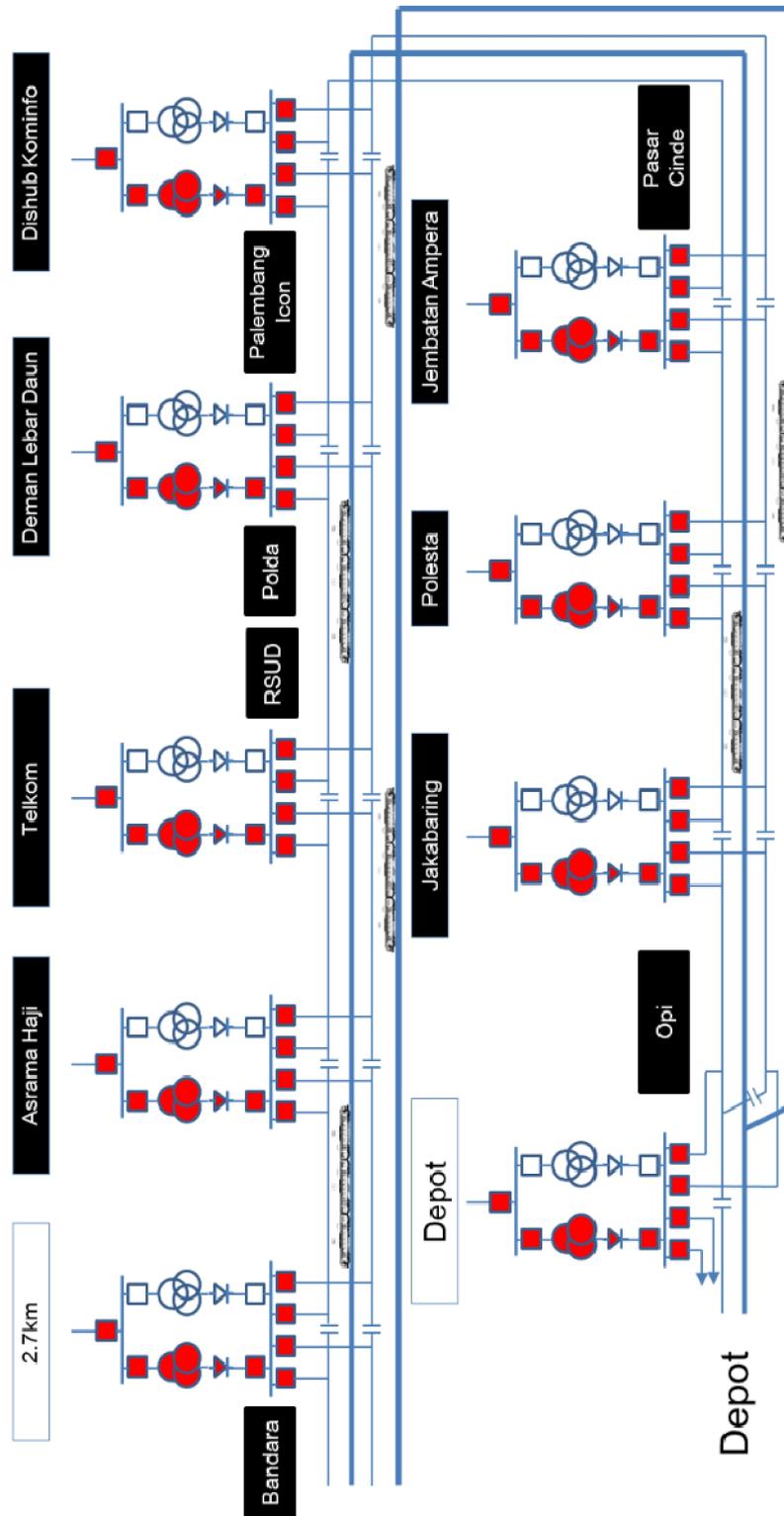
Tegangan 20kV dari PLN masuk ke panel 20kV gardu traksi melalui panel *incoming*. Kemudian melalui panel *outgoing* RTR 1 dan panel *outgoing* RTR 2 tegangan 20kV menuju ke trafo *rectifier* 1 dan trafo *rectifier* 2 dengan kapasitas 3,520kVA dan diturunkan tegangannya menjadi 590V. Dari trafo *rectifier* 1 dan trafo *rectifier* 2, tegangan 590V masuk ke panel *rectifier* 1 dan panel *rectifier* 2 yang memiliki kapasitas 3,000kW 12 *pulse*. Tegangan yang keluar dari *rectifier* menjadi DC 750V.

Tegangan DC 750V kemudian masuk ke panel DC, di mana untuk tegangan DC 750V positif(+) masuk ke *incoming* panel DC dan tegangan DC 750V negatif(-) masuk ke negatif panel. Kemudian tegangan DC 750V positif(+) yang terdiri dari empat *outgoing feeder* yaitu untuk menyuplai *track 1 (uptrack)* dari OPI ke Bandara, *track 2 (down track)* dari bandara ke OPI. Sementara untuk tegangan DC 750V negatif(-) akan mensuplai rail melalui panel negatif.

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

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

### 2.4.2 Single Line Diagram Untuk Setiap Gardu Traksi <sup>7</sup>



Gambar 2.14 Single Line Diagram Untuk Setiap Gardu Traksi

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

Tegangan AC 20kV 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.

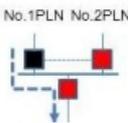
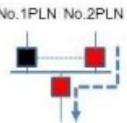
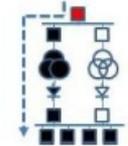
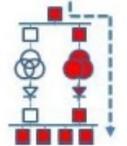
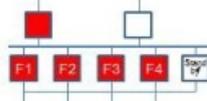
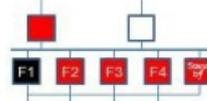
#### 2.4.3 Kegagalan Tunggal dan Ganda<sup>1</sup>

Daya merata harus terus menerus disuplai oleh gardu traksi di LRT Palembang ini. Namun terkadang terjadi gangguan yang harus bisa ditanggulangi. Untuk kondisi *single failure* atau kegagalan tunggal 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 :

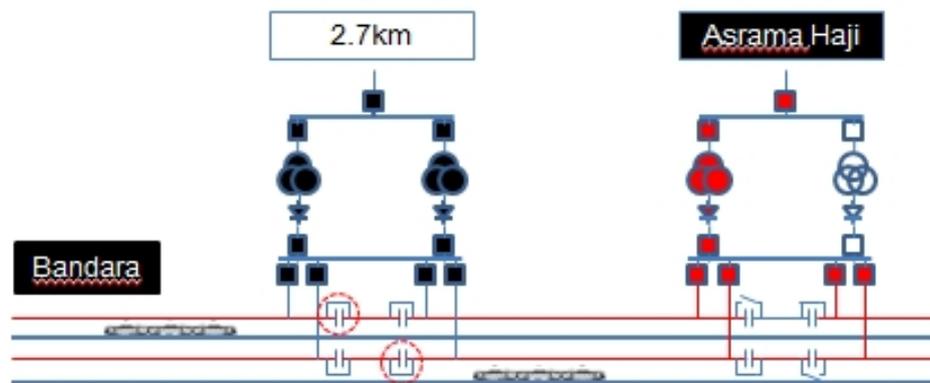
- a. Pada sisi PLN, PLN memiliki gardu induk yang memiliki 2 CB sehingga saat 1 CB terbuka karena gangguan, maka 1 CB akan membackup untuk mensuplai ke gardu traksi.
- b. Pada sisi peralatan AC di gardu traksi, jika 1 RTR dan/atau *rectifier* terganggu, maka aliran daya akan pindah ke RTR dan/atau *rectifier* 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 2.1

**Tabel 2.1** *Single Failure Mode*

Single Failure	Failure Mode	Redundancy Mode
1 Kabel PLN terganggu	No.1PLN No.2PLN 	No.1PLN No.2PLN 
1 RTR dan/atau 1 Rectifier terganggu		
1 kabel feeder HSCB terganggu		

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 2.10.



Gambar 2.15 Kondisi *Double Failure*

### 2.5. *Stray Current Collector*<sup>1</sup>

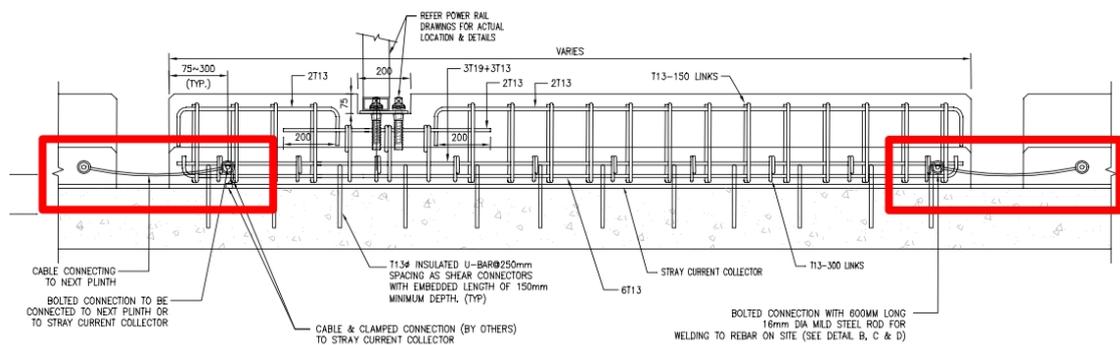
Pada sistem LRT Palembang yang menggunakan *track elevated*, struktur *viaduct* yang dipakai sebagai jalur kereta LRT memiliki elemen pembesian di dalam beton. Elemen pembesian ini tersambung sepanjang *track* LRT untuk menjamin kekuatan struktur *track*. Namun pembesian ini juga secara tidak langsung menyediakan jalur arus balik kereta LRT menuju gardu traksi. Jika resistansi pada pembesian ini cukup rendah, arus balik pada rel dapat bocor menembus beton menuju pembesian dan menggunakan pembesian tersebut sebagai media untuk arus balik menuju gardu traksi. Pada suatu titik di mana resistansi pembesian meningkat, arus balik dari pembesian akan menembus beton kembali menuju rel. Arus bocor ini disebut dengan *stray current* dan dapat menimbulkan korosi pada pembesian yang dilewatinya.

Untuk mencegah terjadinya *stray current*, langkah-langkah berikut dapat diambil:

1. Menjaga resistansi rel sangat rendah dengan cara sistem *bonding*.
2. Menjaga resistansi jalur bocor dari rel ke struktur sangat tinggi dengan cara penggunaan *insulator* pada penambat rel.

Namun, sebagai langkah mitigasi jika *stray current* tetap terjadi, pada sistem LRT Palembang dibangun *Stray Current Collector System* (SCCS). SCCS berfungsi sebagai jalur untuk arus bocor yang berhasil menembus beton *slab track* sehingga arus bocor tersebut tidak menembus struktur utama

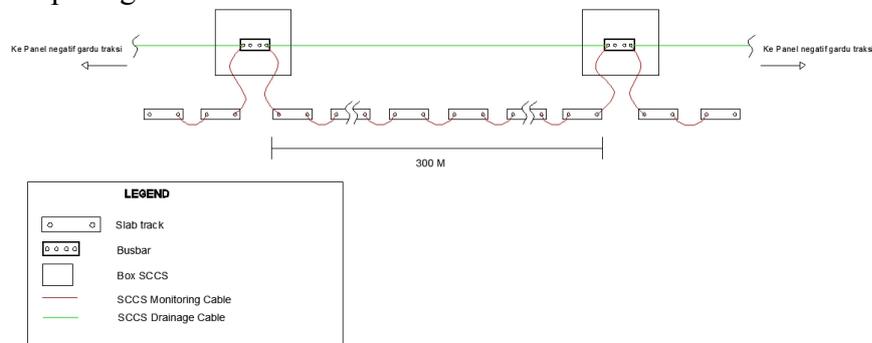
viaduct. Di dalam *slab track*, terdapat *SCCS mesh* (*scope trackwork*) yang tersambung dengan *SCCS bolt* sebagai media jalur arus bocor yang dapat terjadi. Pada setiap *slab track* akan terdapat dua lubang yang berfungsi untuk menyambungkan *SCCS bolt* pada *slab track* tersebut ke *SCCS bolt slab track* sebelahnya. Gambar sambungan atau *bonding* untuk *slab track* ini dapat dilihat sebagai berikut.



**Gambar 2.16** Sistem *Bonding* Pada *Slab Track*

Sistem *bonding* pada *slab track* didesain secara kontinu. Selain *bonding* pada setiap *slab track*, akan terdapat jalur utama arus bocor yang disebut dengan *SCCS drainage cable*. Pada setiap 300 meter, salah satu lubang *slab track* akan disambung ke *SCCS drainage cable* ini dengan menggunakan *SCCS busbar*. *SCCS drainage cable* ini akan disambung pada panel negatif gardu traksi.

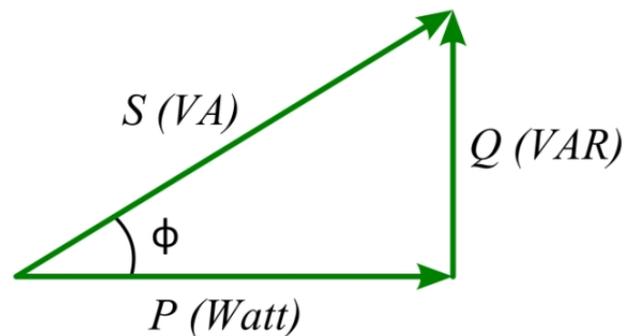
Skematik sistem *bonding slab track* dan *SCCS drainage cable* ini dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 2.17** Skematik Sistem *Bonding* Pada *Slab Track*

## 2.6. Segitiga Daya<sup>9</sup>

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 2.18



**Gambar 2.18** Segitiga Daya

Keterangan :

S = Daya semu (VA)

P = Daya aktif (W)

Q = Daya reaktif (VAR).

Dimana :

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (2.1)$$

$$P = S \times \cos \varphi \quad (2.2)$$

$$Q = S \times \sin \varphi \quad (2.3)$$

### 2.6.1. 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 :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (2.4)$$

<sup>9</sup> Cekmas Cekdin & Taufik Berlian, Rangkaian Listrik (Palembang: ANDI, 2013) hal.74

Dimana :

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

V = Tegangan phasa (V)

P = Daya Aktif (W)

### 2.6.2. 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)

### 2.6.3. 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)

## 2.7. Faktor Daya<sup>8</sup>

Faktor daya atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu/daya total (VA), atau *cosinus* sudut antara daya aktif dan daya semu/daya total. Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Secara teoritis, jika seluruh beban daya yang dipasok oleh perusahaan listrik memiliki faktor daya satu, maka daya maksimum yang ditransfer setara dengan kapasitas sistim pendistribusian.

Sehingga, dengan beban yang terinduksi dan jika faktor daya berkisar dari 0,2 hingga 0,5, maka kapasitas jaringan distribusi listrik menjadi tertekan. Jadi, daya reaktif (VAR) harus serendah mungkin untuk keluaran kW yang sama dalam rangka meminimalkan kebutuhan daya total (VA). Faktor Daya / Faktor kerja menggambarkan sudut fasa antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi.

## 2.8. Tegangan Jatuh<sup>10</sup>

Tegangan Jatuh (Voltage Drop) Maksimum merupakan drop tegangan tertinggi yang diperbolehkan timbul sepanjang kabel yang dialiri oleh arus listrik. Bila drop tegangan yang timbul melebihi batas maksimum, maka ukuran kabel yang lebih besar harus dipilih.

Tegangan Jatuh (Voltage Drop) disepanjang kabel lebih ditentukan karena beban konsumen (misalnya peralatan) sehingga tegangan yang sampai diinput peralatan tidak melebihi batas toleransi. Ini berarti, jika tegangan pada alat tersebut lebih rendah dari tegangan minimum, maka alat tidak dapat beroperasi dengan benar.

Secara umum, sebagian besar peralatan listrik akan beroperasi normal pada tegangan serendah 80 % dari tegangan nominal. Sebagai contoh, jika tegangan nominal adalah 230VAC, maka sebagian besar peralatan dapat

<sup>10</sup> adminpratama, Perhitungan Voltage Drop (Tegangan Jatuh) pada Kabel, (kompasiana.com : 17 Juni 2015)

dijalankan pada  $> 184\text{VAC}$ . Pemilihan ukuran untuk kabel penghantar yang baik adalah ukuran yang hanya mengalami drop tegangan sebesar kisaran 5 - 10% pada beban penuh .

Untuk sistem suplay tegangan AC , metode menghitung jatuh tegangan (voltage drop) adalah dengan berdasarkan faktor beban dengan mempertimbangkan arus beban penuh pada suatu sistim. Tetapi jika beban memiliki arus startup tinggi (misalnya motor) , maka tegangan drop dihitung dengan berdasarkan pada arus start up motor tersebut serta faktor daya .

Untuk sistem DC :

$$V_{dc} = \frac{[2 I R_c L]}{1000} \quad (2.7)$$

Dimana :

$V_{dc}$  , Tegangan Jatuh (Voltage Drop) Tegangan DC

$I$  , adalah arus beban penuh atau arus nominal atau arus saat start (A)

$R_c$  , adalah resistansi dc kabel (  $\Omega / \text{km}$  )

$L$  , adalah panjang kabel ( m)

## 2.9. Menghitung Nilai Resistansi<sup>5</sup>

Saluran transmisi listrik mempunyai dua parameter yang mempengaruhi kemampuannya untuk berfungsi sebagai dari suatu sistem tenaga. Resistansi (R) dirumuskan sebagai :

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.8)$$

Dimana :

$\rho$  = resistivitas penghantar

$l$  = panjang penghantar (m)

$A$  = luas penampang penghantar

## 2.10. Hubungan Daya dan Usaha<sup>11</sup>

Daya didefinisikan sebagai kecepatan melakukan usaha atau kemampuan untuk melakukan usaha tiap satuan waktu. Usaha belum dapat memberikan penjelasan lengkap tentang perpindahan benda akibat pengaruh gaya. Untuk membedakan waktu yang diperlukan benda dalam melakukan usaha digunakan rumus daya. Secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$P = \frac{W}{t} \quad (2.9)$$

Dimana :

P = Daya (Watt)

W = Usaha (Joule)

t = Waktu (s)

---

<sup>11</sup> Reaven, Hubungan Usaha, Energi dan Daya, (myrightspot.com : 17 Juli 2017)