

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Desain penelitian

Berdasarkan data dari PT. KCJ, pada sistem kerja kereta rel listrik memiliki bagian-bagian yang sangat penting diantaranya, saluran penyulang (feeder) yang menerima pasokan sebesar 20kV dari PLN, transformator penurun tegangan yang menurunkan tegangan 20kV menjadi 1200V, Silicon rectifier sebagai konverter yang berfungsi mengubah tegangan 1200V AC menjadi 1500V DC sebagai tegangan operasi pada kereta rel listrik, konverter chopper DC-DC sebagai penyalur tegangan dan menyalurkan tegangan 1500V DC dan mengatur tegangan DC pada KRL motor DC, sehingga membuat pengaturan tegangan lebih mudah dan efisiensi lebih baik, untuk bisa menggerakkan dan juga mengendalikan putaran motor traksi maka diperlukan pula komponen drive control (konverter), untuk drive control yang digunakan adalah chopper DC to DC, dengan menggunakan mekanisme switching tegangan DC yang akan menghasilkan tegangan output DC yang berubah-ubah tegangannya sehingga bisa dihasilkan kecepatan putaran motor yang berbeda. Penggerak KRL menggunakan motor dc seri sebagai motor traksinya. Motor traksi DC seri sangat cocok digunakan sebagai motor traksi KRL dikarenakan karakteristik torsi start yang tinggi.

Tegangan 1500V DC akan di konversi kembali menjadi 600V DC menggunakan chopper dc-dc yang bertujuan untuk memberikan tegangan yang stabil (600VDC) pada muatan cooler inverter, yang bertujuan untuk mengubah tegangan 600V DC yang ada pada CVCF inverter, transformator, dan instalasi rektifikasi menjadi 200V AC, 100V DC, 24V DC yang berguna untuk mensupply lampu pijar, kontrol sumber tegangan listrik, dan instalasi transmisi.

Dari data-data diatas, proses penyaluran tegangan, pergerakan kereta hingga peran auxiliary tidak lepas dari peranan konverter dan inverter, hal ini menunjukkan bahwa fungsi

dari konverter dan inverter pada KRL sangat penting untuk menunjang sistem kerja dari KRL itu sendiri.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis kinerja dari konverter dan inverter pada KRL dengan mengacu kepada perbandingan antara konverter dan inverter yang digunakan pada KRL dengan mekanisme konverter dan inverter yang sesuai dengan standar operasi, tujuannya adalah untuk mengetahui keandalan dan kestabilan pada komponen tersebut dan bagaimana sistem perawatan yang baik bagi kelangsungan kerjanya.

Adapun analisis yang dilakukan adalah pengukuran tegangan, arus dan frekuensi komponen, serta menganalisa kelayakan dan kesesuaian komponen tersebut terhadap teori dan mekanisme yang seharusnya dari komponen tersebut.

3.2 Partisipan dan Tempat Penelitian

Penelitian ini bekerjasama dengan PT. KCJ (Kereta api Commuter Jabodetabek) bagian DIPO Kereta Rel Listrik. Pemilihan PT. KCJ sebagai bagian dari penelitian ini adalah karena seluruh data yang diperlukan untuk penelitian ini hanya dimiliki oleh PT. KCJ tersebut yang beralamat di jl. Rawa Geni No.61, Cipayung, Ratujuaya, Kota Depok, Jawa Barat 16439.

3.3 Pengumpulan Data

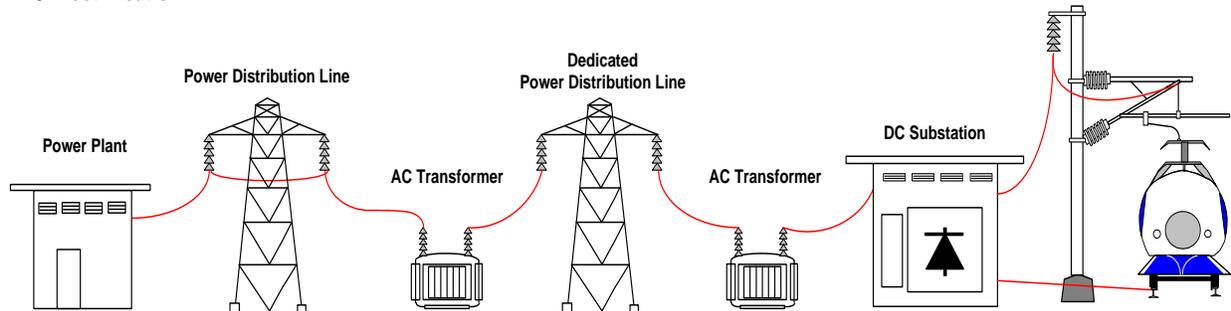
Pada proses kinerja kereta rel listrik ada beberapa bagian yang dikategorikan sangat penting, diantaranya proses suplay daya, sistem utama powering, dan sistem utama auxiliary. Yang memiliki peran yang berbeda namun sangat berhubungan dalam proses kinerja sebuah kereta rel listrik. Maka data yang dibutuhkan untuk analisis ini diantaranya adalah :

a. Suplay Daya

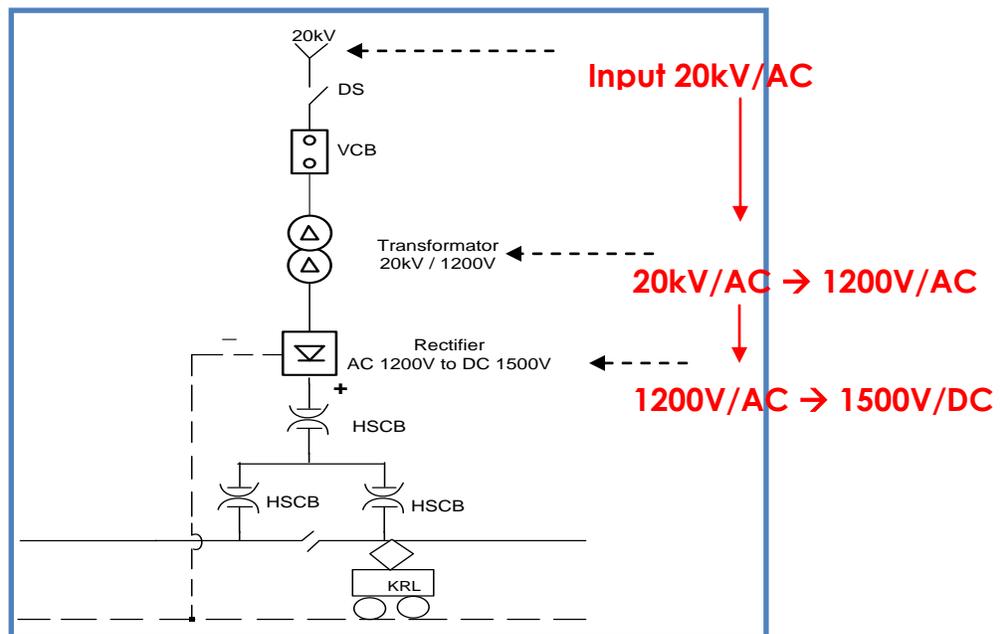
Suplay daya yang digunakan sebagai catu daya utama pada sistem kereta di Indonesia diperoleh dari gardu induk PLN 150kV yang kemudian diturunkan menjadi jaringan listrik PLN 20KV oleh transformator step down 150kV/20kV yang kemudian diturunkan menjadi

1200 VAC oleh transformator step down 20kV/1200V, kemudian disearahkan oleh penyearah (*rectifier*) sebagai konverter pada gardu (*sub-station*) hingga menjadi listrik arus searah dengan besar tegangan nominal 1500 VDC yang disalurkan melalui saluran atas (*catenary*) dan dialirkan ke kereta dengan menggunakan pantograph. Seperti yang dijelaskan pada gambar 3.1

DC Electrification



Gambar 3.1 Pendistribusian Daya pada KRL



Gambar 3.2 Single line diagram konsumsi tegangan DC pada KRL

Gambar 3.2 menjelaskan bagaimana aliran listrik yang digunakan oleh kreta rel listrik dari penjulung 20kV melewati DS (disconnection) dan VCB (vacuum circuit breaker) sebagai proteksi,

Muhammad Rasyid Shiddiq, 2016

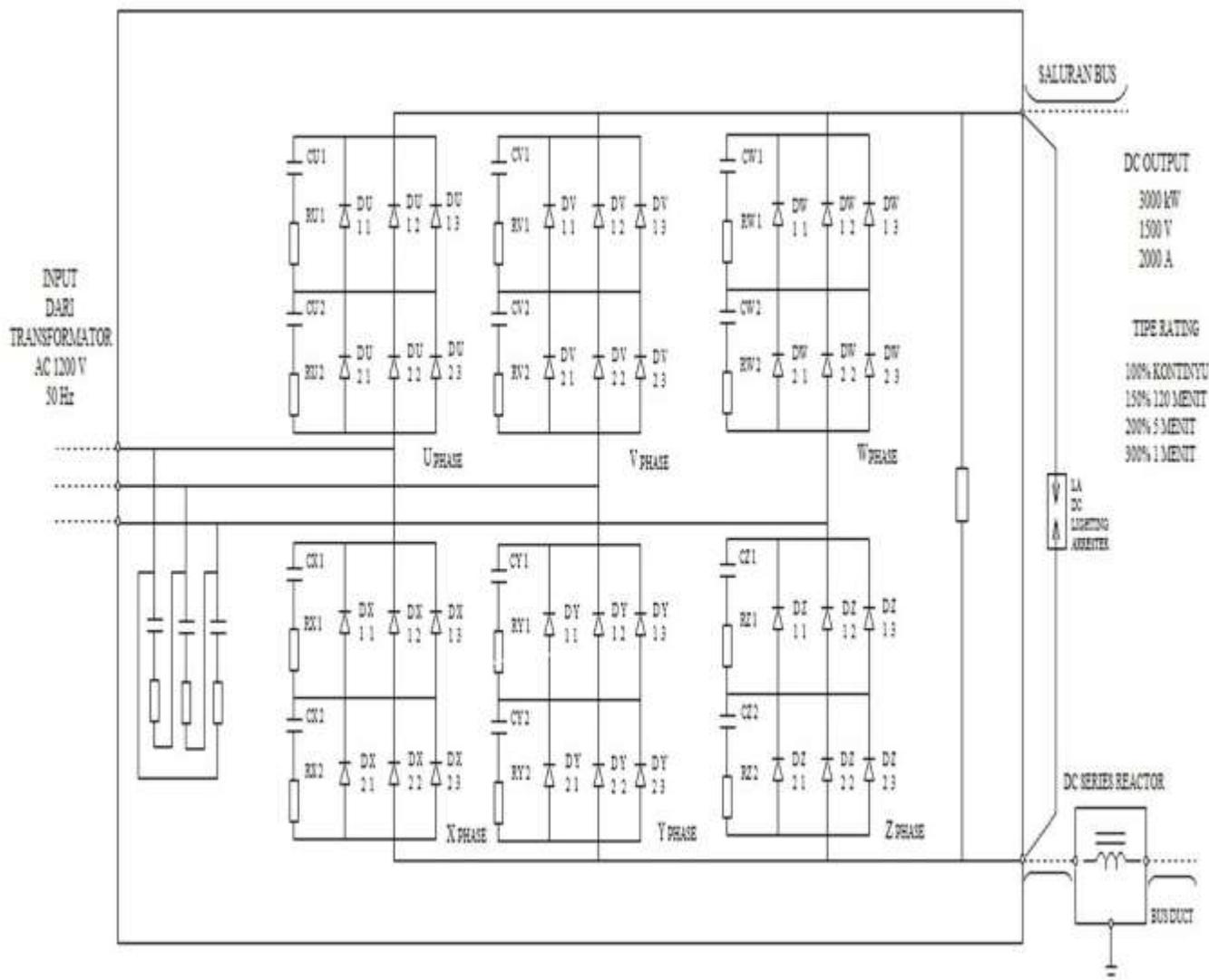
ANALISIS KINERJA KONVERTER DAN INVERTER PADA KELISTRIKAN KERETA REL LISTRIK DI PT. KERETA API COMMUTER JABODETABEK

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

kemudian masuk kepada transformator step down 20kV/1200V untuk diturunkan tegangannya menjadi 1200V dan disearahkan oleh konverter silicon rectifier (SR) menjadi tegangan kerja 1500 VDC, tegangan kerja kreta rel listrik melewati HSCB (hight speed circuit breaker) sebagai proteksi berkecepatan tinggi sebelum diterima oleh panthograf yang mengalirkan listrik kepada kereta.

b. Line diagram konverter Silicon Rectifier (SR)

Gambar dibawah ini menunjukkan line diagram dari SR dengan sistem pengkabelan jembatan tiga phasa, yang berfungsi sebagai konverter tegangan sumber yang digunakan KRL, input sebesar 1200VAC dengan frekuensi 50 Hz di konversi menjadi output 1500VDC, dengan output daya dan arus masing-masing sebesar 3000 kW dan 2000 A, Tipe rating dari SR ini adalah Kelas S (100% kontinyu, 150% 2 jam, 200% 5 menit, 300% 1 menit) standar JEC – 178 (1977).



Gambar 3.3 Line diagram Silicon Rectifier (SR)

c. Sistem utama chopper powering

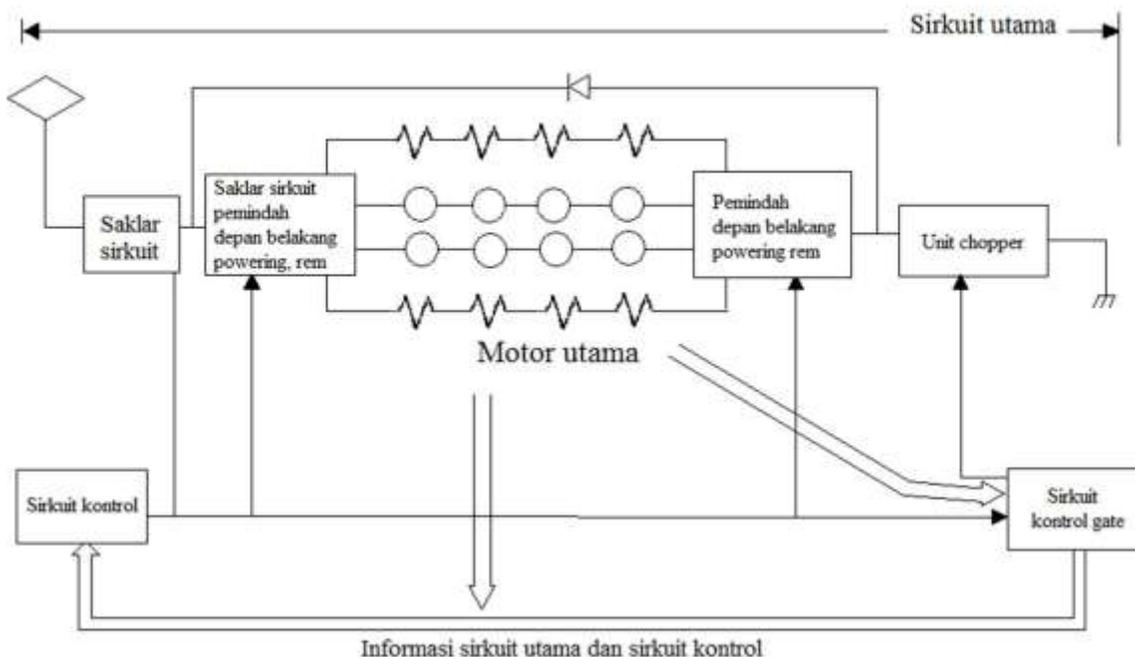
Powering pada KRL adalah proses dimana penyaluran tegangan selanjutnya setelah melewati perubahan tegangan dari konverter Silicon rectifier yang disalurkan kepada motor traksi dan chopper dc, disebut juga sebagai unit control yang berfungsi mengontrol tegangan (arus) yang ditambahkan motor utama, jika dibagi maka terdiri dari sirkuit motor utama dan saklar-saklar unit yang mengontrol aliran arus, unit chopper dan peralatan pendukungnya, sirkuit

Muhammad Rasyid Shiddiq, 2016

ANALISIS KINERJA KONVERTER DAN INVERTER PADA KELISTRIKAN KERETA REL LISTRIK DI PT. KERETA API COMMUTER JABODETABEK

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

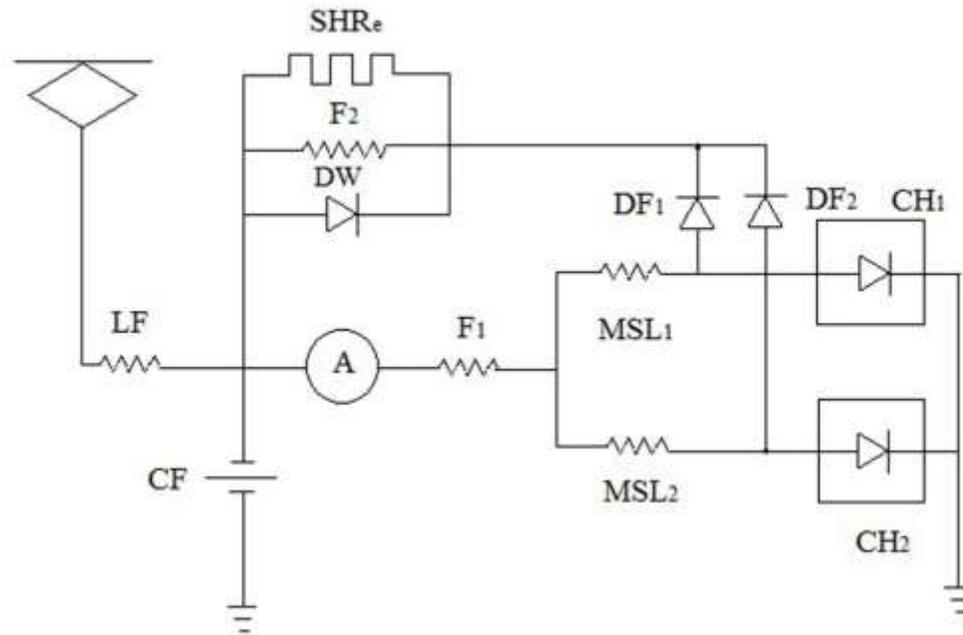
utama, saklar-saklar unit dan sirkuit control yang mengoperasikan kerja relay-relay terhubung (urutan kerja), lalu untuk sirkuit control gate yang mengontrol kerja chopper pada unit chopper, dijelaskan seperti gambar blok berikut ini



Gambar 3.4 Hubungan sirkuit utama – sirkuit kontrol

Seperti ditunjukkan gambar diatas ini, setiap sirkuit masing-masing saling berhubungan, meneruskan informasi bagaimana bekerjanya berdasarkan pada perintah, lalu sambil mem-feed back-nya seluruh unit kontrol akan bekerja, berikut ini dijelaskan garis besar setiap sirkuit

(i) Sirkuit Utama



Gambar 3.5 Line diagram sirkuit utama

-  : Jaringan Catenary dan Panthagraf
 LF : filter reactor
 CF : filter condenser
 : koil motor utama
 F1 : magnet gulungan motor utama
 F2 : magnet variabel motor utama
 DF : free foiling diode
 SHRe : resistansi magnet variabel
 MSL : reactor perata utama
 DW : diode magnet variabel
 CH : chopper unit

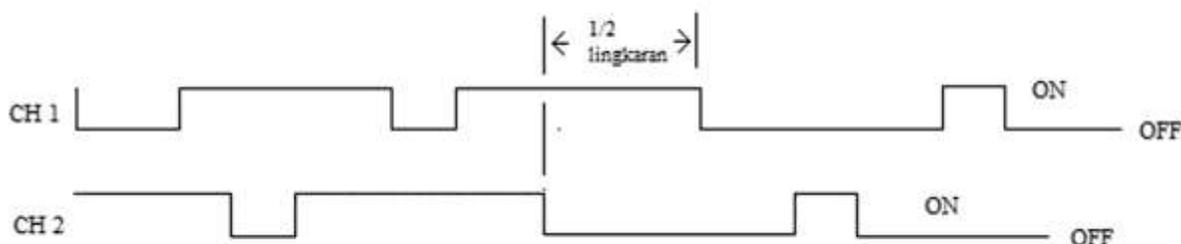
Unit chopper adalah bagian yang paling utama untuk mengontrol arus sirkuit utama, unit chopper (CH₁, CH₂) adalah saklar elektrik yang menggunakan thyristor, dengan perintah dari

Muhammad Rasyid Shiddiq, 2016

ANALISIS KINERJA KONVERTER DAN INVERTER PADA KELISTRIKAN KERETA REL LISTRIK DI PT. KERETA API COMMUTER JABODETABEK

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

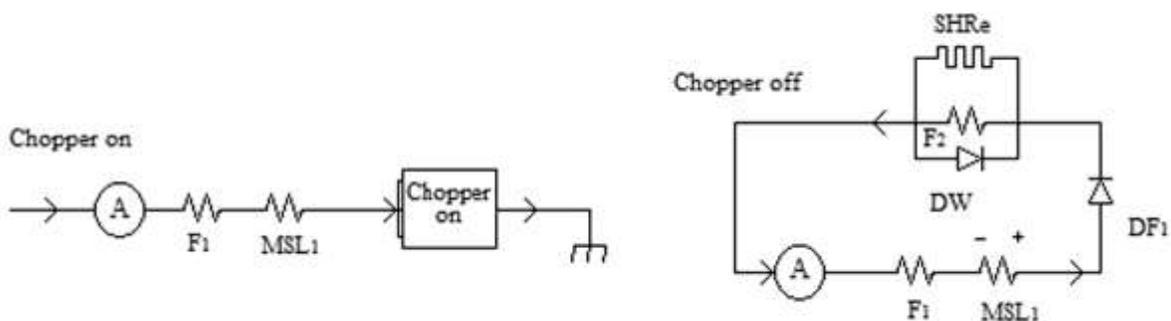
sirkuit kontrol gate maka bekerja bergantian on dan off. Timing off untuk 2 set chopper memiliki sudut phase 180° , atau bergeser $\frac{1}{2}$ lingkaran.



Gambar 3.6 Perbedaan phase copper

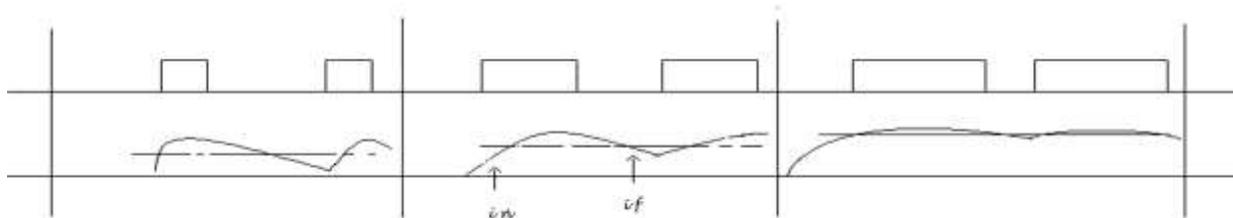
Penjelasan pada CH₁

Pada saat CH₁ on, Es yang diterima dari katenari akan melalui LF, lalu melewati \textcircled{A} , F₁ dan MSL₁, diground dari CH₁, lalu mengalir arus motor utama. Lalu begitu CH₁ off, sirkuit yang mengalir pada saat CH₁ on, titik ground-nya berhenti, tetapi pada saat itu, karena arus yang mengalir di MSL₁ menjadi 0, maka arahnya berlawanan, atau supaya dapat meneruskan aliran arus yang ada, MSL menimbulkan gaya elektromotoris ke belakang, karena hal itu, dari MSL akan melewati urutan DF₁ \Rightarrow F₂ \Rightarrow \textcircled{A} \Rightarrow F₁, dan mengalir arus berputar. Jika waktu on dan off berubah, maka arus perata berubah, dengan menggunakan hal ini maka dapat mengubah arus motor utama.



Gambar 3.7 Line diagram chopper on / off

Arus i_a adalah i_{in} , jika pada waktu chopper on menjadi i_{in} , dan jika pada waktu off menjadi i_{if} , maka



Gambar 3.8 Arus chopper

Dari gambar di atas, meskipun tegangan katenari pada saat chopper on adalah konstan, karena dapat merubah rasio on dan off, maka dapat merubah arus motor utama. Jika kita ubah redaksinya (karena tahanan beban sama), karena dapat merubah rasio on dan off (rasio aliran : $\alpha = t_2$) atau waktu on (waktu aliran : t_2), dan dengan bekerjanya MSI, maka ditambahkan tegangan yang hampir diratakan, sehingga dapat diperoleh tenaga putar yang halus.

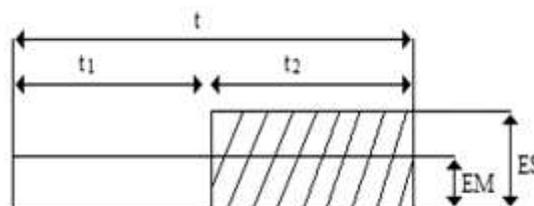
Mengenai perataan, jika kita rumuskan maka menjadi seperti :

Jika

$$E_m = E_s \times \frac{t_2}{t} \quad \alpha = \frac{t_2}{t}$$

Maka

$$E_m = \alpha E_s$$



Gambar 3.9 Penjelasan ratio aliran

Di lain pihak, jika kita jelaskan mengenai poin adanya 2 magnet motor utama dalam gambar, seperti dijelaskan sebelumnya, pada chopper off dan on pun, arus mengalir di magnet seri F_1 , magnet variabel F_2 hanya mengalir pada saat chopper off. Dan karena F_1 dan F_2 arahnya menjadi secara magnetis (arah yang menimbulkan magnet), maka menjadi volume magnet $F_1 + F_2$

Oleh karena itu, selama waktu alirannya pendek, atau selama tegangan terminal motor utama rendah, maka F_2 membesar, sedangkan jika waktu aliran panjang, karena F_2 berkurang, maka akan menjadi sistem magnet variabel otomatis yang melemahkan magnet secara otomatis (AVR).

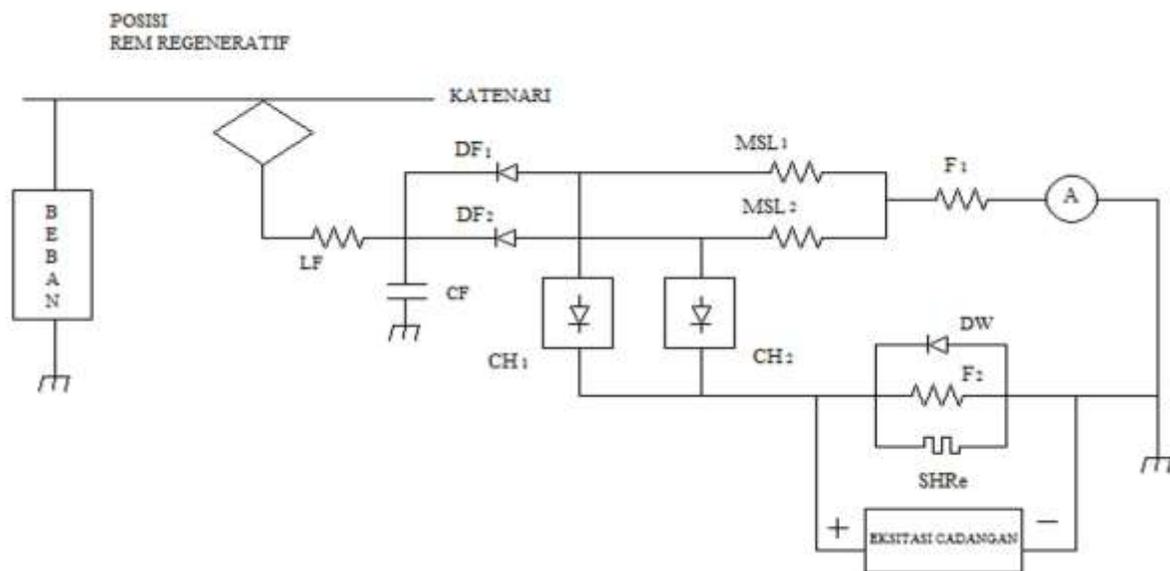
Dw yang terdapat dalam F_2 , pada waktu chopper on, melalui gaya elektromotorisnya, meskipun menimbulkan arus kontinu, supaya habis karena arus yang berputar pada Dw dan F_2 , pada saat thyristor off, SHRe melalui MSL mempertimbangkan sirkuit F_2 , dan karena supaya tegangan yang muncul naik, maka menekan naiknya tegangan yang ditambahkan di thyristor, tujuannya untuk menekan pengoprasian transformator antara F_1 , F_2 dan \textcircled{A} .

Sebagai bahan acuan, jika dibuatkan table rasio aliran pada setiap notch dan rasio magnet, maka seperti berikut ini :

Tabel 3.1 Rasio aliran setiap notch dan rasio magnet

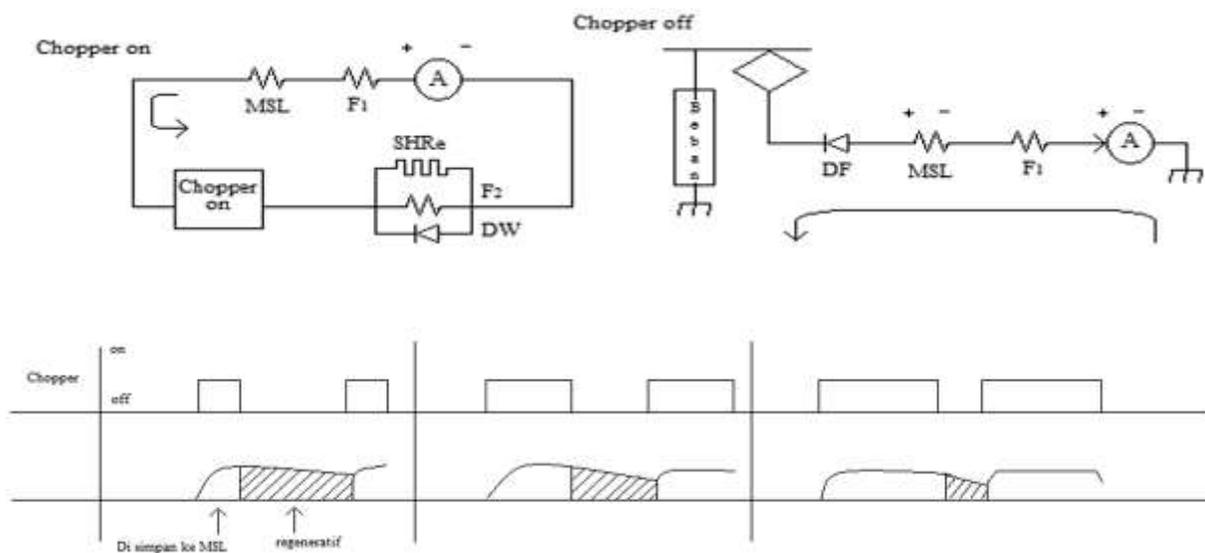
Notch 1	$\alpha = 0.1$	132% F
Notch 2	$\alpha = 0.52$	87% F
Notch 3	$\alpha = 0.89$	64% F
Notch 4	$\alpha = 1.00$	38% F

(ii). Chopper rem regeneratif



Gambar 3.10 Line diagram sirkuit utama regeneratif

Pertama-pertama menjadi eksitasi cadangan, dari sini F_2 mengalirkan arus dari kiri ke arah kanan pada gambar, lalu terjadi magnet fluk dalam motor utama. Pada saat itu, jika chopper on (sama dengan powering, hanya mempertimbangkan rute CH_1, MSL_1), motor utama mulai bangkit, arus yang bangkit ini melakukan proses perputaran dengan rute $F_1 \rightarrow MSL_1 \rightarrow CH_1$ $F_2 \rightarrow$ A , dan menyimpan energi di MSL. Selanjutnya, jika chopper off, MSL menahan arus yang ada karena gaya elektromotoris ke belakang, tetapi karena chopper off, dengan sirkuit $DF_1 \rightarrow LF$ Pantograf \rightarrow katenari kereta samping (beban \rightarrow ground, maka tegangan yang terjadi pada MSL ditambahkan ke tegangan yang terjadi pada motor utama, sehingga meregenerasi daya pembangkit. Oleh karena itu, terbalik dengan waktu powering, menarik energy listrik dari motor utama, sehingga terjadi regenerasi elektrik. Jika menginginkan tenaga rem yang besar caranya adalah dengan memendekkan waktu aliran, dan memanjangkan waktu chopper off.



Gambar 3.11 Arus chopper (regeneratif)

Jika mempertimbangkan cara kerja magnet variabel pada saat rem regeneratif, maka berbeda dengan waktu powering, karena masuk ke chopper secara seri, maka waktu aliran panjang, dan waktu mengalirnya F_2 menjadi panjang, terbalik dengan powering, waktu aliran yang panjang menjadikan magnet kuat.

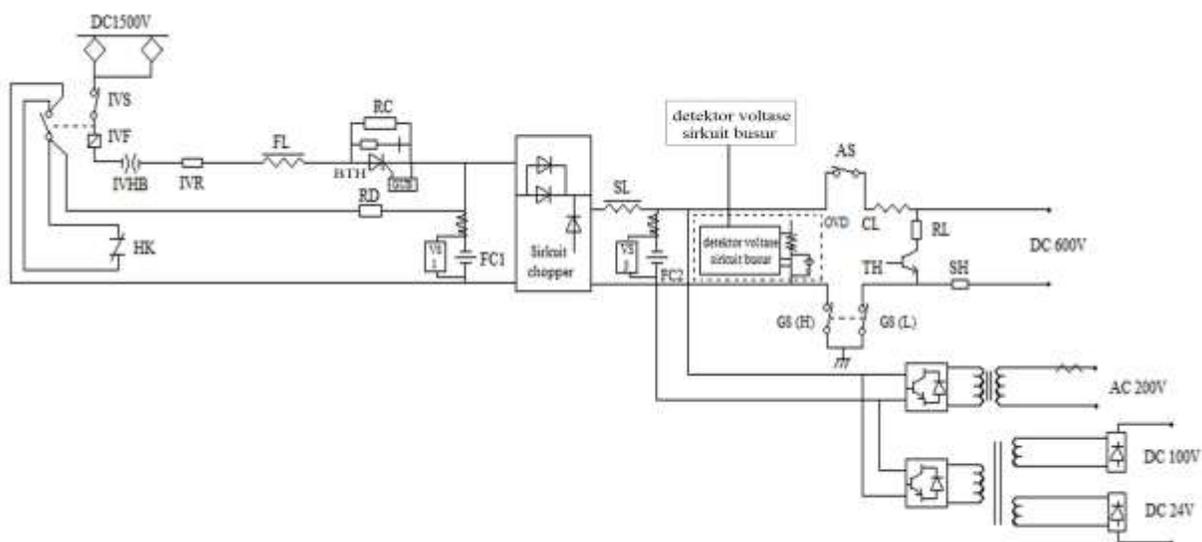
Tetapi, jika mempertimbangkan rem regeneratif, pada batas banyaknya volume rem regeneratif yang diperoleh maka magnet lemah, dan pada saat sedikit, magnet menjadi kuat, batas rem regeneratif pada kecepatan tinggi diperlebar, menyusu terjadinya kecepatan, sambil menambahkan waktu penyimpanan di MSL, akan memperkuat magnet, perlahan-lahan menurunkan arus motor utama, sehingga terjadi kontrol torsi konstan, dan rem regeneratif yang baik.

d. Sistem utama chopper dan inverter CVCF pada auxiliary

Struktur dari perangkat utama auxiliary ini adalah hubungan antara sirkuit chopper auxiliary dan sirkuit inverter CVCF auxiliary yang berfungsi sebagai suplay tegangan untuk kebutuhan fasilitas pada KRL, dengan penjelasan sebagai berikut.

Elemen chopper pada perangkat utama chopper auxiliary menggunakan GTO thyristor 4500 V, 600A, dengan direct para 2su 2juu chopper, voltase kabel (1500 VDC) dapat diturunkan ke voltase yang stabil yaitu 600VDC, konverter ini merupakan salah satu komponen Auxiliary yang digunakan sebagai Power Supply untuk mengcover semua kebutuhan listrik pada KRL yang sudah menggunakan sistem Air Conditioning. Selain bertujuan untuk menurunkan tekanan voltase kabel dari 1500 VDC menjadi 600 VDC berdasar direct para 2su 2juu chopper untuk menyediakan atau mensupply voltase yang stabil (600 VDC) pada muatan cooler inverter, juga bertujuan untuk mengubah 600 VDC yang ada pada CVCF inverter, transformer, dan instalasi rektifikasi menjadi 200 VAC, 100 VDC, 24 VDC yang berguna untuk mensupply lampu ruang penumpang, kontrol tenaga dan instalasi transmisi.

Pada instalasi DC-DC Converter mempunyai pendingin otomatis yang dapat berhenti dengan sempurna, sehingga dari segi suara noise-nya yang rendah, bentuknya kecil, terpercaya, dan penyimpanan pun dapat diukur atau terjamin.



Gambar 3.12 Sirkuit utama chopper dan inverter CVCF pada auxiliary

Berdasarkan line diagram dari sirkuit utama chopper auxiliary, tegangan dari pantograf masuk melewati proteksi IVS (circuit breaker input) sebagai DC1500V switch ke sirkuit konverter, IVF (fuse input) sebagai DC1500V fuse ke sirkuit konverter, IVHB (breaker berkecepatan tinggi) yang pada saat melampaui arus 300A maka akan bersifat self trip, dan IVR (resistor pembatas) apabila gelombang selisih arus listrik yang mengalir ke IVHB melonggar, maka resisten akan lebih mudah off dengan standar 0,2 ohm, bersamaan dengan itu tegangan masuk kepada HK (discharge kontaktor) sebagai kontaktor yang digunakan pada sirkuit discharge yang berfungsi untuk mendischarge muatan listrik filter kondensor FC1 dan FC2 pada saat konverter berhenti/stop dan RD (resisten discharge listrik) yang merupakan resisten yang digunakan pada sirkuit discharge filter kondensor FC1 dan FC2, kemudian aliran tegangan menuju kepada FL (reactor filter input) sebagai input tegangan ke bagian chopper dan melancarkan aliran arus listrik, dan melewati RC (resisten awal charging) untuk menghentikan masuknya arus listrik, dengan standar 250 ohm, serta BTH (blocking thyristor) yang berfungsi setelah charging awal, input tegangan dipastikan fix dan di seting ke posisi on dengan standar 2500V dan 1000A, kemudian di filter menggunakan FC1 (filter kondensor input) sebagai input tegangan ke bagian chopper dengan nominal 2000V, 1500 μ , sebelum masuk kepada sirkuit

chopper GTO thyristor, Output dari chopper melewati SL (reactor output chopper) untuk melancarkan aliran arus listrik dan output tegangan pada bagian chopper dengan nominal 600mH dan FC2 (kondensor output chopper) untuk melancarkan aliran arus listrik dan output tegangan pada bagian chopper dengan nominal 1000V, 4000 μ F, begitu output selisih potensial tegangan terdeteksi, sirkuit pendek thyristor OVTH dalam sirkuit OVD (sirkuit proteksi selisih potensial voltase) yang akan membentuk sirkuit busur, sehingga akan memproteksi instalasi, AS (breaker untuk sparasi sirkuit tegangan rendah) berfungsi sebagai breaker untuk sparasi bagian sirkuit DC1500V tekanan tinggi dengan bagian sirkuit DC600V tekanan rendah pada sirkuit utama konverter dengan standar DC1500V, 200A, CL (reaktor output) yang berfungsi untuk mengontrol ripple arus listrik output konverter, pada saat tidak ada muatan atau muatan ringan, output kondensor FC2 chopper akan berhenti dari peak chargingnya/resistennya RL (resisten untuk menstop peak charging), TN (transistor) berfungsi sebagai pengalir arus listrik ke resisten RL di atas, hanya pada saat tidak ada muatan atau muatan ringan, begitu transistor berada pada posisi ON maka arus listrik akan mengalir pada resisten RL dengan klasifikasi arus listrik akan ON di bawah 5A dan akan OFF diatas 10A, SH (shunt) digunakan sebagai deteksi output arus listrik, GK (konduktor penerima suplay listrik) pada saat kondensor normal, set pada posisi ON, output 600DC akan mensuplay muatan (cooler, AC) pada saat terkadi kerusakan berat, set kondensor GK pada posisi OFF, dan output 600DC akan memutuskan muatan, dengan standar 1500V, 320V.

hasil penyaluran tersebut output sirkuit chopper sebesar 600V, dan output ini sebagai tegangan masukan bagi inverter CVCF1 sebagai pengonversi tegangan kerja menjadi AC200V dengan frekuensi 60Hz untuk keperluan air conditioner, dan inverter CVCF2 sebagai pengonversi tegangan kerja menjadi DC100V, DC24V dengan jumlah frekuensi 600Hz yang masing-masing dari sirkuit inverter ini dilengkapi transformator dan komutator untuk output DC100V, DC24V. Merupakan inverter untuk sirkuit output DC100V dan DC24V dengan frekuensi masing-masing sebesar 60Hz untuk CVCF1 dan 600Hz untuk CVCF2 hal ini didasari dengan memperhitungkan efek terhadap signal-instalasi signal.

Sirkuit CVCF ini menggunakan transistor-inverter yaitu power transistor 1400V, 80A dengan klasifikasi CVCF1 merupakan inverter untuk output AC200V yang dijaga kestabilannya oleh PWM, dan CVCF2

Berdasarkan bentuk gelombang singkat, model 2 juu chopper merupakan model aktifasi dengan menunda pahasenya 180° , apabila dibandingkan dengan kurang lebih 2 sou 1 juu chopper. Berdasarkan sistem kontrol waktu ON (lebar pilse), 2juuchopper (GT1, GT2) tersebut, vvoltase dapat dijaga kestabilanya (600VDV) tanpa kaitanya dengan perubahan muatan.

Kemudian, gelombang arus listrik dari reactor SL dan gelombang voltase dari kondensor FC2 agar jelas, karena setiap arus listrik, reactor voltase nya kecil, maka reactor SL, kondesor F2 diubah kedalam bentuk yang kecil, dan memungkinkan suara nois dari reactor SL menjadi rendah.

Sirkuit chopper mengontrol signal output dari crystal waver. Crystal waver sangat stabil terhadap perubahan temperature maupun perubahan voltase power suplay, sehingga akurasi frekuensi chopper sangat tinggi.

3.4 Analisis Data

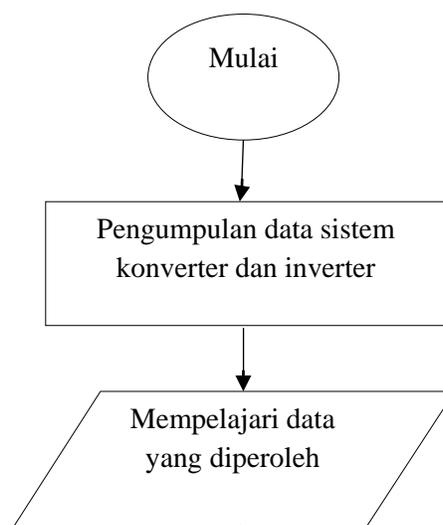
Setelah data berhasil dikumpulkan, penulis membuat sebuah tahapan penelitian yang digunakan sebagai alur penelitian, adapun tahapan-tahapan tersebut diantaranya:

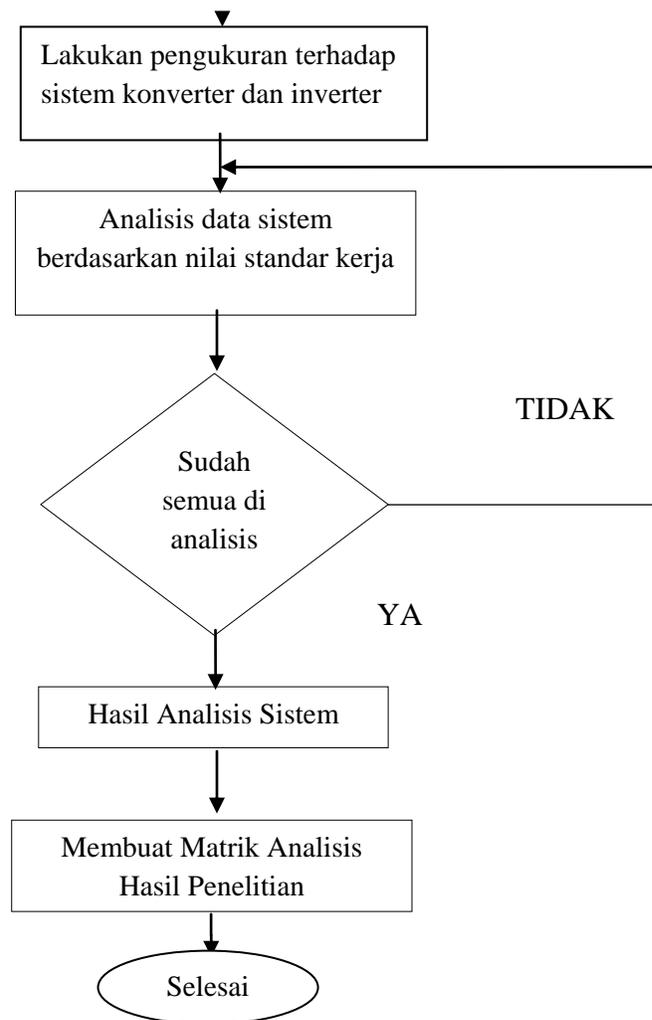
- a. Mencari referensi data mengenai bagaimana sebuah sistem yaitu konverter dan inverter tergolong dalam kualitas yang sangat baik.
- b. Mendeskripsikan bagaimana sistem kerja rangakaian dan fungsi sistem konverter dan inverter yang terdapat pada kelistrikan KRL.
- c. Membandingkan kualitas hasil pengukuran sistem konverter dan inverter yang terdapat pada kelistrikan KRL dengan ketentuan standar kerja pada sistem konverter dan inverter tersebut.

- d. Merekomendasikan hasil dari analisis berupa hasil perbandingan sistem dengan ketentuan standar kerja sistem tersebut.

Penelitian ini melakukan analisis kinerja pada sistem dengan ketentuan standar kerja dari sistem tersebut, adapun bagian-bagian yang diteliti disini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana kinerja sistem kelistrikan kereta rel listrik menurut klasifikasi konverter dan inverter yang terdapat pada kelistrikan kreta rel listrik.
- b. Menurut klasifikasi sistem konverter dan inverter perlu diperhatikan kesetabilan tegangan arus, maupun daya sesuai dengan standar maksimal dan minimum dari sistem tersebut, dengan mengacu kepada tegangan, arus dan daya sistem tersebut.
- c. Dengan hasil pengukuran sistem tersebut dapat diketahui bagaimana kinerja dari sistem tersebut bila dibandingkan dengan ketentuan standar kerja dari sistem tersebut.





Gambar 3.13 Alur Penelitian