

Studi Pengendali PI pada Vienna Rectifier 3 Fasa untuk Fast Charging Stations (FCHARs) Kendaraan Listrik

Wahyu Juliarto¹ Bagus Fatkhurrozi² Ibrahim Nawawi³

Jurusan Teknik Elektro FT UNTIDAR

wahyujuliarto123@gmail.com¹ bagus@untidar.ac.id² ibrahim_nw@untidar.ac.id³

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain FCHARs dengan vienna rectifier 3 fasa yang memiliki output sebesar 50kW dan dikendalikan oleh pengendali PI. Pada penelitian ini digunakan pengendali PI untuk mempercepat respon sistem dan mengurangi steady state eror. Hasil penelitian ini akan dibandingkan dengan vienna 1 fasa dan vienna rectifier 3 fasa tanpa pengendali PI. Untuk mentuning PI digunakan metode Ziegler-nichols osilasi dengan overshoot tidak lebih dari 25%. Metode osilasi ini mendapatkan nilai $K_p = 0,45$ dan nilai $K_i = 0,0166$. Pada penelitian ini, PI controller dengan tuning ziegler-nichols berhasil mengendalikan respon sistem dengan overshoot sebesar 19,5 % dan mencapai kondisi stabil dalam waktu 0,03 detik. Daya output yang dihasilkan dengan pengendali PI lebih besar jika dibandingkan dengan tanpa PI, yaitu sebesar 49980,68 W untuk pengendali PI dan 45348,60 W tanpa pengendali PI. Daya output yang dikeluarkan juga tiga kali lipat dari sistem satu fasa yang hanya sebesar 16670 W. Tegangan output yang dihasilkan yaitu sebesar 399,99 VDC dan arus output sebesar 124,97 A. Dengan menggunakan contoh baterai berkapasitas 50kWh, daya output yang dihasilkan juga mempengaruhi durasi pengisian yaitu 1 jam 0,3 detik untuk vienna rectifier dengan PI, 1 jam 6 menit tanpa PI dan 3 jam untuk sistem 1 fasa.

Keywords— FCHARs, Vienna Rectifier, PI Controller, Ziegler Nichols Osilasi, PWM

I. PENDAHULUAN

Meningkatnya penggunaan alat transportasi yang berupa kendaraan konvensional menyebabkan kerusakan pada lingkungan dan makhluk hidup, dikarenakan kendaraan konvensional membutuhkan bahan bakar berupa bensin, diesel, atau gas alam yang menghasilkan karbon dioksida (CO₂), sulfur dioksida (SO₂) dan oksida nitrogen sebagai komponen bahan bakar yang berbahaya [1]. Berdasarkan data dari European Environment Agency (EEA), di Eropa, sektor transportasi bertanggung jawab atas seperempat dari total gas rumah kaca. Sementara gas rumah kaca dari sumber lain turun 15% sedangkan di sektor transportasi naik 35% dari data yang di ambil dari tahun 1990-2010 [2]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut pada tahun 2012 dibuat protokol Kyoto dengan menyatakan bahwa penggantian kendaraan konvensional menjadi kendaraan listrik menjadi prioritas utama untuk mengatasi GRK [2].

Pemilihan kendaraan listrik BEV (Battery Electric Vehicle) sebagai transportasi masa depan masih memiliki beberapa masalah terutama waktu pengisian dan

ketersediaan stasiun pengisian. Kedua hal tersebut yang mempengaruhi tingkat pembelian kendaraan listrik menurut survei yang dilakukan terhadap pelanggan terhadap >5000 pelanggan Nissan Motor .Co [3]. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dibuat penelitian untuk merancang FCHARs (Fast Charging Stations) yang tepat. Berdasarkan arsitekturnya FCHARs dibagi menjadi 2 jenis yaitu Common DC Bus dan common AC Bus. Pada penelitian ini DC Common bus dipilih karena hanya menggunakan 1 kali konversi AC-DC sehingga lebih sederhana dan mengurangi biaya infrastruktur. Common DC bus juga memiliki kelebihan karena output yang dihasilkan bisa dihubungkan dengan sumber renewable energi seperti panel surya. Common DC Bus dibagi menjadi 2 bagian yaitu AC Stage dan DC Stage. AC stage merupakan central konverter untuk mengubah listrik AC menjadi DC, sedangkan DC stage merupakan DC-DC converter untuk menyesuaikan output dari AC stage dengan beban. Salah satu konverter AC Stage adalah vienna rectifier yang pada penelitian ini dipilih karena memiliki beberapa kelebihan seperti biaya yang murah, teknik kontrol yang sederhana, efisiensi yang tinggi dan gangguan harmonik yang rendah. Untuk mengoptimalkan transfer daya, vienna rectifier dikontrol dengan menggunakan pengendali PI dan sumber vienna rectifier menggunakan daya yang besar yaitu sistem 3 fasa.

Pengendali PI pada penelitian ini digunakan untuk mengurangi eror steady state, mencapai set point yang di inginkan, dan mempercepat respon sistem menuju titik stabil [6]. Untuk mengendalikan konverter dengan PI perlu ditentukan nilai konstanta proporsional (K_p) dan konstanta integral (K_i) yang tepat. Pada penelitian ini metode untuk menentukan nilai K_p dan K_i adalah metode Ziegler-Nichols osilasi. Metode Ziegler-Nichols osilasi merupakan metode tuning dengan batas overshoot 25%. Metode ini dilakukan dengan cara membuat gelombang berosilasi pada nilai kritis dan kemudian diambil nilai periode gelombang untuk menentukan nilai K_p dan K_i .

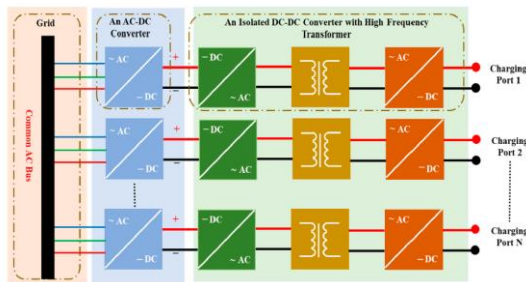
Berdasarkan hasil kajian, vienna rectifier 3 fasa memiliki kelebihan yaitu daya yang dihasilkan tiga kali lipat lebih besar dari sistem 1 fasa dan memiliki efisiensi yang tinggi. Faktor lain yang mempengaruhi sistem 3 fasa lebih baik yaitu karena pada sistem 3 fasa, daya sesaat yang dikirimkan lebih stabil, berbeda dengan sistem 1 fasa yang melonjak tinggi. Dalam pengiriman daya, sistem 3 fasa juga memiliki ukuran konduktor dan komponen lain yang lebih kecil jika dibandingkan dengan sistem 1 fasa [8]. Pada penelitian sebelumnya, vienna rectifier tiga fasa diterapkan dalam turbin angin sedangkan vienna rectifier satu fasa diterapkan pada charger kendaraan listrik, karenanya pada penelitian ini

akan mendesain vienna rectifier 3 fasa untuk fast charging stations.

II. LANDASAN TEORI

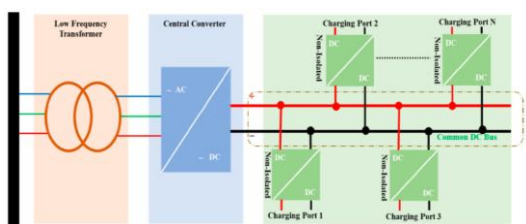
A. FCHARs (Fast Charging Stations)

FCHARs merupakan stasiun pengisian baterai kendaraan listrik cepat yang diterapkan pada perkotaan dan komersial. Berdasarkan kapasitasnya pengisian baterai kendaraan listrik dibagi menjadi 3 jenis yaitu tipe 1, tipe 2, dan tipe 3 [3]. Tipe 1 merupakan pengisian daya menggunakan 120 V AC atau 230V AC dan direkomendasikan untuk pengisian daya akelas rumah tangga. Tipe 2 merupakan pengisian daya menggunakan 240 VAC dan 400 V AC dan digunakan untuk publik. Sedangkan tipe 3 atau yang biasa disebut dengan FCHARs merupakan pengisian daya dengan kapasitas 50kW – 70kW 400-480VDC dan digunakan untuk aplikasi komersial dan perkoataan, pada stasiun pengisian bahan bakar misalnya. Berdasarkan topologinya, stasiun pengisian cepat (FCHARs) dibagi menjadi 2 yaitu common ac bus dan common dc bus. Common AC bus menggunakan menggunakan tranformator frekuensi tinggi dan beberapa ac converter yang digambarkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 FCHARs dengan arsitektur Common AC-Bus
 Sumber : Chakraborty. 2019

Common DC bus hanya menggunakan 1 buah AC-DC converter dengan 1 buah tranformator frekuensi rendah. Common DC bus memiliki kelebihan yaitu memungkinkan untuk diintergrasikan dengan sumber energi terbarukan, seperti panel surya misalnya. Topologi common DC Bus ditampilkan pada gambar 2.2.

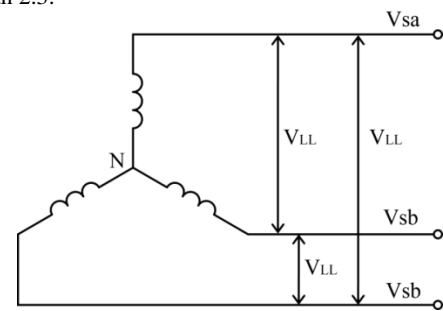


Gambar 2.2 FCHARs dengan arsitektur Common DC-Bus
 Sumber : Chakraborty. 2019

Berdasarkan gambar 4.1 dan 4.2 arsitektur fchars dibagi menjadi 2 jenis yaitu AC Stage dan DC stage. Pada bagian AC stage pada AC Common bus menggunakan tranformer frekuensi tinggi sedangkan pada DC Common Bus menggunakan Transformer frekuensi rendah [2]. Vienna rectifier merupakan salah satu konverter DC Common bus , dimana tugas utamanya yaitu sebagai central converter untuk mengkonversikan tegangan AC-DC dan diteruskan oleh DC-DC Converter di DC Stage. DC Stage tersebut bisa menggunakan DC-DC konverter sesuai dengan kriteria output yang diinginkan.

B. Listrik Sistem 3 Fasa

Untuk mendapatkan daya listrik yang lebih besar, maka sumber listrik yang digunakan pada Vienna rectifier untuk fast charging stations adalah sumber 3 fasa. Sumber 3 fasa memiliki kelebihan yaitu besar daya yang dihasilkan oleh sumber tiga kali lipat dari daya satu fasa. Sistem 3 fasa merupakan jaringan listrik yang memiliki 3 kawat listrik bertegangan sama yang memiliki beda fasa sebesar 120° dan memiliki satu titik netral. Secara umum sumber listrik 3 fasa dibagi menjadi 2 yaitu sumber star dan sumber delta. Vienna rectifier menggunakan listrik 3 fasa dengan sumber star. Ada beberapa parameter yang wajib diketahui pada listrik 3 fasa yaitu tegangan line to line, tegangan line to netral, frekuensi, dan beda fasa. Indonesia menggunakan listrik 3 fasa dengan frekuensi 50Hz, tegangan line to netral rms 220 V dan tegangan line to line rms sebesar 380 volt. Hubungan tegangan sumber pada masing masing fasa (line to netral) dengan tegangan line to line ditunjukkan pada persamaan 2.1, 2.2, dan 2.3.



Gambar 2.3 Sumber tegangan 3 fasa

$$V_{sa} = V_{ll} \sqrt{\frac{2}{3}} * \sin(2\pi ft + \theta \frac{\pi}{180}) \dots\dots\dots(2.1)$$

$$V_{sb} = V_{ll} \sqrt{\frac{2}{3}} * \sin(2\pi ft + \theta \frac{\pi}{180} - \frac{2\pi}{3}) \dots\dots\dots(2.2)$$

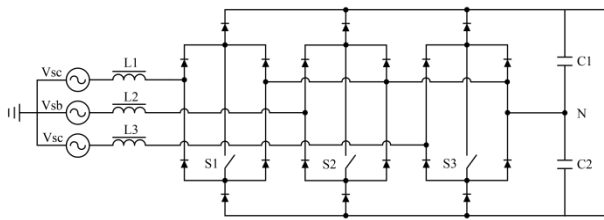
$$V_{sc} = V_{ll} \sqrt{\frac{2}{3}} * \sin(2\pi ft + \theta \frac{\pi}{180} + \frac{2\pi}{3}) \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

- Vsabc = Tegangan line to netral (Vrms = 220 V, Vpp = 311V)
- Vll = Tegangan line to line (Vrms = 380 V, Vpp = 537V)
- f = Frekuensi Listrik (Indonesia = 50Hz)
- θ = Sudut inisial fasa (°).

C. Vienna Rectifier 3 Fasa

Vienna Rectifier 3 Fasa merupakan penyearah terkendali yang memiliki 3 switch, 18 dioda, inductor input, dan kapasitor di sisi output. Vienna rectifier dikendalikan menggunakan PWM. Kapasitor pada bagian output dibagi menjadi 2, dengan nilai yang sama yaitu C1 dan C2. Masing-masing kapasitor menjadi 2 buah sumber tegangan yaitu +V0/2 dan -V0/2. Karenanya Vienna Rectifier memiliki 3 sumber tegangan yang berbeda, yaitu +V0/2, 0, dan -V0/2 [5]. Tegangan input pada penyearah ini ditentukan dari kondisi switch dan arah arus input. Input Induktor akan mencharge ketika switch hidup dan arus bertambah pada induktor, ketika switch off, induktor discharge (pengosongan) sampai positif dan negative diode bergantung pada arah arus. Arus input induktor menciptakan sumber arus di input, sedangkan kapasitor menciptakan tegangan di output. Schematic vienna rectifier 3 fasa ditampilkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Schematic vienna rectifier

Pemasangan induktor pada vienna menyebabkan arus bergeser sebesar ωt , sehingga untuk mendapatkan arus agar tidak bergeser dan memiliki power factor yang tinggi diperlukan control arus menggunakan PWM frekuensi tinggi [4]. Pada penelitian ini arus dibiarkan bergeser sesuai dengan besar induktor yang dipasang karena hanya menggunakan pwm dengan frekuensi fundamental.

Sumber tegangan vienna rectifier berupa sumber 3 fasa dengan masing-masing fasa memiliki selisih 120 derajat. Besar tegangan sumber vienna rectifier masing-masing fasa dituliskan pada persamaan 2.4, 2.5, dan 2.6.

$$V_{sa} = E_m \sin \omega t \dots \dots \dots 2.4$$

$$V_{sb} = E_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \dots \dots \dots 2.5$$

$$V_{sc} = E_m \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \dots \dots \dots 2.6$$

Jika merujuk pada hukum kirchoff tegangan, hubungan sumber 3 fasa dengan komponen konverter bias dituliskan pada persamaan 2.7.

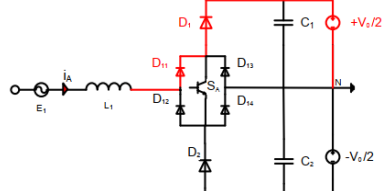
$$V_{sk} = L \frac{di_k}{dt} + V_{CN} \dots \dots \dots 2.7$$

Keterangan:

- V_{sk} = Tegangan sumber (k = a,b,c) (V)
- V_{CN} = Tegangan Output Kapasitor (V)
- L = Induktansi Sumber (H)
- I_k = Arus setiap fasa (k=a,b,c) (A)

Nilai pada tegangan output, bergantung pada kondisi switch setiap fasa dan arah arus fasa [5]. Ketika arus fasa positif dan switch off, besar tegangan V_{CN} dituliskan pada persamaan 2.7 dan digambarkan pada gambar 2.5

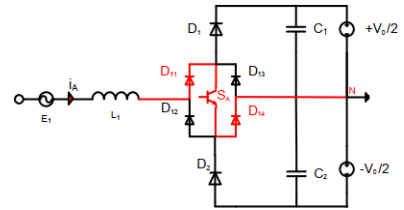
$$V_{CN} = + \frac{V_{DC}}{2} \text{ (dengan sk = 0) } \dots \dots \dots 2.7$$



Gambar 2.5 Arah arus positif dan S off

Ketika arah arus positif dan switch off, besar tegangan dituliskan pada persamaan 2.8 dan digambarkan pada gambar 2.6

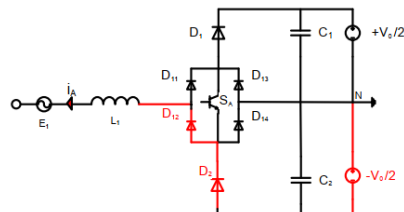
$$V_{CN} = 0 \text{ (dengan sk = 1) } \dots \dots \dots 2.8$$



Gambar 2.6 Arah arus positif dan S on

Ketika arah arus negative dan switch off, besar tegangan dituliskan pada persamaan 2.9 dan digambarkan pada gambar 2.7

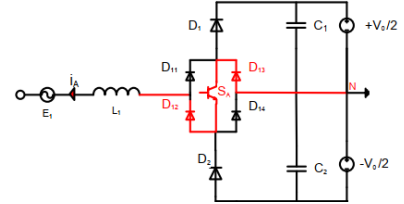
$$V_{CN} = - \frac{V_{DC}}{2} \text{ (dengan sk = 0) } \dots \dots \dots 2.9$$



Gambar 2.7 Arah arus negative dan switch off

Ketika arah arus negative dan switch on, besar tegangan dituliskan pada persamaan 2.10 dan digambarkan pada gambar 2.8

$$V_{CN} = 0 \text{ (dengan sk = 1) } \dots \dots \dots 2.10$$



Gambar 2.8 Arah arus negative dan switch on

Tegangan Output pada kapasitor C_1 dan C_2 Vienna Rectifier secara urut dapat dibagi menjadi 2 tegangan yaitu V_{DC1} ($+V_{DC}/2$) dan V_{DC2} ($-V_{DC}/2$) [7]. Tegangan ini dapat memastikan kesetabilan output dan menurunkan menjadi setengah tegangan DC link [7]. Jika merujuk pada hukum dasar tegangan, bahwa tegangan antara 2 titik merupakan selisih antara tegangan yang lebih tinggi dan rendah maka:

$$\Delta V = V_{DC1} - V_{DC2} \dots \dots \dots 2.11$$

Jikas tegangan pada kapasitor diketahui, maka arus pada kapasitor bisa dicari dengan persamaan 2.12.

$$I_C = C \frac{dV_C}{dt} \dots \dots \dots 2.12$$

Keterangan :

- C = Kapasitansi (F)
- V_C = Tegangan Kapasitor (V_{DC1} dan 2) (V)

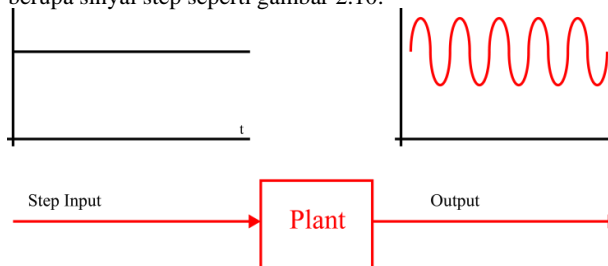
D. Sistem Kendali Proportional Integral (PI)

Kendali PI merupakan gabungan dari dua system kendali yaitu Proporsional dan Integral. Kendali PI dapat mempercepat settling time, dan meminimalkan steady state error yang terjadi pada system. Kendali PI didefinisikan melalui dua parameter kendali, yaitu proporsional (K_p), integral (K_i). Karakteristik proportional yang kecil menghasilkan response rise time yang lambat, namun bila nilai proportional yang besar akan membuat response sistem

tidak stabil [6]. Karakteristik integral dapat menghilangkan response error steady-state, namun pemilihan kendali integral yang tidak tepat dapat menyebabkan response transient yang tinggi. Sistem kendali PI memiliki model matematis tetapi ditransformasi kedalam domain laplace menjadi persamaan 2.13

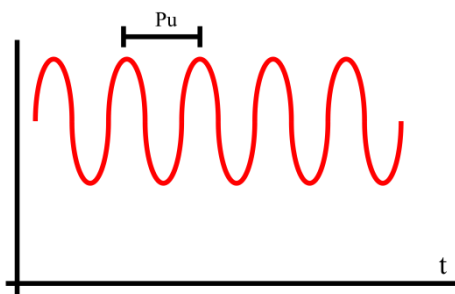
$$G(s) = Kp(E(s)) + \frac{1}{Tis} \dots \dots \dots 2.12$$

Faktor yang sangat penting dalam merancang kendali PI adalah penentuan parameter PI agar sistem kendali tertutup memenuhi kriteria yang diinginkan, penentuan parameter ini disebut juga dengan istilah tuning. Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu Ziegler-Nichols, yang memiliki dua cara yaitu osilasi dan kurva reaksi. Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan response sistem dengan overshoot maksimum sebesar 25% [6]. Pada penelitian ini, metode tuning yang digunakan yaitu dengan metode osilasi. Metode Ziegler-Nichols osilasi adalah metode tuning untuk sistem kendali tertutup dimana masukkan dari sistem kendali berupa sinyal step seperti gambar 2.10.



Gambar 2.10 Sistem dengan input step

Langkah pertama dalam metode ini yaitu mengeset nilai T_i menjadi 0 dan memberikan nilai mulai dari 0 hingga menekati nilai kritis. Nilai kritis merupakan nilai saat respon dari sistem beresilasi secara terus menerus dengan amplitude yang sama. Nilai K_p yang menyebabkan sistem beresilasi disebut ultimate gain (K_u) atau critical gain (K_{cr}). Setelah sistem mengalami osilasi langkah selanjutnya yaitu mencari nilai periode osilasi atau yang biasa disebut dengan P_u . Nilai P_u dicari dengan menghitung selisih waktu puncak dengan puncak sebelumnya seperti gambar 2.11.



Gambar 2.11 Osilasi dan nilai P_u

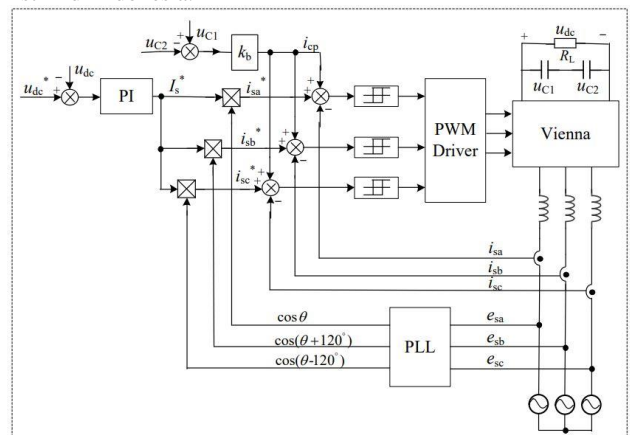
Setelah nilai K_u dan P_u didapat, selanjutnya yaitu mencari nilai K_p dan K_i menggunakan rumus tuning Ziegler nichols osilasi sesuai table 2.1.

Tabel 2.1 Rumus tuning Ziegler-Nichols Osilasi

Jenis Kendali	K_p	K_i	K_d
P	$0,5K_u$	~	0
PI	0,45	$\frac{1}{1,2}P_u$	0
PID	$0,6K_u$	$0,5P_u$	$0,125P_u$

E. Diagram Blok kendali Vienna Rectifier

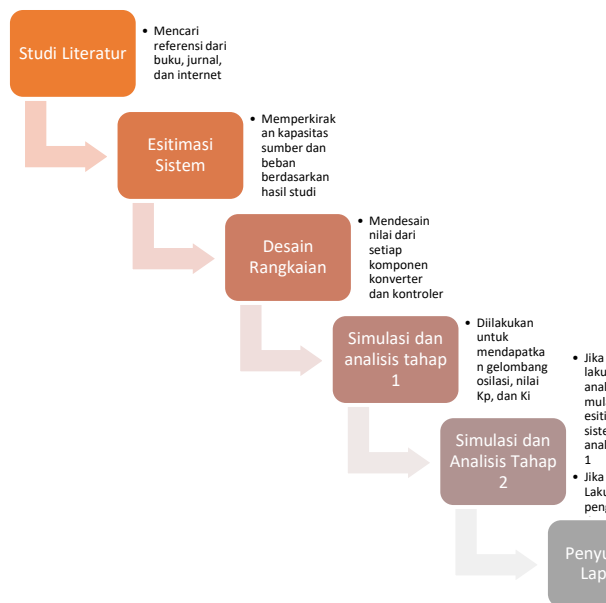
Vienna rectifier pada penelitian ini dikontrol menggunakan PWM dengan cara membandingkan sinyal input analog dengan batas dari komparator. Mula-mula tegangan DC output dibandingkan dengan tegangan referensi. Hasilnya berupa eror yang akan diolah oleh PI [1] dengan nilai K_p dan K_i yang ditentukan menggunakan metode Ziegler-nichols osilasi. Keluaran PI kemudian dibandingkan dengan tegangan phase yang nilainya kemudian dibandingkan dengan arus yang di sensing dengan menggunakan sensor arus pada setiap fasa. Pada penelitian sesuai diagram blok tersebut, nilai sensor arus juga dibandingkan dengan nilai K_b dan I_{sx} yang merupakan koefisien titik netral untuk titik netral, tetapi pada penelitian ini tidak dilakukan karena bukan fokus penelitian yang mana pada penelitian ini hanya mengendalikan output dan tegangan titik netral akan otomatis setengah dari V_{out} . Hasil perbandingan sensor arus akan dijadikan input untuk komparator histerisis dengan batas lower dan upper untuk membangkitkan PWM [1]. Penggunaan komparator dilakukan karena bisa membandingkan gelombang analog dengan sinyal referensi menjadi sebuah output dengan sinyal digital. PWM dari komparator histerisis setiap fasa memiliki 2 buah sinyal digital sehingga perlu diolah agar bisa memiliki satu input. Komponen digital yang dipilih adalah SR Flip flop karena bisa membandingkan 2 input digital menjadi 2 output digital yang nilainya berlawanan dan bisa dipilih salah satu outputnya untuk dijadikan switching pulse. Algoritma kontrol untuk setiap saklar atau switch dapat menjadi dilakukan dengan menggunakan gerbang XOR. Input dari OR eksklusif adalah tanda fase tegangan V_{sa} dan pulsa PWM [1]. Gerbang X-OR membandingkan sinyal digital dari SR Flip flop dengan sinyal digital dari komparator setiap fasa. Sinyal digital tersebut didapatkan dari perbandingan gelombang sinusoidal dari masing-masing fasa dengan nilai batas dari komparator sehingga menjadi output sinyal digital yang frekuensinya sama dengan frekuensi listrik di Indonesia.



Gambar 2.12 Daigram blok kendali Vienna rectifier

III. METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian Skripsi ini antara yaitu studi literatur, pemodelan sistem, simulasi rangkaian pada PSIM, analisis hasil dan kesimpulan.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

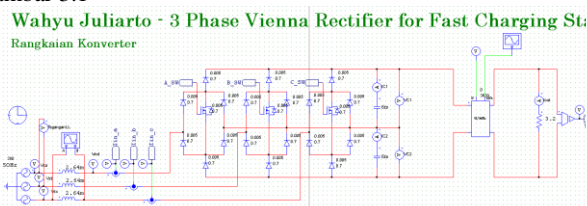
1) *Spesifikasi beban dan konverter*
 Pada Penelitian ini, Vienna rectifier yang dirancang sesuai dengan sistem kelistrikan di Indonesia dan disesuaikan dengan standar FCHARs (>40kW). Perancangan spesifikasi ini didasarkan pada model dasar teori di bab 2.

Tabel 3.1 Spesifikasi Sistem

Daya Output	50000 W
Tegangan DC Output	400 V
Arus Output	125 A
Sistem Kelistrikan sumber	Sistem 3 Fasa (Star)
Tegangan L-N	220 (rms) 311 (vpp)
Tegangan L-L	380 (rms) 537,5 (vpp)
Frekuensi sumber	50 Hz
Tegangan Treshold	0,7 V
Resistansi Semikonduktor	0,005 Ω
Tegangan Kapasitor	200 V
Induktansi	2,64 mH
Kapasitansi	6 mF
Resistansi Beban	3,2 Ω

2) *Simulasi rangkaian*

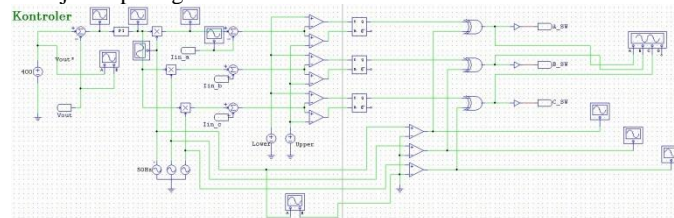
a. *Membuat rangkaian konverter*
 Setelah mendapatkan spesifikasi sumber, beban, dan konverter selanjutnya membuat rangkaian konverter di software PSIM. Proses perangkaian ini juga turut memberikan nilai komponen pada parameter seting. Rangkaian konverter pada software PSIM ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Rangkaian konverter pada software PSIM

b. *Membuat rangkaian Kontroler*

Rangkaian kontroler didesain untuk membangkitkan pulsa switching. Rangkaian kontroler ini terdiri dari beberapa blok yaitu, sensir tegangan, sensor arus, blok signum, komparator, upper dan lower, gerbang X-OR, SR Flip-flop, Sumber 3 fasa, dan osiloskop digital. Rangkaian kontroler pada PSIM ditunjukkan pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Rangkaian kontroler Vienna rectifier di PSIM

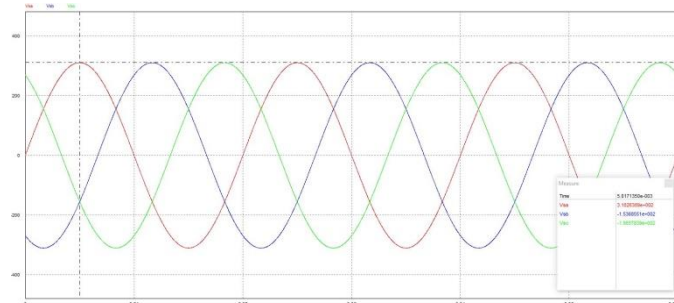
3) *Analisis hasil yang diperoleh*

Tahapan yang dilakukan pada tahap ini adalah menganalisis sumber 3 fasa, analisis kapasitas output apakah sesuai dengan perancangan, dan analisis pada setiap blok kontroler. Pengaruh nilai Kp dan Ki dalam mengendalikan respon sistem juga dilakukan. Setelah sisi konverter dan kontroler dianalisis selanjutnya analisis waktu pengisian baterai.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Pengujian Sistem 3 Fasa*

Berdasarkan gambar 4.1 terlihat nilai puncak dari fasa a sebesar 310,25 V dan untuk fasa b dan c besarnya sama. Grafik tegangan setiap fasa tersebut didapatkan dari persamaan 2.1, 2.2, dan 2.3. Dengan waktu sampling sebesar 0.005 sekon dan frekuensi sebesar 50Hz, dan sudut θ sebesar 0° (sudut inisial fasa) maka tegangan di setiap fasa dapat dihitung.



Gambar 4.1 Tegangan sumber 3 fasa

$$V_{sa} = 380 * \sqrt{\frac{2}{3}} * \sin(2\pi * 50\text{Hz} * 0,005 + (0 * \frac{\theta}{180}))$$

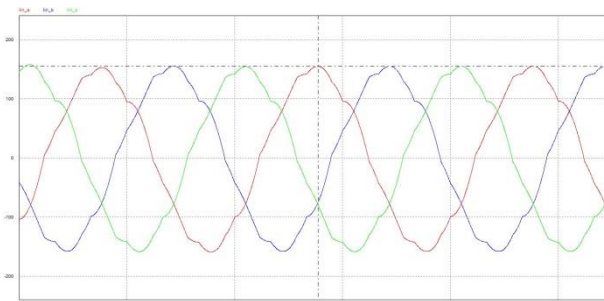
$$V_{sa} = 380 \sqrt{\frac{2}{3}} * \sin(0,5\pi + 0)$$

$$V_{sa} = 380 \sqrt{\frac{2}{3}} * \sin 90$$

$$V_{sa} = 310 \text{ V (Vpp)}, 220\text{V (rms)}$$

Hasil perhitungan manual tersebut sesuai dengan simulasi pada software PSIM yaitu 219,39 V. Untuk tegangan Vb dan Vc nilainya sama dengan Va hanya saja terdapat selisih fasa sebesar $-2\pi/3$ dan $+2\pi/3$. Selisih tersebut sesuai dengan hasil simulasi pada gambar 4.2. Pengujian sistem 3 fasa juga dilakukan pada arus sumber yang dihasilkan oleh induktor. Hasil pengukuran pada arus masing-masing fasa sebesar 154,7 A, secara perhitungan seharusnya menghasilkan arus input sebesar 107,18 A. Hal tersebut terjadi karena secara alami pemasangan induktor di sisi input pada Vienna

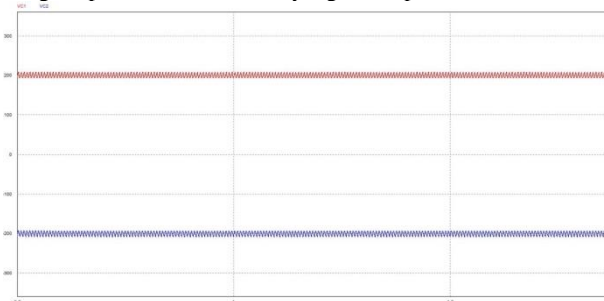
Rectifier dengan frekuensi switching natural (50Hz) menyebabkan pergeseran fasa [4] sehingga faktor daya menjadi sebesar 0,7 dan arus maksimal merupakan hasil kali arus induktor dengan $\cos \theta$ (0,7). Sehingga hasilnya adalah nilai arus sebesar 153,11 A (perhitungan) dan 154A secara simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Arus sumber 3 fasa

B. Pengujian Output

Pengujian output dilakukan dengan mensimulasikan tegangan output kapasitor, tegangan output DC, arus output, dan daya output. Pengujian ini dilakukan saat sistem sudah berada dalam kondisi stabil untuk mendapatkan nilai rms yang tepat. Hasil pengujian tegangan output C1 dan C2 ditunjukkan pada gambar 4.3. Pada grafik tersebut terlihat dua buah tegangan dengan nilai rms 199,97VDC dan -199,97 VDC. Hasil tersebut sesuai dengan perancangan dimana tegangan C1 dan C2 adalah sebesar $VDC/2$ dan $-VDC/2$, dengan spesifikasi nilai VDC yang diharapkan adalah 400V.



Gambar 4.3 Grafik tegangan VDC1 dan VDC2

Hasil simulasi tegangan dan arus output ditunjukkan pada gambar 4.4. Pada grafik tersebut didapatkan nilai rms arus sebesar 124,97A dan rms tegangan sebesar 399,93V. Hasil tersebut sesuai dengan perancangan yang nilainya 400VDC dan 125A.

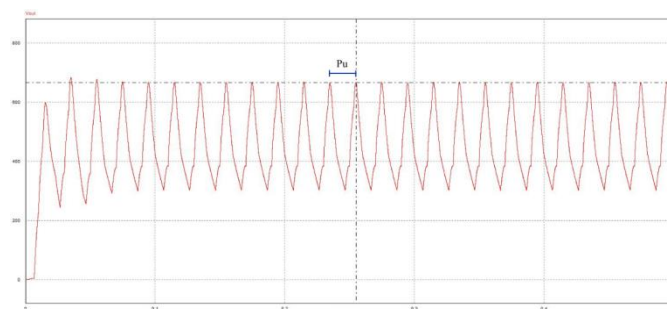


Gambar 4.4 Grafik tegangan dan arus output

C. Pengendalian dengan PI

Pengendalian ini dilakukan agar output sesuai set point yang di inginkan. Langkah pertama yaitu memberikan nilai Kp hingga mendekati nilai kritis (Ku) dan memberikan nilai Ti sebesar 0. Karena pada PSIM jika diberikan nilai 0 eror,

maka nilai Ti di set agar benar-benar mendekati 0 sampai batas maksimal di software PSIM. Nilai Ti yang diberikan yaitu sebesar 1×10^{-308} dan nilai Ku adalah 1. Osilasi system ditunjukkan pada gambar 4.5.



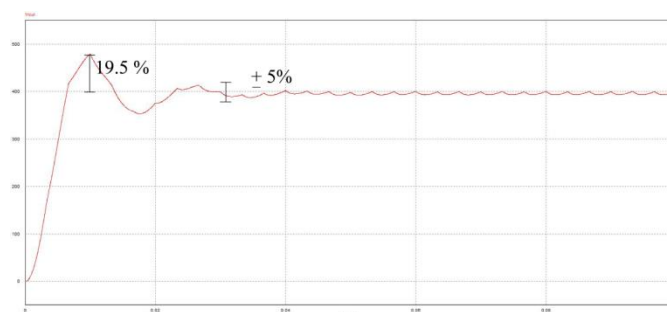
Gambar 4.5 Osilasi sistem

Pada gambar 4.5 terlihat grafik osilasi dengan nilai amplitude yang sama dan tidak mengalami perubahan nilai. Osilasi tersebut sudah memenuhi syarat pengambilan nilai Pu untuk mentuning kendali PI. Nilai Pu yang didapat sebesar 0.0198 dan nilai Ku sebesar 1. Nilai Ku dan Pu kemudian digunakan untuk menghitung nilai Kp dan Ki yang hasilnya ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai Kp dan Ki dengan metode Ziegler-nichols osilasi

Jenis Kendali	Nilai Kp	Nilai Ki
PI	0,4500	0,01656

Setelah mendapatkan nilai Kp dan Ki, simulasi dilakukan kembali dan mendapatkan respon tegangan seperti pada gambar 4.6.

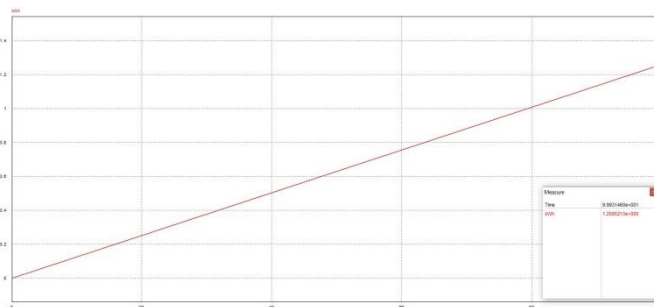


Gambar 4.6 Respon sistem setelah dituning

Setelah dilakukan tuning dengan metode osilasi, sistem menjadi stabil dengan nilai setpoint sebesar 400VDC. Overshoot sistem yang hanya sebesar 19,5% juga tidak melebihi standar kestabilan Ziegler Nichols yaitu sebesar 25%. Persentase overshoot ini didapat dari perbandingan nilai overshoot dengan nilai set point. Dengan menggunakan kendali Pi Ziegler Nichol ini, respon sistem mencapai kondisi stabil pada waktu 0,03 detik. Kondisi stabil tersebut didapat apabila respon sudah mendekati set point setidaknya kurang dari 5%. Hasil dari tuning ini juga mempengaruhi daya output, karena respon yang mencapai set point yang tepat, berbeda dengan vienna rectifier yang tidak dikontrol dengan menggunakan PI. Perbandingan daya output dengan dikontrol PI dan tidak dikontrol PI ditampilkan pada gambar 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.7 Daya output dengan PI



Gambar 4.10 Hasil kWh meter tanpa PI

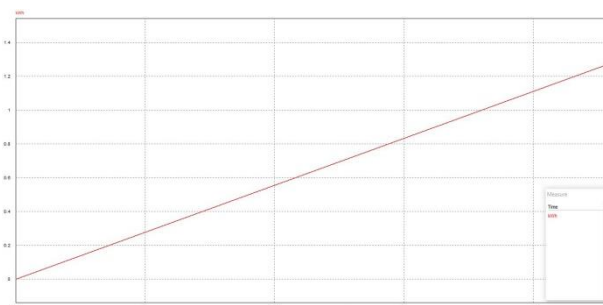


Gambar 4.8 Daya Output tanpa PI

Pada gambar 4.7 dan 4.8 menunjukkan hasil daya output dengan kendali PI sebesar 49980 W, sedangkan jika tanpa pengendali PI daya yang dikeluarkan sebesar 45348,6 W. Secara konsep perbedaan daya output juga mempengaruhi perbedaan durasi pengisian. Apabila hasil keluaran vienna rectifier 3 fasa dibandingkan dengan vienna rectifier dengan asumsi spesifikasi yang sama juga akan menghasilkan perbedaan kapasitas daya yang jauh karena daya yang ditransfer hanya sepertiga dari charger 3 fasa. Misalkan penyearah 3 fasa dengan asumsi efisiensi 100% dan spesifikasi yang sama pun akan menghasilkan daya sebesar 16,67kW.

D. Durasi Pengisian Baterai

Pengujian durasi pengisian dilakukan dengan memasang kWh meter pada sisi output. Dengan mengambil sampling waktu selama 100 detik, hasil transfer daya dari charger dengan pengendali PI sebesar 1,3870 kWh dan tanpa pengendali PI sebesar 1,2580 kWh seperti ditampilkan pada gambar 4.9 dan 4.10.



Gambar 4.9 Hasil kWh meter dengan PI

Dari hasil pengujian menggunakan kWh meter tersebut, maka bisa dicari besar energi yang ditransfer selama selang waktu tertentu. Misalkan selama 1 jam energi yang ditransfer menggunakan PI sebesar 49,9461 kWh dan tanpa pengendali PI sebesar 45,3067 kWh. Energi yang ditransfer per detiknya juga bisa digunakan untuk menghitung lama pengisian baterai, misalkan baterai dengan kapasitas 50kWh bisa discharge menggunakan vienna rectifier yang dikontrol PI tersebut bisa mencharge selama 1 jam 3,6 detik, sedangkan dengan menggunakan charger vienna rectifier tanpa PI bisa menghabiskan waktu selama 1 jam 6 menit. Jika dibandingkan dengan durasi pengisian menggunakan vienna rectifier 1 fasa dengan asumsi spesifikasi konverter yang sama dan beban baterai yang sama (50kWh), maka durasi pengisian daya menggunakan vienna rectifier 1 fasa selama 3 jam atau memiliki selisih waktu pengisian selama 2 jam.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data pada penelitian implementasi vienna rectifier tiga fasa untuk FCHARs dengan pengendali PI, disimpulkan bahwa daya yang dikeluarkan yaitu sebesar 49980 W. Hasil daya output ini sebesar 3 kali lipat dari penyerah 1 fasa. Tegangan dan arus output yang dihasilkan juga sesuai perancangan yaitu sebesar 399,93 V dan 124,97 A. Pada penelitian menggunakan kendali PI juga menghasilkan daya keluaran yang berbeda yaitu 49980 W untuk vienna rectifier dengan PI dan tanpa PI sebesar 45348,6 W.

Pada penelitian ini PI pada vienna rectifier berhasil memperbaiki respon sistem tegangan dengan error steady state sebesar 0,0014%. Overshoot jugatidak melebihi standar kestabilan Ziegler-Nichols yaitu sebesar 19,5%. Respon sistem tegangan juga mencapai kondisi stabil dalam waktu 0,03 detik. Daya keluaran juga mempengaruhi durasi pengisian baterai dengan kapasitas 50 kWh. Vienna rectifier 3 fasa dengan Pi dan tanpa Pi memiliki selisih pengisian sebesar 6 menit. Sedangkan vienna rectifier 3 fasa dan 1 fasa memiliki selisih pengisian selama 2 jam. Vienna rectifier dengan menggunakan switching frekuensi rendah juga menghasilkan nilai faktor daya yang belum maksimal sehingga perlu kontrol untuk menaikkan faktor daya. Pada saat menentukan nilai periode osilasi (P_u), disarankan untuk melakukan pencuplikan nilai secara cermat agar nilai K_p dan K_i yang didapatkan lebih tepat..

REFERENSI

- [1] Aissa, O., Moulahoum, S., Babes, B., & Kabache, N. (2017). Design and real time implementation of three-phase three switches three levels Vienna rectifier based on intelligent controllers. *Applied Soft Computing*, 56, 158-172.
- [2] Chakraborty, S., Vu, H. N., Hasan, M. M., Tran, D. D., Baghdadi, M. E., & Hegazy, O. (2019). DC-DC converter topologies for electric vehicles, plug-in hybrid electric vehicles and fast charging stations:

- State of the art and future trends. *Energies*, 12(8), 1569.
- [3] Dickerman, L., & Harrison, J. (2010). A new car, a new grid. *IEEE Power and Energy Magazine*, 8(2), 55-61.
- [4] MJ, K. K. (2012). Design, hardware implementation and control of a 3-phase, 3-level unity power factor rectifier (Doctoral dissertation, Indian Institute of Science Bangalore-560 012 India).
- [5] Nikouei, M. (2013). Design and evaluation of the vienna rectifier for a 5MW wind turbine system (Master's thesis).
- [6] Ogata, Katsuhiko. *Teknik Kontrol Otomatis*. 1997. Jakarta: Erlangga
- [7] RAMASAMY, S., & Reddy, D. (2017). Design of a three-phase boost type vienna rectifier for 1kW wind energy conversion system. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 7(4), 1909-1918.
- [8] Ramdhani, M. (2008). Rangkaian Listrik. In M. Ramdhani, *Rangkaian Listrik* (pp. 392-393). Ciracas, Jakarta 13740: Erlangga.