

Automatic Voltage Regulator (AVR) Generator dengan Mikrokontroler Menggunakan Metode *Hill Climbing*

Graciana Yuniarti Puspitaputri, Ciptian Weried Priananda dan Dwiky Fajri Syahbana
Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
e-mail: ciptian@eea.its.ac.id

Abstrak—Peran generator yaitu menghasilkan listrik sesuai dengan standar listrik Indonesia sebesar 220 Volt. Namun perubahan kecepatan putar rotor dan jumlah beban mempengaruhi kestabilan tegangan terminal generator. Jika putaran rotor generator cepat, maka tegangan terminal membesar. Beda halnya dengan jumlah beban yang dihubungkan ke-generator, jika beban bertambah maka tegangan terminal turun. Dengan begitu diperlukan pengatur tegangan eksitasi yang mempengaruhi kestabilan tegangan terminal generator. Pengembangan penelitian ini berupa *Automatic Voltage Regulator (AVR)* yang terdiri dari beberapa komponen. Terdapat *DC-DC converter*, *regulator*, mikrokontroler, *voltage divider*, dan *rectifier* sebagai komponen penyusun AVR. Tegangan masukan diproses menggunakan metode *Hill Climbing*. Metode *Hill Climbing* adalah salah satu metode yang dapat digunakan pada AVR untuk menentukan langkah berikutnya dengan menempatkan titik yang akan muncul sedekat mungkin dengan sasarannya. Metode ini berperan mengatur besar tegangan eksitasi yang dihubungkan ke-rotor generator. AVR diintegrasikan dengan generator AC 1 phase. Tegangan eksitasi generator dapat diatur oleh AVR menggunakan metode *Hill Climbing* dengan presentase ketepatan respon sebesar 91,3%. Sistem ini memiliki presentase error sebesar 8,7%.

Kata Kunci—AVR, *DC - DC converter*, Generator, dan *Hill Climbing*.

I. PENDAHULUAN

TEGANGAN pada generator penting untuk dijaga konstan. Konstan yang dimaksud yaitu diangka sekitar 220 Volt. Keluaran tegangan generator dapat berubah dipengaruhi oleh kecepatan rotor dan beban yang diberikan. Kestabilan tegangan generator ditentukan oleh kestabilan tegangan yang dilakukan oleh sistem eksitasi. Terdapat rangkaian pengontrol dalam generator sinkron yang terintegrasi disebut *Automatic Voltage Regulator (AVR)*. Prinsip kerjanya yaitu dengan mengatur besar tegangan eksitasi secara otomatis yang telah dihubungkan dengan rotor generator. Besar tegangan yang dikeluarkan berdasarkan deteksi tegangan dari terminal. Tegangan eksitasi diatur menggunakan *DC-DC converter*. Tujuan pada penelitian ini yaitu dilakukan pengaturan tegangan eksitasi otomatis dilakukan oleh AVR dengan menggunakan mikrokontroler serta *DC-DC converter*. Generator harus menghasilkan tegangan terminal yang stabil 220 Volt. Kestabilan tegangan ini berfungsi untuk menjaga peralatan listrik agar tidak rusak. Saat generator diberi beban, yang terjadi yaitu tegangan turun. Dengan begitu diperlukan AVR yang berfungsi untuk menjaga tegangan terminal agar tetap stabil. Pengembangan sistem ini menggunakan mikrokontroler dengan metode *Hill*

Climbing. Prinsip kerjanya yaitu dengan mengatur besar tegangan eksitasi yang dihubungkan dengan rotor generator secara otomatis. Besar tegangan yang dikeluarkan berdasarkan deteksi tegangan dari terminal. Tegangan eksitasi diatur menggunakan *DC - DC converter*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Generator Sinkron

Generator sinkron adalah mesin sinkron yang mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator bekerja berdasarkan prinsip kerja induksi elektromagnetik atau fluksi yang kemudian mengubah energi listrik. Azas generator yang bekerja berdasarkan Hukum Induksi Faraday : “Apabila jumlah garis gaya yang melalui kumparan diubah, maka gaya gerak listrik dinduksikan dalam kumparan itu. Besarnya gaya gerak listrik yang dinduksikan berbanding lurus dengan laju perubahan jumlah garis gaya melalui kumparan”.

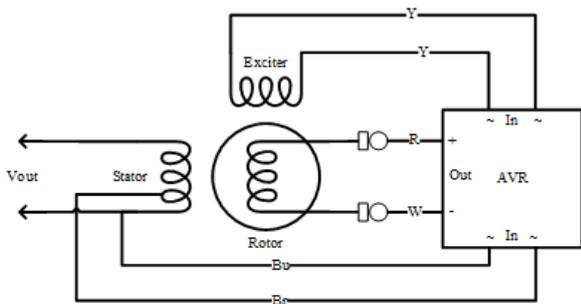
Generator sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Kumparan medan rotor diberi arus searah sehingga mendapatkan tarikan dari kutub medan stator hingga turut berputar dengan kecepatan yang sama [1].

Pada suatu pembangkit energi listrik yang menggunakan generator sinkron ada dua hal pengaturan yang harus dilakukan yaitu pengaturan tegangan keluaran yang berhubungan dengan daya reaktif dan frekuensi keluaran yang berhubungan dengan daya aktif generator. Ketika beban naik terjadi penurunan tegangan keluaran dan ketika beban turun terjadi kenaikan tegangan keluaran maka diperlukan pengaturan tegangan keluaran dengan cara mengatur arus eksitasi [2].

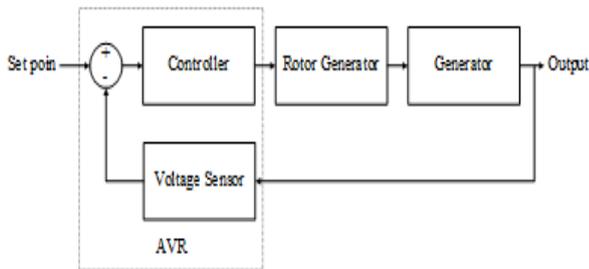
Dampak penurunan dan kenaikan nilai tegangan keluaran generator berpengaruh pada kapabilitas generator dilihat dari sisi *under* eksitasi dan *over* eksitasi. Untuk mengatur tegangan keluaran generator menggunakan AVR (*Automatic Voltage Regulator*) dengan mengatur sudut penyalan thyristor pada rangkaian konverter [3].

B. Eksitasi Generator

Sistem eksitasi adalah suatu peralatan yang bertugas menjaga tegangan dan daya reaktif generator agar tetap pada nilai kerja yang diinginkan. Suatu kenaikan daya reaktif pada sisi beban mengakibatkan penurunan *magnitude* tegangan terminal. Penurunan tegangan terminal ini kemudian disensor oleh suatu potensial transformator. Selanjutnya tegangan terminal disearahkan dan dibandingkan dengan suatu titik nilai acuan [4]. Pengatur sinyal kesalahan penguat mengatur



Gambar 1. Aliran tegangan dari dan ke AVR.

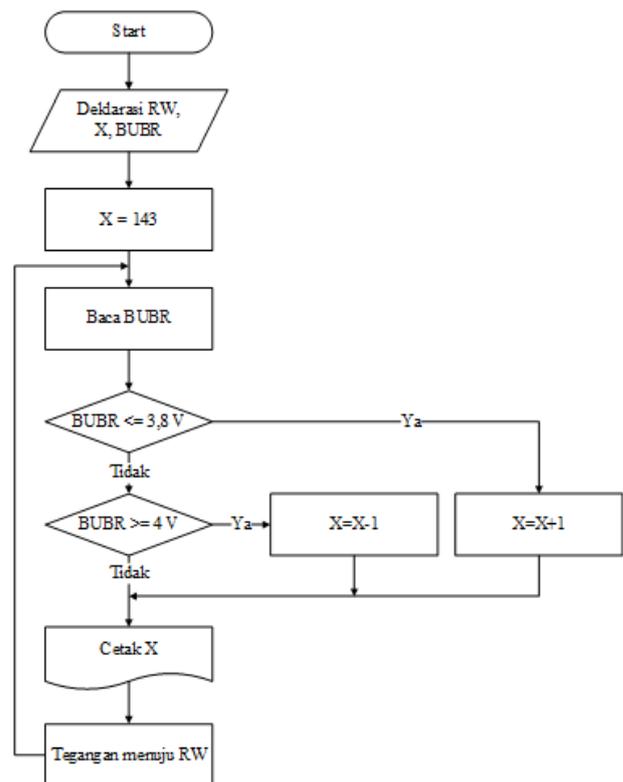


Gambar 2. Diagram blok AVR.

tegangan eksitasi sehingga tegangan eksitasi generator meningkat. Jika tegangan eksitasi meningkat maka daya tegangan yang dibangkitkan oleh generator meningkat pula. Sistem eksitasi generator merupakan elemen penting untuk membentuk profil tegangan terminal generator yang stabil. Sistem pengoperasian unit eksitasi generator ini berfungsi untuk menjaga agar tegangan generator tetap konstan dengan kata lain generator tetap mengeluarkan tegangan yang selalu stabil tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah, dikarenakan beban sangat mempengaruhi tegangan keluaran generator [5]. Arus yang masuk dalam generator berbanding lurus dengan tegangan. Macam – macam eksitasi generator yaitu dengan cara eksitasi terpisah, eksitasi sendiri, dan eksitasi tanpa sikat.

C. Automatic Voltage Regulator (AVR)

Generator sinkron mempunyai permasalahan yaitu ketidakstabilan tegangan pada saat perubahan beban, sehingga dibutuhkan peralatan yang dapat mengendalikan kestabilan tegangan generator sinkron yaitu *Automatic Voltage Regulator (AVR)* [6]. AVR merupakan alat bantu untuk mengendalikan besarnya eksitasi medan DC yang dicatukan pada generator. Bila tegangan terminal generator turun karena perubahan beban, AVR secara otomatis menaikkan pembangkitan medan sehingga tegangan kembali normal. Sama halnya bila tegangan terminal naik karena perubahan beban, AVR mengembalikan nilai tegangan normalnya dengan mengurangi eksitasi medan. Hampir semua pengatur tegangan mengendalikan eksitasi medan generator secara tak langsung yaitu dengan mengoperasikan rangkaian pengekspitasi medan. Arus yang harus ditangani oleh AVR jauh lebih kecil dalam rangkaian medan pengekspitasi daripada dalam rangkaian medan generator. AVR juga sebagai pengaman pada perangkat milik pelanggan. Permintaan beban sangat beragam, jika terjadi kenaikan dan penurunan beban maka tegangan secara berulang berpengaruh. Perubahan tegangan ini harus tetap dijaga dan distabilkan agar tidak terjadi kerusakan pada perangkat milik pelanggan.



Gambar 3. Diagram alir program closed-loop.

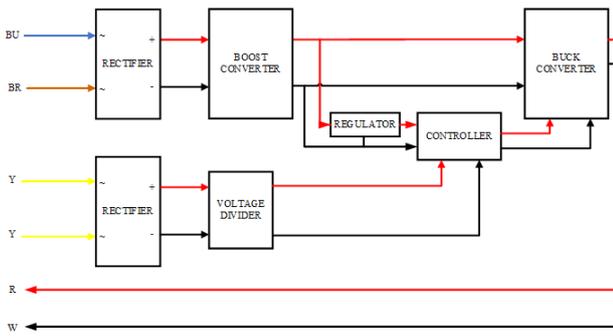
D. DC – DC Converter

Perangkat yang digunakan untuk mengkonversi masukan tegangan DC ke tegangan keluaran DC tanpa mengubah polaritas dari sumber disebut dengan *DC – DC converter*. Sumber untuk masukan konverter DC – DC dapat diperoleh dari aki, baterai, atau dari sumber tegangan AC yang telah disearahkan dan difilter [7]. Tegangan keluaran dapat beragam berdasarkan *duty cycle* pada rangkaian. *Duty cycle* adalah rasio waktu saat rangkaian *on* dibandingkan saat rangkaian *off*. Terdapat beberapa topologi utama pada konverter DC-DC, yaitu *buck converter*, *boost converter*, dan *buck – boost converter* [7]. Buck converter berfungsi untuk menurunkan tegangan keluaran, sehingga tegangan masukan lebih besar daripada tegangan keluaran. Konverter yang berfungsi untuk menaikkan tegangan keluaran yaitu *boost converter*. *Buck – boost converter* berfungsi untuk menaikkan serta menurunkan tegangan keluaran.

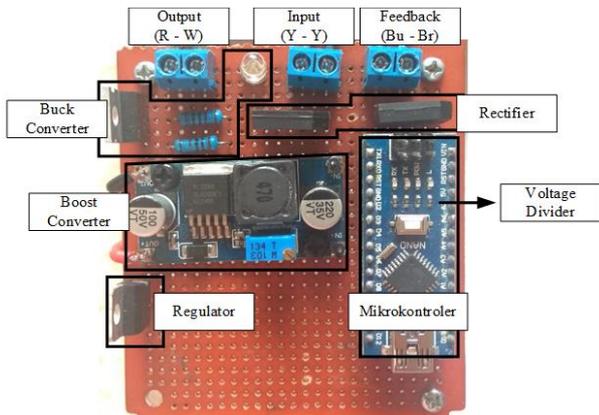
E. Metode Hill Climbing

Metode *Hill Climbing* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pencarian langkah [8]. Cara kerjanya adalah menentukan langkah berikutnya dengan menempatkan titik yang akan muncul sedekat mungkin dengan sasarannya [9].

Metode *Hill Climbing* merupakan metode yang digunakan untuk mengatur tegangan keluaran dari AVR. Tegangan keluaran dari AVR terhubung dengan rotor generator. Tegangan dalam rotor menginduksi stator secara magnetik, sehingga tegangan di terminal dapat menghasilkan tegangan listrik. Metode ini diatur secara *closed – loop*, sehingga tegangan keluaran berubah – ubah seiring dengan perubahan deteksi tegangan dari kabel Bu – Br (*Blue - Brown*). Kabel ini merupakan representasi dari tegangan terminal karena keduanya berasal dari kumparan stator generator. Metode ini



Gambar 6. Rancangan AVR.

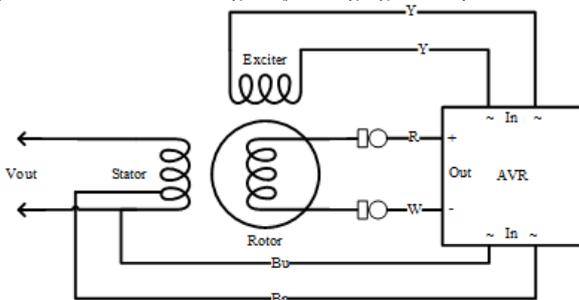


Gambar 7. Rangkaian AVR.

diterapkan pada program Arduino. Setelah dilakukan realisasi program serta pengujian, didapatkan hasil data dalam bentuk tabel serta grafik. Dalam grafik, sumbu X merupakan waktu (s) dan sumbu Y merupakan tegangan di stator generator yang dibaca oleh kabel Bu – Br, selain itu sumbu Y juga dibuat grafik dari tegangan rotor generator. Sehingga terdapat 2 grafik, yaitu perubahan tegangan stator dan tegangan rotor generator terhadap waktu. Selain grafik terhadap waktu, perlu dibuat grafik perubahan tegangan stator dan rotor terhadap beban.

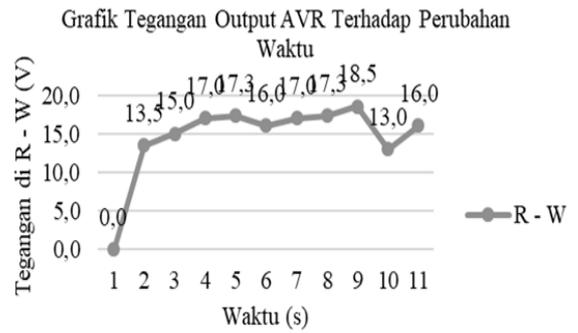
III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI ALAT

Generator yang digunakan merupakan jenis eksitasi sendiri. Sehingga tegangan eksitasi yang digunakan untuk menyuplai rotor berasal dari generator itu sendiri. Tegangan dari *exciter* melalui kabel Y – Y berwarna kuning masuk ke AVR sebagai *input*. *Feedback* AVR yaitu tegangan dari kabel Bu – Br berwarna biru dan coklat. *Feedback* merupakan tegangan 0-16 Volt, dimana 16 Volt merupakan representasi dari tegangan 220 Volt (tegangan terminal). Tegangan *output* AVR menuju rotor generator melalui kabel R – W berwarna merah dan putih. Kabel R – W terhubung dengan rotor generator. Proses mengalirnya tegangan dapat dilihat pada

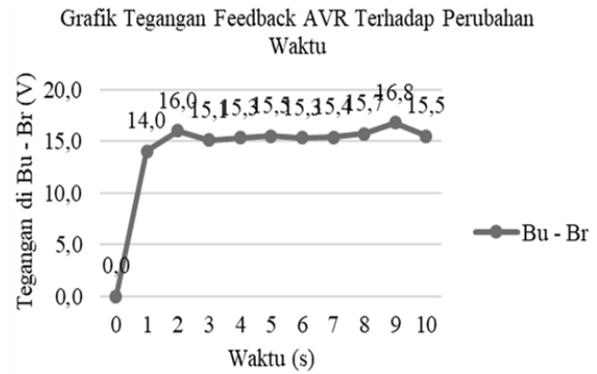


Gambar 1.

Perancangan untuk program *closed – loop* bertujuan untuk menjaga tegangan terminal tetap stabil diangka 220 Volt AC dengan cara menyuplai tegangan DC ke rotor generator. Metode yang digunakan untuk mengatur tegangan eksitasi



Gambar 4. Grafik tegangan *output* AVR terhadap perubahan waktu.



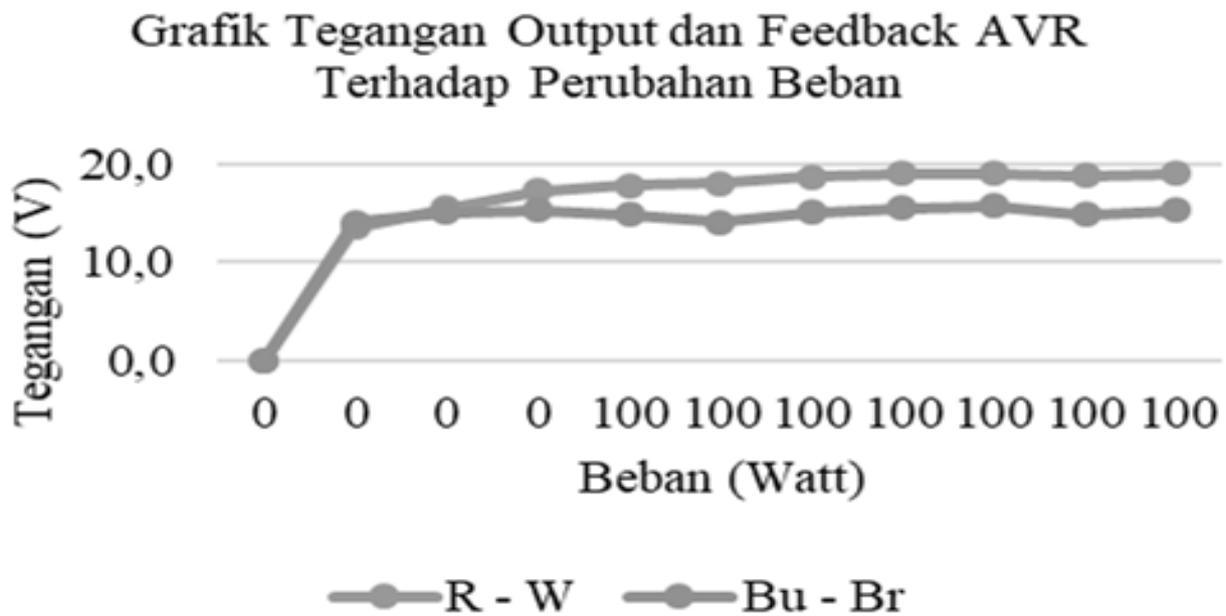
Gambar 5. Grafik tegangan *feedback* AVR terhadap perubahan waktu.

AVR yaitu *Hill Climbing*. Tegangan eksitasi ini merupakan keluaran dari AVR yang terhubung dengan rotor generator. Tegangan dalam rotor menginduksi stator secara magnetik, sehingga tegangan di terminal dapat menghasilkan tegangan listrik. Metode ini diatur secara *closed – loop*, sehingga tegangan keluaran akan berubah – ubah seiring dengan perubahan deteksi tegangan dari kabel Bu – Br. Kabel ini merupakan representasi dari tegangan terminal karena keduanya berasal dari kumparan stator generator. Pada suatu *plant* yaitu generator, tidak diketahui model matematis sesuai dengan karakteristik. Generator ini memiliki dua permasalahan, yaitu mengenai tegangan dan frekuensi yang tidak stabil.

Pengerjaan penelitian ini berfokus pada pengatur tegangan di rotor generator sebagai aktuator. *Set poin* diatur 220 Volt. Bagian dari AVR yaitu kontroler dan *voltage divider*. *Measurement system* yang digunakan yaitu *voltage divider*. Diagram blok AVR dapat dilihat pada Gambar 2.

Rancangan program dimulai dengan pendeklarasian variabel RW, X, dan BUBR. Variabel RW merupakan deklarasi tegangan *output* dari AVR yaitu yang melewati kabel R – W (kabel berwarna merah dan putih), variabel X merupakan nilai *duty cycle* yang ditentukan dari mikrokontroler, sedangkan variabel BUBR merupakan tegangan *feedback* AVR yaitu yang melewati kabel Bu – Br (kabel berwarna biru dan coklat). Rancangan program dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.

Nilai X diatur pada nilai 143. Nilai tersebut merepresentasikan tegangan 13,5 Volt. Tegangan ini ditentukan dari pengujian yang telah dilakukan untuk menentukan karakteristik generator. Sedangkan tegangan maksimal dari *boost converter* diatur sebesar 24 Volt. Perhitungan penentuan nilai X didapatkan dari persamaan **Error! Reference source not found.**



Gambar 8. Grafik tegangan output dan feedback AVR terhadap perubahan beban.

Tabel 1.
Hasil pengujian AVR menggunakan metode *hill climbing*

Waktu (s)	BU - BR (V)	R - W (V)
0	0,0	0,0
1	14,0	13,5
2	16,0	15,0
3	15,1	17,0
4	15,3	17,3
5	15,5	16,0
6	15,3	17,0
7	15,4	17,3
8	15,7	18,5
9	16,8	13,0
10	15,5	16,0

$$\frac{X}{\text{PWM max}} = \frac{\text{tegangan yang ditentukan}}{\text{tegangan max}} \tag{1}$$

$$\frac{X}{255} = \frac{13,5}{24}$$

$$24 X = 3442,5$$

$$X = 143,44$$

Didapatkan nilai X sebesar 143,44. Pendeklarasian menggunakan perintah *integer* atau bilangan bulat, sehingga nilai X dibulatkan menjadi 143. Langkah selanjutnya yaitu membaca tegangan BUBR. Jika tegangan yang terbaca kurang dari atau sama dengan 3,8 Volt, maka nilai X ditambah. Jika tegangan tegangan yang terbaca lebih dari atau sama dengan 4 Volt, maka nilai X diturunkan. Selanjutnya nilai X dicetak atau ditampilkan di *serial monitor* Arduino IDE. Melalui pin *digital output* PWM, tegangan *switching* akan mengalir ke *gate* IRF520. Proses berulang pada pembacaan tegangan BUBR hingga seterusnya. Dengan begitu disebut program *closed-loop*. Diagram alir program dapat dilihat pada Gambar 3.

Pengaplikasian program dilakukan setelah perancangan diagram alir program. Dilakukan pendeklarasian *library* dan

variabel pada awal program. RW, X, dan BUBR merupakan variabel yang harus dideklarasikan dalam program. Variabel RW merupakan *output*. Variabel X merupakan nilai yang keluarannya berupa sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengatur tegangan *switching*. Variabel BUBR merupakan *feedback* AVR. Seperti penamaannya, variabel BUBR merupakan berasal dari kabel Bu – Br yang berwarna biru dan coklat (tegangan dari kumparan stator). Tegangan dari kabel tersebut tidak langsung masuk ke mikrokontroler, tetapi dilakukan deteksi tegangan terlebih dahulu oleh *voltage divider*. Selanjutnya penentuan nilai X sebagai acuan nilai. Selanjutnya terdapat beberapa kondisi BUBR yang berakibat pada penurunan atau penaikan nilai X. Jika BUBR memenuhi kurang atau sama dengan 3,8 Volt, maka nilai X dinaikkan satu nilai. Jika BUBR tidak memenuhi syarat tersebut, maka terdapat kondisi kedua yaitu apakah BUBR lebih besar atau sama dengan 4 Volt. Jika BUBR memenuhi kondisi tersebut, maka nilai X diturunkan satu nilai. Selanjutnya, jika BUBR tidak memenuhi kondisi tersebut atau dapat dikatakan BUBR bernilai antara 3,8 Volt hingga 4 Volt, maka nilai X langsung dicetak. Pencetakan nilai ini dimaksudkan bahwa tegangan *switching* yang keluar mempengaruhi *gate* IRF520. Dengan begitu tegangan keluaran dapat diatur seberapa besar nilainya.

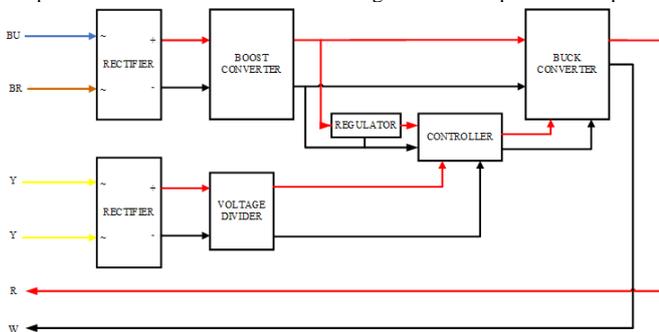
Perancangan AVR memiliki beberapa komponen didalamnya, seperti *boost converter*, *regulator*, *buck converter*, *controller*, *voltage divider*, dan *rectifier*. *Boost converter* digunakan untuk menaikkan tegangan dari sumber

Tabel 2.

Hasil pengujian AVR dihubungkan dengan rotor generator berbeban lampu 100 watt secara *closed – loop* menggunakan metode *hill climbing*

No	Beban (Watt)	R - W (V)	BU - BR (V)	V _{TERMINAL} (V)
1	0	13,5	14,0	190
2	0	15,5	15,0	199
3	0	17,2	15,3	200
4	100	17,8	14,8	199
5	100	18,0	14,0	190
6	100	18,6	15,0	200
7	100	19,0	15,5	214
8	100	19,0	15,7	215
9	100	18,8	14,8	201
10	100	19,0	15,3	201

tegangan eksitasi agar bisa lebih dari tegangan *input*. *Regulator* digunakan untuk menjaga tegangan sebagai masukan *controller*. *Buck converter* digunakan untuk menurunkan tegangan sesuai dengan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang diberikan oleh *controller*. Sedangkan *controller* digunakan untuk mengendalikan sinyal PWM dari tegangan *feedback*. *Set point* AVR telah diatur dan diprogram dalam *controller* yaitu berupa Arduino Nano. *Voltage divider* berfungsi sebagai sensor tegangan yang berasal dari *feedback*. *Rectifier* digunakan sebagai penyearah tegangan AC dari kumparan stator dan eksitasi. Perancangan AVR dapat dilihat pada



Gambar 6.

Seluruh komponen dirangkai menjadi satu kesatuan yang disebut *Automatic Voltage Regulator (AVR)*. Rangkaian ini terdiri dari *rectifier*, mikrokontroler, *voltage divider*, *boost converter*, *regulator*, dan *buck converter*. Hasil rangkaian dapat dilihat pada Gambar 7.

IV. HASIL DAN ANALISIS

AVR yang telah dilengkapi program dengan menggunakan metode *Hill Climbing* bertujuan untuk mengatur tegangan eksitasi secara bertahap. Metode ini digunakan untuk menambah tegangan *output* ke kabel R – W dengan menaikkan nilai PWM, jika tegangan dari Bu – Br belum mencapai sekitar 16 Volt. Saat tegangan Bu – Br melebihi 16 Volt maka nilai PWM dikurangi. Namun saat tegangan telah mencapai sekitar 16 Volt, maka nilai PWM yang dikeluarkan tetap sebesar 13,5 Volt.

Pengujian dimulai dengan pemberian tegangan *input* eksitasi terpisah yang berasal dari aki sebesar 12 Volt ke *boost converter* agar tegangan bisa lebih dari 12 Volt. Tegangan dari kabel Bu – Br atau dari kumparan stator dideteksi oleh *voltage divider*, tetapi sebelumnya melalui *rectifier* terlebih dahulu agar tegangan AC dapat disearahkan menjadi DC. Tegangan hasil deteksi tersebut dibaca oleh mikrokontroler agar didapatkan keputusan yang sesuai dengan tegangan yang dideteksi. Besar sinyal PWM dikirim ke *buck converter* telah disesuaikan dengan hasil tegangan dari kabel Bu – Br. Tegangan dari *buck converter* keluar melalui kabel R – W ke kumparan rotor generator. Pengujian telah dilakukan dan didapatkan hasil seperti pada **Error! Reference source not found.**

Hasil yang didapat yaitu tegangan *feedback* kabel Bu – Br (kumparan stator), tegangan output kabel R – W (kumparan rotor), dan pencatatan waktu. Saat tegangan di kabel Bu – Br kurang dari 16 Volt, tegangan dikabel R – W dinaikkan terus. Sedangkan saat tegangan dikabel Bu – Br lebih dari 16 Volt maka tegangan dikabel R – W diturunkan hingga stabil kembali diangka 16 Volt. Tegangan 16 Volt merupakan representasi dari tegangan stator 220 Volt.

Berdasarkan **Error! Reference source not found.**, diperoleh dua grafik pada Gambar 4 dan Gambar 5. Kedua grafik menunjukkan perubahan tegangan terhadap waktu. Pada Gambar 4 ditunjukkan perubahan tegangan *output*. Tegangan yang ditunjukkan berubah – ubah dikarenakan menyesuaikan tegangan yang dideteksi *voltage divider* dari Bu – Br.

Tegangan *output* AVR mempengaruhi *feedback* AVR yaitu dikabel Bu – Br. Telah didapatkan tegangan *feedback* yang berubah terhadap waktu pada Gambar 5. Dalam grafik tegangan yang dideteksi cukup stabil. Sehingga metode yang digunakan, yaitu *Hill Climbing* dapat menjaga kestabilan tegangan terminal.

Pengujian juga dilakukan menggunakan beban sebesar 100 Watt. Pengujian ini bermaksud untuk mengetahui kerja AVR. Pengujian ini melibatkan rangkaian AVR, *voltmeter analog*, dan lampu 100 Watt sebanyak 1 bohlam. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2. Beban lampu 100 Watt mempengaruhi tegangan *Vout* atau tegangan terminal dari kumparan stator. Saat generator dihubungkan dengan beban, tegangan *Vout* turun. Namun AVR menaikkan tegangan eksitasi dikumparan rotor. Sehingga AVR dapat mempertahankan tegangan pada kabel Bu – Br sekitar 16 Volt.

Berdasarkan Tabel 2, didapatkan grafik seperti pada Gambar 8. Grafik ini untuk mempermudah pembacaan pengaruh tegangan *output* AVR (kabel R - W) terhadap tegangan tegangan *feedback* AVR (kabel Bu - Br). Beban yang dihubungkan sebesar 100 Watt. Saat dihubungkan tegangan *feedback* sempat turun. Tegangan *output* AVR dinaikkan agar dicapai tegangan terminal (*Vout*) sesuai dengan standar yaitu 220 Volt. Tegangan terminal (*Vout*) yang seharusnya yaitu sebesar 220 Volt, namun pada pengujian tegangan rata – rata yang didapat yaitu 200,9 Volt dari persamaan **Error! Reference source not found.**

$$\text{Rata-rata } V_{\text{terminal}} = \frac{\text{jumlah nilai data}}{\text{total data}} \tag{2}$$

$$= \frac{190+199+200+199+190+200+214+215+201+201}{10}$$

$$= \frac{2009}{10} = 200,9 \text{ Volt}$$

Presentase keberhasilan AVR saat generator dihubungkan dengan beban 100 Watt yaitu 91,3% melalui persamaan **Error! Reference source not found.**

$$\% \text{keberhasilan} = \frac{\text{tegangan rata-rata } V_{out}}{\text{tegangan standar}} \times 100\% \quad (3)$$

$$= \frac{200,9}{220} \times 100\% = 91,3\%$$

Sehingga penggunaan metode *Hill Climbing* pada rangkaian AVR dapat dikembangkan karena memiliki tingkat keberhasilan sebesar 91,3%.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian, dan analisa yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil pada penelitian ini, yaitu saat generator dihubungkan beban lampu sebesar 100 Watt, rangkaian AVR disertai metode *Hill Climbing* memiliki tingkat keberhasilan dan ketepatan sebesar 91,3%.

Terdapat 3 pasang kabel yang keluar dari generator, yaitu kabel Y – Y, kabel R – W, dan kabel Bu – Br. Kabel Y – Y yaitu kabel dari kumparan eksitasi internal generator sekaligus merupakan *input* AVR. Kabel R – W yaitu kabel dari kumparan rotor generator, serta merupakan *output* AVR.

Kabel Bu – Br yaitu kabel dari kumparan stator generator, serta merupakan *feedback* AVR.

B. Saran

Terdapat beberapa kekurangan dan ketidaksempurnaan dalam penelitian ini. Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar dapat mengembangkan AVR menggunakan mikrokontroler dengan metode lain yang lebih efisien dalam segi waktu. Serta selanjutnya dapat dilakukan *monitoring* temperatur, *level* bensin, tegangan dirotor dan stator generator, dan kecepatan putar rotor dari jarak jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zuhal, *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung: ITB Press, 1991.
- [2] S. J. Chapman, *Electric Machinery and Power System Fundamentals*. New York: McGraw-Hill, 2001.
- [3] P. Kundur, *Power System Stability and Control*. New York: Crc Press, 2007.
- [4] H. D. Laksono, *Kendali Sistem Tenaga Listrik Dengan Matlab*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2014.
- [5] M. Eremia and M. Shahidehpour, *Handbook Of Electrical Power System Dynamics: Modeling, Stability, and Control*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.
- [6] P. Dhawale, P. Patil, N. Kumbhar, R. Mandlik, P. Nikam, and S. Kamble, "Automatic voltage regulator," *Int. J. Sci. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 4, 2019.
- [7] B. Johansson, *DC-DC Converters - Dynamic Model Design and Experimental Verification*. Swedia: Lund University, 2005.
- [8] C. Qi, K. YongBin, C. YongChao, S. ZhongJiang, and L. Yang, "Electromagnetic Descaling Based on The Improved Hill-Climbing Method," in *Chinese Control Conference (CCC)*, 2018, pp. 3416-3419.
- [9] H. Purnomo and S. Kusumadewi, *Penyelesaian Masalah Optimasi Dengan Teknik-teknik Heuristik*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2005