

Rancang Bangun Catu Daya DC 1V–20V Menggunakan Kendali P-I Berbasis Mikrokontroler

M. Cahyadi¹, Emir Nasrullah², Agus Trisanto³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

¹m.cahyadi88@gmail.com

²enasrullah@gmail.com

³trisanto@gmail.com

Abstrak -- Catu daya DC merupakan suatu rangkaian elektronik yang mengubah arus listrik bolak-balik menjadi arus listrik searah. Secara umum prinsip catu daya terdiri atas komponen utama yaitu transformator, dioda dan kondensator. Umumnya catu daya yang dijual dipasaran menghasilkan keluaran tegangan yang tidak stabil dan pengubahan nilai tegangan keluaran tidak dapat dilakukan dengan mudah, sehingga tidak cocok digunakan sebagai catu daya laboratorium. Berdasarkan latar belakang ini penulis mencoba membuat catu daya DC menggunakan kendali P-I berbasis mikrokontroler sehingga mempermudah untuk mengatur dan mempertahankan nilai tegangan yang diinginkan. Permasalahan yang timbul adalah bagaimana catu daya diatur untuk mendapatkan hasil tegangan keluaran yang sesuai dengan nilai *set-point* yang diberikan. Oleh karena itu permasalahan dapat diselesaikan dalam dua pokok bahasan yaitu: pokok bahasan perangkat keras (*hardware*) dan pokok bahasan perangkat lunak (*software*) yang mampu memprogram catu daya secara digital dan mengolah masukan data agar dapat menghasilkan keluaran data sesuai dengan yang diinginkan. Pada alat ini menerapkan kendali PI sehingga mampu mempertahankan nilai tegangan apabila terjadi *drop* ketika pembebanan. Dalam penelitian ini menggunakan mikronkontroller ATmega 8535 sebagai *device* pengendali utamanya, *Keypad matrix 4x4* sebagai *input set-point* dan LCD 2x16 untuk tampilan pada catu daya serta menggunakan perangkat lunak CAVAR sebagai pemrogram. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah memperlihatkan bahwa nilai rata-rata selisih (volt) sistem Catu Daya DC dengan untai tertutup (*close loop*) lebih kecil (0,06V ; 0,25V untuk beban lampu, dan 0,07V ; 0,13 V untuk beban kipas angin serta 0,02V ; 0,34 untuk beban dua lampu). Hal ini dapat disebabkan karena pada sistem untai tertutup ada upaya untuk memperbaiki nilai keluaran agar hasilnya mendekati atau sama dengan nilai yang dinginkan (*set point*).

Kata kunci -- catu daya, kendali PI, mikrokontroler, perangkat lunak CAVAR

Abstract -- DC power supply is an electronic device used to convert an Alternating Current AC in to Direct Current (DC) form. Generally, some main components of DC power supply are transformer, dioda and condenser. Commonly DC power supply that is sold produces unstable output voltage, besides, to change the value of that output voltage is not a simply way, because of that the device is not compatible enough to be used in laboratory. Based on this case, the writer try to create a DC power supply using PI control based an microcontroller in purpose to make the voltage setting and maintaining value be come easier. Problem in this case is how to set power supply in order to obtain some corresponding outputs voltage with given set point. Thus the problem can be solved in two main subjects, that are : subject of hardware and software that able to operate the power supply in digital ways and used as the processing program to obtain desired output data. PI controller is applied in this device so it be able to maintain the voltage value whenever the drop voltage occur as the result of load effect. Microcontroller ATmega 8535 is used in this research as main control device, keypad matrix 4x4 is used as input of setpoint and LCD 2x16 as layer display of power supply, this research is also require CAVAR as software programming. Results show that deviation average value of power supply system with close loop is smaller (0,06V ; 0,25V for lamp as load ; 0,07V ; 0,13V for motor as load and

0,02V ; 0,34V for two lamp load). This case can be happened as the impact of effort from the closed system improve the value of the output so that result is close to or equal to desired value.

Key words -- power supply, PI control, microcontroller, CAVR software

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Catu daya DC (*power supply*) merupakan suatu rangkaian elektronik yang mengubah arus listrik bolak-balik menjadi arus listrik searah. Catu daya menjadi bagian yang penting dalam dunia elektronika yang berfungsi sebagai sumber tenaga listrik. Catu daya juga dapat digunakan sebagai perangkat yang memasok energi listrik untuk satu atau lebih beban listrik.

Secara umum prinsip rangkaian catu daya terdiri atas komponen utama yaitu transformator, dioda dan kondensator. Dalam pembuatan rangkaian catu daya, selain menggunakan komponen utama juga diperlukan komponen pendukung agar rangkaian tersebut dapat berfungsi dengan baik. Komponen Pendukung tersebut antara lain : sakelar, sekering (*fuse*), lampu *indicator*, jack dan plug, *Printed Circuit Board* (PCB) dan kabel. Baik komponen utama maupun komponen pendukung sama-sama berperan penting dalam rangkaian catu daya.

Untuk menggunakan catu daya, kita harus menyesuaikan tegangan keluarannya dengan tegangan yang dibutuhkan oleh beban. Umumnya catu daya yang dijual dipasaran menghasilkan keluaran tegangan yang tidak stabil dan pengubahan nilai tegangan keluaran tidak dapat dilakukan dengan mudah, sehingga tidak cocok digunakan sebagai catu daya di laboratorium. Dewasa ini dibutuhkan sebuah catu daya yang bisa diprogram secara digital, tegangan keluaran yang dihasilkan dapat sesuai dengan tegangan masukan yang diinginkan, dan ditampilkan ke tampilan (*Display*).

Berdasarkan latar belakang inilah penulis mencoba membuat catu daya DC menggunakan kendali PI berbasis mikrokontroler sehingga mempermudah untuk mengatur dan mempertahankan tegangan yang diinginkan.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan mengimplementasikan Catu Daya DC menggunakan Mikrokontroler ATmega8535 dengan *set-point* dari *keypad*.
2. Mengimplementasikan kendali proportional-integral pada Catu Daya DC
3. Menganalisa tegangan yang dihasilkan dari Catu Daya DC yang telah dibuat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

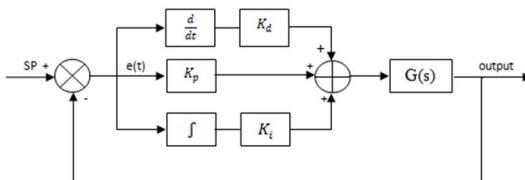
A. Pengertian Sistem Kendali

Sistem kendali adalah suatu sistem yang keluaran sistemnya dikendalikan pada suatu nilai tertentu atau untuk mengubah beberapa ketentuan yang telah ditetapkan oleh masukan ke sistem^[4]. Sebagai contoh adalah sebuah kendali suhu pada sistem pusat pemanasan di sebuah rumah, mempunyai masukan dari thermostat atau panel kendali yang telah ditentukan suhunya dan menghasilkan keluaran berupa suhu aktual. Suhu ini diatur dengan sistem kendali sehingga sesuai dengan nilai yang ditentukan oleh masukan pada sistem.

B. Sistem Kontrol PID (Proportional Integral Derivatif)

Sistem Kontrol PID merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik

adanya umpan balik pada sistem tersebut (*Feed back*). Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (*Proportional*), I (*Integral*) dan D (*Derivatif*), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing-masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran system terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan.



Gbr 1. Blok diagram kendali PID

C. Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah salah satu teknik modulasi dengan mengubah lebar pulsa (duty cylce) dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang tetap. Satu siklus pulsa merupakan kondisi high kemudian berada di zona transisi ke kondisi low. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Duty Cycle merupakan representasi dari kondisi logika high dalam suatu periode sinyal dan dinyatakan dalam bentuk (%) dengan range 0% sampai 100%, sebagai contoh jika sinyal berada dalam kondisi high terus menerus artinya memiliki duty cycle sebesar 100%. Jika waktu sinyal keadaan high sama dengan keadaan low maka sinyal mempunyai duty cycle sebesar 50%.

D. Pengkondisi Sinyal

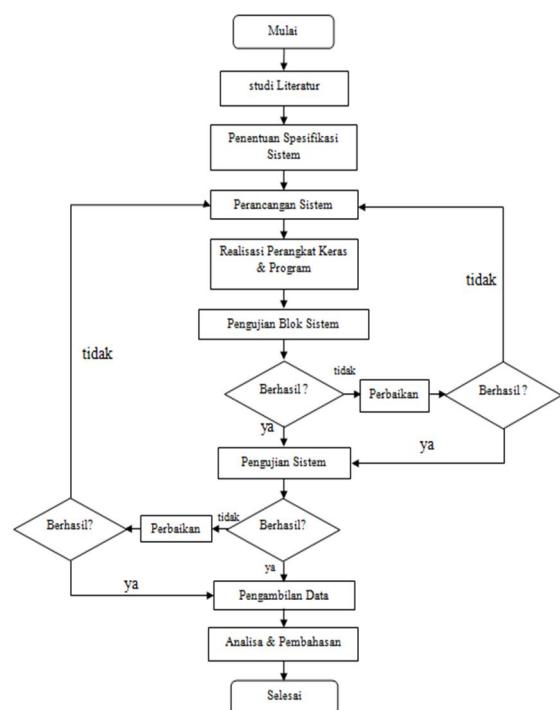
Pengkondisi sinyal digunakan untuk mengkondisikan sinyal keluaran PWM dari

ATmega 8535 agar bisa diolah dengan baik oleh transistor - transistor penguat.

III. METODE PENELITIAN

A. Metode Kerja

Untuk menyelesaikan tugas akhir ini diperlukan langkah kerja yang jelas guna mencapai hasil akhir yang diinginkan. Langkah kerja penggerjaan tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 2. di bawah ini :



Gbr 2. Diagram alir penelitian

B. Spesifikasi Rancangan

Sistem yang akan direalisasikan adalah sebuah Catu Daya DC 1V - 20V, yang mampu mempertahankan nilai tegangan apabila terjadi *drop* ketika pembebangan. Besarnya nilai tegangan yang akan dihasilkan rangkaian penguat daya akan diatur oleh mikrokontroler yaitu dengan mengubah besarnya duty cycle yang masuk ke rangkaian penguat daya. Siklus kerja atau duty cycle sebuah gelombang didefinisikan sebagai berikut :

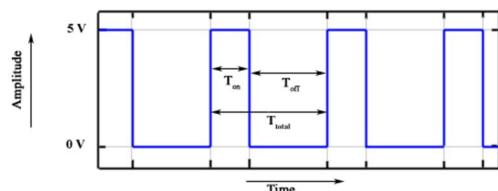
$$D = \frac{T_{on}}{(T_{on}+T_{off})} = \frac{T_{on}}{T_{total}}$$

Tegangan keluaran dapat bervariasi dengan *duty-cycle* dan dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$V_{out} = D \times V_m$$

Sehingga,

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_m$$



Gbr 3. Gelombang kotak (pulsa)

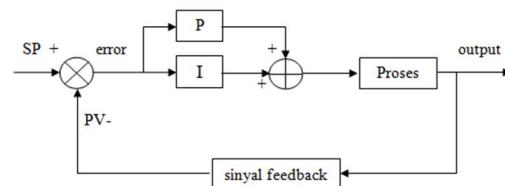
C. Spesifikasi Alat

Spesifikasi peralatan yang digunakan untuk membangun Catu Daya DC ini adalah:

1. Keypad matrix 4x4, berfungsi sebagai masukan tegangan referensi (*set point*) yang akan dihasilkan
 2. Menggunakan Liquid Crystal Display (LCD) 16 x 2 sebagai penampil *set point*.
 3. Device pengendali menggunakan mikrokontroler ATmega8535, difungsikan untuk membaca masukan dari keypad, menampilkan nilai tegangan pada LCD dan mengatur besarnya nilai tegangan keluaran serta melakukan mekanisme pengendalian tegangan apabila terjadi *drop* tegangan akibat pembebanan.
 4. Rangkaian penguat daya yang tersusun oleh IC LM324 dan transistor 2N3055, digunakan sebagai penguat sinyal yang dihasilkan oleh mokrokontroler.
 5. Rangkaian sensor tegangan, digunakan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran.

D. Perancangan Pengendali

Perancangan kontrol PI ini bertujuan untuk menentukan parameter aksi kontrol Proportional, Integratif pada Catu Daya DC. Proses ini dapat dilakukan dengan cara *trial and error*. Pada kendali PI ini kita bertujuan mengolah suatu sinyal kesalahan atau *error*, nilai *error* tersebut diolah dengan formula PI untuk dijadikan suatu sinyal kendali atau sinyal kontrol yang akan diteruskan ke rangkaian penguat daya. Berikut ini adalah blok diagram umpan balik untai tertutup dengan kedali PI pada Catu Daya DC:



Gbr 4. Blok diagram kendali PI

Dari gambar 4. blok diagram kendali PI dapat

dapat dijelaskan sebagai berikut :
SP = *Set point*, adalah suatu parameter nilai acuan atau nilai yang kita inginkan.

$PV = Present\ Value$, adalah nilai bobot pembacaan sensor saat itu atau variabel terukur yang diumpamakan oleh sensor (sinyal *feedback* dari sensor).

Error = nilai kesalahan atau simpangan antar variabel terukur (PV) dengan nilai acuan (SP)

1) Proporsional kontrol

Kondisi ideal adalah pada saat tegangan *set point* sama dengan tegangan yang terbaca oleh sensor, dengan kata lain $PV = SP$. Menyimpangnya tegangan keluaran dari *set point* disebut sebagai *error* (e), yang didapat dari $e = SP - PV$. Dengan mengetahui besar *error*, mikrokontroler dapat memberikan nilai PWM yang sesuai agar dapat menuju ke posisi ideal ($PV = SP$). Besarnya nilai PWM

ini dapat diperoleh dengan menggunakan kontrol Proporsional (P), dimana $P = e K_p$ (K_p adalah konstanta proporsional yang nilainya diset sendiri dari hasil tuning pada program).

Dalam pemrograman kendali PI ini, kodennya ditulis secara sederhana seperti berikut:

Perhitungan Kontroler Proporsional

Sp = pembacaan *keypad* ‘setpoint’

$Error = Sp - Pv$ ‘nilai error’

$P = K_p * Error$ ‘proporsional kontrol’

Aplikasi kontrol proporsional pada PWM ialah sebagai berikut:

$Pwm = Pv + P$ ‘tegangan terukur kurang dari SP’

$Pwm = Pv - P$ ‘tegangan terukur lebih dari SP’

2) Integratif kontrol

Penambahan Integratif (I) digunakan untuk mengakumulasi *error* dan mengetahui durasi *error*. Dengan menjumlahkan *error* disetiap pembacaan PV akan memberikan akumulasi *offset* yang harus diperbaiki sebelumnya. Saat Catu Daya mengeluarkan tegangan yang menjauh dari nilai SP, maka nilai *error* akan bertambah. Semakin lama tidak mendapatkan SP, maka semakin besar nilai I. Dengan mendapatkan nilai K_i yang tepat, imbas dari Integratif bisa dikurangi. Nilai akumulasi *error* didapat dari $error + last_error$. Untuk menambahkan kontrol I, maka program di modifikasi menjadi:

Perhitungan Kontroler Proporsional + Integratif

Sp = Pembacaan *keypad* ‘setpoint’

$Error = Sp - Pv$ ‘nilai error’

$P = K_p * Error$ ‘proporsional kontrol’

$I1 = Ki / 10$ ‘integratif kontrol’

$$I2 = Error + Last_erro \text{ 'akumulasi error'}$$

$$I3 = I1 * I2$$

$$I = I3 * Ts$$

$$Last_error = Error \text{ 'error lampau'}$$

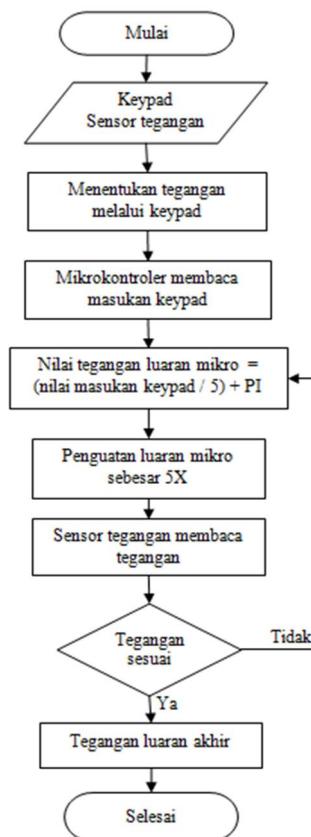
$$PI = P + I \text{ 'proporsional-integratif'}$$

Aplikasi kontrol proporsional dan integratif pada PWM ialah sebagai berikut:

$Pwm = Pv+PI$ ‘tegangan terukur kurang dari SP’

$Pwm = Pv-PI$ ‘tegangan terukur lebih dari SP’

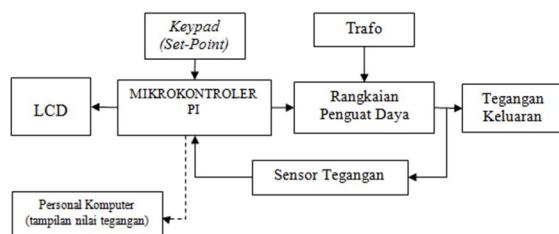
E. Diagram Alir Kerja Alat



Gbr 5. Diagram alir cara kerja alat

F. Detail Rancangan

Secara garis besar, sistem yang dibuat dapat dilihat pada gambar 5. berikut:



Gbr 6. Blok Diagram Perancangan Catu Daya DC

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah berhasil direalisasikan kendali Proportional-Integratif (PI) yang digunakan untuk power supply DC. Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai data hasil pengujian serta pembahasannya.



Gbr 7. Catu Daya DC Dengan Kendali PI Berbasis Mikrokontroler

A. Realisasi perangkat keras

Telah berhasil dibangun rangkaian-rangkaian yang mendukung penerapan kendali P-I pada Catu Daya DC. Gambar 8. menunjukkan rangkaian yang berhasil dibangun.



Gbr 8. Realisasi perangkat keras

Keterangan gambar 8 :

1. Device Pengendali ATMega 8535
2. Rangkaian penguat daya
3. Catu daya mikrokontroler
4. Trafo 5Amper
5. Catu daya Op-amp dan sensor tegangan

B. Pengujian Perangkat Keras

Pengujian dilakukan secara bertahap berdasarkan tiap blok sistem. Hal ini dilakukan agar apabila terjadi kesalahan dapat diketahui dengan mudah dan pasti.

1) Hasil Pengujian Sensor Tegangan

Data hasil pengujian menunjukan bahwa selisih pembacaan rata-rata sangat kecil, yaitu sebesar 0,1Volt. Sehingga dapat disimpulkan bahwa rangkaian sensor tegangan ini dapat digunakan untuk pembacaan *output* tegangan dari Catu Daya DC.

Tabel 1. Perbandingan tegangan keluaran sensor dengan hasil perhitungan.

| Uji Ke | Tegangan yang diukur (volt) | Tegangan luaran sensor (volt) | Tegangan luaran sensor melalui perhitungan (volt) | Selisih Pembacaan (volt) |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|--------------------------|
| | A | B | C | D |
| 1. | 1 | 0,20 | 0,20 | 0,00 |
| 2. | 2 | 0,40 | 0,41 | 0,01 |
| 3. | 3 | 0,61 | 0,61 | 0,00 |
| 4. | 4 | 0,81 | 0,82 | 0,01 |
| 5. | 5 | 1,02 | 1,02 | 0,00 |
| 6. | 6 | 1,22 | 1,22 | 0,00 |
| 7. | 7 | 1,42 | 1,43 | 0,01 |
| 8. | 8 | 1,62 | 1,63 | 0,01 |
| 9. | 9 | 1,83 | 1,84 | 0,01 |
| 10. | 10 | 2,03 | 2,04 | 0,01 |
| 11. | 11 | 2,23 | 2,24 | 0,01 |
| 12. | 12 | 2,43 | 2,45 | 0,02 |
| 13. | 13 | 2,64 | 2,65 | 0,01 |
| 14. | 14 | 2,84 | 2,86 | 0,02 |
| 15. | 15 | 3,05 | 3,06 | 0,01 |
| 16. | 16 | 3,25 | 3,27 | 0,02 |
| 17. | 17 | 3,45 | 3,47 | 0,02 |
| 18. | 18 | 3,65 | 3,67 | 0,02 |
| 19. | 19 | 3,86 | 3,88 | 0,02 |
| 20. | 20 | 4,03 | 4,08 | 0,05 |
| Selisih pembacaan rata-rata | | | | 0,01 |

Pada pengujian ini sensor tegangan telah memberikan karakteristik sensor yang di harapkan, sehingga kita dapat melangkah ke tahap selanjutnya.

2) Hasil Pengujian Rangkaian Penguat Daya

Dalam pengujian rangkaian penguat daya, diperhatikan apakah rangkaian penguat ini dapat memberikan nilai penguatan dengan baik.

Setelah dilakukan pengujian, terlihat bahwa terdapat selisih pembacaan dikeluaran transistor rata-rata sebesar 1,1266 volt. Dari pengujian ini maka didapat karakteristik rangkaian penguat daya.

3) Hasil Pengujian Duty Cycle Pada Mikrokontroler

Pada pengujian ini menunjukkan bahwa mikrokontroler dapat menghasilkan tegangan sesuai dengan besarnya duty cycle.

Tabel 2. Hasil pengujian rangkaian penguat daya

| Uji ke | Input pwm (Volt) | Output Op-amp (Volt) | Output transistor 2n3055 (Volt) | Output Op-amp hasil perhitungan (Volt) | Selisih Antara B dan D (Volt) | Selisih Antara B dan C (Volt) |
|--------------------------|------------------|----------------------|---------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|
| | A | B | C | D | E | F |
| 1 | 0,419 | 2,156 | 1,07 | 2,095 | 0,061 | 1,086 |
| 2 | 0,618 | 3,156 | 2,05 | 3,09 | 0,066 | 1,106 |
| 3 | 0,811 | 4,14 | 3,02 | 4,055 | 0,085 | 1,12 |
| 4 | 1,022 | 5,2 | 4,08 | 5,11 | 0,09 | 1,12 |
| 5 | 1,216 | 6,18 | 5,05 | 6,08 | 0,1 | 1,13 |
| 6 | 1,428 | 7,25 | 6,12 | 7,14 | 0,11 | 1,13 |
| 7 | 1,622 | 8,23 | 7,1 | 8,11 | 0,12 | 1,13 |
| 8 | 1,818 | 9,22 | 8,08 | 9,09 | 0,13 | 1,14 |
| 9 | 2,011 | 10,19 | 9,05 | 10,055 | 0,135 | 1,14 |
| 10 | 2,225 | 11,29 | 10,13 | 11,125 | 0,165 | 1,16 |
| 11 | 2,422 | 12,25 | 11,11 | 12,11 | 0,14 | 1,14 |
| 12 | 2,614 | 13,24 | 12,09 | 13,07 | 0,17 | 1,15 |
| 13 | 2,827 | 14,31 | 13,17 | 14,135 | 0,175 | 1,14 |
| 14 | 3 | 15,18 | 14,04 | 15 | 0,18 | 1,14 |
| 15 | 3,211 | 16,25 | 15,12 | 16,055 | 0,195 | 1,13 |
| 16 | 3,4 | 17,23 | 16,18 | 17 | 0,23 | 1,05 |
| 17 | 3,62 | 18,32 | 17,18 | 18,1 | 0,22 | 1,14 |
| 18 | 3,79 | 19,28 | 18,16 | 18,95 | 0,33 | 1,12 |
| 19 | 3,98 | 20,26 | 19,13 | 19,9 | 0,36 | 1,13 |
| 20 | 4,17 | 21,24 | 20,11 | 20,85 | 0,39 | 1,13 |
| Selisih rata-rata | | | | 0,1726 | 1,1266 | |

Tabel 3. Perbandingan tegangan keluaran hasil pengujian dan perhitungan.

| Uji | Dutycycle (%) | Hasil Perhitungan (volt) | Hasil Pengujian (volt) | Selisih (volt) |
|------------------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|----------------|
| 1 | 10 | 0,5 | 0,51 | 0,01 |
| 2 | 20 | 1 | 1,01 | 0,01 |
| 3 | 30 | 1,5 | 1,49 | 0,00 |
| 4 | 40 | 2 | 2,00 | 0,00 |
| 5 | 50 | 2,5 | 2,48 | 0,02 |
| 6 | 60 | 3 | 2,98 | 0,02 |
| 7 | 70 | 3,5 | 3,49 | 0,01 |
| 8 | 80 | 4 | 3,97 | 0,03 |
| 9 | 90 | 4,5 | 4,47 | 0,03 |
| 10 | 100 | 5 | 4,96 | 0,04 |
| Selisih pembacaan rata-rata | | | | 0,02 |

Dari tabel 3 menunjukkan bahwa mikrokontroler dapat mengeluarkan tegangan sesuai dengan hasil perhitungan. Terdapat selisih pembacaan yang sangat kecil, yaitu 0,02 volt. Dapat disimpulkan bahwa mikrokontroler dapat digunakan sebagai input tegangan pada rangkaian penguat daya.

C. Pengujian Variabel Kendali

1) Pengujian Variabel Kp

Pengujian variabel kendali dengan setpoint 10 Volt diberi nilai $K_p=5$; $K_p=10$ dan $K_p=15$.

Tabel 4. Hasil pengujian variabel nilai K_p

| Time | Nilai K_p | | |
|-------|----------------|-----------------|-----------------|
| | $K_p=5$ (Volt) | $K_p=10$ (Volt) | $K_p=15$ (Volt) |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 1.23 | 8.93 | 7.17 |
| 3 | 10.09 | 18.39 | 7.38 |
| 4 | 14.22 | 14.22 | 2.99 |
| 5 | 12.24 | 6.16 | 12.40 |
| 6 | 10.26 | 7.16 | 13.71 |
| 7 | 9.56 | 11.60 | 6.87 |
| 8 | 9.69 | 11.17 | 7.45 |
| 9 | 9.94 | 9.33 | 14.25 |
| 10 | 10.00 | 9.52 | 11.25 |
| 11 | 10.00 | 10.32 | 6.28 |
| 12 | 10.00 | 10.20 | 10.52 |
| 13 | 10.00 | 9.84 | 12.17 |
| 14 | 10.00 | 9.91 | 8.17 |
| 15 | 9.99 | 10.06 | 8.73 |
| 16 | 10.00 | 10.09 | 11.77 |
| 17 | 10.00 | 9.96 | 10.20 |
| 18 | 10.00 | 9.90 | 8.77 |
| 19 | 10.00 | 9.99 | 10.62 |
| 20 | 10.00 | 10.00 | 10.86 |
| 21 | 10.00 | 10.00 | 9.22 |
| 22 | 9.99 | 10.01 | 9.73 |
| 23 | 10.00 | 10.00 | 10.62 |
| 24 | 10.01 | 10.00 | 9.80 |
| 25 | 10.01 | 10.00 | 9.54 |
| 26 | 10.00 | 10.00 | 10.31 |
| 27 | 10.01 | 10.00 | 10.22 |
| 28 | 10.00 | 10.00 | 9.73 |
| 29 | 9.99 | 10.00 | 10.00 |
| 30 | 10.00 | 10.00 | 10.25 |
| V Max | 14.22 | 18.39 | 14.25 |

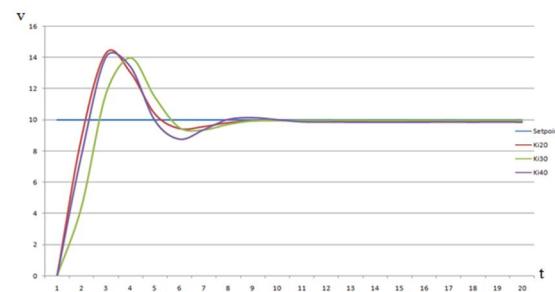
Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa terdapat *overshoot* lebih kecil yaitu 2.22 Volt.

2) Pengujian Variabel K_p dan K_i

Pada pengujian ini menggunakan nilai $K_p=5$ dan diberikan nilai K_i yang berbeda-beda yaitu dengan $K_i=20$; $K_i=30$ dan $K_i=40$.

Tabel 5. Hasil pengujian variabel K_i

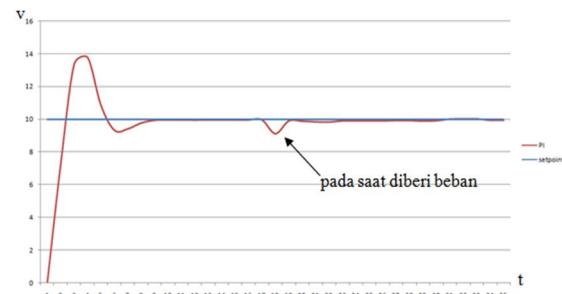
| Waktu | Kp = 5 | | |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | $K_i=20$ (volt) | $K_i=30$ (volt) | $K_i=40$ (volt) |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 8.89 | 4.44 | 7.77 |
| 3 | 14.29 | 11.67 | 14.03 |
| 4 | 13.04 | 13.96 | 13.39 |
| 5 | 10.38 | 11.43 | 9.94 |
| 6 | 9.45 | 9.49 | 8.76 |
| 7 | 9.58 | 9.35 | 9.37 |
| 8 | 9.83 | 9.7 | 10.03 |
| 9 | 9.95 | 9.92 | 10.14 |
| 10 | 9.96 | 9.95 | 10.01 |
| 11 | 9.95 | 9.95 | 9.87 |
| 12 | 9.96 | 9.95 | 9.86 |
| 13 | 9.96 | 9.96 | 9.85 |
| 14 | 9.96 | 9.95 | 9.85 |
| 15 | 9.95 | 9.95 | 9.85 |
| 16 | 9.95 | 9.96 | 9.85 |
| 17 | 9.96 | 9.95 | 9.86 |
| 18 | 9.96 | 9.96 | 9.85 |
| 19 | 9.96 | 9.96 | 9.86 |
| 20 | 9.96 | 9.95 | 9.85 |



Gbr 9. Grafik respon tegangan dengan nilai $K_i=20$; $K_i=30$ dan $K_i=40$

Dari Gambar 9 grafik respon tegangan dengan kendali PI, dapat disimpulkan bahwa dengan nilai $K_p=5$ dan $K_i=30$ memiliki respon tegangan yang lebih baik.

3) Pengujian Kendali PI Pada Catu Daya DC Dengan Beban Lampu DC 12Volt



Gbr 10. Grafik respon tegangan pada saat diberi beban lampu DC 12volt

D. Pengujian Sistem Open loop

- 1) Hasil Pengujian Unjuk Kerja Sistem Dengan Beban Lampu DC 12volt

Pengujian ini dilakukan dengan sistem *open loop* pada Catu Daya DC, sehingga didapat data-datanya sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil pengujian Catu Daya DC dengan beban lampu 12volt

| Set point | Tanpa Beban (volt) | Beban Lampu 12V 32W | | Selisih Antara A dan B (volt) |
|--------------------------|--------------------|---------------------|----------|-------------------------------|
| | | Tegangan (V) | Arus (A) | |
| | A | B | C | D |
| 1 | 1,08 | 0,82 | 0,50 | 0,26 |
| 2 | 2,04 | 1,77 | 0,76 | 0,27 |
| 3 | 3,00 | 2,74 | 0,96 | 0,26 |
| 4 | 4,07 | 3,81 | 1,15 | 0,26 |
| 5 | 5,04 | 4,77 | 1,27 | 0,27 |
| 6 | 6,08 | 5,85 | 1,46 | 0,23 |
| 7 | 7,07 | 6,82 | 1,60 | 0,25 |
| 8 | 8,04 | 7,80 | 1,72 | 0,24 |
| 9 | 9,00 | 8,76 | 1,86 | 0,24 |
| 10 | 10,07 | 9,82 | 1,97 | 0,25 |
| 11 | 11,05 | 10,78 | 2,08 | 0,27 |
| 12 | 12,02 | 11,75 | 2,14 | 0,27 |
| 13 | 13,00 | 12,80 | 2,32 | 0,20 |
| Selisih rata-rata | | 0,25 | | |

Dari tabel 6 diatas terlihat bahwa terdapat penurunan tegangan pada saat setelah diberikan beban, selisih rata-rata sebesar 0,25Volt.

- 2) Hasil Pengujian Unjuk Kerja Sistem Dengan Beban Kipas DC 12volt

Dari pengujian 1 ke pengujian 5 pada kolom arus terlihat kosong karena arus yang mengalir sangat kecil.

- 3) Hasil Pengujian Unjuk Kerja Sistem Dengan Beban 2 Lampu DC 12volt

Tabel 8 adalah data hasil pengujian dengan beban 2 lampu DC yang dipasang secara seri.

Tabel 7. Hasil pengujian Catu Daya dc dengan beban kipas angin 12Volt.

| Set Point | Tanpa Beban (volt) | Beban Kipas 12V 27W | | Selisih Antara A dan B (volt) |
|--------------------------|--------------------|---------------------|----------|-------------------------------|
| | | Tegangan (v) | Arus (I) | |
| | A | B | C | D |
| 1 | 1,08 | 1,08 | - | 0 |
| 2 | 2,04 | 2,00 | - | 0,04 |
| 3 | 3,00 | 2,96 | - | 0,04 |
| 4 | 4,07 | 3,98 | - | 0,09 |
| 5 | 5,04 | 4,95 | - | 0,09 |
| 6 | 6,08 | 5,94 | 0,5 | 0,14 |
| 7 | 7,07 | 6,95 | 0,8 | 0,12 |
| 8 | 8,04 | 7,90 | 1 | 0,14 |
| 9 | 9,00 | 8,90 | 1,2 | 0,1 |
| 10 | 10,07 | 9,81 | 1,4 | 0,26 |
| 11 | 11,05 | 10,80 | 1,6 | 0,25 |
| 12 | 12,02 | 11,78 | 1,8 | 0,24 |
| 13 | 13,00 | 12,80 | 2,0 | 0,2 |
| Selisih rata-rata | | | | 0,13 |

Tabel 8. Hasil pengujian Catu Daya DC dengan beban 2 lampu 12Volt

| Set Point | Tampa Beban (volt) | Pada saat Diberi Beban (volt) | Arus (I) | Selisih antara A dan B (volt) |
|--------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|
| | | | | |
| | A | B | C | D |
| 14 | 14,06 | 13,72 | 1,3 | 0,34 |
| 15 | 15,04 | 14,78 | 1,351 | 0,26 |
| 16 | 16,02 | 15,75 | 1,396 | 0,27 |
| 17 | 17,09 | 16,81 | 1,442 | 0,28 |
| 18 | 18,07 | 17,78 | 1,488 | 0,29 |
| 19 | 19,04 | 18,75 | 1,53 | 0,29 |
| 20 | 20,02 | 19,35 | 1,55 | 0,67 |
| Selisih Rata-rata | | | | 0,34 |

E. Pengujian Sistem Close Loop

- 1) Hasil Pengujian Unjuk Kerja Sistem Dengan Kendali PI (beban 2 lampu)

- 2) Hasil Pengujian Unjuk Kerja Sistem Dengan Kendali PI (beban lampu)

Pada pengujian *close loop* disini menggunakan kendali PI, dengan nilai Kp 5 dan Ki 30.

Tabel 9. Hasil pengujian Catu Daya DC dengan beban 2 lampu 12Volt (disusun seri).

| Set point | Tanpa Beban (V) | Pada saat Diberi Beban (V) | Arus (I) | Selisih antara A dan B |
|--------------------------|-----------------|----------------------------|-------------|------------------------|
| | A | B | C | D |
| 14 | 13,95 | 13,99 | 1,312 | 0,04 |
| 15 | 14,99 | 14,99 | 1,36 | 0 |
| 16 | 15,99 | 15,98 | 1,406 | 0,01 |
| 17 | 16,96 | 16,94 | 1,449 | 0,02 |
| 18 | 17,97 | 17,99 | 1,495 | 0,02 |
| 19 | 18,97 | 18,97 | 1,545 | 0 |
| 20 | 19,98 | 19,95 | 1,58 | 0,03 |
| Selisih Rata-rata | | | 0,02 | |

Tabel 10. Hasil pengujian Catu Daya DC dengan kendali PI menggunakan beban lampu 12 volt

| Set point | Tanpa Beban (volt) | Beban Lampu 12V | | Selisih Antara A dan B (volt) |
|--------------------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------------------------|
| | | Tegangan (V) | Arus (I) | |
| | A | B | C | D |
| 1 | 1,08 | 1 | 0,5 | 0,08 |
| 2 | 2,04 | 2 | 0,76 | 0,04 |
| 3 | 3,00 | 2,95 | 0,96 | 0,05 |
| 4 | 4,07 | 3,99 | 1,15 | 0,08 |
| 5 | 5,04 | 5,00 | 1,27 | 0,04 |
| 6 | 6,08 | 5,99 | 1,46 | 0,09 |
| 7 | 7,07 | 7,00 | 1,6 | 0,07 |
| 8 | 8,04 | 7,93 | 1,72 | 0,11 |
| 9 | 9,00 | 9,00 | 1,86 | 0 |
| 10 | 10,07 | 9,99 | 1,97 | 0,08 |
| 11 | 11,05 | 11,00 | 2,08 | 0,05 |
| 12 | 12,02 | 11,98 | 2,14 | 0,04 |
| 13 | 13,00 | 12,95 | 2,32 | 0,05 |
| Selisih rata-rata | | | 0,06 | |

3) Hasil Pengujian Unjuk Kerja Sistem Dengan Kendali PI (beban kipas angin)

Hasil pengujian unjuk kerja sistem dengan menggunakan kendali PI memperlihatkan bahwa nilai rata-rata selisih (volt) sistem Catu Daya DC dengan catu balik (close loop system) lebih kecil ($0,06\text{V} : 0,25\text{ V}$ untuk beban lampu, $0,07\text{V} : 0,13\text{V}$ untuk beban kipas angin dan $0,02\text{V} : 0,34\text{V}$ untuk beban 2 lampu).

Tabel 11. Hasil pengujian Catu Daya DC dengan kendali PI menggunakan beban kipas angin 12Volt.

| Set Point | Tanpa Beban (volt) | Beban Kipas 12V | | Selisih Antara A dan B (volt) |
|--------------------------|--------------------|-----------------|----------|-------------------------------|
| | | Tegangan (V) | Arus (I) | |
| | A | B | C | D |
| 1 | 1,08 | 1,08 | - | 0 |
| 2 | 2,04 | 2 | - | 0,04 |
| 3 | 3,00 | 2,96 | - | 0,04 |
| 4 | 4,07 | 3,98 | - | 0,09 |
| 5 | 5,04 | 4,95 | - | 0,09 |
| 6 | 6,08 | 5,98 | 0,5 | 0,1 |
| 7 | 7,07 | 6,94 | 0,7 | 0,13 |
| 8 | 8,04 | 8 | 1 | 0,04 |
| 9 | 9,00 | 8,98 | 1,2 | 0,02 |
| 10 | 10,07 | 9,94 | 1,4 | 0,13 |
| 11 | 11,05 | 10,97 | 1,6 | 0,08 |
| 12 | 12,02 | 11,93 | 1,8 | 0,09 |
| 13 | 13,00 | 12,94 | 2,1 | 0,06 |
| Selisih rata-rata | | | | 0,07 |

Hal ini dapat disebabkan karena pada sistem untai tertutup ada upaya untuk memperbaiki nilai keluarannya agar hasilnya mendekati atau sama dengan nilai yang diinginkan (set-point). Dalam hal ini sistem Catu Daya DC dengan catu balik mengaplikasikan kendali PI dalam program mikrokontrolernya.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

- 1) Telah berhasil dibuat power supply DC menggunakan mikrokontroler ATmega 8535 dengan set-point dari keypad.
- 2) Telah berhasil diaplikasikan sistem kendali P-I pada *power supply* DC, yang dapat mempertahankan tegangan sesuai dengan *set-point* yang ditentukan.
- 3) Dengan adanya kendali P-I, dapat mempertahankan nilai tegangan *set-point*.
- 4) Error selisih pembacaan tegangan pada sistem open loop dengan beban lampu sebesar $0,25\text{V}$; beban kipas $0,13\text{V}$ dan beban dua lampu $0,34\text{V}$

- 5) Error selisih pembacaan tegangan pada sistem close loop dengan beban lampu sebesar 0,06V; beban kipas 0,07V dan beban dua lampu 0,02V

B. Saran

Berdasarkan alat yang telah direalisasikan yaitu power supply DC 1V-20V menggunakan kendali P-I ini terdapat terdapat saran untuk perbaikan yang lebih lanjut yaitu perlu ditambahkannya range tegangan kerja power supply DC ini untuk mengkover peralatan yang membutuhkan tegangan diatas 20V.

REFERENSI

- [1] Winoto, Ardi. 2008. *Mikrokontroler AVR ATMEGA8/32/16/8535 & Pemrograman Dengan bahasa C Pada WINAVR*. Informatika, Bandung.
- [2] Wardhana, L. 2006. *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATMega8535 Simulasi, Hardware, dan Aplikasi*. Yogyakarta: Penerbit Andi Offset.
- [3] Malvino, Albert Paul. 2003. *Prinsip Prinsip Elektronika*. Terjemahan Joko Santoso. Salemba Teknika. Jakarta.
- [4] Sulistiyanti, S.R, FX.A Setiawan. 2006. *Dasar Sistem Kendali*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- [5] Malvino, Albert Paul. 1984. *Prinsip-prinsip Elektronika Edisi ke tiga*. Erlangga, Jakarta.
- [6] Lampung, Universitas. 2008. *Format Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung*. Universitas Lampung. Lampung
- [7] Hamdanin, Mohammad. 2010. *Pengendalian Putaran Kecepatan Motor DC Terhadap Perubahan Temperatur Dengan Sistem Modulasi Lebar Pulsa*. Universitas Indonesia. Depok.