

KONSTRUKSI, SIMULASI SISTEM KENDALI POSISI CATU DAYA SUMBER ELEKTRON BERBASIS MIKRO-KONTROLER PADA MBE

Taxwim, Eko Priyono, Saminto

Puslitbang Teknologi Maju - BATAN, Yogyakarta

ABSTRAK

KONSTRUKSI, SIMULASI SISTEM KENDALI POSISI CATU DAYA SUMBER ELEKTRON BERBASIS MIKROKONTROLER PADA MBE. Telah dilakukan konstruksi dan simulasi sistem kendali posisi catu daya sumber elektron berbasis mikrokontroler pada MBE. Sistem kendali ini dibuat menggunakan bahasa pemrograman assembler yang digunakan untuk mengendalikan gerakan motor dc yang dikopel dengan trafo variak. Dengan sistem kendali posisi ini memungkinkan untuk mengontrol posisi dari gerakan motor tersebut dari 0 derajat sampai dengan 300 derajat. Sistem pengaturan dilakukan dengan menentukan nilai posisi kenaikannya diikuti menekan tombol UP untuk menaikkan tegangan variak pada posisi tertentu sedangkan tombol DN untuk menurunkan tegangan. Setiap kali kenaikan ditentukan dengan pengisian nilai dalam derajat posisi pada tombol keypad. Sebagai contoh hasil eksperimen untuk masukan 10^0 diperoleh posisi akhir juga 10 derajat pada tegangan variak sebesar 46 volt dengan kesalahan 0 %, untuk masukan 300 derajat, posisi akhir juga 300 derajat pada tegangan variak sebesar 241 volt dengan kesalahan 0 %, sehingga memudahkan untuk mengetahui posisi motor dc tersebut secara bertahap dengan prioritas tertinggi pada penurunan tegangan. Pemrograman dengan mikrokontroler dibuat agar lebih mudah memodifikasi program sesuai dengan keperluan pengendalian dan pengembangan selanjutnya. Manfaat penelitian ini untuk pengembangan sistem kontrol manual menjadi digital dan dapat diterapkan pada pengaturan catu daya sumber elektron secara bertahap dan juga dapat digunakan untuk sistem pengaturan tegangan lainnya yang berbasis mikrokontroler. Dari hasil eksperimen diperoleh kesalahan 0 % sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem kendali digital ini lebih akurat dibandingkan dengan sistem kendali analog.

Kata kunci : Konstruksi, simulasi, kendali posisi, catu daya sumber elektron MBE

ABSTRACT

THE CONSTRUCTION OF MICROCONTROLLER BASED SIMULATION POSITION OF CONTROL SYSTEM FOR ELECTRON SOURCE POWER SUPPLY OF ELECTRON BEAM MACHINE. The construction of microcontroller based simulation position of control system for electron source power supply of electron beam machine have been done. The control system is designed using assembler programming language to control the movement of dc motor which is coupled with the variac transformer. The position control system can control the position of the dc motor movement from 0 degrees up to 300 degrees. The control system conducted by determining the increasing position and followed by pressing the UP button to increase the voltage on certain position while DN button is to decrease it. The increasing of position is determined with the data entry of value in degree position on keypad. For example, the result of experiment for 10 degrees data entry, obtained final position were 10 degrees at voltage of variac was 46 volt with 0% failure and for 300 degrees data entry obtained, final position 300 degrees at voltage variac was 241 Volt also 0% failure. So that can be known easily, the dc motor position with the highest priority on voltage decreasing. Programming using micro controller is meant to make easy in modification of the program according to the controlling needs and the future development. The utilization of this research is to develop the manual control system to digital control system and it can be applied on the controlling of other voltage based on microcontroller. From experiment done, it's found that the failure is 0 %, so that it can be concluded that digital control system more accurate compared to the analog control system.

Key words: Construction, simulation of position control, electron source power supply of EBM

PENDAHULUAN

P3TM-BATAN telah berhasil melaksanakan salah satu program bidang iptek nuklir yaitu pembuatan mesin berkas elektron 350 keV/10 mA yang merupakan salah satu land mark Batan.

Sumber elektron merupakan salah satu bagian penting dari MBE yaitu sebagai sistem pembangkit elektron. Sumber elektron yang digunakan pada umumnya adalah dari bahan padat yang disebut katoda panas (*hot cathode*) yaitu tungsten, tantalum

dan LaB6. Bentuknya beragam seperti *hair pain*, *helix*, *spiral*, dan *bolt chatode*. Pada dasarnya sumber elektron terdiri dari : filamen (kawat tungsten), katoda dan anoda *pierce* yang berlubang untuk memungkinkan berkas elektron dapat melewatinya. Proses yang mula-mula terjadi pada sumber elektron adalah terlepasnya elektron dari katoda menjadi elektron bebas. Terlepasnya elektron tersebut dapat disebabkan oleh adanya medan listrik yang kuat, proses fotolistrik, radiasi partikel pengion maupun emisi termionik. Pada sumber elektron jenis termionik, elektron bebas terbentuk karena emisi termionik dari katoda yang dipanaskan menggunakan aliran listrik searah. Elektron bebas yang telah dihasilkan oleh katoda selanjutnya harus dibentuk menjadi berkas dan dikeluarkan dari ruang sumber elektron. Untuk mengarahkan elektron bebas dari katoda ke celah digunakan elektroda pendorong yang berpotensi negatif. Dalam perjalanannya menuju anoda sumber elektron, berkas elektron cenderung menyebar (*divergen*) akibat adanya gaya tolak menolak antara muatan sejenis yang dimiliki oleh masing-masing elektron. Oleh karena itu elektroda pemfokus sangat berperan untuk memfokuskan agar berkas elektron menjadi terfokus dan selanjutnya dapat melewati celah sumber elektron. Anoda yang juga berfungsi sebagai celah keluaran sumber elektron harus dapat menarik elektron sebanyak-banyaknya dari ruang sumber elektron. Oleh karena itu anoda diberi tegangan positif^[1].

Dari keterangan diatas dan untuk mewujudkan sistem pengaturan sumber elektron maka sistem pengaturannya digunakan trafo variak yang dikopel dengan motor dc agar dapat diatur tegangannya yang selanjutnya dengan menggunakan sistem kendali pada perancangan ini agar dapat mengatur besarnya arus filament dan tegangan anoda katoda. Karena sumber elektron terletak pada daerah tegangan tinggi maka diperlukan cara pengendalian dan pengaturan terhadap catu daya sumber elektron yang khusus. Untuk itu diperlukan suatu teknik pengendalian jarak jauh untuk melindungi instrumen tegangan rendah dari aliran tegangan tinggi serta untuk menjaga keselamatan operator dalam mengoperasikan MBE

Agar dapat diwujudkan suatu sistem pengendalian yang aman dan dapat diprogram, maka diperlukan suatu peralatan kendali berbasis mikro komputer, yaitu digunakannya mikrokontroler dan sistem kendali posisi sebagai sistem pengendaliannya. Pada penelitian sebelumnya telah digunakan suatu rangkaian mikrokontroler untuk menggerakkan putaran motor dc, dimana putaran ke kanan dan ke kiri dilakukan dengan merubah potensial kutub-kutub motor dari positif ke negatif

dan sebaliknya. Pada penelitian yang sekarang dilakukan, *driver* motor diberi masukan digital dari mikrokontroler untuk menggerakkan putaran motor dc ke kanan atau ke kiri. Dengan penggunaan mikrokontroler yang terprogram tersebut telah mampu digunakan sebagai sistem kontrol otomatis secara digital yang lebih baik, praktis, lebih ekonomis dan juga dapat dikembangkan untuk sistem otomatisasi dengan memanfaatkan fasilitas *port I/O* yang tersedia pada mikrokontroler tersebut.

Dalam perancangan sistem kendali posisi ini pengaturan arus filamen dan tegangan anoda katoda sumber elektron dilakukan dengan kendali posisi pada variak. Untuk menaikkan suatu nilai tertentu lebih terkendali karena akan dikontrol oleh kendali posisi pada motor variak, yang setiap kali menaikkan telah dipilih nilai pada posisi tertentu seperti ditunjukkan oleh monitor *7 segment* dengan mengisikan nilai melalui *keypad* yang telah disediakan. Perancangan ini menggunakan bahasa pemrograman *assembler* pada mikrokontroler yang dibuat sedemikian rupa sehingga untuk setiap kali kenaikan dikontrol oleh sistem kendali posisi yang ditampilkan dalam bentuk angka menyatakan dalam derajat posisi sehingga memudahkan untuk pemantauan secara bertahap dengan prioritas tertinggi menurunkan tegangan. Dalam makalah ini dibahas hasil perancangan dan pengujian secara simulasi. Alat ini nantinya bisa dipasangkan pada sistem MBE untuk mengendalikan catu daya sumber elektron.

TATA KERJA

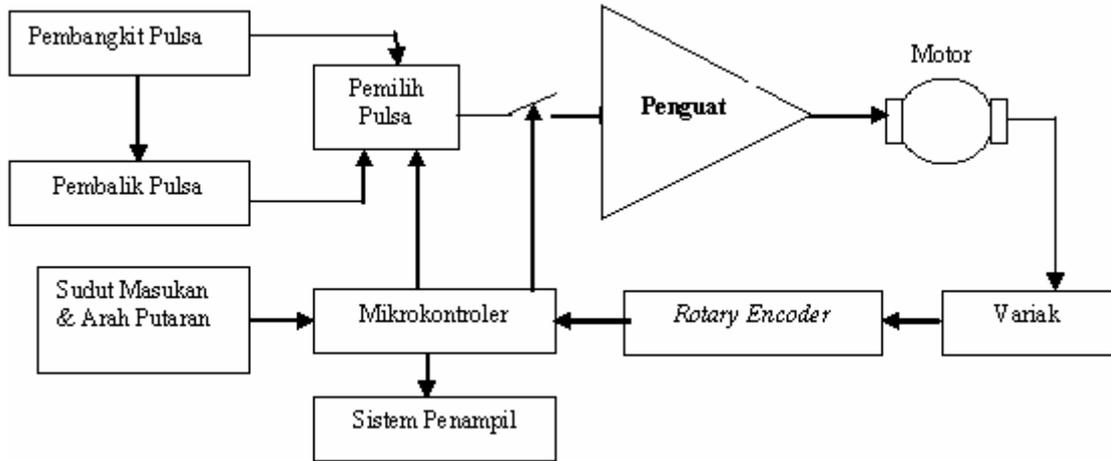
Konstruksi Sistem Kendali Posisi

Sistem kendali sumber elektron yang ditunjukkan disini pada dasarnya adalah sistem kendali posisi variak yang diputar oleh motor DC menggunakan mikrokontroler sebagai komponen utama dalam pengendaliannya. Secara umum bagian-bagian yang terlibat dalam sistem ini dinyatakan dalam diagram blok pada Gambar 1.

Sistem kendali yang digunakan diatas menggunakan sistem kendali kalang tertutup (*closed loop*) yang memungkinkan untuk dapat mengoreksi nilai *error*^[2]. Sistem kendali posisi ini menggunakan piringan yang dilengkapi garis-garis berjarak 2 derajat radial (*rotary encoder*) yang digunakan sebagai unit penghitung posisi gerakan motor dc, sehingga sudut masukan yang diberikan sebagai input akan dibandingkan dengan nilai keluaran dari posisi tersebut sebagai koreksi. Mikrokontroler sebagai *control processing unit* akan

melaksanakan semua perintah yang diberikan sesuai

dengan program yang telah ditanam.

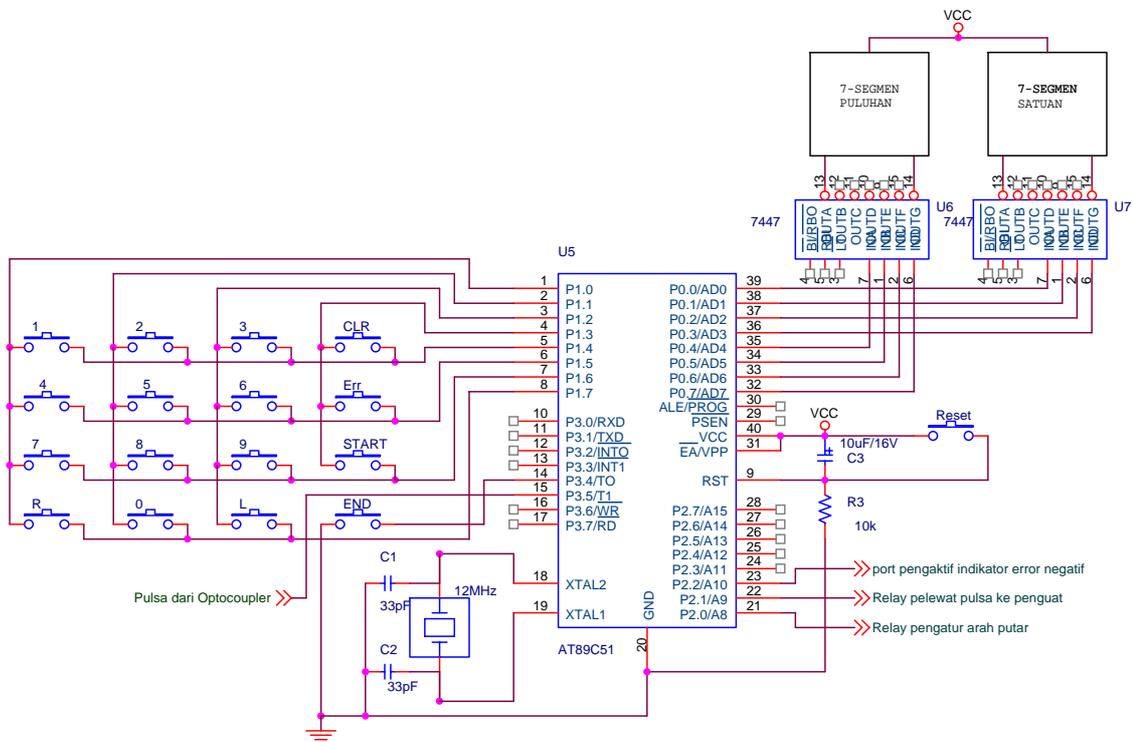


Gambar 1. Diagram blok sistem kendali.

Rangkaian Mikrokontroler AT89C51 Sebagai Kendali Posisi

Mikrokontroler ini digunakan sebagai pengolah data untuk membaca nilai sudut masukan dan arah putaran, membandingkan nilai sudut masukan dengan posisi sudut putaran variak, dan mengendalikan relai pelewat pulsa. Nilai sudut masukan dan arah putar dibaca melalui sistem papan tombol pada

system minimal. Hasil pembacaan ini juga ditampilkan pada penampil 7-segmen dua digit. Nilai yang dimasukkan lewat papan tombol dan nilai yang ditampilkan pada 7-segmen eivalen dengan nilai tertampil dikalikan sepuluh, karena sudut putaran dirancang dengan nilai kelipatan sepuluh (sudut putaran terkecil sepuluh derajat). Blok diagram rangkaian sistem minimal dengan mikro-kontroler ditunjukkan pada Gambar 2^[3].



Gambar 2. Blok diagram rangkaian sistem minimal.

Pada sistem minimal ini port 1 mikrokontroler digunakan untuk membaca tombol-tombol dengan susunan matrik 4x4, jadi ada 16 tombol yang terdiri atas:

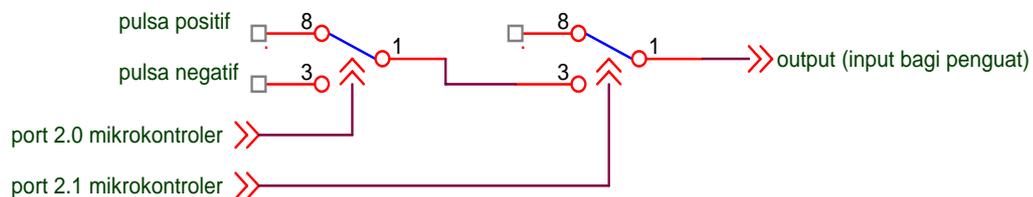
- Tombol angka **0** sampai dengan **9** untuk nilai sudut masukan.
- Tombol **R** (*Right*) dan **L** (*Left*) untuk mengatur arah putar motor.
- Tombol **CLR** (*clear*) untuk menghapus nilai masukan.
- Tombol **start** untuk mulai menjalankan motor sesuai dengan nilai masukan.
- Tombol **end** untuk menghentikan motor kapan saja.
- Tombol **Err** untuk menampilkan nilai *error* positif.
- Tombol **End** untuk interupsi (pengaman).

Tombol *end* tidak diambil dari *port 1*, tetapi dari *port 3.4* (T0), karena tombol ini digunakan untuk interupsi program yaitu membuat *port* pengendali relai berlogika "1" (relai terputus) kapan saja. Dengan terputusnya relai maka arus ke penguat dapat diputus dengan menekan tombol ini kapan saja. Dengan terputusnya arus ini, diharapkan motor

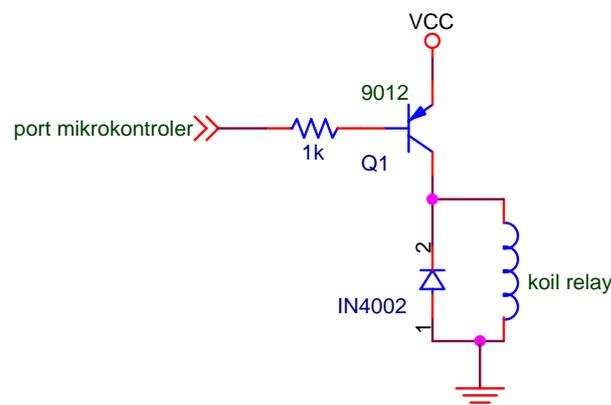
dapat dihentikan secara paksa dengan tombol ini. Sedangkan susunan relai untuk menentukan arah putar dan melewatkan pulsa dari rangkaian pembangkit gelombang kotak seperti terlihat pada Gambar 3.

Dalam cangan bangun ini, setiap relai diaktifkan dengan memberikan logika "0" pada *driver* relai. Sebagai *driver* relai digunakan transistor tipe PNP 9012 seperti pada Gambar 4.

Port 2.0 dikendalikan oleh tombol **R** (*Right*) dan **L** (*Left*) pada papan tombol. Jika tombol **R** ditekan maka *output port 2.0* berlogika "1", sehingga relai tidak aktif dan akan melewatkan pulsa positif untuk memutar motor searah jarum jam. Sedangkan jika tombol **L** ditekan *port 2.0* akan berlogika "0" sehingga relai aktif dan melewatkan pulsa negatif untuk memutar motor berlawanan arah jarum jam. *Port 2.1* dan *2.2* dikendalikan oleh tombol **START**, **END**, dan program dalam mikrokontroler. Dalam perancangan disini *port 2.1* digunakan untuk mengaktifkan relai yang melewatkan pulsa yang digunakan untuk menggerakkan motor. Sedangkan *port 2.2* digunakan untuk menyalakan *LED* jika arus ke motor diputus atau terjadi *error* negatif (posisi motor melebihi posisi yang diinginkan).



Gambar 3. Susunan relai pemilih arah putar dan pelewat pulsa.



Gambar 4. Driver relai.

Dalam perancangan ini gerakan motor dibuat per step sewaktu menuju posisi variak yang diinginkan. Hal ini karena kenaikan tegangan dan arus yang diperlukan oleh sumber elektron sedikit demi sedikit, tidak bisa langsung diberi kenaikan tegangan dan arus yang signifikan. Jika hal ini dilakukan akan merusak sumber elektron tersebut. Sehingga untuk keperluan ini pulsa penggerak motor dibuat dengan *duty cycle* yang kecil. Jika tombol *END* ditekan maka *port 2.1* dan *port 2.2* akan berlogika "1", sehingga relai pelewat pulsa terputus. Dengan demikian arus yang masuk ke penguat juga terputus sehingga motor berhenti.

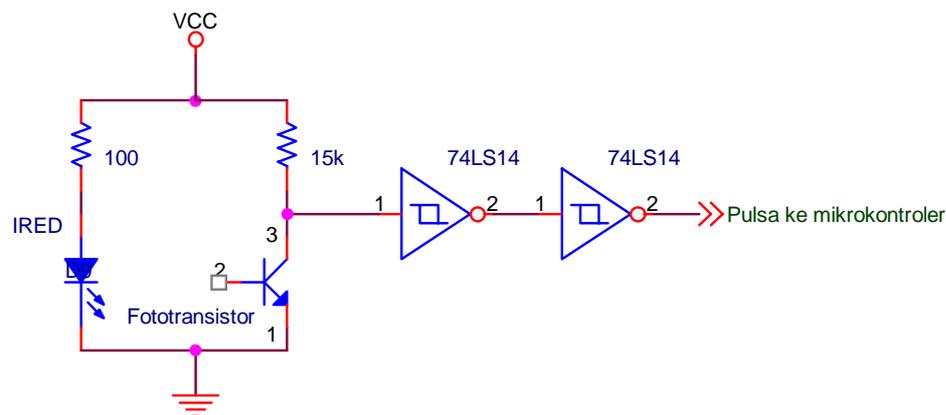
Rangkaian Pembangkit Gelombang Kotak

Rangkaian pembangkit gelombang kotak ini disusun dengan menggunakan IC 555 yang telah umum digunakan. Gelombang kotak yang dihasilkan ini digunakan untuk memutar motor setelah melalui penguat. Untuk memutar motor ke arah berlawanan maka keluaran dari rangkaian ini

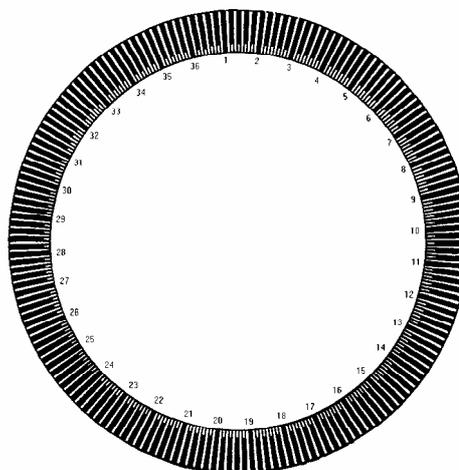
dibalik polari-tasnya menggunakan rangkaian *inverting op-amp*. Untuk menentukan besarnya t_{ON} dan t_{OFF} pada gelombang kotak tersebut digunakan nilai R variabel, sehingga lebar pulsa mudah diubah-ubah. Dalam penelitian ini dirancang t_{ON} dan t_{OFF} masing-masing mendekati nilai 2 dan 1.5 detik dengan menggunakan $R1 = 5\text{ k}\Omega$, $R2 = 10\text{ k}\Omega$, dan $C = 220\mu\text{F}$ ^[4].

Sistem Pembaca Posisi (*Rotary Encoder*)

Sistem pembaca posisi berfungsi untuk mengetahui seberapa jauh hasil pergerakan poros variak terhadap titik awalnya. Sistem pembaca posisi ini memanfaatkan piranti semikonduktor berupa dioda infra merah (*infrared emitting diode*) dan fototransistor yang terkemas dalam *opto-coupler*^[5]. Untai pembaca posisi seperti terlihat pada Gambar 5a.



Gambar 5a. Untai pembaca posisi.



Gambar 5b. Piringan.

Prinsip kerja sistem pembaca posisi adalah variak memutar piringan yang ada diantara dioda inframerah dan fototransistor. Piringan ini terdiri atas bagian bergaris gelap dan bagian bergaris terang (tembus cahaya) yang masing-masing berjumlah 180. Saat bagian bergaris gelap berada diantara dioda inframerah dan fototransistor, maka sinar inframerah yang dipancarkan oleh dioda inframerah tidak sampai ke fototransistor. Akibatnya tidak ada arus basis yang mengalir ke fototransistor. Hal ini mengakibatkan transistor dalam keadaan OFF dan tegangan kolektor mendekati tegangan catu dayanya. Keadaan sebaliknya akan terjadi jika diantara dioda inframerah dan fototransistor terdapat bagian piringan bergaris terang. Sinar inframerah akan mencapai fototransistor. Pada saat fototransistor dikenai cahaya inframerah maka akan timbul arus basis dan transistor dalam keadaan ON. Pada keadaan ON ini, tegangan kolektor akan mendekati nol.

Transisi posisi ON-OFF pada fototransistor tidak berjalan secara tegas. Untuk itu diperlukan pembalik (*inverter*) *schmitt trigger* 74LS14 sebagai penegas posisi ON dan OFF. Selain itu *inverter* ini juga berfungsi sebagai *buffer* penguat arus walaupun tidak terlalu besar, sehingga hasil keluaran *inverter schmitt trigger* 74LS14 berupa pulsa-pulsa yang frekuensinya menurut persamaan^[1]:

$$f = \frac{v n}{60} \quad (1)$$

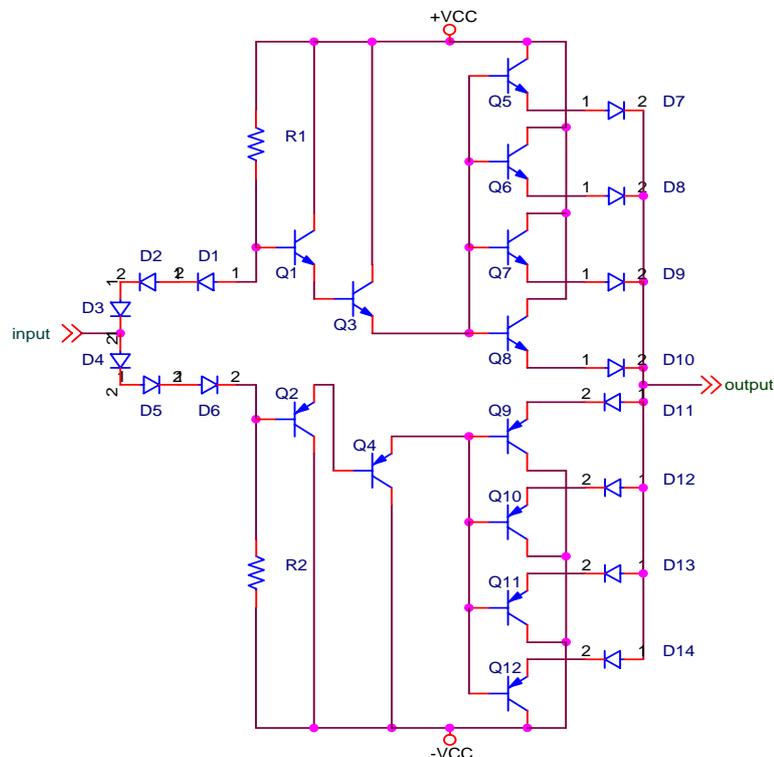
dengan v = kecepatan putar (rpm)

n = jumlah celah

Keluaran *inverter schmitt trigger* 74LS14 yang berupa pulsa dimanfaatkan untuk mengetahui seberapa jauh poros berputar dari titik semula. Makin jauh poros berputar, makin banyak pulsa yang dihasilkan. Karena piringan yang dibuat terdiri atas 180 garis gelap dan 180 garis terang maka ada 180 kemungkinan posisi yang masing-masing berjarak 2° , sehingga resolusi yang diharapkan bernilai maksimal 2° .

Sistem Penguat Daya (Amplifier)

Penguat daya digunakan untuk menguatkan pulsa dari rangkaian pembangkit pulsa sehingga dapat digunakan untuk menggerakkan motor. Transistor pada bagian output dibuat paralel empat karena arus yang ditarik motor besar. Meskipun dalam *data sheet* disebutkan I_c transistor 4 ampere, pada kenyataannya transistor ini tidak bertahan lama meskipun dirancang untuk menghasilkan arus sebesar 2 ampere. Oleh karena itu digunakan empat transistor yang diparalel. Dengan demikian transistor tidak cepat panas dan bisa bertahan lama.



Gambar 6. Rangkaian penguat daya.

Transistor yang digunakan dalam perancangan penguat ini adalah sebagai berikut.

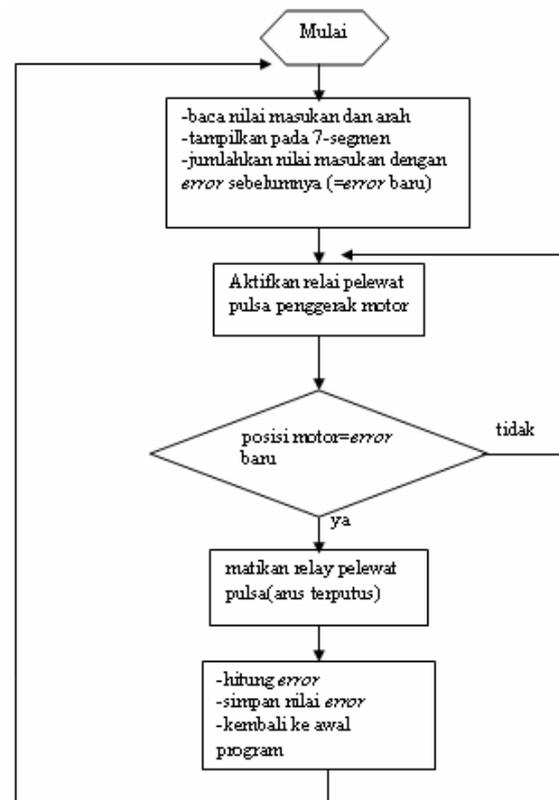
- Q1, Q3, Q2, dan Q4 digunakan transistor BD 135 (NPN) dan BD 136(PNP). Pemilihan transistor seri ini karena dari *data sheet* diketahui memiliki h_{FE} cukup besar (>40) dan $U_{CEO\ max}$ 45 volt^[2].
- Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11, dan Q12 digunakan transistor TIP 3055 (NPN) dan TIP 2955 (PNP). Transistor ini digunakan pada bagian output karena transistor ini memiliki I_c yang besar (dari *data sheet* diketahui I_c maksimum sebesar 4 ampere, $h_{FE} >20$, U_{CEO} maks 70 volt)^[2].

PRINSIP KERJA SISTEM KENDALI POSISI

Cara kerja sistem kendali secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut (lihat Gambar 1). Sudut masukan dan arah putaran dimasukkan melalui *keypad*/papan tombol pada sistem minimal mikrokontroler. Setelah ditekan tombol *start* maka mikrokontroler akan mengaktifkan relai sehingga pulsa yang telah dipilih oleh mikrokontroler ini akan dilewatkan dan dimasukkan ke penguat. Selanjutnya pulsa yang telah dikuatkan ini digunakan untuk menggerakkan motor yang akhirnya untuk memutar variak. Pada sumbu variak dipasang piringan (lihat Gambar 5b) yang tepinya diberi garis-garis gelap dan terang. Garis gelap terang ini dibuat selang-seling setiap dua derajat, sehingga total ada 180 garis terang dan 180 garis gelap. Garis-garis ini akan dibaca oleh *optocoupler* dan diubah menjadi pulsa-pulsa. Pulsa-pulsa yang dihasilkan *optocoupler* ini dibaca dan dihitung oleh mikrokontroler. Hasil penghitungan ini oleh mikrokontroler dibandingkan dengan nilai masukan. Pada saat hasil penghitungan sama dengan nilai masukan maka mikrokontroler akan memutuskan relai yang melewatkan pulsa yang mengakibatkan motor akan berhenti dan variak juga berhenti pada posisi yang dikehendaki (sesuai masukan)

Setelah arus diputus ada kemungkinan motor DC tidak langsung berhenti maka ada kemungkinan terjadi kesalahan posisi. Oleh karena itu digunakan algoritma sistem kendali yang akan menghitung nilai kesalahan posisi tersebut sampai motor benar-benar berhenti. Hasil perhitungan ini disimpan sebagai nilai *error* yang akan dijumlahkan pada proses pengaturan posisi berikutnya. Kesalahan posisi melebihi yang diinginkan dihitung sebagai kesalahan negatif, sehingga jika dijumlahkan

dengan nilai masukan sudut yang baru, nilai kesalahan ini akan mengurangi nilai masukan sudut yang baru tersebut. Sedangkan jika kesalahan posisi terjadi sebelum motor mencapai posisi yang dimaksud, maka nilai kesalahan ini dihitung sebagai kesalahan positif, dan bersifat menambah nilai masukan sudut selanjutnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada bagan alir pada Gambar 7.



Gambar 7. Algoritma pengendalian posisi motor.

Program Pembaca Papan Tombol

Program untuk pembacaan papan tombol ini menggunakan metode *scanning*. Tombol-tombol yang akan dibaca disusun secara matriks 4 baris x 4 baris. Masing-masing baris dihubungkan ke port P1.4 sampai dengan P1.7 dan masing-masing kolom dihubungkan ke port P1.0 sampai dengan P1.3, lihat Gambar 2 beserta penjelasannya.

Untuk memeriksa tombol-tombol 1,4,7,dan R, mana yang ditekan maka dikirimkan logika "0" pada Port 1.0, kemudian hasilnya dibaca pada P1.4, P1.5, P1.6, dan P1.7, selanjutnya data akan ditampilkan pada system penampil (7 segment)

Program Pengaktif Relai

Untuk mengaktifkan relai, dilakukan dengan memberikan logika "0" pada *driver* relai dan logika "1" memutus relai. Dalam hal ini digunakan dua *port* untuk mengatur relai dan satu *port* untuk indikator nilai *error* negative lihat Gambar 2 dan Gambar 3 beserta penjelasannya

Program Pembaca Posisi Motor

Program pembaca posisi motor ini memanfaatkan fasilitas *Timer* dari mikrokontroler yang difungsikan sebagai pencacah (*counter*). Jumlah pulsa yang dihasilkan *optocoupler* dibaca dan dihitung melalui pencacah ini. Dalam perancangan ini digunakan *Timer1* sebagai pencacah untuk membaca dan menghitung pulsa yang dihasilkan *optocoupler*. Program pembaca posisi ini berhubungan dengan data masukan dari papan tombol dan juga pengaturan relai, sehingga instruksi dalam program ini berupa instruksi/perintah membandingkan data masukan dengan hasil pembacaan setiap saat. Jika data pembacaan sudah sama dengan data masukan maka perintah untuk mematikan relai pelewat pulsa akan dilakukan sehingga motor akan berhenti. Kesalahan (*error*)

akan diperhitungkan dengan membandingkan nilai masukan dan pembacaan posisi sebagai koreksi berikutnya.

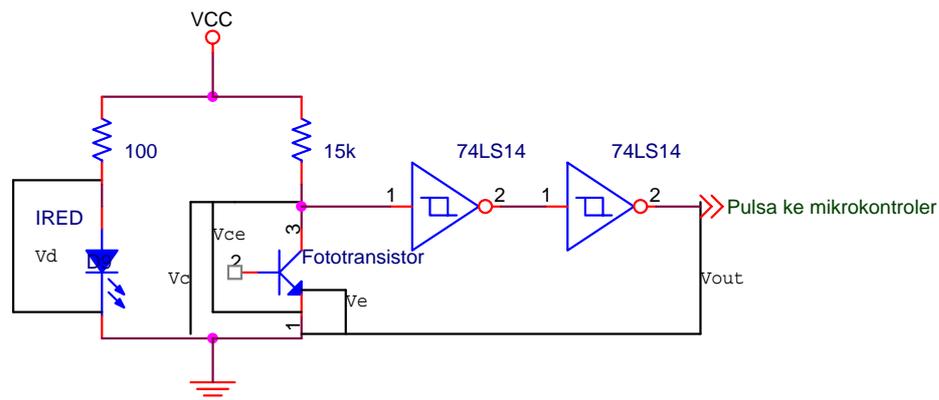
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memaparkan hasil pengujian yang telah dilakukan serta analisisnya. Pengujian dilakukan pada bagian tertentu yang dianggap perlu. Hal-hal yang diamati dapat berupa level tegangan pada suatu bagian dari sistem dan juga unjuk kerja dari sistem yang telah dibuat.

Pengujian Sistem Pembaca Posisi

Pengujian dilakukan dengan mengamati level tegangan pada beberapa titik, sebagaimana terlihat pada Gambar 8. Titik-titik tersebut adalah tegangan catu daya (V_{cc}), tegangan dioda infra merah (V_d), tegangan kolektor (V_c), tegangan emiter (V_e), tegangan kolektor-emiter (V_{ce}), dan tegangan keluaran *schmit trigger* 74LS14 (V_{out}).

Hasil pengamatan masing-masing titik dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 8. Titik-titik pengujian pada rangkaian pembaca posisi.

Tabel 1. Hasil pengamatan sistem pembaca posisi.

Titik-titik Pengamatan	Kondisi Sistem Pembaca Posisi	
	Tertutup	Terbuka
V_{cc} (V)	5	5
V_d (V)	1,4	1,4
V_c (V)	4,7	0,2
V_e (V)	0	0
V_{ce} (V)	4,7	0,2
V_{out} (V)	5	0

Dari Tabel 1 dapat dicari arus yang mengalir pada dioda infra merah (I_d) dengan persamaan:

$$I_d = \frac{V_{cc} - V_d}{R} \quad (2)$$

Sehingga diperoleh I_d sebesar 20 mA. Jadi dioda bekerja sesuai dengan kemampuannya yaitu sekitar 20-25 mA yang mengakibatkan cahaya infra merah yang dihasilkan mempunyai intensitas yang cukup besar. Untuk fototransistor, kondisinya sangat dipengaruhi oleh ada tidaknya cahaya infra merah yang ditangkap. Pada saat ada penghalang yang menghambat cahaya infra merah, tegangan kolektor-emiter (V_{ce}) sebesar 4,7 volt. Kondisi demikian merupakan kondisi OFF dari transistor, sehingga tidak ada arus yang mengalir ke emiter, walaupun ada, nilainya sangat kecil. Karena keluaran diambil dari titik kolektor maka keluaran *opto-coupler* akan berlogika "1"

Pada saat tidak ada penghalang, cahaya akan sampai ke fototransistor. Pada kondisi ini tegangan kolektor-emiter (V_{ce}) sebesar 0,2 volt. Kondisi ini merupakan kondisi ON dari transistor. Karena tegangan kolektor sama dengan tegangan kolektor-emiter yaitu sebesar 0,2 volt maka keluaran *optocoupler* berlogika "0".

Pengujian Pembangkit Gelombang Kotak

Pengujian pembangkit pulsa (gelombang kotak) dimaksudkan untuk mengetahui tegangan keluaran dari gelombang kotak yang dihasilkan. Dalam teori IC timer 555 disebutkan bahwa tegangan keluaran yang dihasilkan mendekati nilai V_{cc} yang digunakan dikurangi 1,7 volt^[5]. Dalam perancangan ini digunakan V_{cc} sebesar 12 volt, sehingga secara teoritis tegangan keluarannya sebesar 10,3 volt. Dari hasil pengujian diperoleh

data tegangan yang dihasilkan 10 volt. Nilai ini mendekati nilai teoritis tersebut. Jadi IC yang digunakan masih dalam kondisi baik. Dalam perancangan ini digunakan motor DC 12 volt, dan agar putaran motor tidak terlalu cepat tegangan tersebut dapat dikurangi, sehingga ketepatan posisi menjadi lebih mudah diatur. Sedangkan waktu ON (t_{ON}) dan waktu OFF (t_{OFF}) dari gelombang kotak yang dihasilkan dapat dihitung. Dalam perancangan ini digunakan $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, dan $C = 220 \text{ }\mu\text{F}$, jika dihitung diperoleh waktu on sebesar 2,29 detik dan waktu off 1,52 detik^[5].

Dari hasil pengujian diperoleh waktu *on* 1,8 detik dan waktu *off* 1,3 detik. Dari hasil ini dapat diketahui hasil pengujian hampir sama dengan nilai teoritisnya. Jadi dapat dikatakan komponen yang digunakan dalam kondisi baik. Kemudian untuk menghasilkan pulsa negatif untuk memutar motor ke arah berlawanan digunakan penguat *inverting* menggunakan *op amp*.

Secara ringkas data hasil pengujian pembangkit pulsa ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari hasil ini terlihat bahwa V_{out} untuk pulsa negatif lebih kecil, konsekuensinya putaran motor menjadi lebih lambat. Tetapi hal ini tidak memberikan masalah yang berarti karena yang dikendalikan adalah posisi bukan kecepatan. V_{out} pulsa negatif lebih kecil disebabkan adanya susut tegangan di dalam komponen *op amp*.

Pengujian Penguat Daya

Pengujian penguat dimaksudkan untuk mengetahui berapa arus yang dihasilkan. Pengujian dilakukan dengan memberi *input* berupa pulsa (gelombang kotak) yang dihasilkan dari *Timer 555* dan *output* diberi beban berupa motor. Dari hasil pengujian diperoleh data seperti pada Tabel 3.

Tabel 2. Data hasil pengujian pembangkit pulsa.

	t_{ON} (s)	t_{OFF} (s)	I_{OUT} (mA)	V_{OUT} (V)
Pulsa positif	1,8	1,3	75	10
Pulsa negatif	1,8	1,3	60	7,5

Tabel 3. Hasil Pengujian Penguat Daya

	Pulsa Positif	Pulsa negatif
V_{OUT} tanpa beban (V)	8	7,5
V_{OUT} berbeban (V)	7	5,5
I_{OUT} (A)	1,65	1,4

Dari pengujian ini diketahui bahwa penguat yang dirancang sudah mampu menguatkan masukan yang besarnya dalam orde mA menjadi keluaran dalam orde ampere, sehingga keluaran penguat ini mampu menggerakkan motor yang digunakan untuk memutar variak. Vout pulsa negatif lebih kecil dibanding pulsa positif karena dari inputnya tegangan pulsa negatif lebih kecil yang disebabkan kondisi *op amp inverting* yang kurang baik.

Pengujian Ketepatan Posisi

Untuk mendapatkan sistem kendali sumber elektron dengan cara mengendalikan posisi dan arah putar motor DC, maka akan disajikan pengujian ketepatan posisi putar motor tersebut. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketepatan posisi putar terhadap nilai masukannya. Jadi variabel yang digunakan adalah nilai masukan sudut putar. Pengujian dilakukan untuk berbagai macam sudut masuk-an mulai dari sudut terkecil 10° sampai 300°. Setelah motor mencapai posisi yang dimaksud,

kemudian dilakukan pengamatan terhadap tegangan keluaran variak yang diputar oleh motor DC tersebut. Hasil pengamatan tegangan ini nantinya dipakai untuk mengetahui berapa derajatkah variak harus diputar untuk menghasilkan tegangan yang diinginkan.

Hasil pengujian ketepatan posisi sudut putar variak dapat dilihat pada Tabel 4. Dari hasil ini diperoleh hasil ketepatan posisi variak seratus persen (kesalahan 0%). Hal ini karena perancangan putaran sumbu variak dibuat lambat dengan cara menambah roda gigi yang lebih besar pada sumbu variak dibandingkan roda gigi pada sumbu motor. Karena piringan untuk sensor posisi dipasang pada sumbu variak maka kecepatan sudut piringan sama dengan kecepatan sudut sumbu variak, sehingga tidak diperlukan hitungan perbandingan putaran sumbu motor terhadap putaran sumbu variak, karena yang dikendalikan adalah posisi putaran variak.

Tabel 4. Hasil pengamatan ketepatan posisi (posisi awal 0°)

Masukan (°)	Posisi akhir (°)	Kesalahan (°)	Tegangan variak (V)
10	10	0	46
20	20	0	52
30	30	0	60
40	40	0	65
50	50	0	74
60	60	0	81
70	70	0	87
80	80	0	94
90	90	0	100
100	100	0	107
110	110	0	115
120	120	0	121
130	130	0	127
140	140	0	133
150	150	0	139
160	160	0	147
170	170	0	153
180	180	0	160
190	190	0	166
200	200	0	174
210	210	0	181
220	220	0	187
230	230	0	193
240	240	0	200
250	250	0	207
260	260	0	215
270	270	0	222
280	280	0	228
290	290	0	235
300	300	0	241

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Perancangan simulasi sistem kendali catu daya sumber elektron yang telah dibuat memberikan hasil yang baik, untuk masukan 10° diperoleh posisi akhir juga 10° pada tegangan variak sebesar 46 volt dengan kesalahan 0 %, untuk masukan 300° , posisi akhir juga 300° pada tegangan variak sebesar 241 volt dengan kesalahan 0 %.
2. Dalam perancangan ini kecepatan putar sumbu variak diturunkan dengan cara memasang roda gigi yang lebih besar pada sumbu variak. Dengan diturunkannya kecepatan putar sumbu variak maka pengendalian posisi menjadi lebih mudah, karena dengan kecepatan yang kecil, pembacaan posisi oleh *optocoupler* benar-benar tepat dan setelah arus diputus motor langsung berhenti pada posisi yang dimaksud.
3. Cara lain yang digunakan dalam perancangan ini untuk membuat motor bisa langsung berhenti setelah arus diputus adalah dengan cara memberikan arus yang tidak terlalu besar, sehingga putaran motor tidak terlalu kuat.

4. Hasil perancangan simulasi sistem kendali catu daya sumber elektron dibuat agar lebih mudah memodifikasi program sesuai dengan keperluan pengendalian dan pengembangan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Kumpulan Makalah Seminar Sehari Rancang Bangun Mesin Berkas Elektron 500 KeV/ 10 mA*; PPNY-BATAN; Yogyakarta; 1996.
2. DONALD P. EEKMAN; *Automatic Process Control*; John Wiley and Sons, New York; 1958.
3. PUTRA, A.E., *Belajar Mikrokontroler AT89C51 /52/55 Teori dan Aplikasi*, Gava Media, Yogyakarta, 2002.
4. PAYNTER, R. T., *Introductory Electronic Devices and Circuits*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1997.
5. M. STANLEY LIVINGSTONE and JOHN P. BLEWETT; *Particle Acceleration*; McGRAW-HILL BOOK COMPANY; New York; 1962.
6. *Kumpulan Data Penting Komponen Elektronika*, "Paduan acuan cepat IC linier, TTL, CMOS", Multi Media, Jakarta, 1985