

UJI PEFORMA MOTOR STEPPER BIPOLAR DAN UNIPOLAR MENGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK SEBAGAI DETEKSI OTOMATIS BERBASIS ARDUINO

Oleh: Dyah Ratna Kusuma M^{1*)}, Aggie Brenda V², Puji Nur W³, dan Muh Iqbal S⁴

^{1,2}Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang, Semarang, Indonesia

^{3,4}Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya, Surabaya, Indonesia

E-mail: ¹dyah.ratna@polines.ac.id, ²aggievernandez@polines.ac.id

Abstrak

Abstrak Perangkat pada peralatan elektronik telah dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, berfungsi sebagai peralatan penting dan digunakan sebagai suatu penggerak alat misalkan pada motor jenis stepper. Pada penelitian, dibuat sebuah perbandingan motor stepper antara jenis unipolar dan bipolar dengan menggunakan sensor ultrasonik sebagai uji kelayakan pada arus dan tegangan yang terdapat pada motor stepper. Desain pada rancangan ini, menggunakan motor stepper sebagai penggerak motor serta sensor ultrasonik digunakan eksistensi atau jarak suatu benda, dan beberapa rangkaian pendukung dari hasil pengujian perbandingan efisiensi pada motor stepper. Hasil penelitian menunjukkan dapat menguji perbandingan antara efisiensi pada motor stepper jenis unipolar dan bipolar sehingga dapat dijadikan informasi nilai dari parameter arus dan tegangan. Uji coba dilakukan dengan mengambil beberapa sampel data dan mampu bekerja dengan baik.

Kata kunci: motor stepper jenis unipolar, bipolar, dan sensor ultrasonik

Abstract

Electronic devices have become an integral component of modern life, serving as indispensable equipment and instruments in various applications, including stepper motors. The present study presents an analytical comparison of unipolar and bipolar stepper motors to evaluate the feasibility of ultrasonic sensors for measuring current and voltage within the stepper motor. The design utilizes a stepper motor as a motor driver, and an ultrasonic sensor is employed to detect the presence or distance of an object. Several supporting circuits are derived from efficiency comparison tests on stepper motors. The findings of the study demonstrate the efficacy of the proposed method in evaluating the efficiency disparity between unipolar and bipolar stepper motors. This evaluation provides valuable insights into the current and voltage parameters, thus enhancing the decision-making process. The trial was executed by the collection of multiple data samples and demonstrated effective functionality.

Keywords: unipolar, bipolar, and ultrasonic sensor type stepper motors

1. Pendahuluan

Saat ini, sektor teknik elektro tengah mengalami perkembangan yang cepat dan mengalami perubahan besar dalam metode dan medianya. Karena itu, alat elektronik sering digunakan sebagai perangkat yang berfungsi secara otomatis [1]. Di samping itu, kemajuan teknologi saat ini mampu memudahkan pekerjaan manusia, terutama dalam sektor perangkat elektronik [2]. Peran alat elektronik sangat krusial bagi perkembangan teknologi, manusia telah menghasilkan berbagai tipe alat untuk memenuhi keinginan serta kebutuhan dalam beragam kegiatan [3]. Karena terdapat beberapa sistem yang dapat

membantu pekerjaan manusia, industri di sektor elektronika saat ini sangat diperlukan. Sekarang, segala sesuatu menjadi lebih gampang dilakukan berkat kemajuan teknologi [4]. Kemajuan dalam berbagai teknologi memerlukan ilmu pengetahuan. Salah satu contohnya teknologi ialah perbandingan efisiensi motor stepper unipolar dan bipolar. Studi mengenai motor stepper dilakukan dengan perangkat lunak proteus untuk memperoleh nilai arus dan tegangan [5]. Motor stepper merupakan alat elektromekanis yang menciptakan gerakan mekanis diskrit melalui pulsa listrik, disebut diskrit karena motor stepper tidak berputar secara terus-menerus seperti motor induksi AC, sehingga putarannya

dilakukan secara bertahap [6]. Motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa tertentu. Dengan demikian, pengontrol motor stepper perlu dilakukan secara rutin agar dapat menghasilkan pulsa untuk memutar motor. Motor stepper bipolar memiliki konfigurasi gulungan bipolar yang memerlukan sinyal pulsa dari positif ke negatif atau sebaliknya [7].

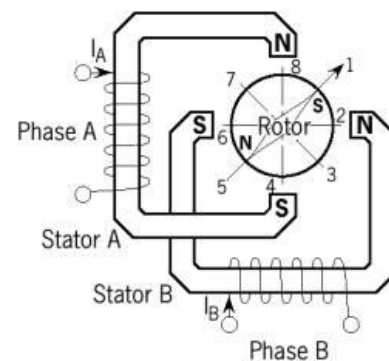
Dengan demikian, setiap koneksi belitan (A dan B) pasti memiliki sinyal yang berfluktuasi dari positif ke negatif atau sebaliknya. Motor ini memerlukan rangkaian pengendali yang lebih kompleks dibandingkan dengan motor unipolar [8]. Motor stepper akan berputar ke arah yang berlawanan jika urutan pengaplikasian tegangan dibalik. Apabila sinyal kontrol tidak dikirim secara tepat, motor stepper tidak akan beroperasi. Driver dalam rangkaian motor stepper mampu mengatur arus dan tegangan, sehingga motor dikendalikan oleh penggerak [9]. Penelitian ini bertujuan untuk memverifikasi hasil perbandingan antara arus dan tegangan motor stepper unipolar yang menggunakan driver motor ULN 2003A dibantu sensor ultrasonik, sementara untuk motor stepper bipolar menggunakan driver motor L298N juga dibantu dengan sensor ultrasonik yang terhubung ke mikrokontroler dengan input 5 Volt. Desain yang diterapkan sebagai pengendali mikrokontroler dengan elemen skema komputer untuk mengatur performa sistem. Mikrokontroler adalah perangkat efisien yang mampu mengendalikan peralatan dengan performa baik dan harganya terjangkau [10]. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi perbandingan antara arus dan tegangan pada motor stepper unipolar dengan driver motor ULN 2003A yang didukung sensor ultrasonik, sedangkan untuk motor stepper bipolar menggunakan driver motor L298N yang juga didukung sensor ultrasonik, kemudian dihubungkan ke mikrokontroler Arduino NANO dan UNO dengan tegangan masukan 5 volt. Arus dan tegangan motor stepper menggunakan tegangan input 24 – 110 VDC.

2. Tinjauan Pustaka

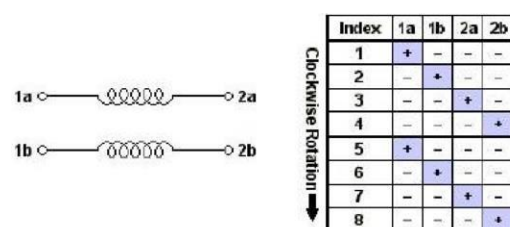
Motor Stepper

Motor yang berputar secara otomatis disebut motor stepper. Sumber input motor stepper berasal dari pulsa digital yang mengubah sinyal listrik menjadi gerakan mekanis terpisah. Walaupun motor stepper memiliki rotasi yang sangat akurat, torsi yang dihasilkan tidak sebesar motor DC. Motor stepper dibagi menjadi tipe unipolar dan bipolar berdasarkan

cara perancangan rangkaian pengendaliannya. Rangkaian motor stepper unipolar gampang dirakit, karena hanya membutuhkan sinyal on-off melalui saklar atau transistor pada setiap gulungannya. Motor stepper dengan belitan bipolar membutuhkan sinyal pulsa yang beralih dari positif ke negatif atau sebaliknya [12]. Pada motor stepper, pengaktifan dan penonaktifan dilakukan melalui pulsa digital yang berada pada tegangan positif dan nol (*ground*), di antara terminal motor stepper. Sementara itu, pada terminal yang lain ditentukan dengan memberikan tegangan positif secara terus-menerus di bagian tengah (*center tap*) dari belitan. Motor stepper dioperasikan oleh penggerak saat digunakan dalam industri.



Gambar 1. Lilitan untuk Motor Stepper Bipolar [13]



Gambar 2. Pola pulsa pengendali dan Motor Stepper Bipolar [13]

Motor stepper memiliki karakteristik utama berupa jumlah langkah dari motor dalam setiap putaran yang dihasilkan dari satu pulsa. Sebagai contoh $0,072^\circ/\text{step}$, yang menunjukkan bahwa motor akan berpindah sejauh $0,072^\circ$ saat menerima satu pulsa setiap kali. Satu putaran adalah 360° , jika lima ribu pulsa motor bisa berputar penuh dalam satu putaran. Spesifikasi yang dimaksud dengan konfigurasi pulsa per putaran (ppr), contohnya 5000 ppr. Jumlah pulsa yang diberikan dapat digunakan untuk mengganti motor stepper sehingga mengubah besaran sudut putaran yang diharapkan [14]. Motor

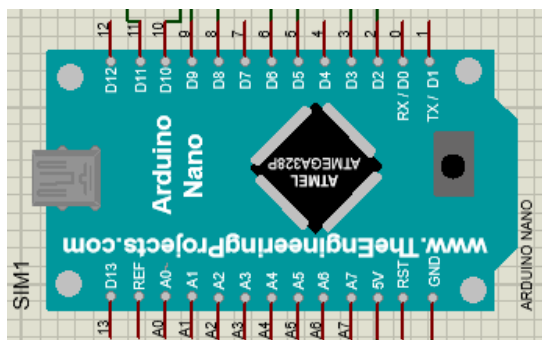
stepper, serupa dengan motor listrik lain, memiliki kemampuan untuk disesuaikan kecepatannya. Mengingat motor stepper berputar sejumlah derajat setiap kali menerima pulsa, maka interval antara pulsa yang pertama dan yang berikutnya menjadi lebih cepat saat motor stepper bergerak. Dengan kata lain, frekuensi pulsa yang dihasilkan dapat dimanfaatkan untuk mengatur kecepatan motor Stepper. Contohnya, motor stepper yang memiliki 5000 ppr harus menghasilkan 5000 pulsa per detik, atau 5 kHz, untuk berputar pada kecepatan 1 rps. Apabila ingin berputar dengan kecepatan 2 rps. Dalam situasi ini, frekuensi yang diperlukan adalah 10 kHz. Sirkuit pengendali digunakan untuk mengatur motor stepper dan memenuhi kebutuhan arus serta tegangan [15].

Peralatan Penelitian

Penelitian ini memerlukan peralatan sebagai berikut

Arduino Nano

Papan tunggal dan mikrokontroler open-source Arduino Nano diluncurkan pada tahun 2008. Arduino adalah papan kecil yang didasarkan pada teknologi Microchip ATmega328P dan memiliki fitur serta konektivitas yang serupa dengan Arduino Uno.



Gambar 3. Arduino Nano

Arduino Nano memiliki 30 header I/O jantan tipe DIP-30. Arduino bisa diprogram menggunakan Integrated Development Environment (IDE) Arduino, yang tersedia di semua papan Arduino dan dapat digunakan secara online maupun offline. Papan dapat disambungkan menggunakan kabel miniUSB tipe B, dengan sumber daya eksternal pada voltase yang belum diintegrasikan antara 6 hingga 20 V dan terhubung lewat pin 30 atau pin VIN, atau sumber daya eksternal dengan voltase tetap 5 V pada Pin 27 atau Pin 5V. Apabila ada daya pada USB Arduino

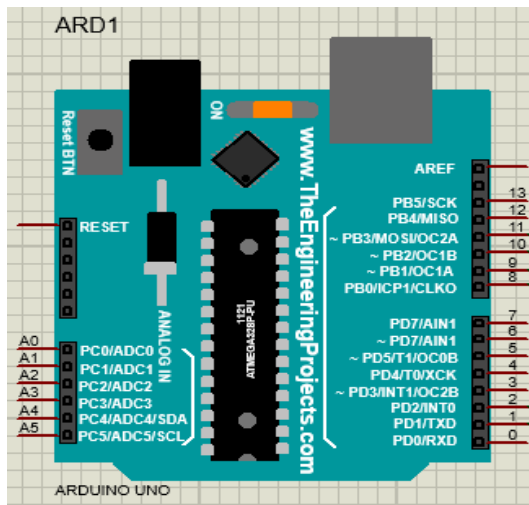
Nano, maka chip FTDI FT232L akan menyala. Apabila daya tidak diberikan melalui USB, chip FTDI tidak akan aktif dan pin 3.3 V tidak akan tersedia. Akan tetapi, bila pin digital 0 dan 1 berada di posisi HIGH, LED TX dan RX berkedip [16].

Arduino Uno R3

Arduino UNO R3 merupakan varian dari jenis Arduino UNO, yang pertama kali diluncurkan pada tahun 2011, R3 menandakan versi ketiga. Arduino Uno sebagai papan mikrokontroler yang menggunakan ATmega328P dan sangat terkenal dalam bidang elektronika serta pemrograman, khususnya untuk pemula dan para pembuat (maker). Arduino Uno sering dimanfaatkan dalam pendidikan, pengembangan prototipe IoT, sistem kontrol otomatis, serta bidang robotika. Mikrokontroler yang digunakan adalah Atmega328, yang merupakan produk dari Atmel dengan arsitektur 8 bit. Mikrokontroler dipakai ketika sirkuit pengendali mengatur cara operasi dalam rangkaian elektronik. Arduino UNO memiliki 6 input di pin analog, empat input di pin digital, resonator keramik 16 MHz, colokan listrik, header ICSP, dan tombol reset. Arduino UNO digunakan untuk mendukung mikrokontroler dan bisa berfungsi sebagai adaptor atau sumber daya baterai.

Tabel 1. Spesifikasi Arduino Uno

No.	Komponen	Spesifikasi
1.	Mikrokontroler	Atmega238P
2.	Tegangan Operasional	5 Volt
3.	Tegangan Input (disarankan)	7 – 12 Volt
4.	Digital I/O Pins	14 (6 dapat digunakan sebagai PWM)
5.	Analog Input Pins	6
6.	Kecepatan Clock	16 MHz
7.	Memori Flash	32 KB (0.5 KB digunakan oleh bootloader)
8.	SRAM	2 KB
9.	EEPROM	1 KB
10.	Komunikasi	UART, SPI, I2C



Gambar 4. Arduino Uno R3

Arduino UNO seukuran kartu ATM, dilengkapi mikrokontroler dan banyak input/output (I/O), sehingga memudahkan pengguna dalam menciptakan berbagai proyek elektronik [8], serta dibuat khusus untuk mengembangkan proyek tertentu seperti pintu gerbang otomatis [17].

Motor Driver ULN2003A

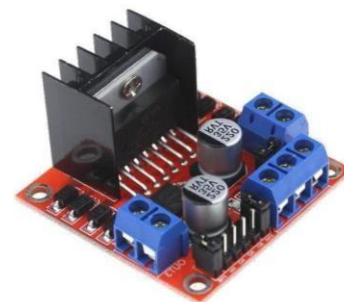
Motor stepper ULN2003 pada papan Breakout Driver ini dibuat untuk beroperasi bersama papan Arduino dan mampu menggerakkan motor stepper kecil seperti 28BYJ-48. Papan ini dikendalikan oleh empat pin dan bisa terhubung langsung ke 3, 4, 5, atau 6 pin pada Arduino UNO. Papan ini juga dilengkapi dengan empat LED indikator langkah untuk menunjukkan kumparan mana yang mendapatkan daya dan jumper. Papan breakout ini umumnya menarik arus yang lebih tinggi dibandingkan papan Arduino biasa, jadi saat menggunakan papan ini bersamaan dengan Arduino, pastikan untuk memakai catu daya terpisah sebesar 1A. Ini akan menjamin bahwa papan breakout ini tidak akan merusak Arduino atau komponen lain, dan motor stepper akan dapat menarik daya lebih banyak untuk berfungsi dengan baik.



Gambar 5. Motor driver ULN2003A

Motor Driver L298N

Pengendali motor L298N menggunakan IC L298 dengan dual H-bridge dan mampu mengatur arah serta kecepatan motor DC. Karena motor DC umumnya membutuhkan arus lebih dari 250 mA, sejumlah IC seperti keluarga ATmega tidak mampu menyediakan arus lebih dari nilai tersebut. Oleh karena itu, kumpulan penggerak motor ini sangat dibutuhkan [18]. Modul pengemudi motor L298N terdiri dari IC pengemudi motor L298 dan regulator 78M05 5V. Ini dapat mengendalikan maksimal empat motor DC atau dua motor DC dengan kontrol arah dan kecepatan. Menggunakan chip L298 dual H- Bridge, modul ini mampu menggerakkan dua motor DC atau satu motor stepper bipolar dua fase. Agar menjaga kinerja dan daya tahan driver, modul ini sudah disertai dengan heatsink. Terdapat pula header untuk menghubungkan ke kontroler dan berbagai port untuk menyambungkan ke motor.



Gambar 6. Motor driver L298N

Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi objek dengan menghitung jarak. Sensor ini dapat mengubah parameter fisik seperti suara menjadi parameter listrik dan sebaliknya. Gelombang ultrasonik memiliki

frekuensi 20.000 Hz, yang tidak bisa didengar oleh manusia. Metode kerja sensor ini adalah transmitter mengirimkan gelombang ultrasonik dan selanjutnya menghitung berapa lama waktu yang diperlukan hingga refleksi objek muncul. Lamanya waktu ini sebanding dengan penggunaan sensor ultrasonik untuk mengukur jarak di sebuah ruangan menggunakan Arduino, di mana jarak sensor dua kali lipat dari objek. Sensor ini dapat digunakan untuk mengukur jarak antara modul dan objek lainnya, ideal untuk robot otomatis yang mengikuti dinding, sensor jarak pada kendaraan, dan lain-lain. Jarak antara sensor dan objek dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$s = v \times t \quad (1)$$

Keterangan:

s = jarak (meter)

v = kecepatan suara (344 m/detik)

t = waktu tempuh (detik)

Spesifikasi dari sensor ultrasonik HCSR04 sebagai berikut

Dimensi	: 24mm (P) x 20mm (L) x 17mm
Arus	: 30 mA (rata-rata), 50 mA (max)
Jangkauan	: 3cm – 3m
Sensitifitas	: Mampu mendeteksi objek dengan diameter 3cm pada jarak > 1m



Gambar 7. Sensor Ultrasonik

Motor Stepper Unipolar (28BYJ-48)

Motor stepper unipolar terdiri dari dua lilitan per fase, dengan masing-masing memiliki tap tengah yang terhubung ke sumber daya bersama. Arus dapat mengalir ke semua arah melalui tiap setengah belitan, menghasilkan empat kemungkinan kondisi untuk setiap fase. Motor stepper unipolar dapat dioperasikan oleh sirkuit transistor sederhana yang menyalakan dan mematikan arus pada setiap setengah lilitan. Pada alat ini digunakan motor stepper 28BYJ48, yang merupakan jenis motor stepper

unipolar. Motor ini memiliki langkah 4096 karena memiliki rasio gear 64 dan putaran per langkah 5625. Rumus tersebut dapat digunakan untuk menghitung jumlah langkah dalam satu rotasinya

$$\text{Steps} = \text{Jumlah step per satu Putaran} \quad (2)$$

$$\text{Rasio Gear steps} = (360^\circ / 5625^\circ) \times 64 \quad (3)$$

$$\text{Steps} = 64 \times 64 \text{ steps} = 4096 \quad (4)$$



Gambar 8. Motor Stepper Unipolar

Motor Stepper Bipolar

Motor stepper bipolar tidak memiliki pusat tap. Selama proses rotasinya, polaritas setiap lilitan mengalami perubahan. Lilitan tertentu memiliki kutub positif (+) dan lilitan lainnya memiliki kutub negatif (-). Karena adanya perubahan polaritas, motor stepper bipolar seperti ini memerlukan driver yang sedikit lebih rumit. Kelebihan motor stepper bipolar dibandingkan motor stepper unipolar adalah torsi yang lebih tinggi untuk dimensi yang setara [19]. Motor stepper bipolar umumnya memiliki empat kabel output. Kabel hijau dan merah dipakai untuk satu lilitan, sedangkan kabel biru, kuning, dan putih digunakan untuk lilitan yang lain.



Gambar 9. Motor Stepper Bipolar

Setiap jenis motor stepper memiliki kelebihan dan kekurangan. Berikut perbedaan motor stepper jenis unipolar dan bipolar

Tabel 2. Spesifikasi Motor Stepper Jenis Unipolar dan Bipolar

Spesifikasi	Unipolar	Bipolar
Harga	Murah	Mahal
Torsi	Lemah	Kuat
Konsumsi Arus Listrik	Kecil	Besar
Jumlah Kabel	5 atau 6	4
Driver	Sederhana	Komplek
Presisi	Rendah	Tinggi

Software Arduino IDE

IDE (*Integrated Development Environment*) singkatan dari lingkungan yang terintegrasi untuk pengembangan. Perangkat lunak ini disebut "lingkungan" karena memungkinkan Arduino menjalankan tugas yang tertanam melalui sintaks pemrograman. Arduino memiliki bahasa pemrograman yang khas dan mirip dengan bahasa C. Bahasa pemrograman Arduino (*sketsa*) telah disesuaikan agar lebih mudah diakses oleh pemula yang ingin belajar dari nol. Sebelum diluncurkan, mikrokontroler Arduino telah diprogram dengan sebuah perangkat lunak yang disebut bootloader. Ini berperan sebagai jembatan antara mikrokontroler dan pengompil Arduino. Arduino IDE berasal dari bahasa pemrograman Java dan dilengkapi dengan pustaka C/C++ Wiring, yang memudahkan proses input dan output. Sebelumnya, perangkat lunak pengolahan telah dimodifikasi menjadi Arduino IDE yang khusus untuk pemrograman menggunakan Arduino [20].



Gambar 10. Software Arduino

Software Proteus

Proteus sebagai perangkat lunak yang dirancang untuk membuat papan sirkuit cetak (PCB) yang juga dilengkapi dengan simulasi pspice pada tahap skematik sebelum desain skematik ditransfer ke PCB. Ini membuat kita bisa menentukan apakah PCB yang

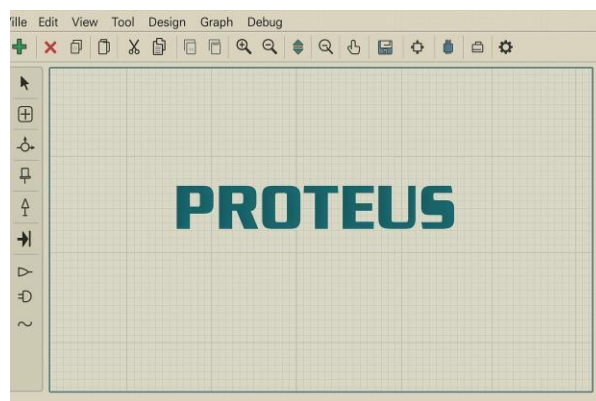
akan dicetak benar atau tidak. Proteus memanfaatkan data set ISIS (sistem informasi terintegrasi) untuk merancang skematik rangkaian, dan program ARES (sistem embedded reconfigurable aerial) digunakan untuk menghasilkan layout PCB dari skematik yang telah dirancang. Software Proteus sangat unggul

dalam perancangan sirkuit mikrokontroler dan pengajaran elektronik dari dasar hingga aplikasi

mikrokontroler. Setelah diinstal, perangkat lunak

tersebut menyajikan berbagai contoh aplikasi desain yang dapat membantu dalam belajar dari contoh yang

telah ada [21].



Gambar 11. Software Proteus

3. Metode Penelitian

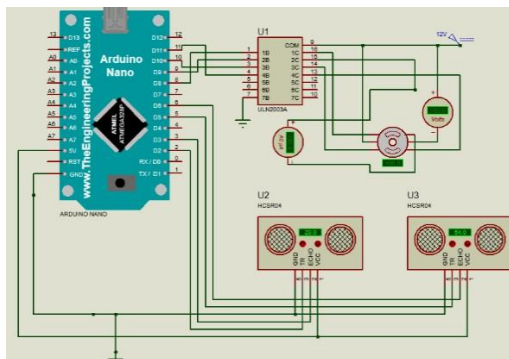
Langkah Pengujian Motor Stepper

Metode penelitian melibatkan pemanfaatan motor stepper unipolar dan motor stepper bipolar. Komponen yang diterapkan untuk setiap motor stepper bipolar dan unipolar tidak sama [22]. Berikut komponen yang dipergunakan dalam penelitian ini:

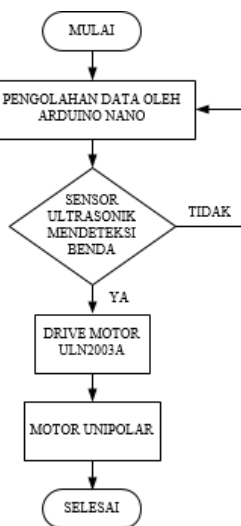
1. Arduino Nano dan Uno
2. Drive Motor ULN 2003A
3. Sensor Ultrasonik HCSR04
4. Motor Stepper
5. Drive Motor L298N
6. Sensor Ultrasonik HCRS04

Gambar 12 menunjukkan rangkaian motor stepper unipolar yang disusun menggunakan software Proteus. Diperlukan komponen Arduino Nano, driver motor ULN2003A, motor stepper unipolar, dan dua sensor ultrasonik. Selain itu, tersedia voltmeter dan amperemeter untuk mengukur tegangan dan arus pada motor stepper unipolar. Berikut desain dari

rangkaian motor stepper unipolar yang digunakan dalam penelitian



Gambar 12. Rangkaian Motor Stepper Unipolar

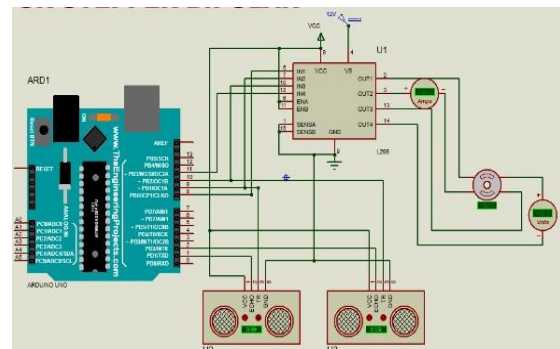


Gambar 13. Flowchart proses pembuatan Rangkaian Motor Unipolar

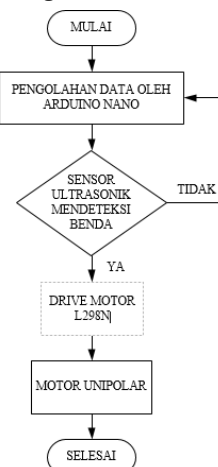
Ketika Arduino Nano aktif program yang telah dimasukkan diproses didalam arduino tersebut. Kemudian sensor ultrasonik mendeteksi benda didepannya maka input datanya diproses kemudian mengirim perintah ke drive motor ULN2003A. Saat drive motor ULN2003A menerima data perintah kemudian diproses untuk dilanjutkan ke motor unipolar. Pada saat motor unipolar menggerakkan gerbang untuk membuka dalam sekat waktu 1 detik setelah terbuka penuh maka otomatis tertutup kembali dan disaat sebelum gerbang tertutup total tetapi sensor *ultrasonik* sudah mendeteksi ada benda mendekat maka gerbang akan otomatis terbuka.

Rangkaian motor stepper bipolar menggunakan software proteus yang ditunjukkan pada gambar 13. Membutuhkan Arduino Uno, driver motor L298N,

motor stepper bipolar, serta dua sensor ultrasonik. Pada motor stepper bipolar terdapat voltmeter dan amperemeter yang berfungsi untuk mengukur tegangan dan arus. Berikut desain dari rangkaian motor stepper bipolar yang digunakan dalam penelitian



Gambar 14. Rangkaian Motor Stepper Bipolar

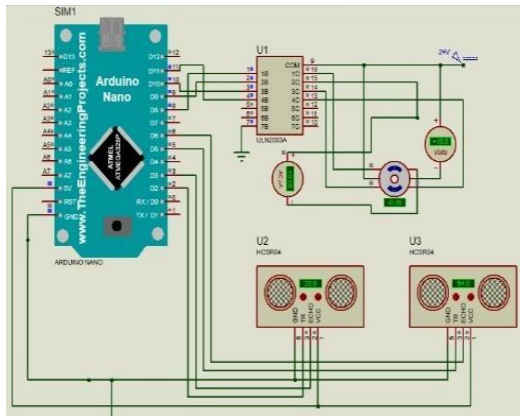


Gambar 15. Flowchart proses pembuatan Rangkaian Motor Stepper Bipolar

Ketika Aduino UNO aktif program yang telah dimasukkan diproses didalam adruino tersebut. Kemudian sensor *ultrasonik* mendeteksi benda didepannya maka input data diproses kemudian mengirim perintah ke drive motor 1298N. Saat drive motor 1298N menerima data perintah kemudian diproses untuk dilanjutkan ke motor bipolar. Pada saat motor bipolar menggerakkan gerbang untuk membuka dalam sekat waktu 1 detik setelah terbuka penuh maka otomatis tertutup kembali, dan disaat sebelum gerbang tertutup total tetapi sensor ultrasonik sudah mendeteksi ada benda mendekat maka gerbang akan otomatis terbuka.

4. Hasil

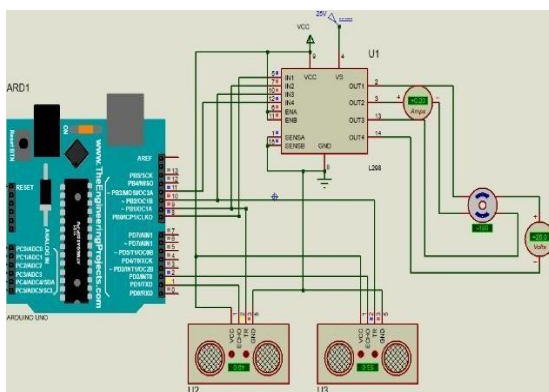
Pengujian sistem dilakukan dengan memberi voltmeter DC dan ampmeter DC pada masing-masing simulasi. Pengujian simulasi motor stepper unipolar dapat dilihat pada gambar 16. Pengujian dilakukan dengan menggunakan voltmeter dan amperemeter di sisi keluaran motor [23].



Gambar 16. Pengujian Motor Stepper Unipolar

Desain pada motor stepper dapat dikendalikan dengan sangat akurat tanpa menggunakan mekanisme umpan balik. Serangkaian magnet terhubung ke poros stepper dan kumparan elektromagnetik untuk mengontrolnya, dimana bermuatan positif dan negatif diatur dalam urutan tertentu, memungkinkan untuk bergerak maju atau mundur. Stepper unipolar dikendalikan dengan pin digital 8, 9, 10, dan 11. Menggunakan Arduino Nano karena cocok dengan pin driver motor yang terhubung ke ULN2003.

Pada pengujian motor stepper bipolar dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17. Pengujian Motor Stepper Bipolar

Salah satu tipe motor listrik yang mampu mengatur posisi sudutnya secara bertahap yaitu motor stepper bipolar [24]. Motor stepper berfungsi dengan magnet permanen pada rotor yang tidak dapat bergerak secara mandiri. Motor akan melangkah perlahan-lahan sesuai dengan spesifikasinya, dan memerlukan waktu untuk berpindah dari satu langkah ke langkah berikutnya [25]. Motor stepper bipolar akan menghasilkan torsi tinggi saat beroperasi pada kecepatan rendah. Agar dapat berputar, motor stepper memerlukan beberapa lilitan yang disusun dalam urutan tertentu. Sebagai akibatnya, motor stepper bipolar tidak mengindahkan sinyal jam. Motor stepper bipolar akan berputar mundur jika urutan pengaplikasian tegangan dibalik. Jika sinyal kontrol tidak dikirim dengan tepat, motor stepper tidak akan berputar atau bergerak [26].

Pengujian Motor Stepper

Tabel 3. Hasil Uji Tegangan dan Arus Output Motor Stepper

Tegangan Input (volt)	Stepper			
	Unipolar		Bipolar	
	V_{output}	I_{output}	V_{output}	I_{output}
25	16,7	8×10^{-6}	25	25
35	23,3	$1,2 \times 10^{-5}$	35	29
45	30	$1,5 \times 10^{-5}$	45	37
55	36,7	$1,8 \times 10^{-5}$	55	45
65	43,3	$2,2 \times 10^{-5}$	65	53
70	46,7	$2,3 \times 10^{-5}$	70	57
80	53,3	$2,7 \times 10^{-5}$	80	66
90	60	$3,0 \times 10^{-5}$	90	74
100	66,7	$3,3 \times 10^{-5}$	100	82
110	73,3	$3,7 \times 10^{-5}$	110	90

Hasil uji coba ditunjukkan dalam tabel 3 dengan melakukan 10 kali percobaan di rentang nilai input dari 24V hingga 110V. Nilai V_{output} dan I_{output} dapat diperoleh dengan menambahkan voltmeter

serta ampere meter pada sirkuit motor stepper unipolar dan motor stepper bipolar.

Hasil Efisiensi Pengujian Motor Stepper

Berikut hasil perhitungan terhadap efesiensi motor. Dilakukan pengujian dari tabel 3, hasil pengujian dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \quad (5)$$

Hasil P_{input} dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$P_{input} = V_{input} \times I_{output} \quad (6)$$

Hasil P_{input} dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$P_{output} = V_{output} \times I_{output} \quad (7)$$

Tabel 4. Hasil Pengujian Efisiensi Pengujian Motor Stepper

Tegangan Input (Volt)	Motor Stepper				Efisiensi Motor	
	Unipolar P_{input} (Watt)	Bipolar P_{input} (Watt)	Unipolar P_{output} (Watt)	Bipolar P_{output} (Watt)	Unipolar (%)	Bipolar (%)
25	15	625	13,36	625	0,89	
35	42	1015	27,96	1015	0,66	
45	45	1665	67,50	1665	1,5	
55	99	2475	55,05	2475	0,55	
65	143	3445	95,26	3445	0,66	
70	161	3990	107,41	3990	0,66	
80	216	5280	143,91	5280	0,66	
90	270	6660	180	6660	0,66	
100	330	8200	220,11	8200	0,66	
110	407	9900	271,21	9900	0,66	

Dari tabel 4 menampilkan nilai Pinput dan Poutput dari motor stepper unipolar dan motor stepper bipolar. Hasil efesiensi motor diperoleh dari perhitungan P_{input} dan P_{output} . Dari baris ke-enam pada tabel 4 hasil perhitungan seperti berikut

Cara menghitung motor stepper unipolar

$$P_{input} = V_{input} \times I_{output} \quad (8)$$

$$P_{input} = 70 \times (2,3 \times 10^{-5}) \quad (9)$$

$$P_{input} = 161 \text{ Watt} \quad (10)$$

$$P_{output} = V_{output} \times I_{output} \quad (11)$$

$$P_{output} = 46,7 \times (2,3 \times 10^{-5}) \quad (12)$$

$$P_{output} = 107.41 \text{ Watt} \quad (13)$$

P_{output}

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \quad (14)$$

$$\eta = \frac{100,41}{161} \times 100\% \quad (15)$$

$$\eta = 0,66 \% \quad (16)$$

Cara menghitung motor stepper bipolar

$$P_{input} = V_{input} \times I_{output} \quad (17)$$

$$P_{input} = 70 \times 57 \quad (18)$$

$$P_{input} = 3990 \text{ Watt} \quad (19)$$

$$P_{output} = V_{output} \times I_{output} \quad (20)$$

$$P_{output} = 3990 \text{ Watt} \quad (21)$$

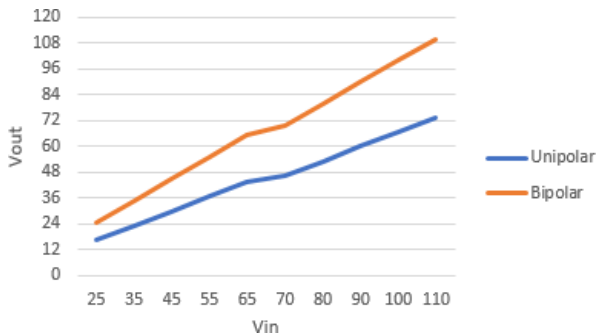
$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \quad (23)$$

$$\eta = \frac{3990}{3990} \times 100\% \quad (24)$$

$$\eta = 1 \% \quad (25)$$

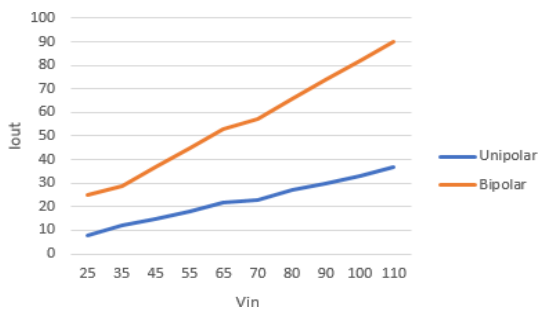
Motor stepper ada dua yaitu motor stepper unipolar memiliki dua belitan per fasa masing-masing dengan tap tengah yang dihubungkan ke satu daya umum. Tegangan dapat mengalir ke segala arah melalui setiap setengah belitan motor stepper bipolar mempunyai satu belitan per fasa, tanpa tap tengah. Tegangan dibalik di seluruh belitan untuk mengubah polaritas medan magnet. Mendapatkan hasil diagram dari simulasi proteus yang sudah dijalankan dengan menggunakan tegangan input yang ada di tabel 3 Arduino Nano yang dihubungkan di driver motor ULN2003A. Sensor ultrasonik agar bisa menampilkan nilai tegangannya sedangkan di motor stepper bipolar menggunakan Arduino Uno yang dihubungkan di driver motor L298N dan sensor

ultrasonik agar bisa menampilkan nilai tegangan. Menjelaskan tentang bagaimana tegangan di motor stepper unipolar menunjukkan gambar 17.



Gambar 18. Diagram Pengujian Tegangan Motor Stepper

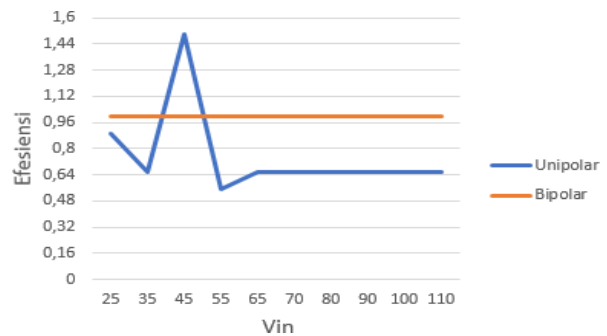
Diagram pengujian motor stepper unipolar dan motor stepper bipolar terbagi menjadi dua, yaitu diagram arus dan diagram tegangan. Berikut diagram pengujian pada motor stepper



Gambar 19. Diagram Pengujian Arus Motor Stepper

Jika stepper motor sering melenceng menyebabkan hasil cetak tidak tepat, sehingga perlu menyesuaikan arus stepper motor. Apabila arus pada stepper motor terlalu rendah, maka stepper motor akan mengalami kekurangan daya, yang mengakibatkan tenaganya lemah dan tidak mampu menjaga posisi. Sebaliknya, jika arus yang masuk terlalu tinggi, stepper motor akan menjadi panas dan tenaganya akan berkurang karena daya magnet akan netral saat terkena panas. Selain itu, motor stepper akan lebih cepat mengalami kerusakan. Lakukan dengan memegang stepper motor saat sudah beroperasi selama sekitar 10 menit. Jika motornya dalam keadaan dingin, maka arusnya rendah; jika motornya panas, arusnya terlalu tinggi. Yang tepat, motor agak hangat. Kita merasa nyaman saat memegang motor tersebut. Stepper motor yang lebih kuat belum tentu memerlukan arus yang lebih

tinggi. Ada stepper motor yang memiliki arus lebih kecil namun membutuhkan tegangan yang lebih tinggi. Sebaliknya, terdapat motor stepper yang menggunakan arus besar tetapi memerlukan tegangan yang lebih rendah



Gambar 20. Hasil Pengujian Efisiensi Motor Stepper

Motor stepper bipolar memiliki driver *on board* yang menggunakan rangkaian untuk membalikkan aliran arus melalui fase. Dengan memberi energi pada fasa sambil mengganti polaritasnya, semua kumparan dapat digunakan untuk memutar motor. Dalam istilah praktis, ini berarti bahwa belitan kumparan lebih baik digunakan pada motor bipolar daripada motor stepper unipolar standar (yang hanya menggunakan 50% kumparan kawat pada satu waktu), membuat motor stepper bipolar lebih bertenaga dan efisien untuk dijalankan. Meskipun motor stepper bipolar secara teknis lebih rumit untuk dikendarai, motor ini cenderung dilengkapi dengan chip driver internal yang menangani sebagian besar instruksi dan perilaku yang diperlukan. Keuntungannya adalah harga awalnya biasanya lebih mahal daripada versi unipolar standar, karena motor stepper unipolar tidak memerlukan pembalikan aliran arus untuk menjalankan fungsi loncatan - hal ini membuat elektronik internalnya lebih sederhana dan lebih murah untuk diproduksi.

5. Kesimpulan

Kesimpulan dibuat dalam bentuk paragraf tunggal disertai saran pengembangan. Tidak diperkenankan membuat kesimpulan dalam bentuk list atau membagi saran menjadi sub-bagian tersendiri.

- Hasil penelitian telah berhasil membandingkan sebuah motor stepper unipolar dan bipolar dengan dibantu sensor

ultrasonik dan berbasis mikrokontroler. Bentuk penelitian ini adalah membuat perbandingan yang dibantu oleh software Arduino IDE dan proteus yang dapat menghasilkan nilai arus dan tegangan pada motor stepper unipolar dan bipolar. Program juga berjalan sesuai dengan yang diinginkan yaitu menggunakan tegangan input mulai dari 24 – 110 VDC, untuk mencari nilai arus dan tegangan di motor stepper unipolar dan bipolar

- Motor stepper merupakan alat elektromekanis yang mengubah pulsa elektronik menjadi gerakan mekanis diskrit. Motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepadanya daripada berputar secara kontinyu seperti motor AC induksi.
- Motor stepper dapat diatur dengan sangat akurat tanpa mekanisme umpan balik. Serangkaian magnet terhubung ke poros stepper dan kumparan elektromagnetik mengontrolnya. dimana bermuatan positif dan negatif diatur dalam urutan tertentu, memungkinkan untuk bergerak maju atau mundur. Karena pin digital 8, 9, 10, dan 11 cocok dengan pin driver motor yang terhubung ke ULN2003, stepper unipolar dapat dikendalikan dengan Arduino Nano.
- Untuk mengembangkan penelitian ini, para pengembang harus menambahkan motor dan komponen lain yang telah digunakan dalam perancangan alat ini.

Daftar Pustaka

- [1]. P. Prasetyawan, Y. Ferdianto, S. Ahdan, dan F. Trisnawati, "Pengendali Lengan Robot Dengan Mikrokontroler Arduino Berbasis Smartphone," *J. Tek. Elektro ITP*, 2018, doi: 10.21063/jte.2018.3133715.
- [2]. A. Nurkholis, A. Riyantomono, dan M. Tafrikan, "Sistem pakar penyakit lambung menggunakan metode forward chaining," *Majalah Ilmiah Momentum*, vol. 13, no. 1, 2017.
- [3]. A. F. Silvia, E. Haritman, dan Y. Mulyadi, "Rancang bangun akses kontrol pintu gerbang berbasis arduino dan android," *Electrans*, vol. 13, no. 1, pp. 1–10, 2014.
- [4]. E. Atmojo, B. Tri, Sulistiyanti, S. Ratna, dan Nasrullah, "Model Sistem Kendali Pintu Otomatis Menggunakan Barcode Berbasis PC (Personal Computer) pada Gerbang Laboratorium Teknik Elektro Unila," *Electrician*, 2014.
- [5]. E. Atmojo, B. Tri, Sulistiyanti, S. Ratna, dan Nasrullah, "Model Sistem Kendali Pintu Otomatis Menggunakan Barcode Berbasis PC (Personal Computer) pada Gerbang Laboratorium Teknik Elektro Unila," *Electrician*, 2014.
- [6]. M. S. Iqbal, S. Ch, dan A. S. Rachman, "Rancang Bangun Alat Uji Motor Stepper Berbasis Mikrokontroler," 2017.
- [7]. Author1 A, Author2 B. The Title of the Book. Edition. City: Publishert. year: pages. --- contoh refefensi dari buku
- [8]. Oktavian, "Bab II Landasan Teori," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2018.
- [9]. B. Suhendro, L. M. Antoro, dan S. Suroso, "Sistem Kendali Penggerak Motor Stepper Pada Orbital Welding Menggunakan Perangkat Lunak LabVIEW," *Pros. SNFA (Seminar Nas. Fis. dan Apl.)*, vol. 5, pp. 47–56, 2020, doi: 10.20961/prosidingsnfa.v5i0.46593.
- [10]. D. D. Fatimah dan S. Akbar, "Perancangan Pengendali Lampu Rumah Otomatis Berbasis Arduino Nano," *J. STT-Garut*, no. 1, p. 477, 2017.
- [11]. T. Sutikno, Diktat IV Kuliah Kendali Motor: Motor Stepper, Motor Sinkron Dan Pengendaliannya, 2019.
- [12]. H. Supriyono, A. Kurniawan, dan A. Rakhmadi, "Perancangan dan pembuatan sistem pintu otomatis menggunakan barcode," *KomuniTi*, 2013.
- [13]. H. Supriyono, A. Kurniawan, dan A. Rakhmadi, "Perancangan dan pembuatan sistem pintu otomatis menggunakan barcode," *KomuniTi*, 2013.
- [14]. Astrosyn, "Stepper motor basics and theory," *Astrosyn Technical Publication*, Issue No. 1, pp. 1–12, 2018.
- [15]. S. Samsugi dan A. Burlian, "Sistem penjadwalan pompa air otomatis pada aquaponik menggunakan mikrokontrol Arduino UNO R3," *Prosiding Semnastek*, vol. 1, no. 1, 2019.
- [16]. A. F. Silvia, E. Haritman, dan Y. Mulyadi, "Rancang bangun akses kontrol pintu gerbang berbasis arduino dan android," *Electrans*, vol. 13, no. 1, pp. 1–10, 2014.

- [17]. A. Zainuri, U. Wibawa, dan E. Maulana, "Implementasi Bluetooth HC-05 untuk Memperbarui Informasi Pada Perangkat Running Text Berbasis Android," *J. EECCIS*, vol. 9, no. 2, pp. 163–167, 2016.
- [18]. H. Supriyono, A. Kurniawan, dan A. Rakhmadi, "Perancangan dan pembuatan sistem pintu otomatis menggunakan barcode," *KomuniTi*, 2013.
- [19]. S. Samsugi, "Internet of Things (IoT): Sistem Kendali jarak jauh berbasis Arduino dan Modul wifi ESP8266," *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XII*, 2017.
- [20]. S. Samsugi dan A. Burlian, "Sistem penjadwalan pompa air otomatis pada aquaponik menggunakan mikrokontrol Arduino UNO R3," *Prosiding Semnastek*, vol. 1, no. 1, 2019.
- [21]. A. F. Silvia, E. Haritman, dan Y. Mulyadi, "Rancang bangun akses kontrol pintu gerbang berbasis arduino dan android," *Electrans*, vol. 13, no. 1, pp. 1–10, 2014.
- [22]. A. Zainuri, U. Wibawa, dan E. Maulana, "Implementasi Bluetooth HC-05 untuk Memperbarui Informasi Pada Perangkat Running Text Berbasis Android," *J. EECCIS*, vol. 9, no. 2, pp. 163–167, 2016.
- [23]. M. R. Asad, O. D. Nurhayati, dan E. D. Widiyanto, "Sistem Pengamanan Pintu Rumah Otomatis via SMS Berbasis Mikrokontroller ATmega328P," *J. Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2015.
- [24]. I. A. Kadir, *Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Pemrograman Menggunakan Arduino*, Yogyakarta: Andi Offset, 2012.
- [25]. N. Minsar, Edidas, dan Almasari, "Perancangan Alat Identifikasi Pakaian Didalam Lemari Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Vokasional Teknik Elektronika dan Informatika*, vol. 7, pp. 157–161, 2019.
- [26]. A. Rifai, U. S. Gunawan, dan I. M. Putra, "Rancang Bangun Pengatur Gerak Motor Stepper untuk Peralatan Brakiterapi," *Jurnal Perangkat Nuklir*, vol. 5, no. 2, 2011.