

Pengaturan Gerakan Translasi Menggunakan Motor Stepper

Suryati¹, Miriana², Anita Fauziah³, Widdha Mellyssa⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹ suryati@pnl.ac.id

² miriana@pnl.ac.id

³ anita@pnl.ac.id

⁴widdha.mellyssa@pnl.ac.id

Abstrak— Gerak pada benda tegar terdiri dari gerak rotasi, gerak translasi dan gerakan campuran rotasi/translasi. Sedangkan sebagai penghasil gerak berupa sebuah motor stepper. Motor stepper ini hanya menghasilkan gerak rotasi, sedangkan untuk membuat sebuah sistem permesinan bukan hanya diperlukan gerak rotasi saja, tetapi juga menggunakan gerak translasi. Untuk menghasilkan sebuah gerak translasi dapat menggunakan *slider crank, cam-follower, rack pinion, power screw, summing linkage dan belt/chain drive*. Pada penelitian ini, menggunakan *lead screw* untuk merubah ke gerak translasi pada sebuah motor stepper, modul driver TB6600 dan arduino uno R3 sebagai kontrol pengujianya. Setelah melakukan pembuatan sistem dan melakukan percobaan untuk merubah gerak ke translasi, diperoleh kesalahan sebesar 1,5 %. Dengan hasil kesalahan yang kecil dari 2%, maka dapat disimpulkan sistem ini dapat digunakan.

Kata kunci— gerak rotasi, gerak translasi, *lead screw*, motor stepper.

Abstract— Motion of rigid bodies consists of rotational motion, translational motion and rotational / translational motion. As for producing motion in the form of a stepper motor. This stepper motor only produces rotational motion, whereas to make a machining system not only requires rotational motion, but also uses translational motion. To produce a translational motion you can use slider crank, cam-follower, rack pinion, power screw, summing linkage and belt / chain drive. In this research, using a lead screw to change to translational motion on a stepper motor, TB6600 driver module and Arduino Uno R3 as a control test. After making the system and conducting an experiment to change the motion to translation, an error of 1.5% was obtained. With an error of less than 2%, it can be concluded that this system can be used.

Keywords - rotational motion, translational motion, lead screw, stepper motor.

I. PENDAHULUAN

Gerak pada benda tegar terdiri dari gerakan rotasi, gerakan translasi dan gerakan campuran rotasi/translasi. Salah satu penghasil gerakan pada teknik elektro dapat menggunakan motor (dc atau ac). Motor hanya menghasilkan gerakan rotasi, sedangkan pada sebuah sistem tidak hanya memerlukan gerak rotasi saja, tetapi juga memerlukan gerakan translasi dan gerakan campuran translasi dan rotasi. Untuk menghasilkan gerak translasi diperlukan sebuah sistem sebagai perubah gerakan tersebut.

Merubah gerakan rotasi ke translasi dapat dilakukan dengan *slider crank, cam-follower, rack pinion, power screw, summing linkage dan belt/chain drive*. Gerakan translasi banyak digunakan pada sistem permesinan, seperti pada sistem robotik dan pada mesin mesin lainnya. Gerakan translasi ini perlu diperhitungkan dan dapat dikontrol berapa jauh perubahannya. Dengan dapat dikontrol gerakan translasi maka sistem yang menggunakan gerakan translasi tersebut menghasilkan sesuai dengan keinginan pengontrol.

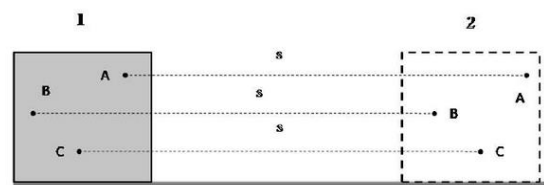
Perlu adanya sebuah kajian teknologi yang mampu untuk menjawab permasalahan akan kebutuhan tentang pengaturan dari gerakan translasi dari gerak rotasi, “Pengaturan Gerak Translasi Menggunakan Motor Steper”

Tinjauan Pustaka

Gerak Translasi [1]

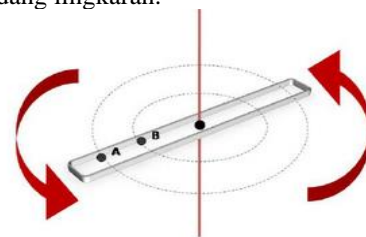
Gerak merupakan perpindahan posisi atau kedudukan suatu titik atau benda terhadap titik acuan tertentu. Berdasarkan bentuk lintasannya gerak dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu gerak translasi dan gerak rotasi. Gerak translasi dapat didefinisikan sebagai gerak pergeseran suatu benda dengan bentuk dan lintasan yang sama di setiap titiknya. Jadi sebuah benda dapat dikatakan melakukan gerak translasi (pergeseran)

apabila setiap titik pada benda itu menempuh lintasan yang bentuk dan panjangnya sama, seperti pada gambar 1. Gerak sebuah balok di atas suatu permukaan datar tanpa mengguling, dari kedudukan 1 ke kedudukan 2 pada jarak yang sama yaitu, s.



Gambar 1. Gerak Translasi Sebuah Balok Dengan Lintasan Lurus

Gerak rotasi dapat didefinisikan sebagai gerak suatu benda dengan bentuk dan lintasan membentuk sudut gerak (Rotational angle). Gerak rotasi pada sistem manipulator fleksibel dapat dilihat pada gambar 2. Benda disebut melakukan gerak rotasi jika setiap titik pada benda itu, kecuali titik-titik pada sumbu putar menempuh lintasan berbentuk lingkaran. Sumbu Putar adalah suatu garis lurus yang melalui pusat lingkaran dan tegak lurus pada bidang lingkaran.

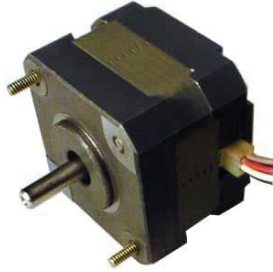


Gambar 2. Gerak Rotasi

Penyebab suatu benda mengalami gerak translasi karena adanya gaya yang bekerja pada benda tersebut. Sedangkan, penyebab suatu benda mengalami gerak rotasi karena adanya momen gaya (torsi) yang bekerja pada benda tersebut.

Sistem Motor Stepper[2] [3]

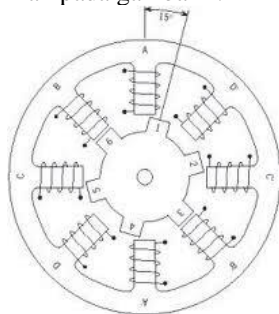
Motor Stepper adalah suatu motor listrik yang dapat mengubah pulsa listrik yang diberikan menjadi gerakan motor discret (terputus) yang disebut step (langkah). Satu putaran motor memerlukan 360° dengan jumlah langkah yang tertentu perderajatnya. Ukuran kerja dari motor stepper biasanya diberikan dalam jumlah langkah per-putaran per-detik, bentuk motor stepper seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Bentuk Motor Steper

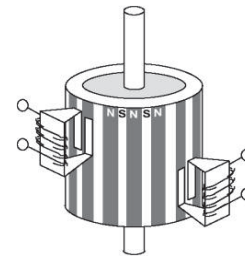
Motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, untuk menggerakkan motor stepper diperlukan pengendali motor stepper yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik. Pada dasarnya terdapat tiga (3) tipe motor stepper yaitu:

1) *Motor Stepper Tipe Variable Reluctance (VR)*. Motor stepper jenis ini telah lama ada dan merupakan jenis motor yang secara struktural paling mudah untuk dipahami. Motor ini terdiri atas sebuah rotor besi lunak dengan beberapa gerigi dan sebuah lilitan stator. Ketika lilitan stator diberi energi dengan arus DC, kutub-kutubnya menjadi termagnetasi. Perputaran terjadi ketika gigi rotor tertarik oleh kutub-kutub stator. Berikut ini adalah penampang melintang dari motor stepper tipe variable reluctance (VR), seperti ditunjukkan pada gambar 4.



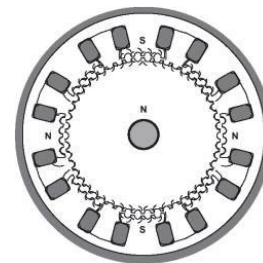
Gambar 4. Penampang Melintang Motor Stepper Pada Tipe Variable Reluctance (VR)

2) *Motor Stepper Tipe Permanent Magnet (PM)*. Motor stepper jenis ini memiliki rotor yang berbentuk seperti kaleng bundar (tin can) yang terdiri atas lapisan magnet permanen yang diselang-seling dengan kutub yang berlawanan. Dengan adanya magnet permanen, maka intensitas fluks magnet dalam motor ini akan meningkat sehingga dapat menghasilkan torsi yang lebih besar. Motor jenis ini biasanya memiliki resolusi langkah (step) yang rendah yaitu antara 7,5° hingga 15° per langkah atau 48 hingga 24 langkah setiap putarannya. Gambar 5, menunjukkan ilustrasi sederhana dari motor stepper tipe permanent magnet.



Gambar 5. Ilustrasi Motor Stepper Permanent Magnet (PM)

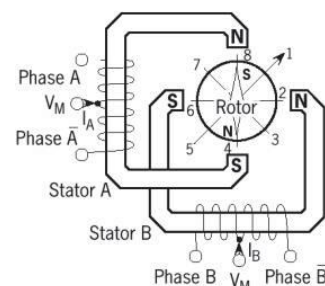
3) *Motor Stepper Tipe Hybrid (HB)*. Motor stepper tipe hibrid memiliki struktur yang merupakan kombinasi dari kedua tipe motor stepper sebelumnya. Motor stepper tipe hibrid memiliki gerigi seperti pada motor tipe VR dan juga memiliki magnet permanen yang tersusun secara aksial pada batang porosnya seperti motor tipe PM. Motor tipe ini paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena kinerja lebih baik. Motor tipe hibrid dapat menghasilkan resolusi langkah yang tinggi yaitu antara 3,6° hingga 0,9° per-langkah atau 100-400 langkah setiap putarannya, seperti terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Penampang Melintang Dari Motor Stepper Tipe Hybrid

Berdasarkan metode perancangan rangkain pengendali motor stepper, motor stepper dapat dibagi menjadi jenis yaitu unipolar dan bipolar:

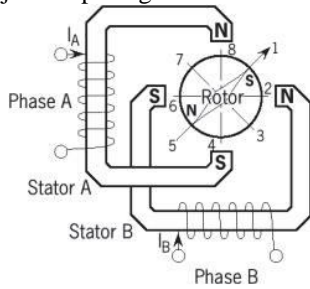
- *Motor Stepper Jenis Unipolar*. Rangkaian pengendali motor stepper unipolar lebih mudah dirancang karena hanya memerlukan satu switch/transistor pada setiap lilitannya. Untuk menjalankan dan menghentikan motor ini cukup dengan menerapkan pulsa digital yang hanya terdiri atas tegangan positif dan nol (ground) pada salah satu terminal lilitan (wound) motor, sementara terminal lainnya dicatu dengan tegangan positif konstan (VM) pada bagian tengah (center tap) dari lilitan, seperti ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Motor Stepper Dengan Lilitan Unipolar

- *Motor Stepper Jenis Bipolar*. Untuk motor stepper dengan lilitan bipolar, diperlukan sinyal pulsa yang berubah-ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya. Jadi pada setiap terminal lilitan (A & B) harus dihubungkan dengan sinyal yang mengayun dari positif ke negatif dan sebaliknya. Karena itu dibutuhkan rangkaian pengendali yang agak lebih kompleks dari pada

rangkaian pengendali untuk motor unipolar. Maka motor stepper bipolar memiliki keunggulan dibandingkan dengan motor stepper unipolar dalam hal torsi yang lebih besar untuk ukuran yang sama. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Motor Stepper Dengan Lilitan Bipolar

Motor stepper memiliki karakter yang lebih dibanding motor DC, seperti berikut:[2] [4][5][6]

- Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa input sehingga lebih mudah diatur.
- Motor dapat langsung memberikan torsi penuh pada saat mulai bergerak.
- Posisi dan pergerakan repetisinya dapat ditentukan secara presisi.
- Memiliki respon yang sangat baik terhadap start, stop dan berbalik perputaran.
- Sangat realibel karena tidak adanya brush yang bersentuhan dengan rotor seperti pada motor DC.
- Dapat menghasilkan perputaran yang lambat sehingga beban dapat dikopel langsung ke porosnya.
- Frekuensi perputaran dapat ditentukan secara bebas, mudah pada range yang luas.

Gerak Motor Stepper[7][8]

Ada beberapa mode pengaturan gerak motor stepper yaitu :

- ✓ **Full** : suatu mode motor stepper dimana pada setiap langkahnya (per-langkahnya) merupakan pergeseran maksimum antara rotor terhadap stator sehingga mode Full merupakan mode tercepat untuk melakukan pergeseran, perputaran namun memiliki kekurangan dari segi torsi yang dihasilkan.
- ✓ **Half** : dimana pada setiap pergeseran perlangkahnya merupakan setengah dari pergeseran yang dihasilkan oleh mode Full, sehingga mode Half memiliki kecepatan yang lebih lambat dari mode Full namun memiliki torsi yang lebih kuat.

TABEL I
POLA DAN CARA KERJA MOTOR STEPPER

Full Unipolar (4 siklus)	Half Unipolar dan Bipolar (8 siklus)				Full Bipolar (4 siklus)
	A	B	C	D	
Uni 0	1	0	0	0	
	1	1	0	0	Bi 0
Uni 1	0	1	0	0	
	0	1	1	0	Bi 1
Uni 2	0	0	1	0	
	0	0	1	1	Bi 2
Uni 3	0	0	0	1	
	1	0	0	1	Bi 3

Sistem Rotasi-Translasi [1][2] [9][10] [11]

Keluaran dari sistem kontrol elektronik pada umumnya yaitu gerakan rotasi dari motor, adapun dalam mekanik umumnya adalah translasi, sehingga dibutuhkan konversi dari

gerak rotasi ke gerak translasi. Diantara teknik konversi dari gerak rotasi ke translasi adalah sebagai berikut:

- ✓ **Timing Belt Actuator**
Aktuator model ini menggunakan belt untuk mengubah gerak rotasi menjadi translasi, seperti terlihat pada gambar 9.



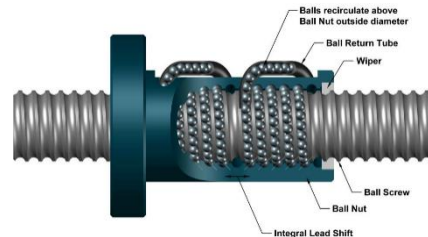
Gambar 9. Timing Belt Actuator

- ✓ **Acme Screw atau Lead Screw**
Acme screw atau lead screw merupakan pengubah gerakan dengan memanfaatkan gaya tekan akibat perputaran pada ulir. gaya inilah yang menyebabkan pergeseran pada axisnya. Pada prinsipnya sama seperti pasangan mur dan baut biasa. ketika mur/nut saya putar maka saya akan mendapatkan pergerakan linear dari bautnya (bolt). pada leadscrew biasanya dilengkapi dengan anti backlash yang biasanya dibuat dari bahan nylon atau kombinasi per dan kuningan, seperti terlihat pada gambar 10.



Gambar 10. Lead Screw

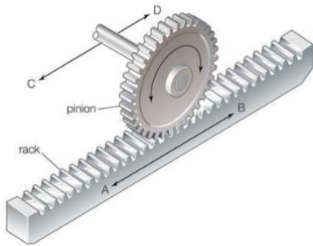
- ✓ **Ball Screw**
Seperti halnya lead screw, ballscrew pun juga menggunakan ulir. tetapi kalau yang ini diantara nut dan bolt terdapat ball (gotri) fungsinya untuk mengurangi koefisien gesek. Ball screw ini merupakan pengubah gerak termahal kedua setelah multiple screw, seperti terlihat pada gambar 11.



Gambar 11. Ball Screw

- ✓ **Rack and pinnion**
Rack and pinnion merupakan kombinasi antara roda gigi pinion dan linear gear/rack. Prinsip kerjanya adalah mengubah putaran roda gigi pinnion yang diputar pada linear gear sehingga menghasilkan gerakan linear. Keuntungan penggunaan rack pinnion ini adalah kemungkinan pemasangan pada area pergeseran meja kerja yang panjang. kerugiannya antaralain kepresisian

yang tidak setinggi pengubah gerak lainnya, seperti terlihat pada gambar 12.



Gambar 12. Rack and Pinnion

Arduino Uno [12], [13]

Arduino Uno adalah sebuah board yang menggunakan mikrokontroler ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah 16 MHz osilator kristal, sebuah koneksi USB, sebuah konektor sumber tegangan, sebuah header ICSP, dan sebuah tombol reset. Arduino Uno memuat segala hal yang dibutuhkan untuk mendukung sebuah mikrokontroler. Hanya dengan menghubungkannya ke sebuah komputer melalui USB atau memberikan tegangan DC dari baterai atau adaptor AC ke DC sudah dapat membuanya bekerja. Arduino Uno menggunakan ATmega16U2 yang diprogram sebagai USB to serial converter untuk komunikasi serial ke komputer melalui port USB.

"Uno" berarti satu di Italia dan diberi nama untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. Versi 1.0 menjadi versi referensi Arduino ke depannya. Arduino Uno R3 adalah revisi terbaru dari serangkaian board Arduino, dan model referensi untuk platform Arduino. Tampak atas dari arduino uno dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Arduino Uno

Adapun data teknis board Arduino UNO R3 adalah sebagai berikut:

- ✓ Mikrokontroler : ATmega328
- ✓ Tegangan Operasi : 5V
- ✓ Tegangan Input (recommended) : 7 - 12 V
- ✓ Tegangan Input (limit) : 6-20 V
- ✓ Pin digital I/O : 14 (6 diantaranya pin PWM)
- ✓ Pin Analog input : 6
- ✓ Arus DC per pin I/O : 40 mA
- ✓ Arus DC untuk pin 3.3 V : 150 mA
- ✓ Flash Memory : 32 KB dengan 0.5 KB digunakan untuk bootloader
- ✓ EEPROM : 1 KB
- ✓ Kecepatan Pewaktuan : 16 Mhz

Masing-masing dari 14 pin digital arduino uno dapat digunakan sebagai masukan atau keluaran menggunakan fungsi pinMode(), digitalWrite() dan digitalRead(). Setiap pin beroperasi pada tegangan 5 volt. Setiap pin mampu menerima atau menghasilkan arus maksimum sebesar 40 mA dan memiliki 10 resistor pull-up internal (diputus secara default)

sebesar 20-30 KOhm. Sebagai tambahan, beberapa pin masukan digital memiliki kegunaan khusus yaitu:

- ✓ Komunikasi serial: pin 0 (RX) dan pin 1 (TX), digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) data secara serial.
- ✓ External Interrupt: pin 2 dan pin 3, pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interrupt pada nilai rendah, sisi naik atau turun, atau pada saat terjadi perubahan nilai.
- ✓ Pulse-width modulation (PWM): pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11, menyediakan keluaran PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi analogWrite().
- ✓ Serial Peripheral Interface (SPI): pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) dan 13 (SCK), pin ini mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan SPI library.
- ✓ LED: pin 13, terdapat built-in LED yang terhubung ke pin digital 13.
- ✓ Ketika pin bernilai High maka LED menyala, sebaliknya ketika pin bernilai Low maka LED akan padam.

Arduino Uno memiliki 6 masukan analog yang diberi label A0 sampai A5, setiap pin menyediakan resolusi sebanyak 10 bit (1024 nilai yang berbeda). Secara default pin mengukur nilai tegangan dari ground (0V) hingga 5V, walaupun begitu dimungkinkan untuk mengganti nilai batas atas dengan menggunakan pin AREF dan fungsi analogReference(). Sebagai tambahan beberapa pin masukan analog memiliki fungsi khusus yaitu pin A4 (SDA) dan pin A5 (SCL) yang digunakan untuk komunikasi Two Wire Interface (TWI) atau Inter Integrated Circuit (I2C) dengan menggunakan Wire library.

- ✓ TWI: A4 atau SDA pin dan A5 atau SCL pin. Mendukung komunikasi TWI.
- ✓ Aref. Referensi tegangan untuk input analog. Digunakan dengan analogReference().
- ✓ Reset

Driver motor TB6600

Secara teoritis, sebuah motor stepper dapat digerakkan langsung oleh mikrokontroler. Pada kenyataannya, arus dan tegangan yang dikeluarkan oleh mikrokontroler terlalu kecil untuk menggerakkan sebuah motor stepper. Maka dari itu dibutuhkan suatu driver motor yang berguna untuk menaikkan arus dan tegangan yang dibutuhkan. Driver motor stepper yang dipilih adalah driver motor jenis TB6600. Driver motor ini mempunyai daya tinggi dengan arus maksimum 4,5 ampere dan arus starting hingga 5A. Tegangan untuk driver ini mampu menampung hingga 45 Volt. Spesifikasi tersebut menyatakan driver ini mampu menggerakkan motor stepper dengan menghasilkan kecepatan serta torque yang diinginkan. Gambar 14 merupakan gambar fisik dari driver motor TB6600.



Gambar 14. Driver Motor TB6600

Tabel 2. merupakan petunjuk penggunaan metode excitation pada driver motor TB6600.

TABEL II
PETUNJUK MODE EXCITATION PADA DRIVER MOTOR TB6600

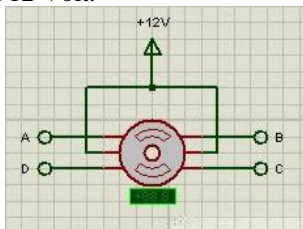
Input			Mode(Excitation)
M1	M2	M3	
0	0	0	Standby mode (Operation of the internal circuit is almost turned off.)
0	0	1	1/1 (2-phase excitation, full step)
0	1	0	1/2A type (1-2 phase excitation A type) (0% - 71% - 100%)
0	1	1	1/2B type (1-2 phase excitation B type) (0% - 100%)
1	0	0	1/4 (W1-2 phase excitation)
1	0	1	1/8 (2W1-2 phase excitation)
1	1	0	1/16 (4W1-2 phase excitation)
1	1	1	Standby mode (Operation of the internal circuit is almost turned off)

Tujuan dari artikel ini adalah untuk merubah gerakan rotasi yang dihasilkan motor stepper menjadi gerakan translasi tanpa memperhitungkan torsi dan energi yang ditimbulkan oleh motor stepper.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Rangkaian Motor Stepper

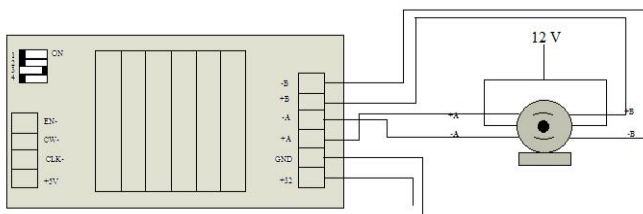
Pada gambar 15 menunjukkan rangkaian motor stepper unipolar, huruf A, B, C, dan D adalah kumparan medan dan 2 garis yang digabungkan tersebut adalah bagian yang diberikan sumber tegangan 12 Volt.



Gambar 15. Rangkaian Stepper

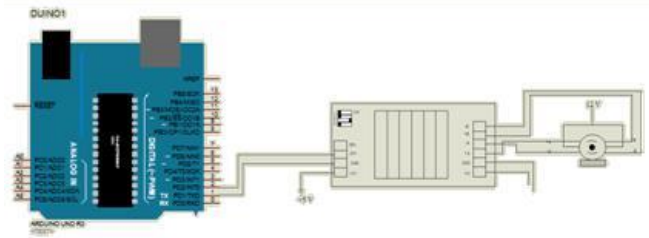
Driver Motor Stepper

Pada gambar 16 terlihat bahwa kumparan medan pada motor dihubungkan ke terminal yang terdapat pada driver motor. Driver motor TB6600 juga diberi tegangan 12V, yang berguna sebagai catu daya untuk motor stepper.



Gambar 16. Skematik Hubungan Driver Motor Dan Motor Stepper

Pada gambar 17 terlihat bahwa pin arduino yang dipakai untuk mengontrol driver motor TB6600 adalah pin 1 dan pin 2. Pin 1 pada arduino dihubungkan pada terminal CLK- dan pin 2 dihubungkan pada terminal CW- pada yang terdapat di driver motor TB 6600

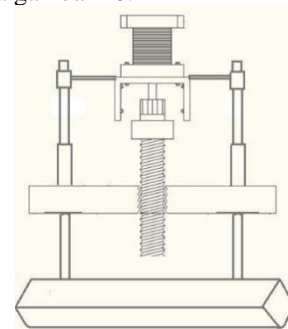


Gambar 17. Skematik Hubungan Antara Arduino Dan Driver Motor Tb6600

Berikut merupakan potongan program untuk mengontrol driver motor stepper:

```
void setPosisi(){ //=====
if (posisi > 5) posisi = 1;
if (posisi < 1) posisi = 5;
if (posisi == 1) pindahKe = posisiStandby + 400;
if (posisi == 2) pindahKe = posisiStandby + 1000;
if (posisi == 3) pindahKe = posisiStandby + 2300;
if (posisi == 4) pindahKe = posisiStandby + 2400;
if (posisi == 5) pindahKe = posisiStandby + 2500;
}
```

Bentuk mekanik dari percobaan penelitian ini adaah seperti ditunjukkan pada gambar 18.



Gambar 18. Mekanik Gerak Rorasi ke Translasi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian jarak yang dihasilkan motor stepper dengan menyambungkan rotor pada motor dengan besi ulir atau disebutkan dengan sistem pengubah gerak dari rotasi ke translasi dengan sistem lead screw . Dalam pengujian, mengambil beberapa perubahan jarak yang dihasilkan motor stepper dengan mengatur mode excitation pada driver motor yang berdampak pada jarkn yang dihasilkan oleh pergerakan motor stepper dan dibandingkan dengan jarak yang dihasilkan ulir jika diputar secara manual. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa besar rata-rata error pada alat. Hasil dari pengujian disajikan pada tabel 3.

TABEL III
DATA PENGUJIAN GERAK TRANSLASI

No	Jumlah Step		Jarak Yang dihasilkan motor (mm)	Jarak Yang dihasilkan tanpa motor (mm)	Error (%)
	Displasi	Alat			
1	200	200	2.3	2.4	4.167
2	400	400	4.7	4.8	2.083
3	600	600	7.1	7.2	1.389
4	800	800	9.4	9.6	2.083
5	1000	1000	12	12	0
6	1200	1200	14.3	14.4	0.694
7	1400	1400	16.6	16.8	1.190
8	1600	1600	19	19.2	1.042
9	1800	1800	21.4	21.6	0.926
10	2000	2000	23.8	24	0.833
11	2200	2200	26	26.4	1.515
Rata-rata error					1.448

Dari tabel 3, diperoleh data kesalahan sebesar 1,448 %, maka alat sistem dapat dipergunakan.

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan pembuatan mekanik, rangkaian elektronika, mekanik dan melakukan percobaan untuk merubah gerakan rotasi ke gerakan translasi, diperoleh hasil kesalahan sebesar 1,5 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya pada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini, khususnya kepada Direktur Politeknik Negeri Lhokseumawe dan Ketua P2M yang telah memberikan kontribusi dalam penelitian ini dengan nomor kontrak No. 1314/PL.20.7.1/BA-PT/2019.

REFERENSI

- [1] D. Suddin dan B. Nasrullah, "Rancang Bangun Robot Manipulator Yang Bergerak Secara Translasi Dan Rotasi," in *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M) - PNUP 2017*, 2017, hal. 151–158.
- [2] P. Hartono dan M. N. Fauzi, "Pengendali Otomasi 3-Axis Berbasis Pc Pada Simulasi Proses Las," *Nanda Setiyo Hadi, Hariyanto Soeroso, R. Dimas Endro W.*, vol. 36, no. No. 1 Juni 2014, hal. 8–17, 2014.
- [3] V. V. Afnani, *Stepper Motors (Fundamentals, Application and Design)*, Ed.2, New Age In. New Delhi, India: New Age International, 2005.
- [4] M. Y. Tarnini, "Fast and cheap stepper motor drive," in *2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 2015, hal. 689–693.
- [5] J. Yu, Y. Wang, H. Kang, dan G. Lu, "A control system of three-axis stepper motor based on the FPGA," in *Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC)*, 2013, hal. 3334–3337.
- [6] R. Innes, "Industrial applications of stepper control systems," in *IEE Colloquium on Stepper Motors and Their Control*, 1994, hal. 5/1-5/3.
- [7] L. Zhang et al., "Research on stepper motor motion control based on MCU," in *2017 Chinese Automation Congress (CAC)*, 2017, hal. 3122–3125.
- [8] Q. Wang dan K. Xia, "The Motion Control Algorithm based on Quaternion Rotation for a Permanent Magnet Spherical Stepper Motor," in *2006 CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference*, 2006, vol. 2, hal. 1–5.
- [9] R. Chouhan, F. Kanwal, S. Ali, dan N. Ali, "Design and development of a prototype robotic gripper," in *2014 International Conference on Robotics and Emerging Allied Technologies in Engineering (iCREATE)*, 2014, hal. 317–320.
- [10] J.-S. Choi dan B. K. Kim, "Near-time-optimal trajectory planning for wheeled mobile robots with translational and rotational sections," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 17, no. 1, hal. 85–90, 2001.
- [11] J. Dewanto dan N. Jonoaji, "Mekanisme Gerak Translasi Bolak-Balik dengan Ulir Silang," *J. Tek. MESIN Vol. 1, No. 1, April 1999*, vol. 1, no. April 1999, hal. 14–18, 1999.
- [12] S. Saha dan A. Majumdar, "Data centre temperature monitoring with ESP8266 based Wireless Sensor Network and cloud based dashboard with real time alert system," in *Devices for Integrated Circuit (DevIC)*, 2017, hal. 307–310.
- [13] M. haris Firmansyah, M. Ramdhani, dan D. A. Nurmantris, "Keamanan Sepeda Motor Berbasis RFID Dengan Sistem Peringatan Melalui SMS Gateway," in *e-Proceeding of Applied Science : Vol.1, No.1 April 2015 / Page 752*, 2015, hal. 752–760.