

Stepper Motor Speed Control Using Start-Stop Method Based On PLC

Kendali Kecepatan Motor Stepper Menggunakan Metode *Start – Stop* Berbasis PLC

Budi Cahyo Wibowo⁽¹⁾, Fajar Nugraha⁽²⁾

Program Studi Teknik Elektro Universitas Muria Kudus, Gondangmanis, Bae, Kudus, 59327, Indonesia
budi.cahyo@umk.ac.id⁽¹⁾, fajar.nugraha@umk.ac.id⁽²⁾

Received: 18 August 2021; revised: 15 September 2021; accepted: 12 October 2021

Abstract – *The stepper motor is a type of actuator that is very popular and widely applied in the industrial world, especially the manufacturing and electromechanical industries. Because of the characteristics of the stepper motor which is able to work very well in open loop control systems, this type of actuator is widely used. Stepper motor control can be done by sending a series of digital pulses to drive the motor in a certain speed and rotation angle. Stepper motor control with the start-stop method is one of the control methods that can be applied based on PLC. Stepper motor control with the start - stop method is a produces an output pulse according to the target frequency that has been set, so that the stepper motor will rotate at a speed according to the target frequency. It is necessary to analyze the performance with the application of this method. By using the start-stop method the stepper motor is able to rotate at speeds between 30 rpm - 240 rpm and the rotation angle that can be operated on the motor from 2°-360°, this method is very suitable if applied to low rotational speed.*

Key words— stepper motor;control;actuator;PLC

Abstrak — Motor stepper merupakan jenis aktuator yang sangat populer dan banyak diaplikasikan di dunia industri terutama industri manufaktur dan elektromekanik. Karena karakteristik dari motor stepper yang mampu bekerja dengan sangat baik pada sistem kontrol *loop* terbuka maka aktuator jenis ini banyak digunakan. Pergerakan dari motor stepper harus dikendalikan sehingga mampu menghasilkan putaran yang diinginkan. Kendali motor stepper dapat dilakukan dengan mengirimkan sederetan pulsa digital untuk menggerakkan motor dalam kecepatan dan sudut putar tertentu. Kendali motor stepper dengan metode *start-stop* merupakan salah satu metode kendali yang bisa diaplikasikan dengan kontroler berbasis PLC. Kendali motor stepper dengan metode *start - stop* merupakan metode yang menghasilkan pulsa *output* sesuai dengan frekuensi target yang telah diatur, sehingga motor stepper akan berputar dengan kecepatan sesuai dengan frekuensi target tersebut. Perlu adanya analisis unjuk kerja dengan penerapan metode ini. Dengan menggunakan metode *start-stop* motor stepper mampu berputar pada kecepatan antara 30 rpm – 240 rpm dan sudut putar yang dapat dioperasikan pada motor dari 2°-360°, metode *start – stop* ini sangat cocok jika diaplikasikan untuk kecepatan putar rendah.

Kata kunci — Motor stepper;kontrol;aktuator;PLC;

I. PENDAHULUAN

Motor stepper merupakan salah satu jenis penggerak yang banyak digunakan pada mesin CNC *Engraving*, 3D *printing* dan sistem *conveyor* yang membutuhkan kepresisian. karena

mesin CNC dan 3D *printing* memerlukan penggerak berupa motor yang membutuhkan presisi dan akurasi yang tinggi dalam tiap pergerakannya maka motor stepper menjadi salah satu pilihan. Berbeda dengan motor DC konvensional yang relatif sulit dalam pengendaliannya karena tidak memiliki karakteristik yang presisi dan akurat seperti yang dimiliki oleh motor stepper. Motor stepper juga banyak sekali digunakan dalam sistem manufaktur di industri.

Mengendalikan motor stepper berbeda dengan seperti mengendalikan motor DC konvensional karena motor stepper memiliki karakteristik berbeda dengan motor DC konvensional. Untuk mengendalikan motor stepper diperlukan kontroler seperti mikrokontroler dan PLC (*Programmable Logic Control*) karena basis kendali motor stepper adalah bagaimana memberikan pulsa – pulsa digital ke tiap fasa pada motor stepper. Motor stepper adalah jenis aktuator/penggerak spesial, motor stepper menterjemahkan instruksi-instruksi digital yang disimpan pada kontroler untuk menghasilkan gerak putar yang presisi, sehingga sangat cocok untuk diterapkan pada sistem elektromekanik[1]. Motor stepper adalah perangkat elektro mekanik yang dapat mengubah pulsa listrik menjadi gerakan pada porosnya[2]. Poros motor bergerak sesuai dengan kenaikan nilai dari pulsa listrik yang diterapkan pada fasa – fasa motor stepper dan mampu bekerja pada sistem *open loop*[3]. Operasi dasar motor stepper memungkinkan motor mampu bergerak dalam sudut putar dengan derajat yang tepat setiap kali pulsa dikirimkan sehingga sangat cocok untuk kendali posisi[4]. Disamping itu pula motor stepper juga mampu dikendalikan kecepatan putarnya dengan cara mengendalikan nilai frekuensi pulsa yang dikirimkan ke motor stepper.

Penelitian dengan menggunakan motor stepper sudah sangat banyak, diantaranya adalah penelitian yang berjudul “Prototipe Antena *Tracker* Menggunakan Motor Stepper Nema 23 sebagai Aktuator 2 *Axis*”, pada penelitian ini motor stepper digunakan sebagai penggerak pada prototipe antena *tracker* yang mampu bergerak pada 2 *axis*[5]. Untuk metode kendali yang diterapkan belum dijelaskan pada penelitian ini.

Penelitian yang berjudul “*Design and Development Stepper Motor Position Control System*” penelitian ini lebih berfokus pada membuat desain dan pengembangan untuk

aplikasi motor stepper pada kendali posisi dengan menggunakan FPGA (*Field Programmable Gate Array*) berbasis mikrokontroler sebagai pusat kendali[6].

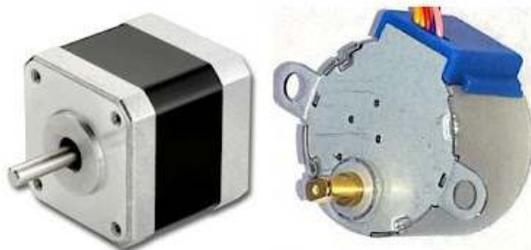
Penelitian yang berjudul “*stepper motor movement designed based on FPGA*” penelitian ini juga lebih fokus pada membuat desain pergerakan dari motor stepper berbasis FPGA[2].

Untuk mengatur posisi dan kecepatan putar motor stepper diperlukan analisis kendali kecepatan dan sudut putar pada motor stepper untuk kemudian diterapkan pada sistem elektromekanik yang akan dibuat. Salah satu metode kontrol motor stepper adalah metode *start-stop* yang menggunakan PLC sebagai basis kontrolnya. Analisis kendali kecepatan dan sudut putar pada motor stepper menggunakan metode *start-stop* bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja yang dihasilkan dari penerapan metode *start – stop* pada kendali motor stepper sehingga dapat dijadikan sebagai rujukan dalam merancang suatu sistem penggerak elektromekanik menggunakan motor stepper dan PLC sebagai pusat kontrolnya.

Berdasarkan beberapa penelitian terkait dan dari sepengetahuan penulis belum adanya pembahasan tentang analisis yang dilakukan pada kontrol kecepatan dan sudut putar motor stepper dengan menggunakan metode *start-stop* dengan menggunakan PLC sebagai basis kontrolnya.

A. Motor Stepper

Motor stepper adalah salah jenis motor yang putarannya berdasarkan langkah. Motor stepper banyak digunakan dalam aplikasi industri seperti CNC, lengan robot, pemindai, *printer* dan yang terbaru adalah 3D *printer*, karena kehandalan dan kemampuan kontrol *open loop*[7][8]. Gambar 1. Adalah bentuk fisik dari motor stepper. Motor stepper merupakan motor DC yang tidak memiliki komutator. Motor stepper hanya memiliki kumparan pada bagian stator sedangkan pada bagian rotor berupa magnet permanen. Karena konstruksi inilah maka motor stepper dapat diatur posisinya dan berputar sesuai dengan yang diinginkan, apakah searah jarum jam atau sebaliknya. Motor stepper dapat berputar atau berotasi dengan sudut/*step* yang bisa bervariasi tergantung motor yang digunakan. Ukuran *step* dapat berada pada *range* 0,9° sampai 90°. Posisi putarannya pun relatif tepat dan stabil. Dengan variasi sudut akan memudahkan melakukan pengendalian tanpa menggunakan *closed-loop feedback* untuk memonitor posisi.[9]



Gambar 1. Bentuk Fisik Motor Stepper[10]

B. Microstep Driver DM542

Kontroler dalam hal ini PLC belum mampu secara langsung menggerakkan motor stepper disebabkan arus keluaran dari PLC yang masih sangat rendah kisaran 1-2mA, sehingga diperlukan unit penguat berupa *microstep driver* agar motor stepper mampu digerakkan. Pada penelitian ini digunakan *driver microstepping* DM542 yang mampu beroperasi pada tegangan 5VDC dan 24VDC. Gambar 2. Adalah bentuk fisik *microstep driver* DM542. Spesifikasi *microstep driver* DM542: Tegangan *Input* : 5-24V; arus : *Max* 4.2A; Frekuensi: up to 200KHz; *Support Motor* : 2 fasa dan 4 fasa; Proteksi : *Over Voltage, Over current*.

C. PLC Omron CP1E-N40NDT

Programmable Logic Control (PLC) adalah sebuah perangkat komputer fungsi khusus yang dirancang untuk mengontrol suatu proses. Proses yang dikontrol ini berupa sinyal kontinu atau berupa sistem digital (*on/off*) yang dijalankan secara sekuensial dan berulang-ulang yang umum dijumpai pada mesin pengeboran, sistem konveyor dan lain sebagainya.

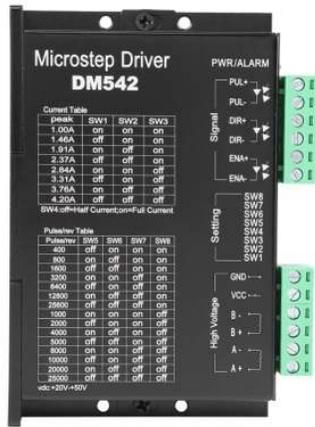
Prinsip kerja dari PLC diawali dengan PLC yang akan membaca sinyal masukan dari komponen – komponen *input* seperti sensor, *push button, limit switch, magnetic switch* dan sebagainya, kemudian PLC akan membaca program yang telah tersimpan didalam memori PLC seperti *ladder diagram* (LD). Program inilah yang berfungsi untuk instruksi masukan menjadi instruksi keluaran.

Perangkat keras PLC terdiri dari empat komponen utama berikut: *processor*, modul *input/output*, *power supply* dan memori. Prosesor berfungsi untuk menyimpan dan menjalankan program yang terdapat pada PLC. Memori adalah bagian dari prosesor yang digunakan untuk menyimpan instruksi – instruksi program.

Modul *input/output* digunakan untuk menerima sinyal dari unit pengindra/sensor dan modul keluaran digunakan untuk mengaktifkan berbagai piranti penggerak. Fungsi modul keluaran lainnya diantaranya *conditioning*, terminasi dan juga pengisolasian sinyal – sinyal yang ada.

Memori merupakan bagian dari prosesor yang berupa IC (*integrated circuit*). Ada beberapa tipe semikonduktor, yaitu: RAM (*Random Access Memory*) adalah tipe memori yang fleksibel dalam membaca dan menulis data, program-program yang terdapat didalamnya dapat diprogram ulang sesuai dengan keinginan pemakaiannya. ROM (*Read Only Memory*) adalah tipe memori yang dapat dibaca datanya tetapi tidak dapat ditulisi. PROM adalah bentuk memori digital yang bersifat permanen biasa digunakan untuk menyimpan program *ladder diagram*.

PLC (*Programmable Logic Control*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah buatan OMRON dengan tipe CP1E-N40NDT. Menggunakan PLC dengan *output* transistor karena dibutuhkan proses *switching* yang cepat untuk memberikan pulsa masukan ke *driver* motor stepper. PLC OMRON CP1E-N40NDT memiliki 40 I/O, yang terdiri atas 24 *input* dan 16 *output*.



Gambar 2. Microstep Driver DM542[11]

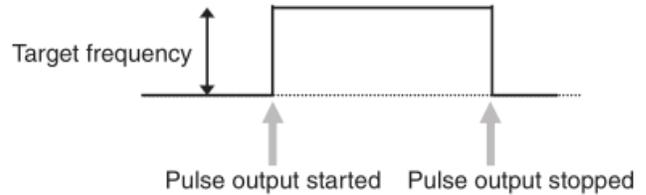


Gambar 3. Bentuk Fisik PLC OMRON CP1E-N4-NDT[12]

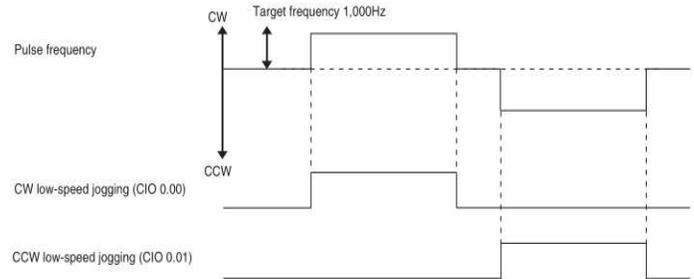
D. Metode Start – Stop

Metode *start-stop* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengendalikan motor stepper menggunakan PLC sebagai basis kontrolnya. Metode pengendalian motor stepper ini dilakukan dengan melakukan rekayasa terhadap pulsa *output* yang dikeluarkan oleh PLC. Disebut metode *start-stop* karena pulsa *output* yang dikeluarkan oleh PLC diatur dalam dua kategori, pulsa *start* yaitu pulsa akan dikeluarkan dengan nilai frekuensi 1 Hz hingga maksimal frekuensi target 100 KHz (kenaikan nilai frekuensi tiap 1 Hz), frekuensi target diatur melalui instruksi SPED dan setelah mencapai frekuensi target maka pulsa *output* akan di 0 Hz kan[13].

Instruksi PULS digunakan untuk menentukan jumlah pulsa yang dikeluarkan oleh *output* PLC, instruksi ini biasa digunakan menentukan jumlah putaran pada motor stepper. Ada tiga konfigurasi parameter pada instruksi PULS yang harus diatur pada pengaturan awal, yaitu parameter P (*Port Specifier*), *Port* digunakan untuk menentukan *port output* pada PLC yang digunakan untuk mengeluarkan pulsa *output*, biasanya *output channel* 100.00. Parameter T (*Pulse Type*) digunakan untuk menentukan pulsa *output* berjenis *relative* atau *absolute*. Parameter berikutnya adalah N (*Number of Pulse*) digunakan untuk menentukan jumlah pulsa yang dikehendaki, konfigurasi nilai pada parameter N ini digunakan



Gambar 4. Konsep Pulsa *Output* Metode Start - Stop[13]



Gambar 5. Timing Diagram Cara Kerja Metode Start-Stop

untuk menentukan jumlah putaran pada motor stepper, dengan berbagai konfigurasi parameter pada instruksi PULS ini maka motor stepper akan mampu diatur dan menghasilkan putaran sesuai dengan yang dikehendaki.

Instruksi SPED digunakan untuk mengatur frekuensi pulsa keluaran pada PLC dan tanpa akselerasi dan deselerasi. Ada empat parameter pada instruksi SPED yang harus diatur pada konfigurasi awal, yaitu parameter P, *Port* yang digunakan pada channel *output* PLC untuk mengeluarkan pulsa *output*. Parameter M, *mode output* digunakan untuk arah putar motor stepper CW atau CCW. Parameter F, digunakan untuk menentukan kecepatan putar motor stepper berdasarkan nilai frekuensi yang diatur pada parameter ini[13]. Proses pulsa *start stop* pada kendali motor stepper diperlihatkan pada Gambar 4.

Gambar *timing diagram* dari pulsa *output* metode *start-stop* yang menunjukkan saat diaplikasikan untuk gerakan CW (*Clock Wise*) dan CCW (*Contra Clock Wise*) motor stepper. Gerakan CW dimulai saat tombol CIO 0.00 ON dan gerakan CCW dimulai saat tombol CIO 0.01 ON. *Timing diagram* cara kerja dari metode *start-stop* diperlihatkan pada Gambar 5[13].

Sistem bekerja berdasarkan pulsa *output* yang dikirimkan oleh PLC ke motor stepper dengan frekuensi target yang telah ditentukan, nilai frekuensi menentukan kecepatan putar dari motor stepper untuk instruksi SPED sedangkan pengaturan frekuensi pada instruksi PULS digunakan untuk mengatur jumlah putaran pada motor stepper.

Kombinasi kedua instruksi yaitu PULS dan SPED yang digunakan pada kendali motor stepper ini mampu mengendalikan kecepatan putar motor stepper dalam rpm (*rotation per minute*) dan jumlah putaran yang dikehendaki. Nilai pada tiap parameter yang diinstruksi PULS dan SPED dalam aplikasinya disimpan pada DM (*Data Memory*) pada PLC. DM merupakan salah satu memori yang digunakan pada PLC biasa untuk menyimpan nilai – nilai atau data numerik. Memori ini biasa dipakai untuk pertukaran data pada alamat

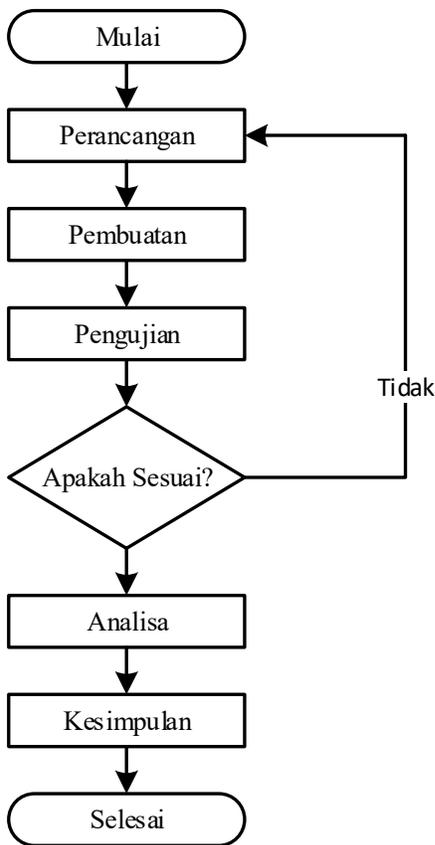
yang berbeda dengan *programming tools* yang digunakan untuk memprogram PLC.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Riset and Development* yaitu metode penelitian yang digunakan untuk meneliti, merancang, memproduksi dan menguji produk yang telah dihasilkan [14].

A. Diagram Alir Proses Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah merancang, membuat dan menguji sebuah trainer motor stepper tanpa beban dengan PLC sebagai basis kendalinya. Penelitian diawali dengan merancang sistem kendali motor stepper dengan menggunakan PLC, kemudian dilanjutkan dengan proses pembuatan sistem kendali motor stepper, setelah proses pembuatan dilakukan kegiatan penelitian dilanjutkan dengan melakukan pengujian terhadap sistem yang telah dibuat. Pengujian dilakukan untuk mengetahui batas kecepatan maksimal yang mampu diatur pada kendali kecepatan yang menerapkan metode *start-stop*. Setelah proses pengujian dilakukan tahap berikutnya adalah melakukan analisa terhadap hasil pengujian dan terakhir adalah membuat kesimpulan terhadap hasil analisa yang dilakukan. Gambar 6 adalah diagram alir proses penelitian.



Gambar 6. Flowchart Penelitian

B. Perancangan Hardware

Proses penelitian diawali dengan merancang dan membuat trainer atau alat peraga yang terdiri atas PLC, driver *microstep* dan motor stepper 4 fasa. Proses kendali dilakukan secara *open loop* karena karakteristik dari motor stepper yang handal untuk menghasilkan putaran yang presisi. Diagram blok dari perancangan trainer atau alat peraga dalam penelitian ini di tunjukkan pada Gambar 7.

Trainer yang digunakan dalam penelitian ini adalah trainer motor stepper yang sudah dilengkapi dengan perangkat kontrol berupa PLC dan *driver microstep* DM542 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8.

Penjelasan untuk fungsi tiap blok diagram adalah sebagai berikut:

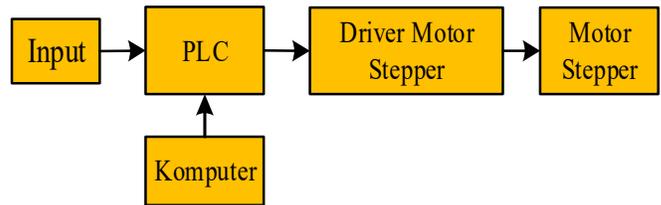
Input, merupakan bagian yang berfungsi sebagai sinyal masukan untuk *channel input* PLC. Bagian ini berupa berbagai perangkat masukan seperti saklar *on/off*, saklar *toggle*, sensor *infra red*, *rotary encoder*, *proximity sensor* dan sensor lain yang umum dipakai untuk standar industri.

PLC, merupakan bagian utama dari sistem ini, PLC merupakan pusat dari kendali sistem kendali kecepatan putar motor stepper yang mengolah sinyal masukan menjadi bentuk sinyal keluaran untuk mengontrol gerak motor stepper.

Driver Motor Stepper, bagian ini berfungsi sebagai penguat arus untuk pulsa *output* yang dikeluarkan oleh PLC.

Motor Stepper, bagian ini merupakan penggerak yang dikendalikan kecepatan putaran dan jumlah putarannya.

Komputer, pada sistem ini komputer digunakan untuk memrogram PLC dengan memasukkan *ladder program* kedalam memori PLC.



Gambar 7. Blok Diagram Sistem



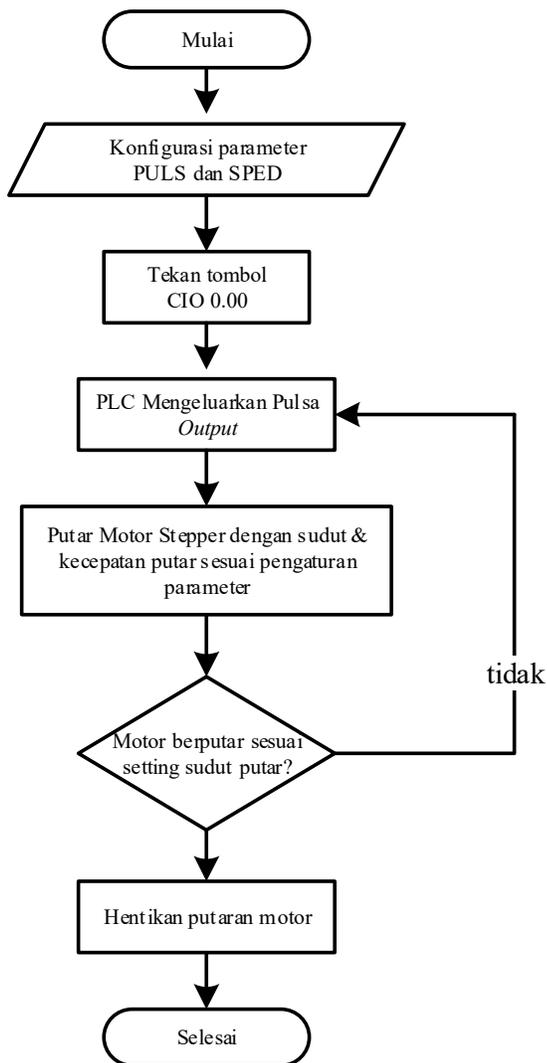
Gambar 8. Trainer Kontrol Stepper

C. Perancangan Software

Agar PLC mampu mengendalikan putaran dari motor stepper baik kecepatan ataupun sudut putarnya terlebih dahulu PLC harus diprogram, program yang umum digunakan dalam PLC adalah *ladder diagram*. Program kendali yang diaplikasikan pada penelitian ini menggunakan metode *start-stop*. Metode kendali ini nanti yang akan dianalisis unjuk kerjanya untuk dijadikan sebagai referensi dalam mengendalikan motor stepper menggunakan PLC.

Instruksi yang digunakan dalam pengendalian kecepatan motor stepper dengan PLC adalah kombinasi instruksi PULS dan SPED. Instruksi PULS digunakan untuk menentukan sudut putar sedangkan instruksi SPED digunakan untuk menentukan kecepatan putar motor. Gambar 9 memperlihatkan diagram alir perancangan *software*.

Sistem dimulai dengan melakukan konfigurasi terhadap parameter – parameter yang digunakan pada instruksi PULS dan SPED. Parameter – parameter ini menentukan berapa putaran yang diinginkan pada geraka motor stepper dan seberapa cepat stepper yang digunakan akan berputar, dengan



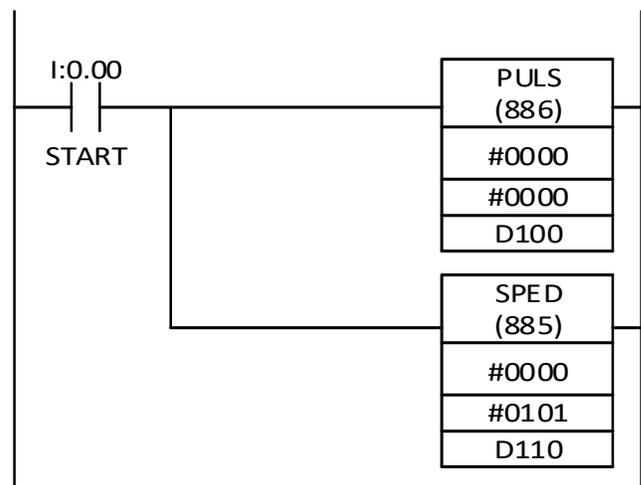
Gambar 9. Flowchart Perancang Software

memberikan nilai pada parameter – parameter pada instruksi PULS dan SPED ini maka gerak putar dengan kecepatan yang dikehendaki akan dieksekusi.

Proses diawali dengan menekan tombol pada alamat 0.00 pada channel *input* PLC, PLC akan mengeluarkan pulsa dengan frekuensi tertentu selama waktu yang telah diatur pada instruksi PULS. Pulsa keluaran ini akan menggerakkan motor stepper yang sebelumnya sudah dikuatkan oleh *microstepping driver stepper* sesuai dengan jumlah putar dan kecepatan putaran yang dibutuhkan. Setelah motor berputar dengan kecepatan dan jumlah putar tertentu kemudian motor stepper akan berhenti berputar. Dari sinilah konsep kendali kecepatan motor stepper dengan karakteristik *open loop control* itu diterapkan sehingga kecepatan dan jumlah putar dapat dimonitor meskipun tanpa ada umpan balik dari sensor.

Untuk bisa mengendalikan motor stepper, PLC harus diprogram terlebih dahulu. Penulisan program pada PLC menggunakan bentuk diagram tangga atau sering dikenal dengan *diagram ladder*. *Diagram ladder* termasuk dalam kategori pemrograman tanpa menggunakan *coding* seperti halnya pemrograman kontroler pada umumnya, tapi dengan bentuk diagram tangga alur program dapat diamati secara langsung sehingga dapat diketahui simbol – simbol I/O mana yang dalam kondisi *on* atau *off*. Dengan diagram tangga pula proses koreksi dapat dilakukan dengan lebih cepat pada saat ada kesalahan dalam alur program yang dibuat.

Program dapat langsung dijalankan sekaligus dimonitor dengan menggunakan komputer dan *cx-programmer* yang merupakan *software* untuk memprogram PLC. Adapun potongan *ladder diagram* program PLC untuk mengendalikan udut putar dan kecepatan putar motor stepper diperlihatkan pada Gambar 10. Pada potongan *ladder diagram* tersebut tampak bahwa instruksi PULS dan SPED dijalankan ketika saklar pada alamat 0.00 diaktifkan sesaat. Semua data numerik yang masukkan dan disimpan pada DM100 dan DM110 akan diakses oleh program dan sinyal *output* akan dikeluarkan melalui *channel output* dengan alamat 100.00.



Gambar 10. Potongan Ladder Diagram

TABEL I
HASIL KONVERSI FREKUENSI KE NILAI RPM

Nilai rpm	Nilai Frekuensi Parameter F (Hz)	Resolusi Motor Stepper Step/deg
30	200	0,9
60	400	0,9
120	800	0,9
240	1600	0,9
300	2000	0,9
375	2500	0,9

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perancangan *hardware* dan *software* yang telah dilakukan dan direalisasikan menjadi trainer kendali motor stepper berbasis PLC, kemudian dilakukan proses pengujian kendali kecepatan dan sudut putar motor stepper menggunakan metode *start-stop* untuk menguji unjuk kerja dari kendali yang telah diterapkan. Proses pengujian dilakukan dengan melakukan konfigurasi parameter pada instruksi PULS dan SPED. Nilai parameter pada instruksi SPED kemudian dikonversi menjadi nilai *setting rpm* (*rotation per minute*) dengan menggunakan persamaan (1) sebagai berikut:

$$n(\text{rpm}) = \frac{f(\text{Hz})}{\left(\frac{360^\circ}{0,9 \text{ deg/step}}\right)} \times 60 \quad (1)$$

Dikarenakan motor stepper yang digunakan pada penelitian ini adalah motor stepper dengan resolusi 0,9 *deg/step* maka persamaan 1 menggunakan nilai sesuai dengan resolusi motor yang digunakan.

1. Pengujian kendali kecepatan motor stepper

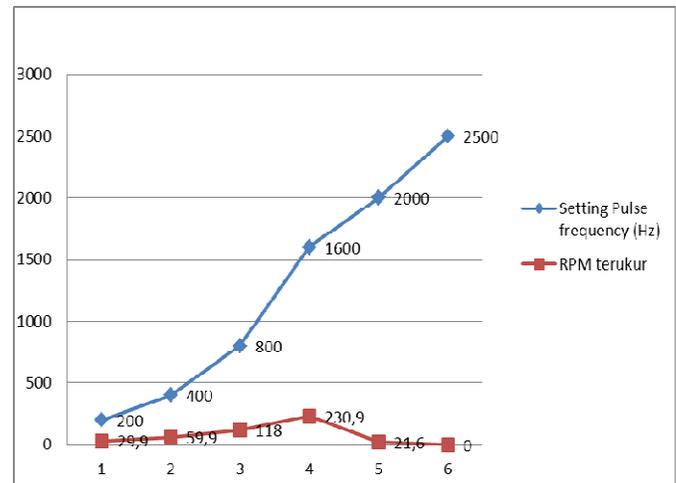
Pengujian kendali kecepatan putar motor stepper dilakukan dengan mengukur nilai rpm motor yang dihasilkan dari kendali *start-stop* dengan nilai *setting rpm* yang ingin dicapai pada PLC. Pengukuran rpm dilakukan dengan menggunakan alat ukur tachometer merk krisbow, pengukuran rpm ini bertujuan untuk membandingkan antara hasil pengukuran rpm dengan tachometer dan rpm yang diatur pada PLC. Hasil konversi nilai frekuensi pada parameter F ke rpm disajikan pada Tabel I. Hasil pengujian untuk kendali kecepatan motor stepper disajikan pada Tabel II.

Hasil pengujian pada Tabel II. Dapat dijelaskan bahwa motor stepper dengan kendali *start-stop* mampu berputar secara normal pada *setting* kecepatan antara 30 rpm - 240 rpm, dengan rata – rata prosentase *error* 1,5%.

Grafik hubungan antara frekuensi pulsa *output* terhadap nilai kecepatan putar motor disajikan pada Gambar 11. Dari grafik tersebut tampak bahwa kenaikan nilai frekuensi pulsa *output* mengakibatkan kecepatan putar juga meningkat. Pada nilai frekuensi pulsa *output* 2000 *pulse* kecepatan motor mulai turun hingga pada nilai frekuensi pulsa *output* 2500 *pulse* motor tidak berputar.

TABEL II
HASIL PENGUJIAN KENDALI KECEPATAN MOTOR STEPPER DENGAN METODE START-STOP

No	Setting Kecepatan putar (RPM)	Frekuensi Pulsa Output pada PLC (Hz)	Kecepatan Terukur (RPM)	Selisih	error (%)	Kondisi Motor Stepper
1	30	200	29,9	0,1	0,3	Motor berputar
2	60	400	59,9	0,1	0,2	Motor berputar
3	120	800	118	1,8	1,2	Motor berputar
4	240	1600	230,9	9,1	3,8	Motor berputar
5	300	2000	21,6	278,4	92,8	Motor berputar, ada getaran
6	375	2500	0	375	100,0	Motor tidak berputar

Gambar 11. Grafik Hubungan Frekuensi Pulsa *output* dengan Kecepatan Putar

2. Pengujian kendali sudut putar motor stepper

Pengujian kendali sudut putar motor stepper dilakukan dengan mengukur nilai sudut putar motor yang dihasilkan dari kendali *start-stop* dengan nilai *setting* sudut putar yang ingin dicapai pada PLC. Pengukuran sudut putar pada motor diukur dengan menggunakan penggaris busur derajat. Hasil pengujian untuk kendali sudut putar motor stepper disajikan pada Tabel III.

Hasil pengujian pada Tabel III. Dapat dijelaskan bahwa motor stepper dengan kendali *start-stop* mampu bergerak dengan sudut putar dari 2° – 360° pada *setting* jumlah pulsa antara 3 - 400, dengan rata – rata prosentase *error* 0,02%.

Grafik hubungan antara jumlah pulsa *output* terhadap nilai sudut putar motor disajikan pada Gambar 12.

TABEL III.
 HASIL PENGUJIAN SUDUT PUTAR MOTOR STEPPER DENGAN
 METODE START – STOP

No	Setting sudut putar	Setting Jumlah Pulsa pada PLC	Posisi sudut terukur (derajat)	Selisih	error (%)	Kondisi Motor Stepper
1	2°	3	2°	0	0,00	sudut putar sesuai
2	5°	6	5°	0	0,00	sudut putar sesuai
3	11°	12	10°	1	0,09	sudut putar sesuai
4	22°	25	20°	2	0,09	sudut putar sesuai
5	45°	50	45°	0	0,00	sudut putar sesuai
6	90°	100	90°	0	0,00	sudut putar sesuai
7	180°	200	180°	0	0,00	sudut putar sesuai
8	360°	400	360°	0	0,00	sudut putar sesuai

Dari grafik tersebut tampak bahwa kenaikan nilai jumlah pulsa *output* mengakibatkan motor berputar dengan nilai sudut tertentu. Pengujian kecepatan putar dan pengujian sudut putar pada motor stepper dengan menggunakan PLC sebagai pusat kontrolnya diperlukan untuk mengetahui tingkat keakuratan dan kepresisian gerak putar dan kecepatan motor stepper terhadap nilai *setting point* kecepatan putar dan sudut putar yang telah diatur pada PLC.

Dari hasil pengujian kecepatan putar dan sudut putar atau posisi dari gerak motor stepper diperoleh hasil pengujian yang mendekati nilai *setting point* dan diperoleh karakterisasi dari metode *start-stop* bahwa penerapan metode ini cocok diaplikasikan untuk kecepatan putar rendah, sedangkan untuk pengujian sudut putar tidak berpengaruh terhadap kecepatan putar pada motor stepper. Semua pengujian yang dilakukan pada penelitian ini pada kondisi motor tanpa beban sehingga pengujian penerapan metode *start-stop* ini bisa diketahui karakteristiknya.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

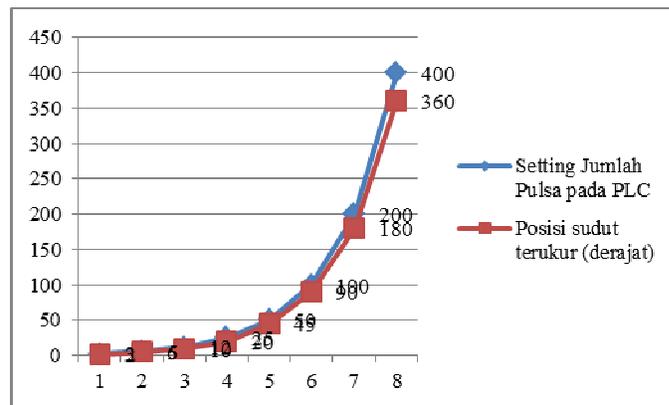
Berdasarkan hasil pengujian kendali kecepatan dan sudut putar motor stepper, maka peneliti dapat mengambil kesimpulan:

A. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian kendali kecepatan dan sudut putar motor stepper dapat disimpulkan bahwa:

Dengan menerapkan metode *start-stop* pada kendali kecepatan putar, motor stepper mampu berputar secara normal dengan *setting* kecepatan antara 30 rpm – 240 rpm.

Pada kendali sudut putar, motor stepper mampu bergerak dengan sudut putar dari 2° – 360°.



Gambar 12. Grafik Hubungan Jumlah Pulsa *output* dengan Sudut Putar Motor

Metode *start – stop* sangat cocok diaplikasikan untuk kendali motor stepper dengan kecepatan rendah.

B. SARAN

Untuk menguji respon kendali diperlukan pembebanan pada motor stepper sehingga bisa diketahui respon kendali yang diterapkan. Penelitian ini merupakan tahap awal untuk mengetahui karakter dari penerapan metode *start-stop* dengan PLC dan nantinya bisa dikembangkan lagi dengan metode yang lain untuk mengetahui karakter dari sistem kendali yang diterapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Alidoust Aghdam and S. Saeidi Haghi, "Implementation of high performance microstepping driver using fpga with the aim of realizing accurate control on a linear motion system," *Chinese J. Eng.*, vol. 2013, pp. 1–8, 2013.
- [2] F. A. Silaban, S. Budiyanto, and W. K. Raharja, "Stepper motor movement design based on FPGA," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 151–159, 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i1.pp151-159.
- [3] Y. Lv, C. Xu, H. Guo, and Y. Liu, "Research on Sliding Mode Control of Two-phase Hybrid Stepper Motor Based on New PI Current Algorithm," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1449, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1449/1/012043.
- [4] T. L. I. Virgala, M. Kelemen, A. Gmitterko, "Control of Stepper Motor by Microcontroller," *J. Autom. Control*, vol. 3, no. 3, pp. 131–134, 2015.
- [5] S. G. Zain, "Prototipe Antena Tracker Menggunakan Motor Stepper Nema 23 sebagai Aktuator 2 Axis," *Pros. Semin. Nas. LP2M UNM*, pp. 907–913, 2019.
- [6] K. Chakraborty, N. Chand, and B. Roy, "Design and Development Stepper Motor Position Control System Using Atmel 85c51 Microcontroller," vol. 9359, no. 12, pp. 44–48, 2013.
- [7] V. Ricci, S.; Meacci, "Simple Torque Control Method for Hybrid Stepper Motors Implemented in FPGA," *Electronics*, 2018.
- [8] K. Derammelaere, S.; Vervisch, B.; Belie, F.D.; Vanwalleghem, B.; Cottyn, J.; Cox, P.; Abeele, G.V.D.; Stockman and Vandeveldel, "The Efficiency of Hybrid Stepping Motors: Analyzing the Impact of Control Algorithms," *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 20, pp. 50–60, 2014.
- [9] Syahrul, "MOTOR STEPPER: TEKNOLOGI, METODA DAN RANGKAIAN KONTROL," bandung, pp. 187–201.
- [10] "Mengenal Motor Stepper."

<https://www.andalanelektro.id/2021/01/mengenal-motor-stepper.html>.

- [11] “No Title,” [Online]. Available: <https://id.aliexpress.com/item/32843462754.html>.
- [12] “No Title.” <https://octopart.com/cpl1e-n40dt1-d-omron-20087015>.
- [13] OMRON, *CPIE CPU Unit Software User Manual*. Tokyo, Jepang, 2010.
- [14] E. Setyaningsih and S. S. Dhidik Prastiyanto, “Penggunaan Sensor Photodiode sebagai Sistem Deteksi Api pada Wahana Terbang Vertical Take-Off Landing (VTOL),” *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 53–59, 2017.

TENTANG PENULIS



Penulis bernama lengkap Budi Cahyo Wibowo, penulis kelahiran Kudus, 27 Desember 1982 adalah anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Wagimin dan Ibu Ngasilah. Tamat pendidikan Sekolah Dasar di SDN 2 Mijen Kudus pada tahun 1995, kemudian melanjutkan sekolah tingkat pertama di SMPN 01 Kaliwungu dan lulus pada tahun 1998, untuk jenjang

sekolah menengah atas, penulis melanjutkan sekolah di SMK Muhammadiyah Kudus dan lulus pada tahun 2001. Untuk jenjang Strata 1, penulis mengambil program pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik di Universitas Muria Kudus dan lulus pada tahun 2013. Untuk jenjang Strata 2, penulis mengambil program Magister Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri di Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan lulus pada tahun 2016.