

Scaling data PLC sebagai pengontrol motor *stepper* penggerak ulir *extruder*

Muhamad Rifa'i¹, Herwandi², Hari Kurnia Safitri³, Abrar Kadafi⁴

e-mail: muh.rifai@polinema.ac.id, herwandi@polinema.ac.id, hari.kurnia@polinema.ac.id,
abrarkadafi@gmail.com

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 3 Agustus 2021

Direvisi 17 Oktober 2021

Diterbitkan 29 Oktober 2021

Kata kunci:

Scaling data

PLC

Motor Stepper

Extruder

Setpoint

Keywords:

Scaling data

PLC

Motor Stepper

Extruder

Setpoint

ABSTRAK

Scaling data PLC untuk penggerak motor *stepper* pada sistem *extruder* memengaruhi bentuk produk yang dihasilkan saat proses ekstrusi melalui kecepatan putar dan torsi motor. Produk hasil cetakan akan gagal jika kecepatan putar motor *stepper* terlalu cepat atau lambat karena pengaruh torsi motor yang bekerja. Dibutuhkan pembatasan kecepatan putar motor *stepper* menjadi beraturan untuk menghindari kegagalan proses ekstrusi. Tujuan penelitian ini adalah mendesain *scaling setpoint* dan kecepatan putar motor (rpm) beserta torsi motor (Nm) untuk kontrol torsi motor melalui kecepatan putar motor *stepper*. Metode yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif data *scaling* dengan menggunakan persamaan matematis *scaling setpoint*, kecepatan putar motor (rpm) dan torsi motor (Nm). Data hasil didapatkan melalui pengujian simulasi persamaan matematis *scaling* pada PLC dengan sampel *input* periode pulsa *setpoint* antara 100us sampai 1000us. Hasil pengujian dengan daya motor 24Watt menunjukkan kecepatan putar motor *stepper* antara 49,3rpm sampai 9,4rpm berbanding terbalik dengan torsi motor *stepper* antara 0,49Nm sampai 2,55Nm. Pada *setpoint* 800us didapatkan hasil *scaling setpoint* 820us nilai *error* sebesar 2,5%, cukup ideal diaplikasikan dengan kecepatan putar 11,4rpm serta torsi 2,1Nm untuk menjalankan *extruder* dimensi kecil.

ABSTRACT

PLC data scaling for stepper motor drive in extruder system affects the shape of product produced during extrusion process through motor rotational speed and torque. Printed product will fail if rotational speed of stepper motor is too fast or slow due the working torque influence of the motor. It is necessary to limit rotational speed of stepper motor to be regular to avoid failure of extrusion process. The purpose of this research is design scaling setpoint and motor rotational speed (rpm) along with motor torque (Nm) to control motor torque through stepper motor rotational speed. Method used is quantitative experimental data scaling using mathematical equations of scaling setpoint, motor rotational speed (rpm) and motor torque (Nm). Result data is obtained by simulation testing the scaling mathematical equation on PLC with input samples of the setpoint pulse period between 100us to 1000us. Test results with 24Watt motor power show that stepper motor rotational speed is between 49.3rpm to 9.4rpm and inversely proportional to stepper motor torque between 0.49Nm until 2.55Nm. At 800us setpoint, the 820us setpoint scaling results in error value of 2.5%, which is ideal for application with rotational speed of 11.4rpm and torque of 2.1Nm to run small-dimensional extruder.

Penulis Korespondensi:

Abrar Kadafi,

Jurusan Teknik Elektro,

Politeknik Negeri Malang,

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia.

Email: abrarkadafi@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Extruder merupakan sistem *injection molding* yang umumnya digunakan industri produk cetakan bahan plastik. Penggunaan *extruder* pada lingkup industri berpengaruh baik dalam meningkatkan proses produksi melalui efisiensi waktu. *Extruder* bekerja berdasarkan prinsip *injection and feeding* pada *mold* (cetakan) melalui ulir hingga tercetak suatu produk pada *mold*. Aplikasi *extruder* memerlukan ketelitian putaran bersamaan torsi yang memadai terkait beratnya beban proses ekstrusi. Ketidaktepatan *setting* putaran motor mengakibatkan bentuk produk pada *mold* tidak tercetak sempurna bahkan gagal. Dibutuhkan ketepatan *setting* kecepatan putar motor guna menghasilkan produk sesuai bentuk *mold*.

PLC yang digunakan sebagai pengontrol suhu untuk sistem pasteurisasi telur cair, pengontrol suhu pada dasarnya menggunakan data *scaling* untuk *range* suhu yang akan dikontrol, sehingga sistem tersebut diaplikasikan dengan konsep yang sama berupa data *scaling* dalam PLC [1]. Variabel yang dikontrol berupa periode pulsa untuk putaran motor *stepper*. Penggunaan motor *stepper* sebagai penggerak saklar pemindah otomatis dengan *plant* yang dikontrol berupa saklar, dimana kesesuaian motor *stepper* untuk *plant* saklar dengan pengaturan *degree per step* diimplementasikan dengan metode jumlah *pulse/rev* yang sama melalui *driver* namun untuk memutar *plant* ulir *Extruder* [2]. Prinsip ekstrusi untuk pembuatan kabel optik diaplikasikan dengan konsep yang sama pada pemanasan bahan biji plastik [3].

Pada penelitian ini, motor *stepper* digunakan sebagai *actuator* untuk memutar *plant* ulir *extruder* [4]. Penggunaan jenis motor *stepper* merujuk pada keandalan putaran berkat *stepping* yang meningkatkan ketelitian putar dengan pengaturan *pulse/rev* melalui *driver* motor *stepper* [5]. Fokus lain penggunaan motor *stepper* dirancang bekerja pada kecepatan putaran rendah serta torsi tinggi [6], sehingga sesuai diaplikasikan pada proses ekstrusi dengan kecepatan rendah untuk hasil cetakan yang padat namun kekuatan torsi motor yang tinggi sebagai penggerak *plant* (ulir *extruder*) [7].

Penggunaan *controller* menyesuaikan dengan fitur-fitur yang ada serta ketersediaan *controller* itu sendiri. PLC Siemens Simatic S7-200 CPU224 dengan *voltage supply* +24VDC tipe DC/DC/DC dipilih dengan pertimbangan fitur-fitur yang memadai serta ketersediaan *unit* dalam jumlah banyak [8]. Linieritas PLC dengan berbagai industri yang mengaplikasikan *controller* tersebut juga merupakan alasan kuat penggunaan PLC, terlebih ulir *extruder* sebagai *plant* merupakan miniatur dari mesin *extruder* sesungguhnya pada industri.

Scaling data dimasukkan di dalam *subroutine* PLC dengan bahasa pemrograman *ladder diagram* [9]. *Scaling* data yang akan dimuat berupa operasi aritmatik untuk *scaling setpoint*, *scaling* kecepatan putar motor, dan *scaling* torsi yang masing-masing ditempatkan pada *subroutine* berbeda. Data *scaling* tersebut akan dikeluarkan pada PWM (*Pulse Width Modulation*) *output* PLC untuk memutar motor *stepper* [10].

Motor *stepper* yang digunakan sebagai penggerak ulir *extruder* adalah Nema-23 dengan torsi mencapai 2,8Nm serta arus motor 3A [11]. Nema-23 adalah jenis motor *stepper variable reluctance* yang berputar akibat gigi-gigi rotor tertarik oleh kutub-kutub *stator* karena daya tarik magnet yang bergerak saat teraliri arus listrik [12]. Pada penelitian motor *stepper* Nema-23 diputar secara *slew-mode* dengan satu arah putar (*unipolar*) ke kiri/CCW (*Counter ClockWise*) [13]. Penentuan arah putar motor ke kiri menyesuaikan bentuk ulir agar gaya dorongnya kedepan (kearah *mold*) [14]. Nema-23 adalah Motor *Stepper 2-Phase* dengan dua lilitan (A,B) serta 4 kabel yang tiap *phasenya* berpolaritas (A+,A-,B+,B-).

Driver untuk motor *stepper* Nema-23 adalah TB6600 yang kompatibel maksimal arus Motor 4A. *Driver* TB6600 dapat dicatu daya 9-40VDC, serta sesuai untuk motor *stepper 2-phase*. Terdapat *dipswitch* dengan tabel keterangan pada fisik depan untuk konfigurasi arus yang dialirkan ke motor, serta jumlah *pulse/rev* 360°. Pada penelitian ini arus yang dialirkan ditentukan 1A sehingga masih aman di bawah spesifikasi arus motor *stepper* 3A untuk menghindari *overheat* pada *driver*. *Stepping* motor diatur nilai tertinggi 6400*pulse/rev*, artinya dibutuhkan 6400 pulsa untuk mencapai satu putaran penuh, dampaknya pada gerakan *stepping* motor yang halus serta dapat memaksimalkan torsi dengan kecepatan putar rendah [15]. *Scaling* data dari PLC akan dihubungkan ke *driver* pada *pin pulse* serta pada *pin direction* diberikan logika *high* untuk arah putar motor CCW. Diperlukan resistor 2K Ω sesuai *datasheet driver* pada *signal pin* untuk *stepdown* tegangan menjadi +5VDC bila disambungkan dengan PLC dari *supply* +24VDC.

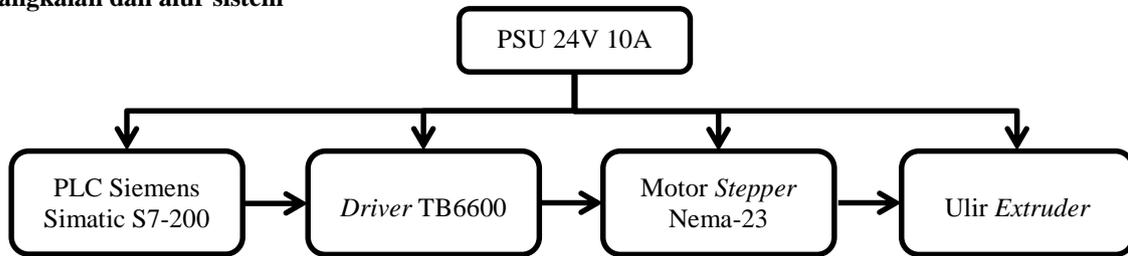
Mengacu data *input* motor yang masuk ke *driver* berupa PWM, adanya *scaling* di dalam PLC untuk menghubungkan data *output* PWM dari PLC ke *driver*. Proses *scaling* berhubungan dengan operasi aritmatika yang menyamakan data *setpoint* dengan fungsi pewaktuan (PWM) yang diikuti nilai keuan torsi yang bekerja pada motor. Tujuan penelitian data *scaling* pada PLC adalah mendapatkan pengaturan respon putar yang terbaik agar motor *stepper* dapat memutar ulir *extruder* dengan kecepatan serta torsi yang tepat agar proses ekstrusi berlangsung dengan baik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ditujukan untuk mengamati hasil *scaling* data terhadap *setpoint* periode pulsa motor. Metode kuantitatif eksperimen digunakan pada penelitian ini dengan mengkaji persamaan matematis yang digunakan sebagai rumus *scaling* data, dan diterapkan pada pengujian ekstrusi untuk mendapat data hasil. *Scaling* data yang diteliti dibagi menjadi 3 bagian yaitu *scaling setpoint* untuk membatasi *range setpoint* periode pulsa motor, *scaling rpm* untuk menampilkan kecepatan putar motor sesuai periode pulsa motor yang sedang bekerja, serta *scaling torsi* untuk

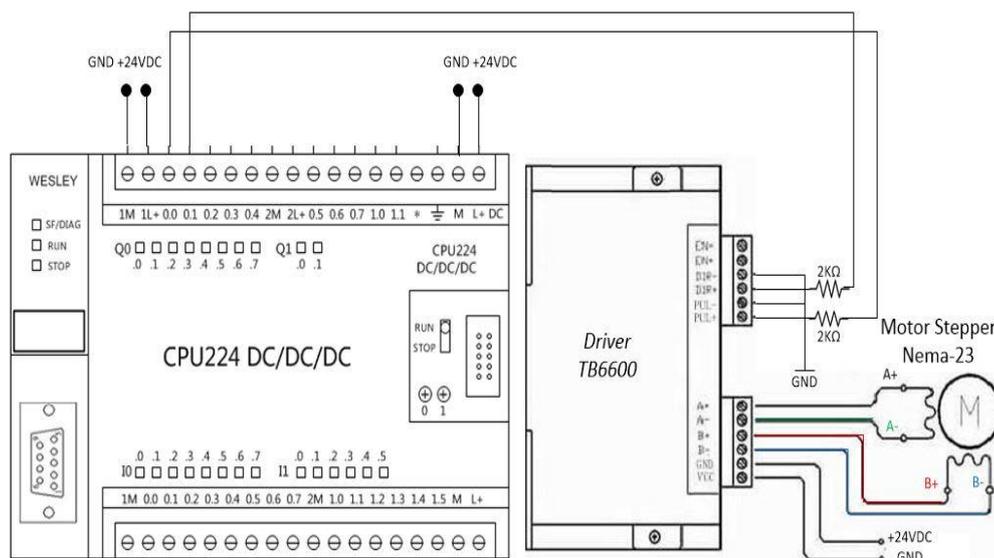
menampilkan besaran torsi yang bekerja pada motor sesuai kecepatan putar motor. Ulir *extruder* dibuat dari material besi pejal untuk mengompensasi suhu ekstrusi yang cukup tinggi (130° - 160° C), digerakkan oleh motor *stepper* Nema-23 dengan *driver* motor TB6600 sebagai actuator, serta dikendalikan oleh PLC Siemens S7-200 CPU224. Dimensi ulir menyesuaikan ukuran bahan plastik (*pellet*) dengan diameternya 5mm, cukup ringkas untuk menghasilkan cetakan skala kecil.

2.1 Rangkaian dan alur sistem



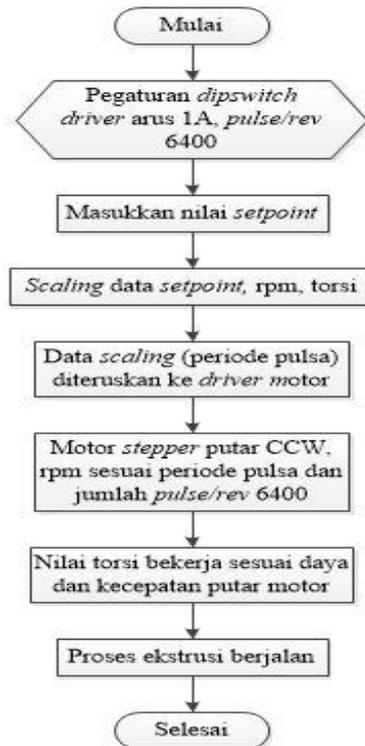
Gambar 1. Blok diagram sistem

Gambar 1 adalah blok diagram sistem pada penelitian ini yang menerapkan sistem *open-loop* tanpa sensor sebagai *feedback*. PLC dan *driver* TB6600 tersambung ke *supply* +24VDC. PLC memuat data *scaling* untuk diteruskan ke *driver*. Motor *stepper* berputar sesuai nilai periode pulsa yang masuk ke *driver*. Putaran motor *stepper* diikuti dengan putaran ulir *extruder* untuk keberlangsungan proses ekstrusi.



Gambar 2. Skematik *wiring* sistem

Gambar 2 adalah rangkaian skematik *wiring* sistem. PLC, *driver* dengan motor *stepper*, terhubung oleh satu *supply* +24VDC serta satu *grounding*. *Pin pulse* pada *driver* terhubung ke *pin* Q0.0 PLC yang merupakan *pin* khusus untuk *output* PWM. *Pin direction* pada *driver* terhubung ke *pin* Q0.1 PLC dengan kondisi logika *high* untuk arah putar CCW pada motor *stepper*. *Pin high voltage* dan *pin signal* tersambung ke PLC dengan penambahan resistor 2KΩ. Terdapat 4 buah kabel pada motor *stepper*, masing-masing warna dihubungkan ke *phase* dan polaritas yang sesuai pada *driver*. Kabel hitam terhubung ke A+, kabel hijau ke A-, kabel merah ke B+, kabel biru ke B-.

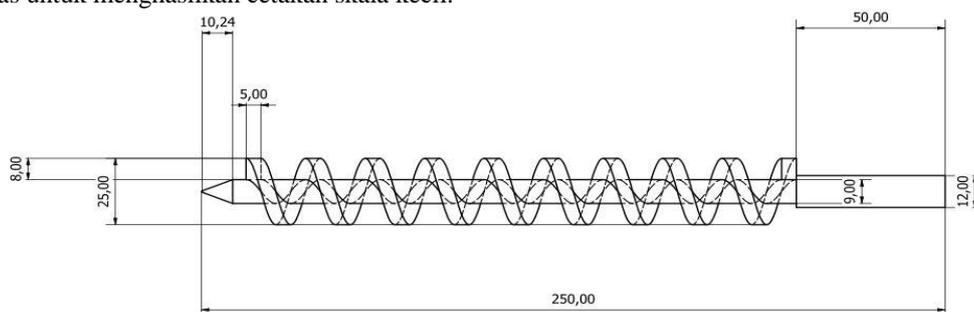


Gambar 3. Diagram alir sistem

Gambar 3 merupakan diagram alir dari sistem. Sistem pengontrol motor *stepper* penggerak ulir *extruder* dimulai dengan pengaturan *dipswitch* pada *driver* untuk arus motor dan jumlah *pulse/rev*. *Pulse/rev* pada *driver* menunjukkan berapa banyak jumlah langkah motor *stepper* mencapai satu kali putaran 360° . *Range pulse/rev* pada *driver* antara 200 hingga 6400 serta arus dari 0,5A hingga 4A. Pada penelitian ini, arus motor *stepper* Nema-23 diatur konstan sebesar 1A, sedangkan jumlah *pulse/rev* diatur nilai tertinggi 6400 *pulse/rev* agar respon putaran motor halus. *Setpoint* yang dimasukkan untuk proses *scaling* berupa nilai periode pulsa. *Scaling* data *setpoint* disertakan operasi aritmatik untuk memberi batas atas dan batas bawah nilai *setpoint* yang dimasukkan. *Scaling* kecepatan putar motor dan *scaling* torsi disertakan untuk proses *monitoring* kecepatan putar motor. Kekuatan torsi yang bekerja pada motor disertakan untuk *monitoring* putaran motor *stepper* pada saat program PLC disimulasikan. Persamaan matematis untuk *scaling* kecepatan putar motor nilainya bergantung pada jumlah *step/360°* serta periode pulsa *setpoint*. Proses ekstrusi akan berjalan saat motor *stepper* memutar ulir *extruder*. Proses ekstrusi masih dapat dimodifikasi bila terhubung dengan keseluruhan sistem injeksi *molding* seperti penambahan *delay* untuk putaran motor *stepper*, atau pengaplikasian sensor torsi.

2.2 Ulir *extruder*

Bahan plastik (*pellet*) yang digunakan pada proses ekstrusi adalah jenis HDPE (*High Density Polyethylene*), merupakan bahan plastik yang umum digunakan untuk pipa. HDPE sifatnya kaku dengan titik leleh 130°C , sehingga tidak diperlukan suhu tinggi dalam proses ekstrusi namun HDPE tidak mudah meleleh. Gambar 4 adalah desain ulir *extruder* dan Gambar 5 adalah ulir ekstruder yang dibuat dari material besi pejal untuk mengompensasi suhu ekstrusi yang cukup tinggi ($130^\circ\text{--}160^\circ\text{C}$). Dimensi ulir menyesuaikan ukuran bahan plastik (*pellet*) dengan diameternya 5mm, cukup ringkas untuk menghasilkan cetakan skala kecil.

Gambar 4. Desain ulir *extruder*



Gambar 5. Ulir extruder

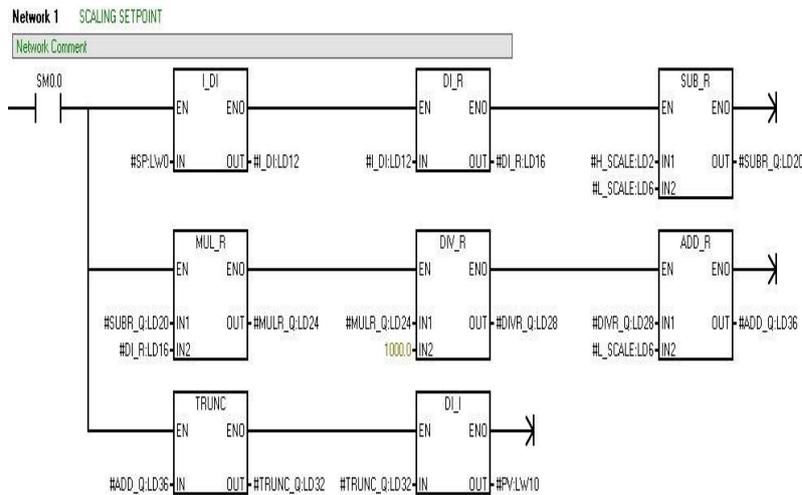
2.3. Scaling data setpoint

Scaling data setpoint bertujuan sebagai limitasi nilai input yang dimasukkan. Limitasi pada nilai atas dan bawah agar range setpoint spesifik dan tidak terlalu luas, terlebih penggunaan motor stepper hanya dapat berputar pada kecepatan rendah. Hasil data scaling juga bergantung pada batas atas dan bawah yang dimasukkan dalam subroutine PLC, sehingga data yang dapat diubah pada main program PLC hanya setpoint periode pulsa dengan satuan microsecond (us). Rumus yang scaling Setpoint digunakan pada persamaan (1).

$$Scaling\ SP = \frac{(HS - LS) \times SP}{HS} + LS \tag{1}$$

Keterangan

- HS : High Scale (batas atas)
- LS : Low Scale (batas bawah)
- SP : SetPoint (periode pulsa)



Gambar 6. Subroutine scaling setpoint

Ladder diagram pada Gambar 6 merupakan interpretasi dari persamaan (1). Function block disusun sesuai operasi matematis yang sesuai untuk menghasilkan data scaling setpoint.

2.4 Scaling data RPM

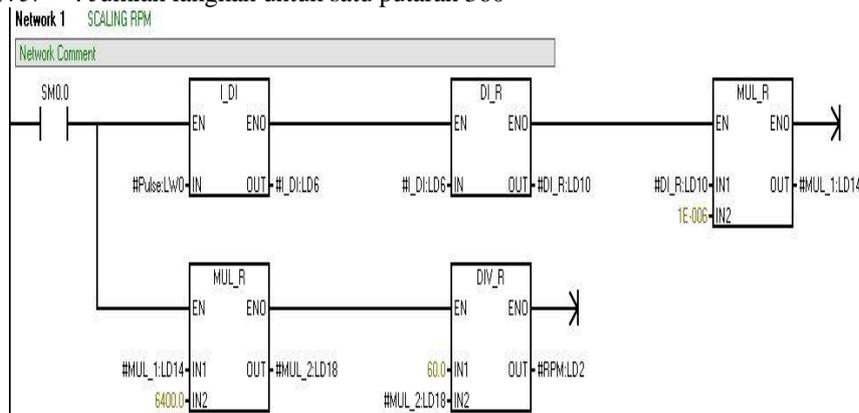
Scaling data kecepatan putar motor bertujuan memonitoring putaran motor stepper. Nilai setpoint merupakan periode pulsa, maka adanya scaling kecepatan putar motor, diterjemahkan periode pulsa Setpoint tersebut menjadi rpm agar mudah dalam proses monitoring. Nilai rpm dapat teramati melalui hasil scaling saat ladder diagram tersimulasi. Hasil scaling kecepatan putar motor bergantung pada nilai setpoint dan pengaturan jumlah pulse/rev pada driver motor stepper dengan persamaan matematis yang digunakan pada persamaan (2).

$$RPM = \frac{60}{SP \times (Step/360^\circ)} \tag{2}$$

Keterangan

- RPM : Rotate per minute (jumlah putaran per menit)
- 60 : Konstanta jumlah sekon per menit
- SP : Setpoint (periode pulsa)

- *Pulse/rev* : Jumlah langkah untuk satu putaran 360°



Gambar 7. Subroutine scaling rpm

Ladder diagram pada Gambar 7 merupakan interpretasi dari persamaan (2). *Function block* disusun sesuai operasi matematis yang sesuai untuk menghasilkan data *scaling* kecepatan putar motor.

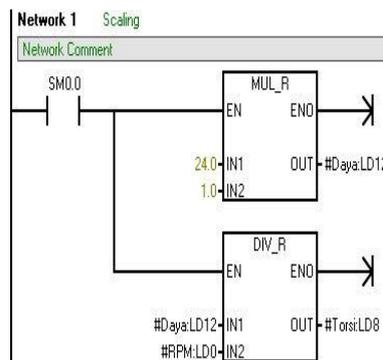
2.5 Scaling data torsi

Scaling data torsi berfungsi mengetahui kekuatan motor bekerja. Kekuatan torsi yang bekerja pada motor bergantung pada daya dan kecepatan putar motor. Daya motor ditentukan oleh besar tegangan serta arus yang diterima, dengan tegangan motor *stepper* Nema-23 konstan +24VDC, arus motor dapat diubah antara 0,5A sampai 4A melalui *dipswitch driver*. Jika arus motor ditentukan konstan 1A, daya motor nilainya *fixed* sehingga *tuning* kekuatan torsi hanya bergantung pada kecepatan putar motor. *Scaling* data torsi memuat persamaan matematis untuk perhitungan nilai torsi pada persamaan (3).

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{V \times I}{\omega} \tag{3}$$

Keterangan

- *T* : Kekuatan torsi motor (Nm)
- *P* : Daya motor (watt)
- *V* : Tegangan motor (V)
- *I* : Arus motor pada *dipswitch driver* (A)
- ω : Kecepatan putar motor (rpm)



Gambar 8 Subroutine scaling torsi

Ladder diagram pada Gambar 8 merupakan interpretasi dari persamaan (3). *Function block* disusun sesuai operasi matematis yang sesuai untuk menghasilkan data *scaling* kekuatan torsi motor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian output scaling

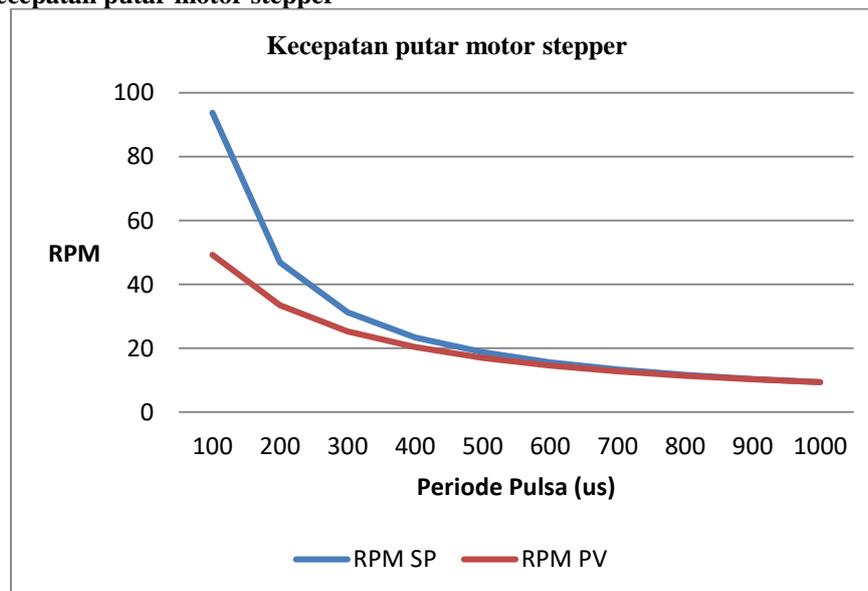
Hasil *output scaling* berdasarkan masukan periode pulsa *setpoint* 100us sampai 1000us. Kecepatan putar motor (RPM) dengan masukan periode pulsa sebelum *scaling setpoint* (SP) perhitungan persamaan (2) dibandingkan dengan masukan periode pulsa setelah *scaling setpoint* (PV). Hasil pengujian dapat dilihat pada TABEL I.

Tabel 1. Hasil pengujian *output scaling*

Periode SP (us)	Periode PV (us)	RPM SP	RPM PV	%Error
100	190	93,8	49,3	90%
200	280	46,9	33,5	40%
300	370	31,3	25,3	23%
400	460	23,4	20,4	15%
500	550	18,8	17	10%
600	640	15,6	14,6	6,7%
700	730	13,4	12,8	4,3%
800	820	11,7	11,4	2,5%
900	910	10,4	10,3	1,1%
1000	1000	9,4	9,4	0%
Rata-rata %error				19,26%

Presentase *error* dari besar mengecil pada periode pulsa dari kecil membesar. Selisih *error* akibat selisih *scaling setpoint* yang mempengaruhi kecepatan motor dengan *setpoint* periode pulsa sebelum dan sesudah di *scaling setpoint*. Presentase *error* sangat besar antara 90% sampai 15% terjadi pada *setpoint* periode pulsa 100us sampai 400us. *Error* cukup aman dengan presentase 10% pada *setpoint* periode pulsa 500us. Presentase *error* 0% hanya pada *setpoint* periode pulsa 1000us.

3.2 Pengujian kecepatan putar motor stepper

Gambar 8. Grafik kecepatan putar motor *stepper*

Gambar 8 menunjukkan kecepatan putar motor dibandingkan antara *setpoint* periode pulsa sebelum dengan sesudah *scaling setpoint*. Kecepatan putar motor menunjuk turun bila tanpa *input* periode pulsa tanpa *scaling setpoint*, sedangkan pada *input* periode pulsa dengan *scaling setpoint* kecepatan putar motor turun lebih landai karena titik awal pada grafik dimulai dari tengah (setengah kecepatan RPM SP). Kecepatan putar motor riil (RPM PV) akan memengaruhi kekuatan torsi yang bekerja pada motor.

3.3 Pengujian torsi motor *stepper*

Kekuatan torsi yang bekerja pada motor merupakan hasil *scaling* data torsi menggunakan persamaan (3). Kecepatan putar motor (RPM) berdasarkan pengujian kecepatan putar motor setelah melalui *scaling setpoint* (RPM PV).

Tabel 2. Hasil pengujian torsi motor

Periode PV (us)	RPM (ω)	Torsi (Nm)
100	49,3	0,49
200	33,5	0,72
300	25,3	0,95
400	20,4	1,18
500	17	1,41
600	14,6	1,64
700	12,8	1,87
800	11,4	2,1
900	10,3	2,33
1000	9,4	2,55

Kekuatan torsi yang bekerja pada motor berbanding terbalik dengan kecepatan putar motor. Pada periode pulsa 100us kecepatan putar motor tinggi yaitu 49,3rpm sedangkan torsi motor rendah hanya 0,49Nm. Pada periode pulsa 1000us kecepatan putar motor turun ke 9,4rpm sedangkan torsi motor meningkat menjadi 2,55Nm. Keterbalikan nilai kecepatan putar motor dengan torsi motor linier sesuai persamaan (3).

4. KESIMPULAN

Scaling setpoint belum maksimal, terutama pada nilai *setpoint* rendah. Dari 10 percobaan dengan *range setpoint* 100us (batas bawah) sampai 1000us (batas atas), selisih *error* mulai terminimalisir pada *setpoint* 500us ke atas. Nilai *error* pada *setpoint* 400us ke bawah terlalu besar bila diaplikasikan pada proses ekstrusi. Selisih *error* yang terlalu besar dapat menurunkan efisiensi proses ekstrusi karena ketidakakuratan data yang terscaling. Penetapan periode pulsa untuk *setpoint* cukup aman dengan nilai 800us setelah terscaling menjadi 820us presentase *error* 2,5%, kecepatan putar motor 11,4rpm serta torsi 2,1Nm. Kecepatan putar dan torsi motor tersebut cukup untuk menggerakkan ulir dimensi sesuai Gambar 4. Kecepatan putar motor *stepper* akan memengaruhi kekuatan torsi motor dan harus disesuaikan dengan kebutuhan produk yang akan dicetak.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. W. O. R. Putri n/a; Siswojo, Bambang, "Pengendalian Suhu Pada Sistem Pasteurisasi Telur Cair Berbasis Plc (Programmable Logic Controller) Siemens Simatic S7-200 Dan Hmi (Human Machine Interface) Simatic Hmi Panel," *J. Mhs. TEUB*, no. Vol 2, No 3 (2014), pp. 1–8, 2014.
- [2] B. Syafarudin, Irwan; Anto, "Rancang Bangun Saklar Pemindah Otomatis Berpenggerak Motor Stepper Variable Reluctance Dengan Pengendali Mikrokontroler ATMega8535 Firman," *Jom FTEKNIK*, vol. 4, no. 2, pp. 9–15, 2017.
- [3] B. Ikam, "Pengaruh Temperatur Dan Line Speed Pada Proses Pembuatan Kabel Optik Yang Mengalami Kecacatan Diselubung Kabel Pada Mesin Extruder," *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, p. 1, 2016.
- [4] T. Suryana, "Desain Modifikasi Screw Extruder Untuk Meningkatkan Outflow Yang Optimal Dan Meniminalkan Cacat Produk Pada Plastik," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 19–27, 2019.
- [5] Fathoni, "Rancangan Rangkaian H Bridge untuk Motor DC 12V 5A," *ELTEK*, vol. 14, no. 01, 2016.
- [6] S. Buyung, "Analisis Perbandingan Daya dan Torsi pada Alat Pemetong Rumput Elektrik (APRE)," vol. 3, no. 1, pp. 1–4, 2018.
- [7] I. Yulianto, Rspianda, and H. Prasetiyo, "Rancangan Desain Mold Produk Knob Regulator Kompor Gas pada Proses Injection Molding," *Reka Integr.*, vol. 2, no. 3, pp. 140–151, 2014.
- [8] Siemens AG, "S7-200 Programmable Controller System Manual," *Control*, 2008.
- [9] A. J. F and A. Prabowo, "Mengendalikan Pintu Otomatis Menggunakan PLC Siemens LOGO 230 RC," pp. 133–140.
- [10] R. I.S and Hartono, "Rancang Bangun Pulse Width Modulation (PWM) sebagai Pengatur Kecepatan Motor DC Berbasis Mikrokontroler Arduino," pp. 50–58.
- [11] Sorotec, "TB6600 Stepper motor driver," pp. 1–16, 2008.
- [12] Syahrul, "A Programme for Determination of Codons and Codons Context Frequency of Occurrence in Sequenced Genomes," *Biotechnol. Biotechnol. Equip.*, vol. 26, no. 5, pp. 3310–3314, 2012.
- [13] P. P. Kalatiku and Y. Y. Joeffie, "Pemrograman Motor Stepper dengan Menggunakan Bahasa Pemrograman C."
- [14] F. Septianto *et al.*, "Analisa Penurunan Efisiensi Motor Induksi Akibat Cacat pada Cage Ball Bantalan," vol. 4, no. 4, pp. 397–407, 2015.
- [15] A. Febrianto and A. Santoso, "Analisa Perbandingan Torsi dan RPM Turbin," vol. 5, no. 2, 2016.