

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SEMI AUTOMATIC T-SHIRT FOLDING MACHINE MENGGUNAKAN METODE FUZZY PROPORTIONAL DERIVATIVE (FPD)

Erwin Sukma Bukardi¹, Wahyu Setyo Pambudi²
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Internasional Batam
Jl. Gajahmada Baloi Sei Ladi Batam 29422
Telp. (0778) 7437111 ext. 130, Faks. (0778) 7437112
E-mail: 1) awe.dunhill@gmail.com
2) pambudi@uib.ac.id; yoe2fa@yahoo.com

ABSTRAKS

Usaha laundry merupakan salah satu usaha mikro yang sedang menjamur saat ini. Banyak strategi digunakan oleh pelaku usaha untuk meningkatkan produktivitas dan kepuasan konsumen. Berdasarkan penelitian, proses menyetrika dan melipat pakaian adalah proses yang membutuhkan waktu lama dibandingkan dengan proses mencuci dan mengeringkan, sehingga dibutuhkan metode atau alat agar melipat pakaian menjadi lebih praktis. Metode yang telah dikembangkan adalah *Terapsi*. Namun penggunaan *Terapsi* masih secara manual. Oleh karena itu, pada penelitian ini dirancang dan dibuat mesin pelipat pakaian semi-otomatis (*semi-automatic folding machine*) dengan desain bentuk lebih dinamis, bahan yang lebih kuat, dan tahan lama. Sistem kendali Fuzzy Proportional Derivative yang dirancang akan ditanamkan pada mikrokontroler sebagai pengendali pergerakan motor pada lengan pelipat (*flip folder*) mesin. *Set point* yang diberikan berupa sudut alas lengan pelipat terhadap dasar (*base*) dari mesin. Nilai keluaran sensor rotary encoder dibandingkan dengan *set point*. Selanjutnya, nilai error yang dihasilkan akan digunakan untuk menentukan aksi kontrol untuk pergerakan motor. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa pergerakan masing-masing *flip folder* akan bergantung pada motor DC. Implementasi metode FPD dengan 2 nilai masukan error (*Err*) dan delta error (Δ *Err*) dari pembacaan nilai sensor rotary encoder yang dikonversi ke satuan sudut dengan 5 membership function. Lama waktu pelipatan dalam satu siklus proses pelipatan mesin dan 1 helai baju adalah 9,56 detik dibandingkan dengan pelipatan manual 1 helai baju adalah 16,42 detik, ini membuktikan bahwa penerapan metode FPD pada Semi Automatic T-Shirt Folding Machine berjalan dengan baik dalam mengontrol pergerakan motor DC.

Kata Kunci: Lengan Pelipat, Motor Dc, Fpd

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu dari usaha mikro yang saat ini sedang menjamur adalah usaha *laundry*, usaha *laundry* ini semakin semarak karena gaya hidup masyarakat yang ingin lebih praktis. Pelaku usaha *laundry* ini tentu memikirkan strategi-strategi yang akan mereka gunakan untuk meningkatkan produktivitas dan kepuasan konsumen, seperti *service* yang baik dan memilih teknologi yang cocok untuk mendukung usaha. Proses menyetrika dan melipat pakaian adalah proses yang membutuhkan waktu lama, hal ini disebabkan karena masih dilakukan secara manual (tradisional). Proses menyetrika dan melipat pakaian merupakan proses yang penting dalam usaha *laundry*, karena yang menjadi salah satu tolak ukur kepuasan konsumen adalah kerapian pakaian pada saat diserahkan kepada konsumen. Untuk dapat menghemat waktu tentu saja dibutuhkan alat bantu untuk melipat pakaian. Salah satu metode yang telah dikembangkan adalah *Terapsi*. *Terapsi* adalah alat pelipat pakaian yang terbuat menggunakan bahan karton berukuran 60 cm x 80 cm ini dipotong

simetris untuk mendapatkan lipatan 3 bagian saat proses pelipatan. Ide munculnya mengembangkan *Terapsi* ini sejak awal Januari tahun 2012 oleh kelompok mahasiswa di Yogyakarta. Namun, penggunaan alat *Terapsi* masih menggunakan tangan untuk melakukan proses pelipatan dan masih bergantung pada kemampuan tenaga manusia sepenuhnya. Bentuk dan desain *Terapsi* masih sangat sederhana yaitu berbentuk lembaran tebal kertas karton yang dilapisi kertas furing, dan masih memerlukan meja untuk melakukan proses pelipatan. Bahan karton juga tidak tahan lama dan mudah robek karena terbuat dari kertas sehingga *lifetime* dari alat *Terapsi* cukup pendek 6 – 12 bulan (*Terapsi* Penyetrika Pelipat Baju, 2012).

Seiring dengan perkembangan teknologi mikrokontroler serta otomasi, alat pelipat baju ini dapat dibuat secara otomatis. Alat pelipat baju otomatis atau yang dinamai *Pasebos* ini dibuat oleh mahasiswa program studi Elektronika dan Instrumentasi Sekolah Vokasi UGM. *Pasebos* ini dibuat dari alat pelipat baju yang sudah banyak beredar di pasaran kemudian dimodifikasi dengan 3 motor servo bertegangan 6 volt sebagai penggerak

dari 3 buah *flip* dan dikontrol oleh mikrokontroler arduino, serta LCD 16x2 sebagai monitor kinerja Pasebos yang bisa digunakan untuk melipat baju ukuran orang dewasa (<https://ugm.ac.id/id/berita/10068-melipat.baju.cukup.sekali.pencet.dengan.pasebos>).

Berdasarkan hal ini akan dirancang dan dibuat mesin pelipat pakaian (*semi-automatic folding machine*) yang memperbaiki fungsi dari alat yang pernah dibuat. Pada penelitian ini akan mengaplikasikan mesin pelipat pakaian (*folding machine*) dengan metode sistem kendali *Fuzzy Proportional Derivative* (FPD). Pada perancangan mesin pelipat pakaian semi-otomatis ini, penggerak alas pelipat (*flip folder*) menggunakan motor DC yang dikontrol oleh *microcontroller*, jumlah *flip* yang digunakan sebanyak 4 buah *flip*. *Fuzzy Proportional Derivative* (FPD) digunakan sebagai kontrol posisi dan kecepatan motor DC dengan memanfaatkan pembacaan sensor *rotary encoder* (Widodo et al. 2008). Sistem kendali ini digunakan agar sistem berfungsi dengan baik serta memberikan performa dinamis pada motor DC untuk menggerakkan *flip folder* sehingga bentuk dari lipatan akan lebih baik dan rapi.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Alat Pelipat Pakaian (Terapsi)

Alat pelipat pakaian adalah sebuah alat bantu yang digunakan untuk melipat pakaian, dimana melipat pakaian merupakan kegiatan yang rutin dilakukan di rumah tangga maupun di kegiatan usaha pakaian seperti binatu (*laundry*). Alat pelipat pakaian sederhana telah dikembangkan oleh tangan kreatif lima orang anak bangsa dengan alat yang diberi nama *Terapsi* (Terapsi Penyetrika Pelipat Baju, 2012). Alat bantu pelipat ini sejak awalnya sengaja diciptakan untuk membantu aktifitas menyetrika dan melipat baju. Munculnya ide mengembangkan alat bantu pelipat pakaian ini oleh kelompok mahasiswa di Yogyakarta yaitu sejak awal januari tahun 2012. Menggunakan sehelai karton yang berukuran 60 x 80 cm yang dipotong simetris untuk mendapatkan lipatan tiga bagian.



Gambar 1. Terapsi Hasil Desain Mahasiswa di Yogyakarta

Sumber : (Terapsi Penyetrika Pelipat Baju, 2012)

Kemudian pelipat baju ini dikembangkan lagi teknologinya dengan menggunakan gabungan antara

3 buah motor servo dan *microcontroller* arduino, menjadi otomatis yang bernama Pasebos. Pasebos ini dilengkapi dengan LCD untuk memonitor kinerja Pasebos. Setelah dilakukan pengujian Pasebos ini memiliki waktu 6 detik untuk melipat 1 baju dengan 3 *flip* (<https://ugm.ac.id/id/berita/10068-melipat.baju.cukup.sekali.pencet.dengan.pasebos>).



Gambar 2. Mesin Pelipat Baju Pasebos

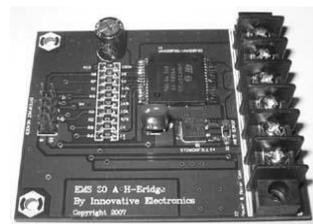
Sumber : (<https://ugm.ac.id/id/berita/10068-melipat.baju.cukup.sekali.pencet.dengan.pasebos>)

2.2 Motor DC

Motor DC merupakan jenis motor yang menggunakan tegangan searah (DC) sebagai sumber tenaganya. Pengaturan arah putaran motor dilakukan dengan mengubah arah polaritas yang mengalir melalui motor. Kecepatan motor DC dapat diatur dengan beberapa cara, yaitu dengan mengatur fluks medan, dengan mengatur tahanan jangkar, dan dengan mengatur tegangan sumber. Pengaturan tegangan sumber biasanya menggunakan metode PWM (*Pulse Width Modulation*).

2.3 EMS H-Bridge Driver Motor DC

Modul *driver* motor DC yang digunakan adalah *EMS 30A H-Bridge*. Secara garis besar, fungsi *driver* motor ini adalah untuk mengendalikan arah dan kecepatan putaran motor DC sesuai instruksi kendali dari mikrokontroler Arduino Mega 2560. Gambar 2.4 adalah modul *driver* motor DC *EMS 30A H-Bridge* menggunakan IC *VHN2SP30*.



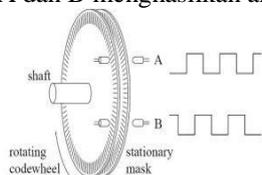
Gambar 3. Driver EMS 30A H-Bridge

Sumber : (<http://digiwarestore.com>)

Driver motor DC *EMS 30A H-Bridge* ini dapat mengendalikan arah putaran motor DC dalam dua arah dan dapat dikontrol dengan metode PWM (*Pulse Width Modulation*).

2.4 Incremental Rotary Encoder

Incremental rotary encoder terdiri dari dua *track* atau *single track* dan dua sensor yang disebut *channel A* dan *B* pada Gambar 2.6. Ketika poros berputar, deretan pulsa akan muncul di masing-masing *channel* pada frekuensi yang proporsional dengan kecepatan putar sedangkan hubungan fasa antara *channel A* dan *B* menghasilkan arah putaran.



Gambar 4. Piringan Incremental Encoder
Sumber : (Rizqiawan et al. 2009)

Pada *incremental encoder*, beberapa cara dapat digunakan untuk menentukan kecepatan yang diamati dari sinyal pulsa yang dihasilkan dengan menggunakan *frequencymeter* dan periodimeter (Rizqiawan et al. 2009). Persamaan hubungan antara kecepatan putar dengan periode seperti yang dijelaskan pada Persamaan (1) dibawah ini.

$$\omega_1 = \frac{\alpha f}{T} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- ω_1 = kecepatan putar,
- αf = sudut putaran satu periode pulsa encoder, dan
- T = selang waktu yang tetap.

2.5 Arduino Mega 2560

Arduino MEGA 2560 adalah sebuah *board* mikrokontroler yang berbasis ATmega2560. Arduino memiliki 54 pin *input/output* yang mana 15 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM, 16 pin analog *input*, 4 pin UART, *crystal osilator* 16 MHz, koneksi *USB*, *jack power*, kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino mampu *support* ke mikrokontroler, dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel *USB* atau listrik AC yang ke adaptor AC-DC atau baterai untuk menjalankannya. [Arduino](#) disebut juga *single board microcontroller* (mikrokontroler dalam satu papan rangkaian) yang bersifat *open source* dan sangat populer saat ini. Sistem [Arduino](#) adalah berupa *hardware* menggunakan *chip* Atmel AVR, *software* yang berupa bahasa pemrograman standar C, serta *bootloader* yang dipasang pada *chip* utama (Putra, A. I. et al. 2013).



Gambar 5. Arduino MEGA 2560
Sumber : (Putra, A. I. et al. 2013)

2.6 Fuzzy Logic

2.6.1 Fuzzy Logic

Logika *Fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Zadeh dari Universitas California di Berkeley (1965). *Fuzzy* secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar-samar, suatu nilai dapat bernilai benar maupun salah secara bersamaan. Dalam *fuzzy* dikenal derajat keanggotaan yang memiliki rentang nilai 0 (nol) hingga 1 (satu). Berbeda dengan himpunan tegas yang memiliki nilai 1 atau 0. Logika *Fuzzy* merupakan sesuatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran (*fuzzyness*) antara benar atau salah. Dalam teori logika *fuzzy* suatu nilai bisa bernilai benar atau salah secara bersama.



Gambar 6. Perbedaan Himpunan Tegas dan Himpunan Fuzzy
Sumber : (Yulianto, A. 2013)

2.6.2 Himpunan Fuzzy (Fuzzy Set)

Dalam teori logika *fuzzy* dikenal himpunan *fuzzy* (*fuzzy set*) yang merupakan pengelompokan sesuatu berdasarkan bahasa (*linguistic variable*), yang dinyatakan dalam fungsi keanggotaan [7]. Di dalam semesta pembicaraan (*universe of discourse*) U, fungsi keanggotaan dari suatu himpunan *fuzzy* tersebut bernilai antara 0,0 sampai dengan 1,0.

2.6.3 Fungsi Keanggotaan (Membership Function)

Fungsi keanggotaan dari suatu himpunan *fuzzy* dinyatakan dengan derajat keanggotaan suatu nilai terhadap nilai tegasnya yang berkisar antara 0,0 sampai dengan 1,0. Jika himpunan *fuzzy* (A), fungsi keanggotaan (μ_A), semesta (x), maka fungsi keanggotaan dalam suatu himpunan *fuzzy* dapat dinyatakan dengan, seperti Persamaan (2).

$$A = \{x, \mu_A(x) \mid x \in X\} \dots\dots\dots (2)$$

2.6.4 Fuzzifikasi (Fuzzification)

Proses fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non-*fuzzy* (variabel-numerik) menjadi variabel *fuzzy* (variabel linguistik). Nilai masukan yang masih dalam bentuk variabel numerik yang telah dikuantisasi sebelum diolah oleh pengendali *fuzzy* harus diubah terlebih dahulu kedalam variabel *fuzzy*.

2.6.5 Aturan Dasar Kontrol Logika Fuzzy (Rule Based)

Aturan dasar (*rule based*) pada kontrol *fuzzy* merupakan suatu bentuk aturan relasi / implikasi “Jika – Maka” atau “*if – then*” sebagai contoh adalah “Jika” S = 1 “Maka” M = 0.

Contoh dari aturan “Jika – Maka” ini pada pengendalian kecepatan motor DC dengan berdasarkan kondisi sensor jarak adalah sebagai berikut : “JIKA” deteksi jauh “MAKA” PWM motor DC naik.

2.6.6 Defuzzifikasi (Defuzzification)

Proses defuzzifikasi adalah pemetaan himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan keluaran yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai tegas (crisps) tertentu sebagai keluaran. Model strategi defuzzifikasi adalah:

1. Metode Mamdani.

Metode ini juga disebut dengan metode COG (Center Of Gravity) seperti pada Persamaan (3) berikut.

$$COG[C(z)] = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} zC(z)dz}{\int_{-\infty}^{\infty} C(z)dz} \dots\dots\dots (3)$$

2. Metode Sugeno.

Metode ini juga disebut WA (Weighted Average) atau COA (Center Of Area) seperti pada Persamaan (4) sebagai berikut ini.

$$WA = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m \alpha(i, j) * uc(i, j)}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m uc(i, j)} \dots\dots\dots (4)$$

2.7 Fuzzy Proportional Derivative (FPD) Controller

Kontroler PID merupakan gabungan tiga kontroler terpisah yaitu *Proportional*, *Integral*, dan *Derivative*. Masing – masing aksi kontrol ini memberikan kontribusi kontrol pada error yang terjadi (*Proportional*), jumlah error (*Integral*), dan perubahan error (*Derivative*). Kombinasi tiga kontroler ini dapat mempercepat *steady state*, mengurangi *over-shoot*, dan mengurangi *setting time* osilasi dari sistem yang dikontrol. Penggunaan *self tuning* PID pada sistem kontrol memberikan perbaikan secara signifikan stabilitas yang dinamis. Parameter penguat PID ditala secara adaptif *self tuning* (Widodo, B. 2008). Sinyal keluaran Fuzzy PD (*Proportional Derivative*), sedangkan sinyal keluaran PD analog adalah seperti pada Persamaan (5) sampai (7).

$$u(t) = Kp.E(t) + Kp.Td \frac{d e(t)}{dt} \dots\dots\dots (5)$$

$$u(t) = Kp.E(t) + Kd \frac{d e(t)}{dt} \dots\dots\dots (6)$$

$$U = Kp.E + Kd.CE \dots\dots\dots (7)$$

dimana :

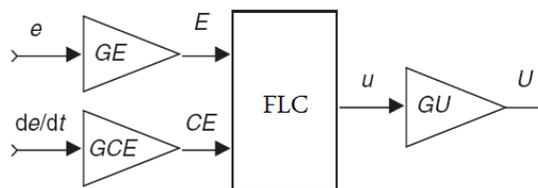
E = error,

CE = change of error,

Kp = penguatan sinyal proporsional,

Td = waktu derivatif,

Kd = konstanta derivatif.



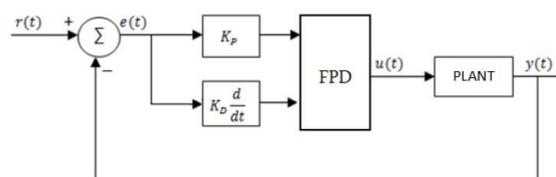
Gambar 7. Blok Diagram FPD Controller
Sumber : (Namazov et al. 2010)

Ketika membandingkan persamaan ini dengan sinyal kontrol dari *crisp* PD controller hubungan antara penguatan sinyal PD controller dan FPD controller seperti Persamaan (8) dan (9).

$$GE.GU = Kp \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{GCE}{GE} = Td \dots\dots\dots (9)$$

Mengakibatkan, nilai parameter-parameter linier FPD controller dapat ditentukan dari penyetelan PD controller. Berikut pada Gambar 8 dapat dilihat blok diagram dari sistem kontrol dengan FPD controller.



Gambar 8. Blok Diagram dari Sistem Kontrol FPD
Sumber : (Namazov et al. 2010)

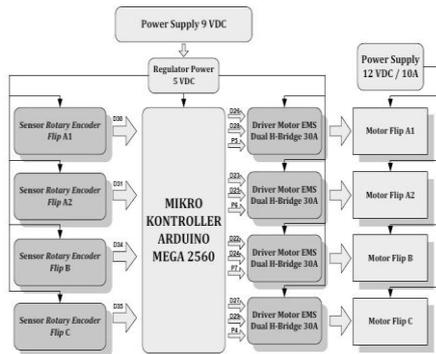
Apabila *Fuzzy Logic* ini diaplikasikan untuk pengaturan gerak motor DC, maka metode yang digunakan adalah *Fuzzy Proportional Derivative* (FPD) dimana respon akan mengikuti sinyal yang diberikan seperti kontrol PD. Meskipun kontrol ini dibangun dengan PD tetapi tetap menggunakan model *fuzzy rule* (Namazov et al. 2010).

3. PERANCANGAN SISTEM

3.1 Perancangan Hardware

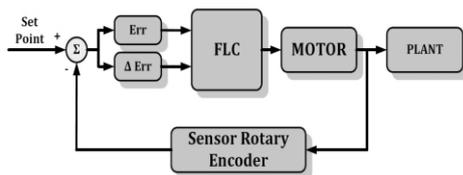
Sistem perangkat keras dari mesin pelipat pakaian (*T-Shirt Folding Machine*) akan dibangun menggunakan komponen berikut; minimum sistem Arduino Mega2560, motor DC, driver motor DC, panel kontrol (*start and stop button*), sensor rotary encoder, sumber catu daya, dan mekanisme *flip folder* pada rangka mesin. Secara garis besar

perancangan sistem yang akan dibangun dapat dilihat pada **Gambar 9**.



Gambar 9 Blok Diagram Sistem Perangkat Keras

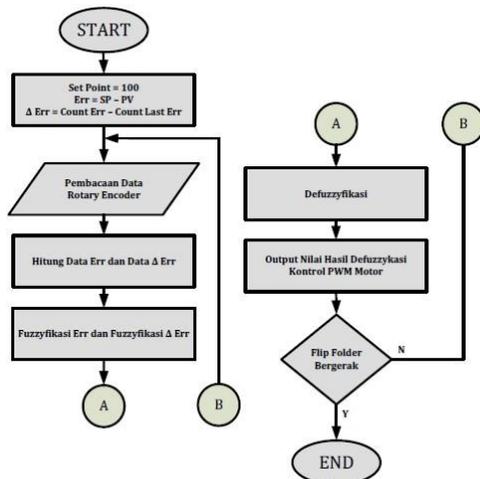
3.2 Blok Diagram Sistem Kendali



Gambar 10 Blok Diagram Sistem Kendali

Gambar 10 merupakan perancangan sistem control *Semi Automatic T-Shirt Folding Machine*, dapat dilihat sistem kontrol yang digunakan adalah aturan logika fuzzy, nilai keluaran fuzzy digunakan untuk mengontrol kecepatan dan juga perputaran motor. Input dari sistem adalah jumlah perhitungan (*count*) nilai digital dari hasil pembacaan dari sensor *rotary encoder* yang telah dikonversi menjadi satuan sudut (*degree*). Dari data tersebut dijadikan nilai input aturan fuzzy untuk menentukan kecepatan dan arah pergerakan motor DC. Nilai *error* (*Err*) dan *delta error* (ΔErr) didapatkan dari sudut pergerakan *flip folder*.

3.3 Flowchart Sistem Kendali



Gambar 11. Flowchart Sistem Kendali Keseluruhan

Gambar 11 merupakan *flowchart* sistem kendali keseluruhan, kondisi awal sistem saat *start* pertama kali dalam kondisi diam (*stand by*). Pengaturan *set point* = 100, *error* = *SP* (*Set Point*) - *PV* (nilai data pembacaan sensor *rotary encoder*), dan *delta error* = jumlah selisih dari *error*. Setelah pengaturan tersebut selesai dilanjutkan dengan pembacaan data dari sensor *rotary encoder*, dalam pembacaan sensor *rotary encoder* input yang digunakan yaitu hasil perhitungan (*count*) data digital dari putaran *rotary encoder* kemudian dikonversi menjadi satuan sudut (*degree*).

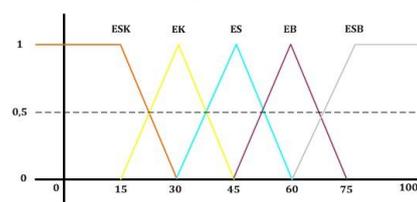
3.4 Perancangan Software

Sistem perangkat lunak / sistem control elektronik terdiri dari sensor, pemroses sistem (mikrokontroler), dan aktuator. Sensor pada *Semi Automatic T-Shirt Folding Machine* adalah sensor *rotary encoder* untuk mengetahui arah dan putaran motor. Mikrokontroler Arduino MEGA2560 sebagai pemroses sistem yang di program kemudian program ditanamkan pada mikrokontroler tersebut. Aktuator pada *Semi Automatic T-Shirt Folding Machine* adalah *metal gear box* motor DC Faulhaber 12V, 120 rpm, dan torsi 17 kg.

3.5 Perancangan Fuzzy Logic

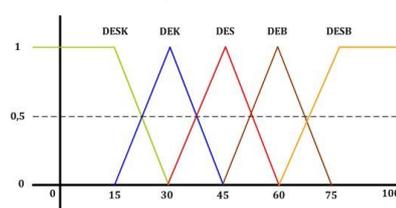
Kontrol yang digunakan adalah jenis kontrol logika fuzzy, dimana input dari logika fuzzy adalah input *error* dan input $\Delta error$ dari data *rotary encoder* yang telah dikonversi kedalam satuan sudut (*degree*). Dari input tersebut akan dibentuk dua buah *membership function* yaitu *membership function* *Count Err* dan *membership function* $\Delta Count Err$. Dimana data *Count Err* diperoleh dari nilai set point dikurangi nilai pembacaan sensor *rotary encoder* ($SP - PV$) dan data $\Delta Count Err$ diperoleh dari nilai *error* sekarang dikurangi nilai *error* sebelumnya (*new error* - *last error*).

Membership Function Count Err



Gambar 12. Membership Function Count Err

Membership Function Δ Count Err



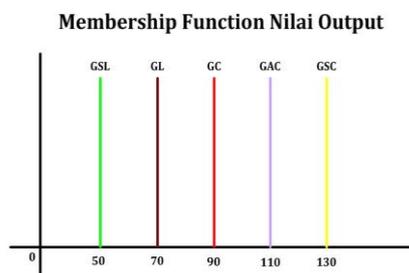
Gambar 13. Membership Function Δ Count Err

Gambar 12 dan Gambar 13 adalah *membership function* dari input sistem yang digunakan. Gambar 12 adalah *membership function* Count Err dan Gambar 13 adalah *membership function* Δ Count Err. Masing-masing dibagi menjadi 5 himpunan. Himpunan pada *membership function* Count Err diberi notasi-notasi berikut :

- ESK : Error Sangat Kecil
- EK : Error Kecil
- ES : Error Sedang
- EB : Error Besar
- ESB : Error Sangat Besar

Sedangkan himpunan pada *membership function* Δ Count Err diberi notasi-notasi berikut :

- DESK : Delta Error Sangat Kecil
- DEK : Delta Error Kecil
- DES : Delta Error Sedang
- DEB : Delta Error Besar
- DESB : Delta Error Sangat Besar



Gambar 14. Membership Nilai Output

Membership output dari kontrol *fuzzy* memiliki 5 himpunan dengan notasi-notasi sebagai berikut :

- GSL : Gerak Sangat Lambat
- GL : Gerak Lambat
- GC : Gerak Cepat
- GAC: Gerak Agak Cepat
- GSC : Gerak Sangat Cepat

Pada kontrol logika *fuzzy* terdapat aturan-aturan (*rule evaluation*) yang ada dan berfungsi untuk menghasilkan nilai output. Aturan-aturan tersebut seperti pada Tabel 1 dibawah ini:

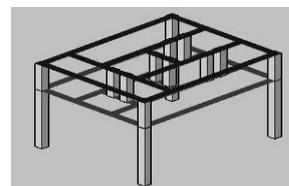
Tabel 1. Rule Evaluasi (Rule Evaluation)

	Err	Nilai Count Err				
		ESK	EK	ES	EB	ESB
Nilai Δ Count Err	DESK	GSL	GL	GC	GC	GC
	DEK	GL	GL	GC	GC	GAC
	DES	GL	GL	GC	GAC	GAC
	DEB	GL	GC	GC	GAC	GSC
	DESB	GC	GC	GAC	GSC	GSC

3.6 Perancangan Mekanisme Semi Automatic T-Shirt Folding Machine

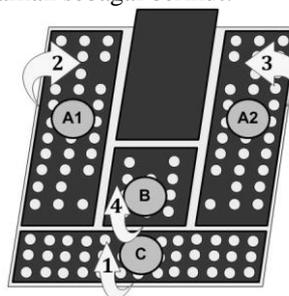
Kerangka pada *Semi Automatic T-Shirt Folding Machine* dirancang menggunakan bahan *aluminium hollow* yang ringan dan kuat sebagai penopang untuk *Folding Machine*, dengan ukuran ketebalan *aluminium hollow* 4 cm x 4 cm. Adapun maksud dan tujuan rancangan kerangka mesin menggunakan *aluminium hollow* dikarenakan bahan ini cukup kuat dan ringan serta sangat cocok digunakan untuk konstruksi kerangka pada *Folding Machine* karena diharapkan agar *Folding Machine* ini dapat dengan mudah untuk dipindahkan atau diangkat.

Pada perancangan ini, *Folding Machine* didesain dengan menggunakan 4 buah *flip folder* (lengan pelipat) dimana pada masing-masing *flip folder* digerakkan oleh motor DC 12V dengan *speed* 120 rpm dan *Torque* (torsi) 17 kg yang mampu untuk menggerakkan *flip folder* untuk bergerak saat proses pelipatan. Rancangan mekanisme mesin dapat digambarkan sebagai berikut:

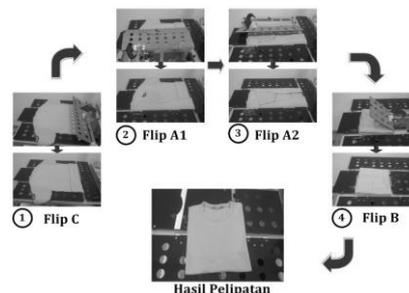


Gambar 15. Rancangan Rangka Mesin 3 Dimensi

Perancangan teknik melipat pakaian yang diterapkan pada mesin disesuaikan dengan tata cara melipat pakaian (*T-Shirt*) pada umumnya, berikut teknik melipat yang akan diterapkan pada mesin dapat digambarkan sebagai berikut:

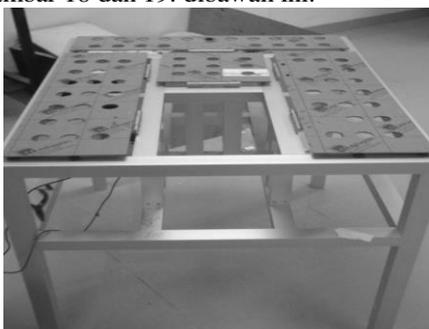


Gambar 16. Teknik Lipatan yang akan Diterapkan



Gambar 17. Proses dan Hasil Teknik Pelipatan

Semi Automatic T-Shirt Folding Machine menggunakan bahan *acrylic solid* dengan ukuran yang berbeda-beda untuk alas *flip folder*. Alas *flip folder* ini dilubangi pada bagian-bagian tengah bertujuan untuk mengurangi massa bahan itu sendiri dan untuk melewatkan angin pada saat alas bergerak cepat. Alas *flip folder* terbagi menjadi 4 bagian yaitu A1, A2, B, dan C. Ukuran alas *flip* A1 = 65.50 cm x 19.00 cm, alas *flip* A2 = 65.50 cm x 19.00 cm, alas *flip* B = 45.00 cm x 23.00 cm, dan alas *flip* C = 25.00 cm x 23.00 cm. Berikut hasil realisasi rancangan *T-Shirt Folding Machine* dapat dilihat pada Gambar 18 dan 19. dibawah ini:



Gambar 18. Hasil Realisasi Rancangan Rangka dan Alas Flip

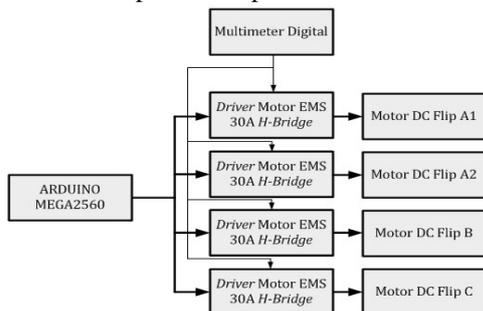


Gambar 19. Hasil Realisasi Rancangan T-Shirt Folding Machine

4. PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

4.1 Pengujian Motor DC

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bahwa *driver* motor bekerja dengan baik sehingga dapat menjalankan motor DC. *Driver* motor yang digunakan adalah *Dual H-Bridge Driver EMS 30A*. Untuk blok diagram pengujian *driver* motor DC EMS 30A ini dapat dilihat pada Gambar 20.



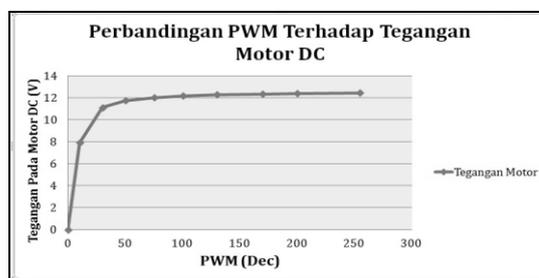
Gambar 20 Blok Diagram Pengujian Driver Motor

Pengujian *direction* dilakukan dengan memberi inputan berupa logika “1” sebagai “HIGH” dan logika “0” sebagai “LOW” pada masing-masing input masukan DIR_A , DIR_B, dan PWM. Dimana data-data tersebut menjadi acuan dalam mengatur pergerakan motor DC. Pengujian selanjutnya dilakukan dengan memberi nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) pada input *enable* yang digunakan sebagai pengaturan kecepatan dari putaran motor DC. Nilai PWM dimasukkan melalui program kemudian tegangan *output driver* motor diukur menggunakan multimeter digital. Berikut adalah hasil pengujian data PWM terhadap tegangan motor DC dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Nilai PWM Terhadap Tegangan Output Driver Motor DC

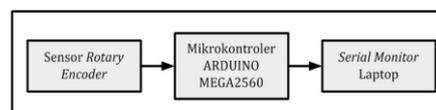
NO	Data PWM (Dec)	Duty Cycle (%)	Tegangan Motor DC (V)
1	0	0	0
2	10	63.36	7.92
3	30	89.12	11.14
4	50	94	11.75
5	75	96.16	12.02
6	100	97.44	12.18
7	130	98.24	12.28
8	170	98.8	12.35
9	200	99.2	12.4
10	255	99.76	12.47

Berdasarkan data dari Tabel 2 perbandingan data PWM terhadap tegangan *output driver* motor DC EMS 30A *Dual H-Bridge* dapat dilihat pada grafik dibawah ini:

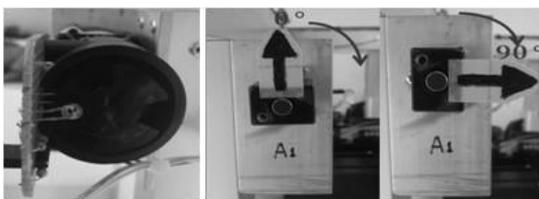


Gambar 21. Grafik Perbandingan Nilai PWM Terhadap Tegangan Output Driver Motor DC

4.2 Pengujian Pembacaan Sensor Rotary Encoder



Gambar 22. Blok Diagram Pengujian Sensor Rotary Encoder



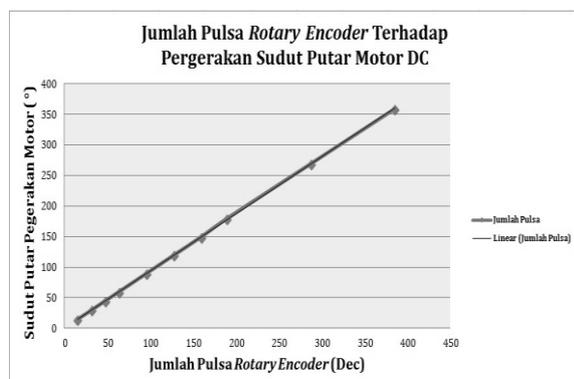
Gambar 23. Sensor Rotary Encoder dan Sudut Putar Motor Sebesar 90°

Pengujian sensor *rotary encoder* dilakukan untuk mendapatkan jumlah pulsa saat motor berputar menggerakkan lengan *flip folder*, motor diputar hingga sudut yang telah ditentukan secara manual dengan bantuan busur.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Jumlah Pulsa Rotary Encoder Terhadap Pergerakan Sudut Putar Motor DC

NO	Sudut Putar (°)	Data Jumlah Pulsa Rotary Encoder (Dec)
1	15	16
2	30	32
3	45	48
4	60	64
5	90	96
6	120	128
7	150	160
8	180	190
9	270	288
10	360	386

Berdasarkan data dari Tabel 3 hasil pengujian jumlah pulsa *rotary encoder* terhadap sudut putar (pergerakan *flip folder*) dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 24. Grafik Jumlah Pulsa Rotary Encoder Terhadap Pergerakan Sudut Putar Motor DC

4.3 Perbandingan Waktu Untuk Pelipatan Manual dengan Pelipatan Menggunakan *T-Shirt Folding Machine*

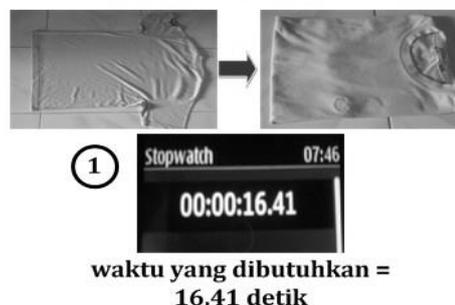
Tujuan dilakukan pengujian perbandingan waktu antara pelipatan manual atau menggunakan tangan tanpa ada alat bantu apapun dengan waktu pelipatan secara semi-modern menggunakan teknologi *T-Shirt Folding Machine* adalah untuk membandingkan efisiensi waktu pada *Folding Machine* yang telah diterapkan teknologi otomasi.

4.3.1 Waktu yang Dibutuhkan untuk Pelipatan Secara Manual

Proses pelipatan pakaian (*T-Shirt*) secara manual adalah proses melipat pakaian menggunakan kecepatan dan kemampuan tangan manusia. Dan waktu yang dibutuhkan untuk melipat beberapa helai pakaian (*T-Shirt*) merupakan hal sangat diperhatikan. Berikut dibawah ini dimana hasil dari pengujian waktu yang dibutuhkan untuk melipat 1 helai dan 20 helai pakaian (*T-Shirt*).

1. Proses Pelipatan Manual 1 Helai *T-Shirt*

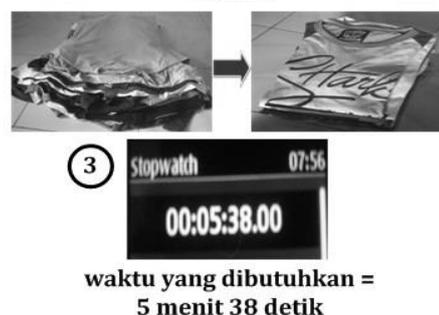
Waktu pelipatan manual 1 helai *T-Shirt*



Gambar 25 Waktu untuk Pelipatan Manual 1 Helai *T-Shirt* 16.41 Detik

2. Proses Pelipatan Manual 20 Helai *T-Shirt*

Waktu pelipatan manual 20 helai *T-Shirt*



Gambar 26 Waktu untuk Pelipatan Manual 20 Helai *T-Shirt* 5 Menit 38 Detik

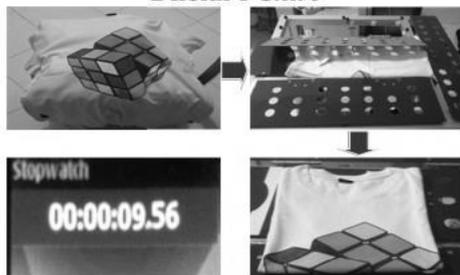
4.3.2 Waktu yang Dibutuhkan untuk Pelipatan Menggunakan *T-Shirt Folding Machine*

Proses pelipatan pada *T-shirt Folding Machine* dalam satu siklus pelipatan, mulai dari pergerakan *Flip Folder C*, *Flip Folder A1*, *Flip Folder A2*, dan terakhir *Flip Folder B* waktu yang

dibutuhkan dalam satu siklus tersebut adalah 9,56 detik (s) termasuk waktu *handling* pakaian.

1. Proses Pelipatan Secara Semi Otomatis Menggunakan *Folding Machine* pada 1 Helai *T-Shirt*

Waktu pelipatan *folding machine* 1 helai *T-Shirt*



1 waktu yang dibutuhkan = 9,56 detik

Gambar 27 Waktu untuk Pelipatan 1 Helai *T-Shirt* pada *Folding Machine*

Waktu pelipatan *folding machine* 20 helai *T-Shirt*



3 waktu yang dibutuhkan = 3 menit 58,82 detik

Gambar 28 Waktu untuk Pelipatan 20 Helai *T-Shirt* pada *Folding Machine*

Tabel 4.4 Data Hasil Perbandingan Waktu untuk Pelipatan Manual dan Pelipatan dengan *T-Shirt Folding Machine*

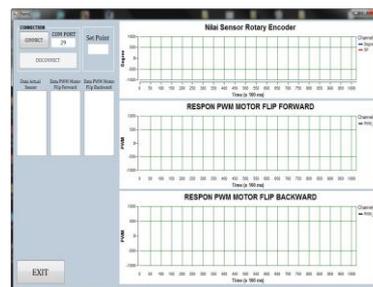
Jumlah <i>T-Shirt</i> yang dilipat	Waktu Pelipatan Manual	Waktu Pelipatan <i>Folding Machine</i>	Selisih Waktu	Persentase Selisih Waktu
1 Helai	16.41 detik	9.56 detik	6.85 detik	41.74%
20 Helai	641 detik	238.82 detik	402.18 detik	62.74%

4.4 Pengujian Sistem Kontrol *T-Shirt Folding Machine*

Pengujian ini dilakukan untuk melihat bagaimana respon kontrol motor pada *T-Shirt Folding Machine* yang telah diterapkan sistem kontrol metode *Fuzzy Proportional Derivative (FPD)*.

Pengujian respon motor dilakukan pada masing-masing *Flip Folder*, mulai dari respon pergerakan motor *Flip Folder A1*, *Flip Folder A2*, *Flip Folder B*, dan *Flip Folder C*. Berikut pada

Gambar 29 adalah tampilan awal program untuk pengujian sistem kontrol *T-Shirt Folding Machine*.

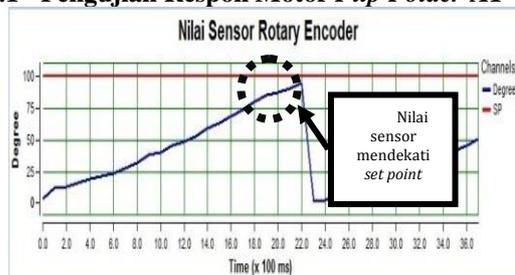


Gambar 29 Tampilan Awal Program Grafik Respon Kontrol

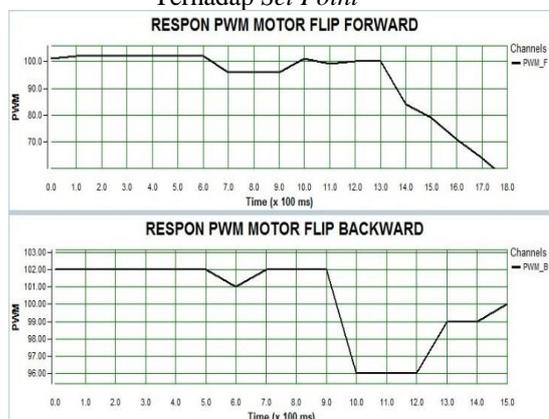
4.5 Pengujian Sistem Kontrol *T-Shirt Folding Machine* pada Masing-Masing *Flip Folder*

Pengujian kontrol *Folding Machine* dilakukan untuk mengetahui respon motor pada masing-masing *Flip Folder* saat melakukan pergerakan proses melipat. Dimana hasil respon dari motor pada masing-masing *Flip Folder* akan ditunjukkan dalam bentuk grafik serta nilai saat mendapatkan hasil dari sistem kontrol yang optimal.

4.5.1 Pengujian Respon Motor *Flip Folder A1*



Gambar 31 Grafik Nilai Sensor *Flip Folder A1* Terhadap *Set Point*

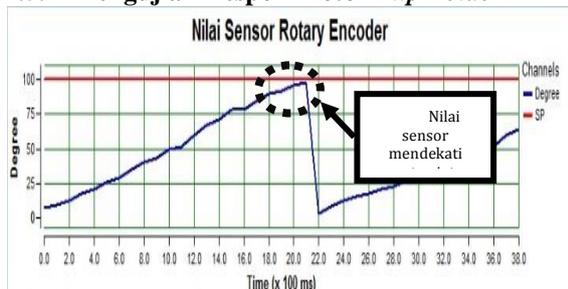


Gambar 32 Grafik Respon Motor *Flip Folder A1*

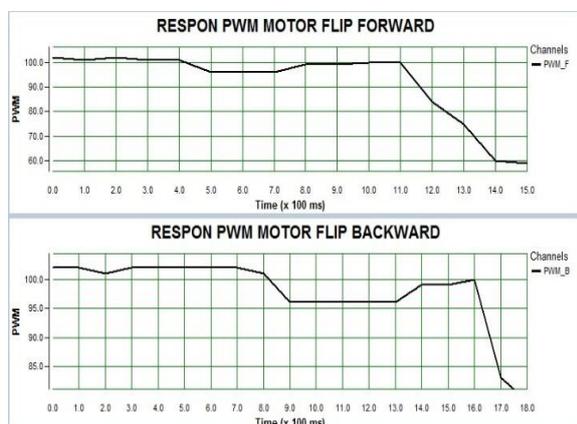
Gambar 32 adalah grafik dari nilai pembacaan sensor *Flip Folder A1*, dari data pembacaan sensor pada motor *Flip Folder A1* dimana untuk mencapai nilai *set point* sensor = 100 maka respon pergerakan motor *Flip Folder A1* akan bergerak untuk mencapai nilai *set point* tersebut

pada *time* $0,1 \times 100 \text{ ms} = 10 \text{ ms} = 0,001 \text{ s}$ sampai *time* $22 \times 100 \text{ ms} = 2200 \text{ ms} = 2,2 \text{ s}$. Dan berdasarkan Gambar 4.12 dapat dilihat grafik respon pergerakan motor *flip folder* A1 saat melakukan proses pelipatan yaitu pergerakan *Flip Folder* A1 *forward* dan *backward*.

4.5.2 Pengujian Respon Motor *Flip Folder* A2



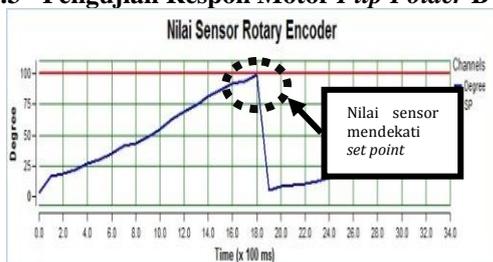
Gambar 33 Grafik Nilai Sensor *Flip Folder* A2 Terhadap Set Point



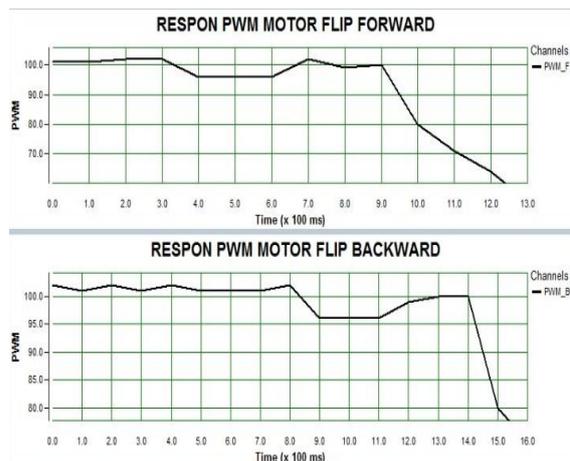
Gambar 34 Grafik Respon Motor *Flip Folder* A2

Gambar 33 adalah grafik dari nilai pembacaan sensor *Flip Folder* A2, dari data pembacaan sensor pada motor *Flip Folder* A2, dimana untuk mencapai nilai *set point* sensor = 100 maka respon pergerakan motor *Flip Folder* A1 akan bergerak untuk mencapai nilai *set point* tersebut pada *time* $21 \times 100 \text{ ms} = 2100 \text{ ms} = 2,1 \text{ s}$. Dan berdasarkan Gambar 34 dapat dilihat grafik respon pergerakan motor *Flip Folder* A2 saat melakukan proses pelipatan yaitu pergerakan *Flip Folder* A2 *forward* dan *backward*.

4.5.3 Pengujian Respon Motor *Flip Folder* B



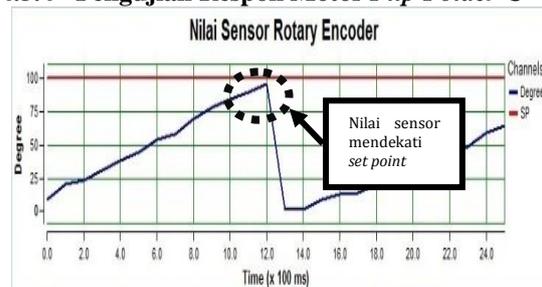
Gambar 35 Grafik Nilai Sensor *Flip Folder* B Terhadap Set Point



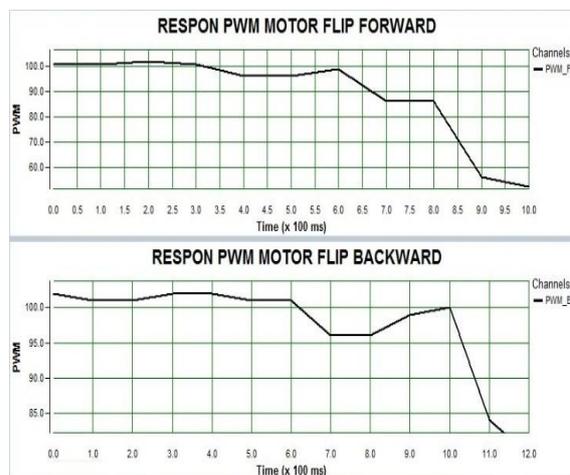
Gambar 36 Grafik Respon Motor *Flip Folder* B

Gambar 35 adalah grafik dari nilai pembacaan sensor *Flip Folder* B, dari data pembacaan sensor pada motor *Flip Folder* B, dimana untuk mencapai nilai *set point* sensor = 100 maka respon pergerakan motor *Flip Folder* B akan bergerak untuk mencapai nilai *set point* tersebut pada *time* $18 \times 100 \text{ ms} = 1800 \text{ ms} = 1,8 \text{ s}$. Dan berdasarkan Gambar 4.16 dapat dilihat grafik respon pergerakan motor *Flip Folder* B saat melakukan proses pelipatan yaitu pergerakan *Flip Folder* B *forward* dan *backward*.

4.5.4 Pengujian Respon Motor *Flip Folder* C



Gambar 37 Grafik Nilai Sensor *Flip Folder* C Terhadap Set Point



Gambar 38 Grafik Respon Motor *Flip Folder* C

Gambar 37 adalah grafik dari nilai pembacaan sensor *Flip Folder C*, dari data pembacaan sensor pada motor *Flip Folder C* dimana untuk mencapai nilai *set point* sensor = 100 maka respon pergerakan motor *Flip Folder C* akan bergerak untuk mencapai nilai *set point* tersebut pada *time* $12 \times 100 \text{ ms} = 1200 \text{ ms} = 1,2 \text{ s}$. Dan berdasarkan Gambar 4.18 dapat dilihat grafik respon pergerakan motor *Flip Folder C* saat melakukan proses pelipatan yaitu pergerakan *Flip Folder C forward* dan *backward*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Hasil perancangan mekanisme *T-Shirt Folding Machine* menggunakan 4 buah lengan pelipat (*flip folder*) yang dikopel dengan motor DC telah terealisasi dengan pergerakan pada masing-masing *flip folder* akan tergantung pada putaran motor DC.
2. Implementasi metode *Fuzzy Proportional Derivative* (FPD) pada *T-Shirt Folding Machine* menggunakan 2 input yaitu *error* (Err) dan *delta error* (ΔErr) dari pembacaan data sensor *rotary encoder* yang dikonversi dalam satuan sudut dengan 5 *membership function* untuk setiap input.
3. Waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus proses pelipatan pada *T-Shirt Folding Machine* adalah 9,56 detik termasuk waktu *handling* pakaian.
4. Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, teknologi otomasi dapat diaplikasikan pada *T-Shirt Folding Machine* dengan menggunakan motor DC sebagai aktuator pada *flip folder* (lengan pelipat).

6. DAFTAR PUSTAKA

Ilmawan Putra, Adityan. (2013). Sistem Pengaturan Posisi Sudut Putar Motor DC Pada Model *Rotary Parking* Menggunakan Kontroler PID Berbasis Arduino MEGA 2560, Jurnal Mahasiswa TEUB, Vol. 1, No. 3. Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.

Konversi ITB. Rizqiawan, Arwindra (2009). Sekilas Rotary Encoder. Retrieved from <http://konversi.wordpress.com/2009/06/12/sekilas-rotary-encoder/>.

Namazov, Manafeddin. Basturk, Onur (2010), *DC Motor Position Control Using Fuzzy Proportional-Derivative Controllers With Different Defuzzification Methods*, *Turkish Journal of Fuzzy Systems*, Faculty Engineering, University Cumhuriyet, Turkey, 2010.

Terapi Penyetrika Pelipat Baju (2012). (<http://sentro.blogspot.com/2012/07/terapi-penyetrika-pelipat-baju-dari.html>, diakses 16 juni 2014)

UGM (2015), "Melipat Baju Cukup Sekali Pencet Dengan Pasebos" (<https://ugm.ac.id/id/berita/10068-melipat.baju.cukup.sekali.pencet.dengan.pasebos>, diakses 5 juni 2015).

Widodo, Bambang. (2008), Simulasi Pengendali P.I.D Fuzzy Pada Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Arus Searah, Jurnal Sains dan Teknologi EMAS, Teknik Elektro, Universitas Kristen Indonesia, 2008.

Yulianto, Andik. (2013), Himpunan *Fuzzy, Fuzzy Logic Controller*, Teknik Elektro, Universitas Internasional Batam, 2013.