

Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Putaran Motor Dc Berbasis Logika *Fuzzy* Untuk Mesin Pengaduk Hasil Pertanian (Studi Kasus Pengadukan Biji Kedelai)

(Design of Motor DC Speed Control System Based of Fuzzy Logic for Agricultural Stirrers (Case Study of Stirring Soybean Seeds))

Reni Pratiwi^{1*)}, Abdul Waris²⁾ dan Salengke³⁾

¹⁾ Program Studi Keteknikan Pertanian Universitas Hasanuddin

²⁾ Program Studi Keteknikan Pertanian Universitas Hasanuddin

³⁾ Program Studi Keteknikan Pertanian Universitas Hasanuddin

^{*)} Email korespondensi: renipratiwi13@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan kontrol kecepatan putaran motor dc dengan kinerja yang baik untuk mesin pengaduk milik UKM Arbi. Metode penelitian ini yaitu metode rancang bangun yang terdiri identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem *hardware* dan *software*, serta pengujian dengan menggunakan biji kedelai sebagai beban. Perlakuan pengujian dilakukan dengan menetapkan *setting point* pada kecepatan 130 rpm, 190 rpm, dan 252 rpm pada beban 2.23 Nm dan 3.73 Nm. Hasil pengujian tanpa kontrol menunjukkan kecepatan motor tidak mampu mencapai nilai *setting point* pada ketiga kecepatan tersebut. Hasil pengujian dengan menggunakan kontrol logika *fuzzy* menghasilkan kecepatan motor yang mampu mencapai nilai *setting point*, kecepatan putaran yang naik secara bertahap (*soft-starting*), tidak terjadi *overshoot* atau tidak terjadinya lonjakan arus, tidak memiliki *offset*, dan mampu menghasilkan kinerja sistem kontrol yang stabil.

Kata Kunci: logika *fuzzy*, kinerja sistem kontrol

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Penggunaan motor, baik motor bakar maupun motor listrik, memegang peran penting di bidang mekanisasi pertanian karena memberikan kemudahan dalam melakukan usaha tani serta meningkatkan efisiensi penggunaan tenaga maupun waktu. Penggunaannya dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan, seperti motor bakar yang dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak traktor dan motor listrik yang lebih banyak digunakan dalam industri-industri pertanian, seperti mesin pencacah,

mesin pengaduk dan pencampur, mesin penggilingan padi, dsb.

Motor listrik digunakan sebagai penggerak mesin pengaduk milik Usaha Kecil Menengah (UKM) Arbi. UKM tersebut merupakan usaha kecil dari Kelompok Tani “Sipakainge” Kabupaten Sinjai untuk mengolah berbagai hasil pertanian menjadi produk pangan, seperti VCO. Mesin tersebut memiliki masalah ketika dioperasikan yaitu tidak terkendalinya kecepatan putaran motor menyebabkan bahan-bahan yang diaduk kerap kali keluar dari bak wadah pengaduk. Selain itu, motor memiliki kecepatan yang

tidak konstan ketika ada perubahan beban. Menurut keterangan Rasyid, ketua UKM tersebut, mereka membutuhkan kecepatan putaran yang naik secara bertahap (*soft-starting*), agar mencegah bahan yang diaduk keluar dari bak pengaduk, mengurangi suara yang bising yang dihasilkan, mencegah adanya potensi kerusakan bahan yang diaduk, dan menghasilkan kecepatan yang stabil.

Kestabilan kecepatan putaran motor memengaruhi hasil pengadukan. Gunterus (1994) menyatakan sistem yang tidak stabil dihindari karena dapat membahayakan operator, peralatan yang digunakan, mutu produk yang dihasilkan, serta efisiensi penggunaannya.

Pemberian pengontrol dapat mengatasi permasalahan tersebut. Salah satu jenis pengontrol yang digunakan saat ini adalah logika *fuzzy*. Kelebihan pengontrol ini adalah dalam penalarannya menggunakan proses penalaran secara bahasa (*linguistic*) sehingga dalam perancangannya tidak memerlukan pemodelan matematika yang rumit dari objek yang dikendalikan.

Mengingat pentingnya pemberian sistem kontrol pada mesin pengaduk milik tersebut, maka tugas akhir ini merancang sistem kendali kecepatan putaran motor mesin pengaduk sehingga kecepatan putaran dapat dikendalikan sesuai dengan keinginan operator maupun kebutuhan rpm suatu bahan.

Metode pengendalian kecepatan putaran motor dalam perancangan ini menggunakan logika fuzzy. Logika fuzzy memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan jenis pengontrol lain, diantaranya kemampuannya dalam proses penalaran secara bahasa (*linguistic reasoning*) sehingga dalam perancangannya tidak memerlukan persamaan matematika dari objek yang dikendalikan.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem kendali kecepatan putaran motor pada mesin

pengaduk dengan menggunakan kendali logika *fuzzy*?

2. Bagaimana kinerja sistem kontrol pada mesin pengaduk?

Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan sistem kendali mesin pengaduk berbasis logika *fuzzy* dan mengetahui kinerja sistem kontrol pada mesin pengaduk.

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sistem kontrol dapat diterapkan pada mesin pengaduk.
2. Bagi pengembangan ilmu, penelitian ini menjadi referensi mengendalikan putaran motor dc menggunakan logika *fuzzy* untuk mesin pengaduk bahan pertanian.

Batasan Masalah

1. Penelitian ini berfokus pada sistem kendali kecepatan putaran motor.
2. Biji kedelai digunakan sebagai beban pengadukan.
3. Mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega32.
4. Jenis inferensi *fuzzy* (*fuzzy inference*) yang digunakan adalah metode Sugeno.

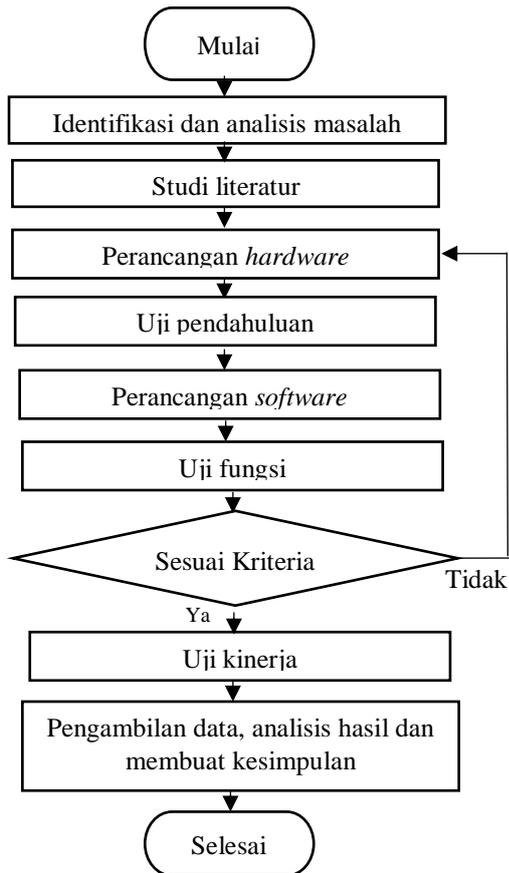
METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah solder, laptop, dan mesin pengaduk. Bahan yang digunakan yaitu sensor *rotary encoder*, sistem minimum dan mikrokontroler AVR ATmega 32, SSR, LCD, kabel, transistor, resistor, papan PCB, dan biji kedelai. *Software* yang digunakan yaitu CV AVR, downloader AVROP II, Serial Port MSI, dan MATLAB.

Prosedur Penelitian

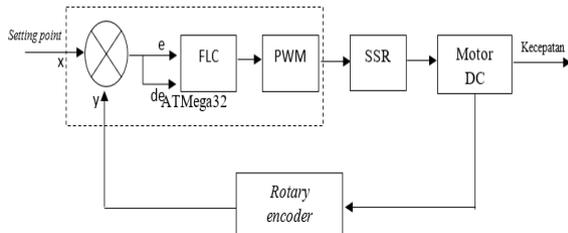
Penelitian ini memiliki alur prosedur sebagai berikut:



Gambar 1. Alur Penelitian

Perancangan Sistem Kendali Kecepatan Putar Motor

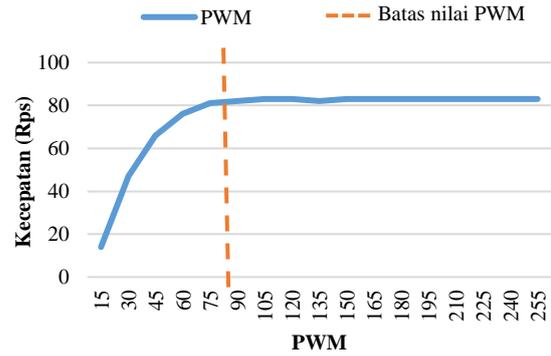
Perancangan sistem kendali kecepatan putar motor adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Sistem Kendali Kecepatan Motor

Uji Pendahuluan

Tujuan dari uji pendahuluan untuk mengetahui hubungan PWM yang diberikan terhadap kecepatan motor yang dihasilkan dan mengetahui perbedaan kecepatan pada poros pengaduk dan poros motor.



Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Kecepatan dan PWM

Grafik menunjukkan hubungan antara pwm dan rps tidak linear. Kecepatan motor dengan pemberian nilai diatas nilai 75 pwm tidak mengalami perubahan kecepatan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, dilakukan pengambilan nilai PWM di area linear, yaitu 15 - 75 PWM. Rentang nilai tersebut juga menjadi acuan dalam pemilihan rentang kecepatan putaran motor dan perancangan fuzzy.

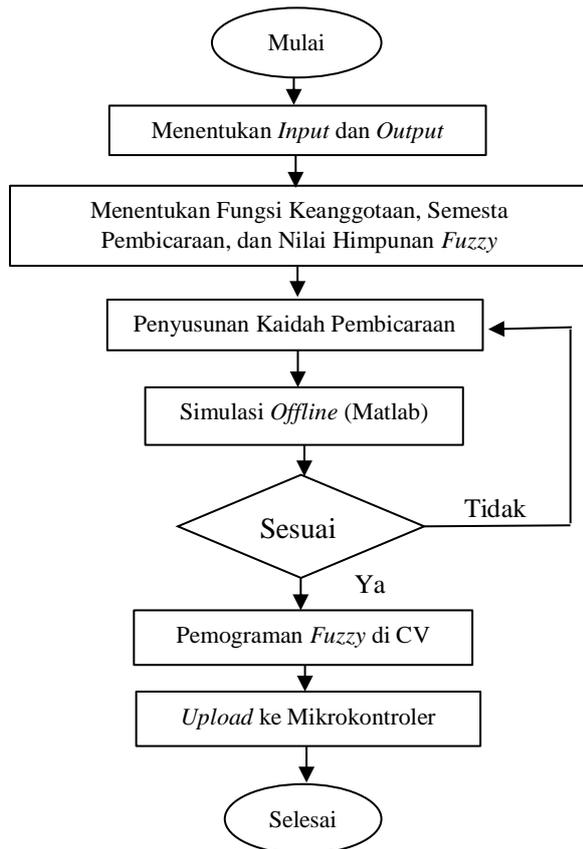
Berdasarkan hasil pengukuran, kecepatan putaran pada poros pengaduk dan poros motor berbeda. Hubungan kecepatan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Kecepatan Motor Poros Atas dan Poros Pengaduk

Rps	Kecepatan Motor (Poros Atas)	Kecepatan Poros Pengaduk
	Rpm	(Rpm)
20	1200	62
40	2400	130
60	3600	190
80	4800	252

Perancangan Software

Perancangan unit kendali logika fuzzy menggunakan bantuan perangkat lunak MATLAB. Metode dasar aturan (*rule-base*) yang digunakan adalah metode Sugeno karena memiliki representasi yang lebih efisien daripada dan cocok untuk penggunaan teknik adaptif untuk membangun model fuzzy.



Gambar 4. Alur Perancangan Software

Pendefinisian Input-Output

Sistem fuzzy didesain memiliki 2 input, berupa *error* dan *delta error*, dan 1 output, berupa nilai PWM.

$$E_{(n)} = SP_{(n)} - rps_{(n)}$$

$$dE_{(n)} = E_{(n)} - E_{(n-1)}$$

dimana:

$E_{(n)}$ = selisih kecepatan dengan *setting point*.

$E_{(n-1)}$ = *error* sebelumnya.

SP = *setting point*.

Rps = kecepatan per detik.

$dE_{(n)}$ = perubahan selisih kecepatan sekarang dengan yang sebelumnya.

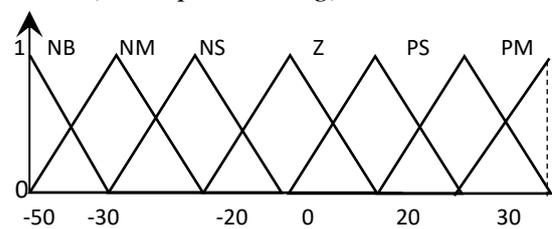
Output dalam penelitian ini adalah nilai PWM. Rentang nilai PWM yang digunakan berdasarkan hasil uji fungsional, yaitu 15-75 PWM. Nilai PWM diatas 75 tidak mampu menghasilkan perubahan kecepatan putaran motor.

Penentuan Fungsi Keanggotaan, Semesta Pembicaraan, dan Nilai Himpunan Fuzzy

Bentuk fungsi keanggotaan (*membership function*) yang digunakan

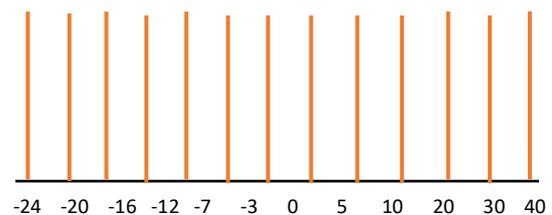
adalah bentuk segitiga. Bentuk segitiga dipilih karena menghasilkan respon yang lebih cepat dan persamaan matematika yang digunakan sederhana, yaitu menggunakan persamaan segitiga.

Masing-masing unit masukan menggunakan tujuh fungsi keanggotaan karena semakin banyak *membership function*, semakin baik dan halus sistem kendali yang dihasilkan. Terdapat tujuh fungsi keanggotaan, yaitu NB (*negative big*), NM (*negative medium*), NS (*negative small*), Z (*zero*), PS (*positive small*), PM (*positive medium*), PB (*positive big*).



Gambar 15. Membership Function Error dan $dError$

Bentuk *output* yang digunakan adalah bentuk *singleton*. Pemilihan bentuk *singleton* dilakukan karena *singleton* memiliki komputasi relatif sederhana dan bekerja baik dengan teknik optimasi dan adaptif (Negnevitsky, 2005).



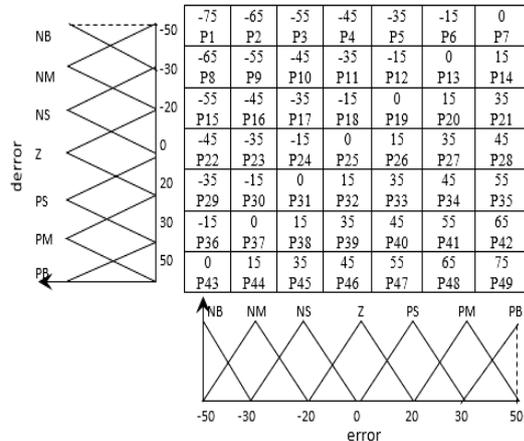
Gambar 6. Membership Function PWM Bentuk Singleton

Penyusunan Kaidah Pembicaraan (Rule Base)

Rule base (basis aturan) fuzzy dalam aplikasi teknik kontrol dinyatakan dengan "IF-THEN". Jenis operator *rule base* yang digunakan adalah AND, artinya nilai yang diambil merupakan nilai terendah.

Mengingat jumlah *membership function* yang digunakan ganjil (sebanyak 7) serta memiliki angka negatif (-), *zero* (0), dan positif (+), maka pada penyusunan

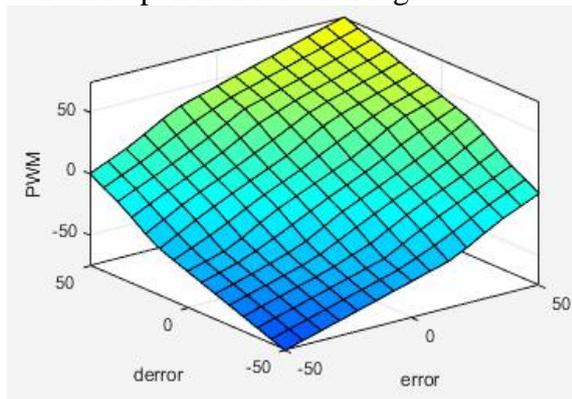
kaidah pembicaraan, terdapat pula angka negatif (-), zero (0), dan positif (+). P1-P49 menunjukkan urutan penyusunan kaidah pembicaraan. Pola penyusunan kaidah pembicaraan merupakan pengembangan dari pola penyusunan kaidah Jamshidi (1996).



Gambar 7. Membership Function PWM Bentuk Singleton

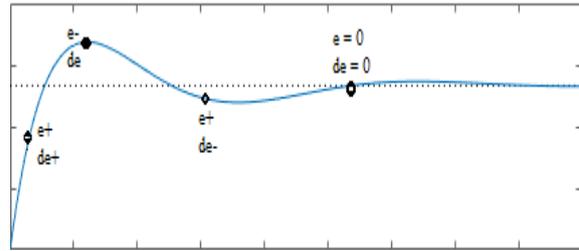
Simulasi Offline

Simulasi *offline* bertujuan untuk mengetahui kinerja dari hasil kaidah pembicaraan (*rule base*). Hasil tersebut dapat dilihat dari bentuk *surface* hasil simulasi *offline* di MATLAB. Bentuk *surface* pada Gambar 18 menunjukkan bentuk respon kontrol telah logis.



Gambar 8. Bentuk Surface

Jika *error* dan *derror* yang dihasilkan berada di kondisi negatif (*e-*) dan (*de-*), (Gambar 19), maka *fuzzy* memberi nilai PWM yang rendah (Gambar 18). Sebaliknya, jika *derror* berada di positif (*e+*) dan *derror+*, maka *fuzzy* memberi nilai PWM yang besar.

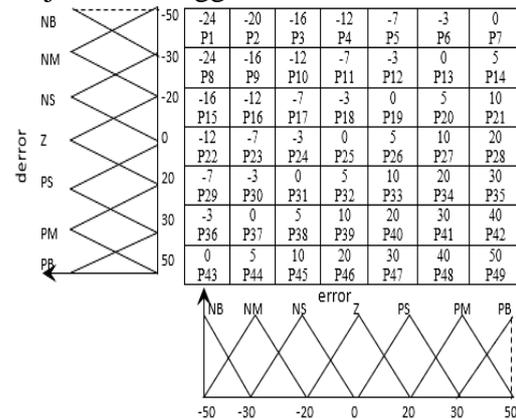


Gambar 9. Posisi Error dan *dError* pada Respon Waktu Sistem

Pemrograman pada CV AVR

Penulisan bahasa program di CV AVR dilakukan setelah tahapan perancangan *fuzzy* pada MATLAB selesai. Bahasa program yang dihasilkan dalam bentuk *file* HEX kemudian di *upload* ke mikrokontroler.

Pada tahapan ini, penyesuaian (*tunning*) dilakukan kembali untuk menghasilkan kontrol sesuai keinginan. Angka di dalam tabel merupakan hasil dari penyesuaian (*tunning*) ke-2 yang telah dilakukan dari rentang nilai 15-75 PWM menjadi -24 hingga 50 PWM.



Gambar 10. Membership Function PWM Bentuk Singleton Setelah Tuning

Pengujian Sistem Kendali Kecepatan Motor

Tujuan dari pengujian sistem motor adalah untuk mengetahui rancangan kendali motor dapat bekerja baik dan sesuai keinginan. Ada dua jenis pengujian yang dilakukan yaitu uji fungsional dan uji kinerja.

Uji Fungsional

Uji fungsional bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem kontrol yang dihasilkan dengan cara membandingkan

hasil sistem kontrol dengan kriteria yang ditetapkan. Kriteria yang hendak dicapai dari alat yaitu:

1. Motor dapat berputar sesuai dengan *setting point*, yaitu 40 rps (130 rpm), 60 rps (190 rpm), dan 80 rps (252 rpm).
2. Menunjukkan respon waktu sistem yang stabil.

Uji Kinerja

Uji kinerja bertujuan untuk menghasilkan kecepatan putaran motor yang mencapai nilai *setting point* secara bertahap (*soft-starting*), tidak terdapat lonjakan arus atau adanya *overshoot*, dan menunjukkan respon waktu sistem yang stabil. Berikut alur pengujian:

1. Menyiapkan biji kedelai sebanyak 8 kg yang telah direndam.
2. Menimbang biji kedelai untuk mengetahui massa biji kedelai setelah perendaman. Massa biji kedelai yang telah direndam adalah 10.99 kg
3. Memasukkan biji kedelai ke dalam bak wadah dengan perbandingan 5 kg biji kedelai dan 5 liter air (beban 1).
4. Mengukur torsi dengan cara mengaitkan timbangan massa pada lengan pengait yang terpasang pada poros pengaduk sebelumnya, kemudian memutar timbangan tersebut hingga kembali pada posisi semula.
5. Mengukur torsi beban dengan perulangan 3 kali, kemudian nilai akhir torsi merupakan hasil rata-rata dari data tersebut.
6. Memasang bak wadah ke mesin pengaduk.
7. Menyalakan motor dengan memutar potensiometer, yaitu: 40 rps (130 rpm), 60 rps (190 rpm), dan 80 rps (252 rpm). Setiap kecepatan dilakukan perulangan 3 kali dan setiap perulangan dilakukan selama 1 menit.
8. Merekam data waktu (detik), SP (rps), kecepatan motor (rps), *error e* (rps), dan *output fuzzy* melalui *Serial Port Road to MSI*.

9. Merekam arus dan tegangan dengan multimeter selama proses pengadukan berlangsung.
10. Terdapat 2 perlakuan:
 - a. Perlakuan tanpa kontrol.
 - b. Perlakuan dengan kontrol.
11. Menambah beban ke dalam wadah yang sebelumnya telah berisi kedelai dan air dengan perbandingan 5 kg biji kedelai dan 5 liter air (beban 2).
12. Mengulangi langkah 6-11.

Analisis Data

Analisis data dilakukan dari hasil uji fungsional dan uji kinerja. Untuk mengetahui sistem kontrol yang dihasilkan telah berhasil, maka dilakukan perbandingan antara luaran sistem kontrol dengan kriteria yang telah ditetapkan pada masing-masing pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Sistem Kendali

Mesin pengaduk dapat dilihat pada gambar berikut:



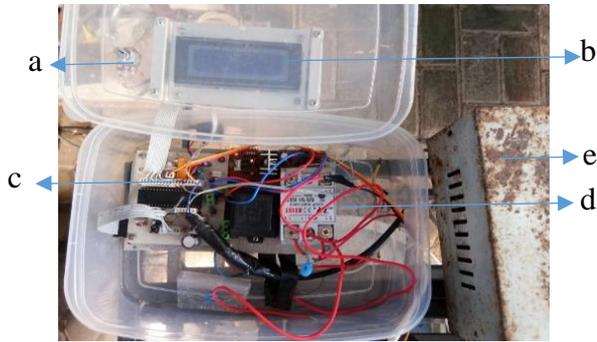
Gambar 11. Mesin Pengaduk Tampak Depan

Keterangan:

- a : sensor kecepatan
- b : kotak kontrol
- c : motor
- d : pengaduk
- e : bak pengaduk

Perancangan sistem kendali terdiri dari beberapa komponen penyusun, yaitu catudaya untuk motor dan mikrokontroler, SSR, LCD, potensiometer, dan mikrokontroler. Gambar 11 memperlihatkan

mesin pengaduk setelah penerapan sistem kontrol sedangkan Gambar 12 memperlihatkan sistem kontrol yang telah dibuat.



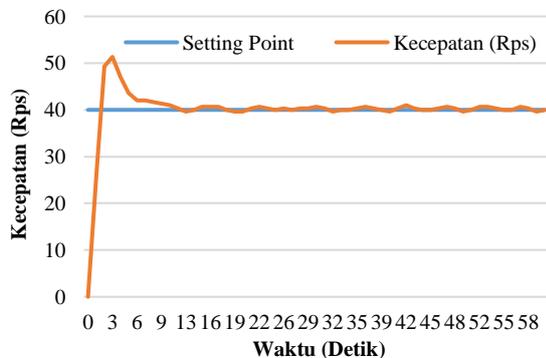
Gambar 12. Hasil Perancangan Sistem Kendali Kecepatan Motor

Keterangan:

- a : potensiometer
- b : LCD
- c : mikrokontroler
- d : SSR
- e : Catu daya

Hasil Uji Fungsional

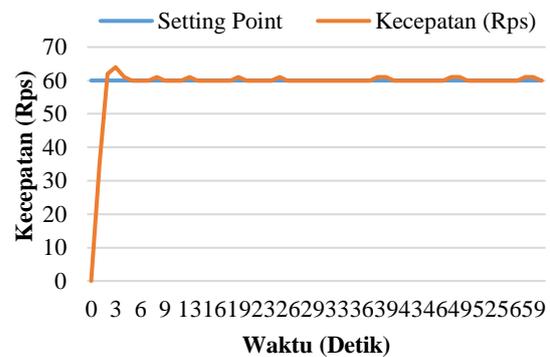
Hasil pengujian pada kecepatan 40 rps (130 rpm), 60 rps (180 rpm), dan 80 rps (252 rpm) adalah sebagai berikut:



Gambar 13. Respon Waktu Kontrol Kecepatan 40 Rps (130 Rpm)

Gambar diatas merupakan bentuk respon kontrol kecepatan 40 rps (130 rpm). Gambar tersebut menunjukkan kecepatan motor mampu mencapai nilai *setting point* yang diinginkan, dan respon dalam kondisi stabil. Kondisi tersebut sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan, yaitu mencapai *setting point* dan respon dalam keadaan stabil. Adapun waktu *settling time* pada kecepatan ini adalah 14 detik.

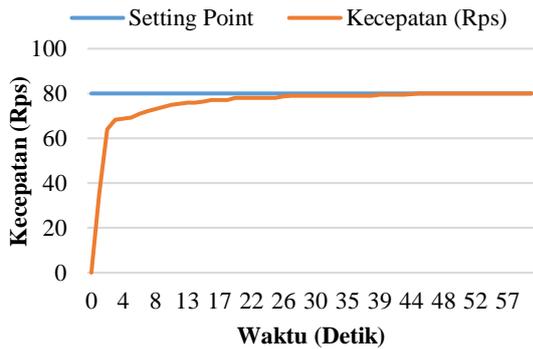
Pada gambar terdapat kondisi *overshoot* sebesar 22.5% yang berlangsung selama 11 detik. Gambar juga menunjukkan adanya sedikit osilasi. Namun hal tersebut tidak berdampak pada sistem pengaduk karena selisih antara nilai *setting point* dan nilai osilasi tersebut hanya 1 rps atau nilai osilasi tersebut hanya 41 rps.



Gambar 14. Respon Kontrol Kecepatan 60 RPS (190 Rpm)

Bentuk respon waktu pada kecepatan 60 rps (190 rpm) ditunjukkan pada Gambar 14. Berdasarkan gambar tersebut, kecepatan motor mampu mencapai nilai *setting point* dan respon sistem dalam kondisi stabil. Kondisi tersebut sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan, yaitu mencapai *setting point* dan respon dalam keadaan stabil. Adapun nilai *settling time* pada kecepatan ini adalah 5 detik.

Pada gambar tersebut terdapat *overshoot* sebesar 6.7% selama 3 detik. Gambar juga menunjukkan sedikit osilasi namun tidak berdampak pada pengadukan karena selisih antara nilai *setting point* dan nilai osilasi tersebut hanya 1 rps atau nilai osilasi tersebut hanya 61 rps.



Gambar 15. Respon Kontrol Kecepatan 80 RPS

Gambar 15 merupakan bentuk respon waktu pada kecepatan 80 rps (252 rpm). Gambar tersebut menunjukkan kecepatan motor mampu mencapai nilai *setting point* dan respon dalam keadaan stabil. Kondisi tersebut sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan, yaitu respon mampu mencapai *setting point* dan kondisi respon dalam keadaan stabil. Adapun nilai *settling time* pada kecepatan ini adalah 19 detik. Berbeda pada kecepatan 40 rps (130 rpm) dan 60 rps (190 rpm), pada kecepatan 80 rps (252 rpm) tidak menunjukkan kondisi *overshoot* dan osilasi.

Tabel 2. Performa Sistem Kendali Fuzzy Tanpa Beban

Kecepatan (rps)	Karakteristik Respon			Kategori Respon Sistem
	MO (%)	Settling time, t_s (detik)	Offset (%)	
40	22.5	14	0	Stabil
60	6.7	5	0	Stabil
80	0	19	0	Stabil

Ketiga respon grafik ditunjukkan pada Tabel 2. Ketiga respon tersebut telah memenuhi kriteria untuk uji fungsional, yaitu kecepatan motor mampu mencapai nilai *setting point* dan respon waktu sistem kontrol dalam keadaan stabil. Adapun nilai *settling time* menunjukkan kecepatan motor meningkat secara bertahap (*soft-starting*).

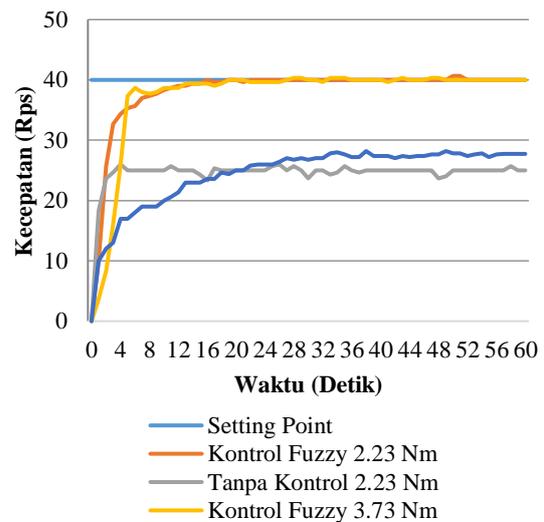
Bentuk respon pada kecepatan 80 rps berbeda dengan kecepatan 40 rps (190 rpm) dan 60 rps (252 rpm). Pada kecepatan 80 rps (252 rpm), tidak terdapat *overshoot* sedangkan kecepatan, 40 rps (130 rpm) dan 60 rps (190 rpm) memiliki *overshoot* dan sedikit mengalami osilasi.

Kondisi *overshoot* dan adanya osilasi pada Gambar 13 dan Gambar 14 dipengaruhi pada tahapan pembuatan basis aturan (*rule base*). Menurut Hartono (2008), hasil kinerja respon kontrol merupakan hasil representasi dari tahapan *rule-base* (kaidah pembicaraan). Selain itu, pengaturan fungsi keanggotaan, utamanya fungsi keanggotaan *zero* (nol) pada tahapan fuzifikasi, juga memengaruhi kinerja respon kontrol. Menurut Asta (2002), hasil pengendalian sangat bergantung peletakan fungsi keanggotaan *zero* (nol) dalam keanggotaan fuzinya. Namun, dalam perancangan ini, keadaan *overshoot* dan osilasi tersebut tidak memengaruhi sistem pengadukan karena nilai osilasi tersebut hanya 1 rps.

Pemberian nilai *time sampling* pada bahasa program juga memengaruhi sensitivitas respon atau kecepatan respon dalam menanggapi masukan. Penelitian yang dilakukan Adinandira, Pratama, dan Sahroni (2014) memperlihatkan pengubahan *time sampling* memengaruhi *settling time*, *overshoot*, dan ketidakstabilan pada sistem.

Hasil Uji Kinerja

Hasil uji kinerja untuk kecepatan 40 rps (130 rpm), 60 rps (180 rpm), dan 80 rps (252 rpm) adalah sebagai berikut:

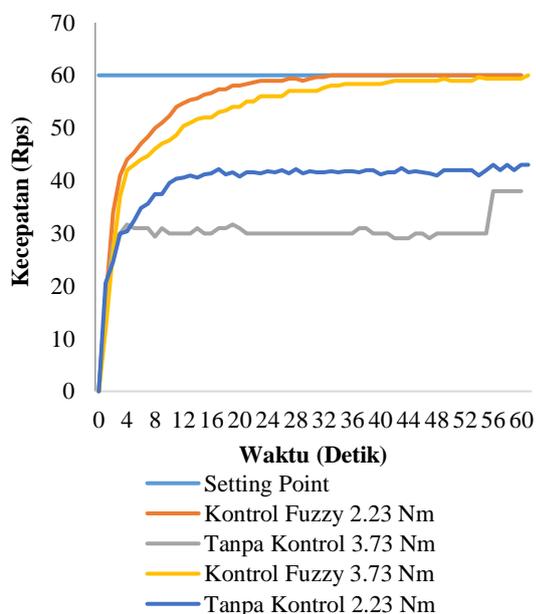


Gambar 16. Respon Waktu pada Kecepatan 40 Rps (130 Rpm)

Gambar 16 merupakan bentuk respon waktu pada kecepatan 40 rps (130 rpm) terhadap perubahan beban 2.23 Nm dan 3.73 Nm. Berdasarkan gambar diatas, kecepatan putaran motor tanpa kontrol tidak mampu mencapai nilai *setting point* yang ditetapkan. Berbeda dengan adanya penerapan kontrol *fuzzy*, kecepatan motor mampu mencapai nilai *setting point*. Kecepatan motor mencapai *setting point* secara bertahap (*soft-starting*).

Gambar tersebut juga menunjukkan tidak adanya lonjakan arus listrik atau tidak adanya *overshoot*. Selain itu, kondisi respon juga berada dalam keadaan stabil. Kondisi-kondisi tersebut sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan, yaitu kecepatan motor mampu mencapai *setting point* secara bertahap, tidak terdapat lonjakan arus, dan respon dalam keadaan stabil.

Respon dengan kontrol *fuzzy* tidak memiliki nilai *offset* karena tidak ada perbedaan antara nilai *setting point* dengan nilai keluaran. Ketika nilai keluaran sistem tidak sama dengan nilai masukan, maka sistem tersebut memiliki nilai *offset* (Ogata, 2010).

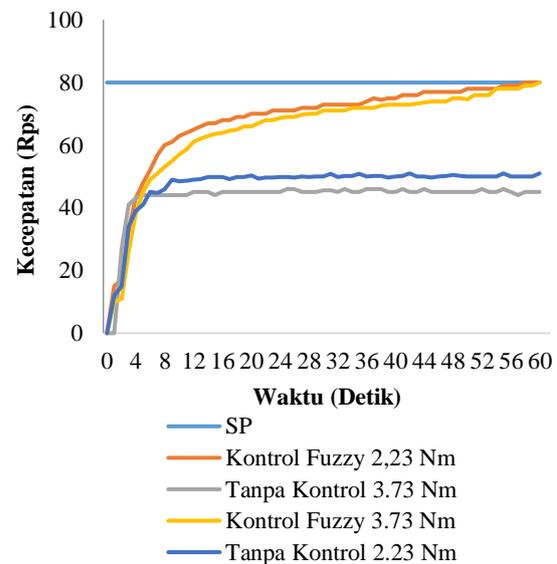


Gambar 17. Respon Waktu pada Kecepatan 60 Rps (190 Rpm)

Bentuk respon waktu pada kecepatan 60 rps (190 rpm) dengan perubahan beban

2.23 Nm dan 3.73 Nm dapat dilihat pada Gambar 17. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kecepatan putaran motor tanpa kontrol tidak mampu mencapai nilai *setting point* sedangkan kecepatan motor dengan penerapan kendali logika *fuzzy* mampu mencapai *setting point* secara bertahap (*soft-starting*).

Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa tidak terdapat lonjakan arus, tidak terdapat kondisi *overshoot*, respon dalam keadaan stabil, dan tidak terjadi *offset*. Kondisi tersebut sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan, yaitu kecepatan motor mampu mencapai *setting point* secara bertahap (*soft-starting*), tidak terdapat lonjakan arus, dan respon dalam keadaan stabil.



Gambar 18. Respon Waktu pada Kecepatan 80 Rps (190 Rpm)

Gambar 18 menunjukkan bentuk respon waktu pada kecepatan 80 rps (190 rpm). Kecepatan putaran motor tanpa kontrol berdasarkan gambar tersebut tidak mampu mencapai *setting point* yang diinginkan sedangkan dengan penerapan kontrol *fuzzy*, kecepatan putaran motor mampu mencapai nilai *setting point* secara bertahap (*soft-starting*).

Gambar tersebut juga menunjukkan tidak adanya lonjakan arus atau tidak *overshoot*, kondisi kedua respon dengan penerapan kontrol *fuzzy* berada dalam

keadaan stabil. Kondisi tersebut sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan, yaitu kecepatan motor mampu mencapai *setting point* secara bertahap (*soft-starting*), tidak terdapat lonjakan arus atau tidak adanya *overshoot*, dan respon dalam keadaan stabil.

Dibandingkan saat kecepatan 40 rps (130 rpm), dan 60 rps (190 rpm), kecepatan 80 rps (252 rpm) mencapai *setting point* yang lebih lama. Hal ini dipengaruhi pemberian tahapan *rule-base*. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hartono (2008) hasil kinerja respon kontrol merupakan hasil representasi dari tahapan *fuzzy-rule*. Pemberian nilai yang lebih besar pada kondisi PB (*positive big*) mampu memperpendek nilai *settling time* sehingga mencapai kondisi *steady-state* lebih cepat.

Tabel 3 Performa Sistem Kendali Fuzzy Perubahan Beban

Berdasarkan Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa sistem kendali yang dihasilkan telah memenuhi kriteria yang telah ditetapkan, yaitu mampu mencapai *setting point*, tidak mengalami lonjakan arus atau tidak terdapat *overshoot*, dan respon waktu sistem kontrol yang dihasilkan dalam keadaan stabil. Selain itu, kecepatan motor mencapai *setting point* secara bertahap (*soft-starting*).

Respon waktu yang dihasilkan oleh sistem kontrol, mulai dari tahapan uji fungsional hingga tahapan uji kinerja, menunjukkan bahwa keseluruhan respon memiliki kondisi yang stabil. Karakter dinamik yang paling penting dari sistem kontrol adalah kestabilan, apakah stabil atau tidak. Gunterus (1994) juga menyatakan pentingnya memerhatikan bentuk respon sistem dalam pengendalian proses karena berkaitan dengan mutu produk, peralatan, efisiensi alat yang diterapkan oleh sistem kendali tersebut yang dihasilkan. Sistem yang tidak stabil dihindari karena dapat membahayakan operator, peralatan yang digunakan, mutu produk yang dihasilkan, serta efisiensi yang dihasilkan.

Respon pengujian bahan tanpa kontrol tidak mampu mencapai *setting point* yang diinginkan. Berbeda dengan adanya kontrol

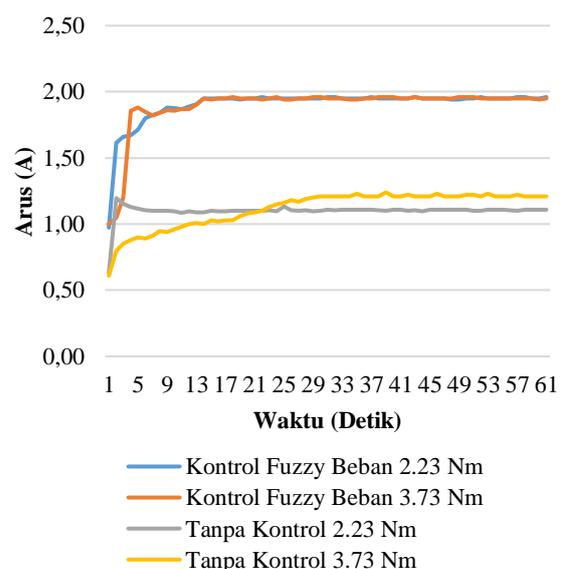
logika *fuzzy* mampu mencapai *setting point* yang diinginkan karena kontrol *fuzzy* mengatur pemberian PWM pada motor sesuai dengan kebutuhan *setting point* motor yang hendak dicapai. Penelitian yang dilakukan Apriyanto, Sumardi, dan Setiyono (2014), menggunakan PWM sebagai sinyal keluaran kontroler yang dikirimkan ke dalam motor DC untuk nantinya sehingga dapat mengatur putaran motor.

Penggunaan Arus Listrik

Pengukuran arus listrik bertujuan untuk mengetahui besarnya penggunaan arus listrik pada motor yang dikendalikan logika *fuzzy* dan tanpa kontrol. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai arus listrik yang terpakai pada ketiga kecepatan 40 rps (130 rpm), 60 rps (190 rpm), dan 80 rps (252 rpm) berubah-ubah.

Tabel 3. Hasil pengukuran arus listrik system control

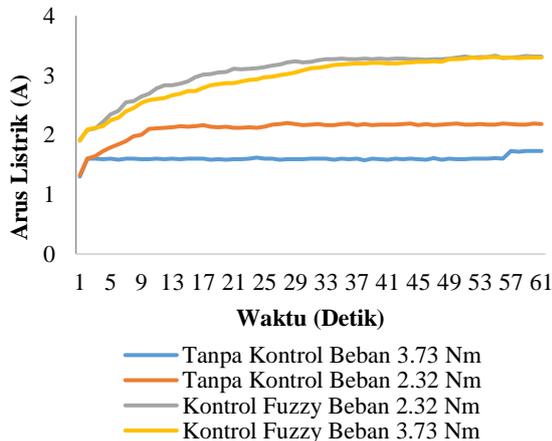
Kecepatan (rps)	Offset (%)		Maximum Overshoot, MO (%)		Kategori Respon Sistem
	Beban 2.23 Nm	Beban 3.73 Nm	Beban 2.23 Nm	Beban 3.73 Nm	
	40	0	0	0	
60	0	0	0	0	Stabil
80	0	0	0	0	Stabil



Gambar 19. Penggunaan Arus Listrik pada Kecepatan 40 Rps (130 Rpm)

Gambar 19 menunjukkan arus yang terpakai pada kecepatan 40 rps (130 rpm). Motor yang dikendalikan oleh logika *fuzzy* menggunakan arus sebesar 1.95 A baik pada beban 2.23 Nm dan 3.73 Nm, sedangkan motor tanpa kontrol menggunakan arus 1.1 A untuk beban 2.23 Nm dan 1.21 A untuk beban 3.73 Nm. Bentuk perubahan arus mengikuti bentuk respon waktu pada kecepatan 40 rps (Gambar 16). Pada gambar juga menunjukkan bahwa tidak adanya lonjakan arus pada kecepatan ini.

Gambar tersebut juga menunjukkan nilai *settling time* pada pembebanan 2.23 Nm dan 3.73 Nm adalah 13 detik. Hal tersebut menunjukkan nilai *settling time* tersebut baik untuk kinerja pengaduk.

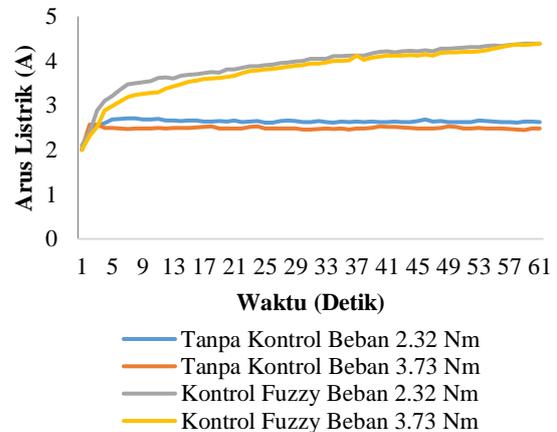


Gambar 20. Penggunaan Arus Listrik pada Kecepatan 60 Rps (180 Rpm)

Gambar 20 menunjukkan penggunaan arus listrik pada kecepatan 60 rps (180 rpm). Motor yang dikendalikan oleh logika *fuzzy* menggunakan arus menggunakan arus sebesar 3.3 A pada beban 2.23 Nm dan 3.73 Nm sedangkan motor tanpa kontrol menggunakan arus 2.16 A pada beban 2.23 Nm dan 1.6 A pada beban 3.73 Nm. Gambar diatas tidak menunjukkan adanya lonjakan arus dan bentuk perubahan arus mengiktui bentuk respon waktu pada kecepatan 60 rps (Gambar 17).

Respon sistem dengan penerapan kontrol *fuzzy* menunjukkan nilai *settling time* pada pembebanan 2.23 Nm adalah 23 detik sedangkan nilai *settling time* pada

pembebanan 3.73 Nm adalah 42 detik. Nilai *settling time* tersebut menandakan bahwa kecepatan motor meningkat secara bertahap atau nilai tersebut baik untuk kinerja mesin pengaduk.



Gambar 21. Penggunaan Arus Listrik pada Kecepatan 80 Rps (180 Rpm)

Penggunaan arus pada kecepatan 80 rps (252 rpm) ditunjukkan pada Gambar 21. Arus yang terpakai jika menggunakan motor kontrol *fuzzy* adalah 4.39 A, baik pada beban 2.23 Nm dan 3.73 Nm, sedangkan sistem tanpa kontrol menggunakan arus 2.63 A pada beban 2.23 Nm dan 2.45 A pada beban 3.73 Nm.

Gambar 19, Gambar 20, dan Gambar 21 menunjukkan besarnya penggunaan arus terkait dengan kecepatan yang dihasilkan. Arus yang terpakai jika menggunakan kontrol *fuzzy* lebih besar dibandingkan dengan sistem tanpa kontrol. Arus yg lebih besar tersebut dibutuhkan agar sistem mampu mencapai nilai *setting point* yang diinginkan. Sistem tanpa kontrol menggunakan arus yang lebih sedikit sehingga sistem tanpa kontrol tidak mampu mencapai nilai *setting point*.

KESIMPULAN

1. Telah berhasil merancang sistem kendali kecepatan putaran motor untuk mesin pengaduk bahan pertanian dengan kinerja yang baik.
2. Kinerja sistem kontrol *fuzzy* mampu mencapai nilai *setting point*, tidak adanya lonjakan arus listrik atau tidak

terdapat *overshoot*, tidak memiliki *offset*, dan kecepatan motor dalam keadaan stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Asta, D. (2002). Fuzi Adaptif dengan Penalaan Fungsi Keanggotaan pada Pengendali Motor DC Berbasis Mikrokontroler AT89C52. Yogyakarta: UGM.
- Gunterus, F. (1994). Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Hartono, P. (2008). Analisis Pengendali Kecepatan Motor DC Menggunakan Logika Fuzzy dengan PWM. Bandung: ITB.
- Jamshidi, M. (1996). Large-scale Systems: Modeling, Control, and Fuzzy Logic. USA: Prentice-Hall.
- Ogata, K. (2010). Model Control Engineering. New Jersey: Prentice Hall.
- Sahroni, A., Adinandra, S. & Pratama, R. W. (2014). Analisis Efek Tunda Waktu (Time sampling) Terhadap Performansi Sistem Kendali Jaringan Berbasis ZigBee IEEE 802.145.4. Jurnal Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi, 155-160.