



**IMPLEMENTASI FILTER KALMAN DAN LOGIKA
FUZZY
PADA SISTEM KENDALI MOTOR SERVO**

Skripsi

**Diajukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

Oleh

PURBO TRI PRAKOSO

NIM.5301415034

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020**

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Implementasi Filter Kalman dan Logika Fuzzy Pada Sistem Kendali Motor Servo telah dipertahankan dalam sidang di depan Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 30 Januari 2020.

Nama : Purbo Tri Prakoso
NIM : 5301415034
Program Studi : S-1 Pendidikan Teknik Elektro

Panitia Ujian:

Ketua Panitia



Ir. Ulfah Mediaty Aief, M.T. IPM
NIP. 196605051998022001

Sekretaris



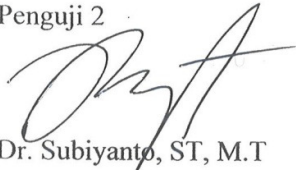
Drs. Ir. Sri Sukamta, M.Si. IPM
NIP. 196505081991031003

Penguji 1



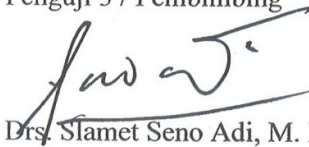
Drs. Agus Murnomo, ST, MT.
NIP. 195506061986031002

Penguji 2



Dr. Subiyanto, ST, M.T
NIP. 197411232005011001

Penguji 3 / Pembimbing



Drs. Slamet Seno Adi, M. Pd, MT.
NIP. 195812181985031004

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik



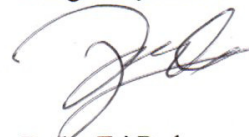
Dr. Nur Qudus, M.T. IPM
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah sekalipun sebelum skripsi ini dibuat belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, megister atau doktor) di perguruan tinggi manapun.
2. Skripsi ini merupakan murni gagasan yang dikerjakan sendiri tanpa bantuan dari pihak manapun kecuali arahan dari Pembimbing dan atau Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tanpa ada pendapat dari orang lain yang tertulis atau dipublikasikan oleh orang lain sebelum karya ini ditulis, kecuali yang secara jelas telah tertulis dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan ke dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan kali ini maka saya bersedia menanggung sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh dengan karya ini, serta sanksi lainnya yang sesuai dengan norma pada perguruan tinggi ini.

Semarang, 24 Februari 2020
Yang menyatakan,



Purbo Tri Prakoso

MOTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

Hard work is mandatory, but smart work made be perfect. Berkarya dalam keteknikan tak hanya harus kerja keras namun juga kerja cerdas makaseharusnya setiap *engineer* mampu mengimplementasikan intelektualitas dalam realitas.

Persembahan:

Dengan mengucapkan syukur kehadiran Allah SWT, kupersembahkan skripsi ini untuk:

1. Kedua orang tua yang telah membantu saya dalam menyelesaikan studi saya di Universitas Negeri Semarang.
2. Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah mengadakan kegiatan ini, terutama dosen pembimbing sehingga saya mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
3. Teman-teman yang telah membantu saya dalam menyelesaikan studi saya di Universitas Negeri Semarang.

ABSTRAK

Purbo Tri Prakoso 2019. Implementasi Filter Kalman dan Logika Fuzzy Pada Sistem Kendali Motor Servo. Pembimbing Drs. Slamet Seno Adi, M.Pd., M.T.

Seringnya barang produksi yang berubah pada sebuah perusahaan mengakibatkan biaya produksi barang menjadi mahal sehingga industri tidak efisien. Untuk mendapatkan efektivitas produksi maka dibutuhkan sistem yang mampu bekerja dengan akurat, biaya operasi yang murah dan mampu merubah fungsi tanpa mengganti seluruh piranti yang dibutuhkan. Untuk menjawab kebutuhan tersebut maka banyak dikembangkan sistem kendali motor servo dalam industri dikarenakan motor servo mampu memberikan performa yang dibutuhkan dan mampu bekerja secara dinamis.

Tujuan dari penelitian kali ini adalah untuk mengetahui respon sistem kendali motor servo dengan mengimplementasikan filter kalman dan logika fuzzy pada sistem kendali motor servo apakah lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian lain.

Filter kalman merupakan sebuah persamaan matematika untuk mengolah data yang umumnya merupakan data hasil dari pembacaan sebuah sensor sehingga dapat mengurangi kesalahan pembacaan dikarenakan gangguan nois, sedangkan logika fuzzy merupakan sebuah persamaan matematika yang umumnya digunakan dalam sistem kendali. Logika fuzzy dalam berbagai literasi adalah sistem kendali yang cocok digunakan dalam sistem kendali motor sehingga logika fuzzy digunakan dalam penelitian kali ini.

Dalam penelitian kali ini menunjukkan bahwa penggunaan logika fuzzy pada sistem kendali kali ini mampu memberikan keadaan *steadystate* yang baik dengan *overshoot* kurang dari 2%, hasil implementasi dari filter kalman dan logika fuzzy pada penelitian kali ini menunjukkan hal yang baik, dimana sistem kendali mampu mencapai kondisi *steadystate* dengan kesalahan sebesar 0.1% hingga 0.45% dan *overshoot* kurang dari 2%. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa implementasi filter kalman dan logika fuzzy pada sistem kendali motor servo menghasilkan sistem kendali yang baik, namun demikian bahwa dalam penelitian lain yang menggunakan logika fuzzy dan PID dalam sistem kendali motor servo untuk mengarahkan lensa satelit dengan kesalahan *steadystate* sebesar 0.056° hingga 0.01° , sehingga implementasi fuzzy dan PID lebih baik jika dibandingkan dengan implementasi filter kalman dan logika fuzzy pada sistem kendali motor servo.

Kata kunci: Motor Servo, Filter Kalman, Logika Fuzzy, industri

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas pertolonganNya sehingga mampu untuk menyelesaikan skripsi yang berjudul “Implementasi Filter Kalman dan Logika Fuzzy Pada Sistem Kendali Motor Servo”.

Terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan dariberbagai pihak, sehingga dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih dan penghargaan yang stinggi-tingginya kepada:

1. Drs. Slamet Seno Adi, M.Pd., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dalam penyusunan skripsi ini.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan kelancaran administrasi penelitian ini.
3. Ir. Ulfah Mediaty Arief, M.T.,Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan berbagi kemudahan dalam penelitian ini.
4. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat seluas-luasnya sampai kapanpun.

Semarang, 27 Februari 2020
Penulis

Purbo Tri Prakoso

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
MOTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Pembatasan Masalah	6
1.3 Rumusan Masalah	7
1.4 Tujuan	7
1.5 Manfaat	8
1.6 Penegasan Istilah	9
BAB II	10
2.1. Kajian Pustaka	10
2.2 Landasan Teori	12
2.2.1 Motor Servo	12
2.2.1.1 Mencari Nilai Sudut <i>Shaft</i> Motor Servo	15
2.2.1.2 Motor DC	19
2.2.2 Filter Kalman	20
2.2.3 Logika Fuzzy	24
2.3 Hipotesis	27
BAB III	28
3.1 Objek Penelitian	28
3.2 Tempat Pelaksanaan Penelitian	28

3.3	Alat dan Bahan	28
3.4	Perancangan Motor Servo.....	29
3.4.1	Sistem Mikrokontroler.....	30
3.4.2	<i>Driver</i> Motor	31
3.4.3	Motor DC	32
3.4.4	Alur Perancangan Alat.....	32
3.5	Perancangan Program	33
3.5.1.	Perancangan Sistem Pemantauan Nilai Sudut.....	34
3.5.2.	Perancangan Filter Kalman.....	34
3.5.2.	Perancangan Logika Fuzzy	36
3.6	Pengujian Alat.....	39
3.7	Pengambilan Data.....	40
3.8	Metode Penelitian.....	41
3.9	Alur Penelitian.....	43
BAB IV		44
4.1	Hasil Penelitian	44
4.1.1	Hasil Simulasi dan implementasi sistem <i>monitoring</i>	44
4.1.2	Hasil Simulasi dan Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kendali Motor Servo	50
4.1.3	Hasil Implementasi Filter Kalman dan Logika Fuzzy Pada Sistem Kendali Motor Servo	53
4.2	Pembahasan.....	56
4.2.1	Pembahasan hasil dan simulasi sistem <i>monitoring</i>	56
4.2.2	Pembahasan Penggunaan Logika Fuzzy Pada Sistem Kendali Motor Servo.....	57
4.2.3	Pembahasan Implementasi Filter Kalman dan Logika Fuzzy Pada Sistem Kendali Motor Servo.....	59
4.2.4	Pembahasan Hasil Implementasi Filter Kalman dan Logika Fuzzy Pada Sistem Kendali Motor Servo Terhadap Hasil Implementasi Fuzzy dan PID Pada Sistem Kedali Motor Servo.	67
BAB V		69
5.1	Kesimpulan	69

5.2	Saran	71
	DAFTAR PUSTAKA.....	73
	LAMPIRAN.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. <i>Rule Editor Membership Function Output</i>	37
Tabel 3.2. Rule Base.....	38
Tabel 4.1. Tabel Keterangan Gambar 4.2.....	46
Tabel 4.2. Hasil Data Sistem Kendali Motor Servo Tanpa Logika Fuzzy.....	53
Tabel4.3. Hasil Data Penggunaan Logika Fuzzy Pada Sistem Sendali Motor Servo.....	53
Tabel 4.4. Hasil Data Penggunaan Filter Kalman dan Logika Fuzzy Pada Sistem Kendali Motor Servo.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Implementasi <i>Hall Effect Sensor</i> Terhadap Magnet	16
Gambar 2.2. Grafik Pembacaan <i>Hall Effect Sensor</i> Sesuai Penempatan Pada Gambar 2.1.....	17
Gambar 2.3. <i>Flowchart</i> Pembacaan Sensor.....	19
Gambar 2.4. Mekanisme Motor DC Dengan Sikat Arang	20
Gambar 2.5. Alur Proses Dalam Filter Kalman	23
Gambar 2.6. <i>Membership Function Input</i> dan <i>Output</i>	26
Gambar 3.1. <i>flowchart</i> motor servo.....	29
Gambar 3.2. Alur pengkabelan pada motor servo.....	30
Gambar 3.3. Papan PCB ATmega 328	30
Gambar 3.4. Gambar 3.2 Papan PCB <i>Driver</i> Motor	31
Gambar 3.5. Motor DC	32
Gambar 3.6. Alur Prosedur Pembuatan Motor Servo	33
Gambar 3.7. Simulasi Filter Kalman Dengan Simulink MATLAB	35
Gambar 3.8. Flowchart Logika Fuzzy	36
Gambar 3.9. <i>Membership Function Level Input</i>	37
Gambar 3.10. <i>Membership Function Level Output</i>	37
Gambar 3.11. Step Response Pada Sistem Kendali	39
Gambar 3.12. Diagram Alur Penelitian	44
Gambar 4.1. Hasil Simulasi Perpaduan Dua <i>Hall Effect Sensor</i> Menghasilkan Nilai Sudut	45
Gambar 4.2. Hasil Simulasi Filter Kalman Dengan Simulink Matlab	46
Gambar 4.3. Gambar Detail Grafik Simulasi Filter Kalman Pada Simulink Matlab	48
Gambar 4.4. Grafik Perbandingan Hasil Kesalahan Pembacaan Sensor Tanpa Melalui Filter Kalman Dan Dengan Filter Kalman Terhadap Nilai Rata-Rata Pembacaan	50
Gambar 4.5. Grafik Perbandingan Hasil Pembacaan Sensor Tanpa Melalui Filter Kalman Dan Dengan Filter Kalman	50
Gambar 4.6. Grafik Perbandingan Hasil Selisih Pembacaan Sensor Tanpa	

Melalui Filter Kalman Dan Dengan Filter Kalman Terhadap Rata-Rata Pembacaan Sensor	50
Gambar 4.7. Grafik Hubungan Tiga Dimensi Antara Nilai Masukan Dan Keluaran Pada Logika Fuzzy	52
Gambar 4.8. Grafik Perbandingan Penggunaan Logika Fuzzy Dan Tanpa Logika Fuzzy Pada Sistem Kendali Motor Servo	54
Gambar 4.9. Grafik Perbandingan Penggunaan Filter Kalman Dan Tanpa Filter Kalman Pada Sistem Kendali Motor Servo	55
Gambar 4.10. Grafik Perbandingan Nilai <i>Error Steadystate</i> Dalam Penggunaan Filter Kalman Dan Tanpa Menggunakan Filter Kalman Pada Pembacaan Sensor Sistem Kendali Motor Servo ..	56
Gambar 4.11. <i>Membership Function Input</i> Akselerasi	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian Dengan Sudut Awal 300 Derajat dan Setpoint 275 Derajat Dengan Filter Kalman dan Logika Fuzzy.....	77
Lampiran 2. Data Hasil Penelitian Dengan Sudut Awal 300 Derajat dan Setpoint 250 Derajat Dengan Filter Kalman dan Logika Fuzzy.	79
Lampiran 3. Data Hasil Penelitian Dengan Sudut Awal 300 Derajat dan Setpoint 225 Derajat Dengan Filter Kalman dan Logika Fuzzy	81
Lampiran 4. Data Hasil Penelitian Dengan Sudut Awal 300 Derajat dan Setpoint 200 Derajat Dengan Filter Kalman dan Logika Fuzzy.	83
Lampiran 5. Data Hasil Penelitian Dengan Sudut Awal 300 Derajat dan Setpoint 175 Derajat Dengan Filter Kalman dan Logika Fuzzy	85
Lampiran 6. Data Hasil Penelitian Dengan Sudut Awal 300 Derajat dan Setpoint 275 Derajat Dengan Logika Fuzzy Tanpa Filter Kalman.....	87
Lampiran 7. Data Hasil Penelitian Dengan Sudut Awal 300 Derajat dan Setpoint 250 Derajat Dengan Logika Fuzzy Tanpa Filter Kalman.	89
Lampiran 8. Data Hasil Penelitian Dengan Sudut Awal 300 Derajat dan Setpoint 225 Derajat Dengan Logika Fuzzy Tanpa Filter Kalman.	91
Lampiran 9. Data Hasil Penelitian Dengan Sudut Awal 300 Derajat dan Setpoint 200 Derajat Dengan Logika Fuzzy Tanpa Filter Kalman.	93
Lampiran 10. Data Hasil Penelitian Dengan Sudut Awal 300 Derajat dan Setpoint 175 Derajat Dengan Logika Fuzzy Tanpa Filter Kalman.	95
Lampiran 11. Data Hasil Penelitian Perbandingan Data Hasil Pengolahan Dengan Filter Kalman dan Tanpa Menggunakan Filter Kalman Pada Pembacaan Sensor.	97
Lampiran 12. Data Hasil Simulasi Pencarian Nilai Sudut Dengan Membandingkan Kedua Sensor Yang Digunakan.	99

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor servo merupakan salah satu jenis motor yang didesain dengan tujuan mampu menggerakkan poros engkol dari motor servo itu sendiri dengan akurat sesuai dengan keinginan pengguna. Pada umumnya motor servo membutuhkan sumber arus searah, namun dalam beberapa motor servo yang berdaya besar menggunakan arus bolak-balik *multy phase* untuk mendapatkan daya yang besar. Motor servo akan sangat dibutuhkan dalam perkembangan industri 3.0 dan 4.0 dikarenakan pada industri tersebut menuntut adanya sistem dengan efektivitas yang tinggi dan performa yang baik yang merupakan sebuah tujuan dari setiap perusahaan guna mendapatkan biaya produksi yang rendah namun tetap mampu memproduksi produk dengan kualitas yang baik. Dalam upaya memenuhi kebutuhan tersebut maka perlu untuk menciptakan komponen yang dapat digunakan pada berbagai medan sehinggadapat dibuat sistem yang efektif dalam memproduksi barang. Untuk mengejar efektifitas tersebut makadalam beberapa tahun terakhir banyak dikembangkan sistem kendali motor servodimana komponen ini familiar digunakan sebagai komponen penting dalam dunia industri, diantaranya digunakan dalam komponen peralatan dalam industri dengan kemampuan manipulasi layaknya pergerakan manusia, sehingga peralatan tersebut mampu melakukan adaptasi terhadap lingkungan dengan cepat layaknya manusia namun tetap tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan yang tidak mungkin untuk ditempati manusia.

Upaya dalam mengembangkan motor servo yang ideal sesuai dengan studi literatur yang telah dipelajari memiliki beberapa kendala dalam sistem kendali motor yang dinamis dan tingkat toleransi pembacaan sudut yang perlu diperbaiki, melihat banyaknya kegunaan dari motor servo maka dalam penelitian kali ini bermaksud memberikan solusi yang dapat diimplementasikan dalam membuat motor servo yang ideal. Pada berbagai literasi yang telah dipelajari memberikan sebuah solusi dalam sistem kendali pada motor servo berupa penambahan logika fuzzy sebagai sistem kendali motor guna mendapatkan tingkat akurasi motor servo yang akurat dalam mengendalikan sudut poros motor servo sesuai kehendak pengguna dari sudut yang acak. Logika fuzzy dipilih dikarenakan menurut Akbar, (2014:1) dalam penelitiannya yang berjudul *Simulation of Fuzzy Logic Control for DC Servo Motor* menyatakan bahwa “model dan analisis respon sistem dari motor servo sebagai aktuator pada robot tipe manipulator yang menggunakan teknik logika fuzzy sangat penting diterapkan dikarenakan mampu mengendalikan lengan robot dengan sangat akurat pada robot tipe manipulator”. Dalam penelitian dalam bidang sistem kendali dengan menggunakan logika fuzzy yang dilakukan oleh Munadi dengan judul *Simulation of Fuzzy Logic Control for DC Servo Motor using Arduino based on Matlab/Simulink* yang membandingkan penggunaan logika fuzzy dengan PID untuk sistem kendali motor servo DC berkesimpulan penggunaan logika fuzzy menghasilkan stabilitas yang lebih baik dan *overshoot* yang kecil sehingga menjadi alasan penelitian kali ini memakai sistem kendali logika fuzzy, dengan hasil penggunaan PID memiliki respon *risetime* selama 0.0182 detik,

overshoot 9.28%, *settling time* selama 0.078 detik dan *steady state error* sebesar 4%, sedangkan dengan menggunakan logika fuzzy memiliki respon *risetime* selama 0.07 detik, *overshoot* 0.2%, *settling time* selama 0.12 detik dan *steady state error* sebesar 0.1%. Dalam penelitian yang lainnya yang dilakukan Wei Ji pada tahun 2011 dengan judul *Adaptive fuzzy PID composite control with hysteresis-band swithhing for line of sight stabilization servo system* melaporkan hasil penelitiannya yang mampu membuat motor servo dengan kesalahan pada sistem kendali kurang dari 0.01° , dan kondisi stabil pada sudut kurang dari 0.056° , sehingga dari referensi tersebut maka penggunaan perpaduan logika fuzzy dan PID terbukti lebih handal jika dibandingkan dengan penggunaan logika fuzzy atau PID saja.

Sistem kendali juga memerlukan sistem *monitoring* dengan akurasi yang tinggi guna memberikan masukan nilai yang akurat sehingga sistem kendali mampu bekerja dengan baik. Pada umumnya untuk mengetahui nilai sudut pada poros motor servo digunakan potensio meter, namun dalam penggunaan potensiometer memiliki kelemahan yakni tidak dapat digunakan untuk mengetahui sudut 360° , selain itu penggunaan potensiometer dalam jangka yang lama akan mengalami kerusakan dikarenakan adanya kontak fisik pada potensiometer, sehingga untuk itu diperlukan sensor lain untuk mengetahui nilai sudut motor servo yang mampu memberikan nilai sudut mencapai 360° dan tanpa kontak fisik dengan harapan mendapatkan prototype motor servo yang lebih baik. Alternatif lain dalam pembacaan sensor sesuai dengan beberapa literasi yang ada menegaskan bahwa penggunaan *hall effect sensor* mampu digunakan untuk

menentukan nilai dari sudut poros engkol dari motor servo dengan memadukan beberapa *hall effect sensor*. Dalam sistem *monitoring* memiliki beberapa masalah yang dapat membuat hasil pembacaan dari sensor seperti adanya gangguan *nois*. Gangguan *nois* dalam beberapa literasi mengungkapkan sebagai penyebab sebuah sistem kendali salah dalam mengambil tindakan untuk mengendalikan aktuator, selain itu adanya sistem *monitoring* yang handal dan memiliki ketelitian yang tinggi tentunya akan memberikan data yang lebih akurat kepada sistem kendali, sehingga sistem kendali mampu mengendalikan aktuator dengan lebih baik. Dalam pengolahan data terdapat beberapa cara untuk mengolah data hasil pembacaan sensor sehingga mengurangi kesalahan pembacaan data akibat dari *nois* seperti penggunaan filter adaptif dan filter pasif. Filter adaptif merupakan sebuah filter digital yang mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan data yang terus berubah sehingga parameter dari filter adaptif akan terus berubah sehingga pada filter adaptif akan membutuhkan memori menyimpannya yang banyak untuk melakukan perubahan yang akan dilakukan, hal ini akan berakibat pada kebutuhan sistem mikrokontroler dengan frekuensi *looping* yang tinggi. Sedangkan filter pasif pada umumnya berupa sebuah rangkaian elektronik *low pass filter* yang terdiri dari resistor, kapasitor dan induktor untuk memfilter gangguan *nois* meskipun ada filter pasif digital seperti filter kalman. Perbedaan mendasar dari filter pasif terhadap filter adaptif adalah filter pasif tidak memiliki kemampuan untuk mengubah parameter untuk mendapatkan hasil yang diharapkan, namun jika filter pasif dirancang dengan baik kemampuannya tidak kalah jika dibandingkan dengan filter adaptif, selain itu pada filter pasif tidak akan memerlukan sebuah

sistem mikrokontroler yang memiliki frekuensi *looping* yang cepat dikarenakan tidak memerlukan perubahan parameter pada filter pasif

Dalam kasus ini dipilih filter kalman sebagai sistem pemrosesan data sensor yang bertujuan untuk mendapatkan hasil optimal atas susunan data yang disajikan dari keluaran sensor. Adapun alasan lain yang mendasar dalam pemilihan filter kalman yakni adalah penggunaan konsep rekursif. Dengan sifat tersebut memungkinkan tidak diperlukannya memori dengan kapasitas yang besar layaknya filter digital lainnya.

Pemberian logika fuzzy dan filter kalman dalam sistem kendali motor servo diharapkan dapat menghasilkan sistem kendali motor servo yang ideal sehingga dalam pengembangan motor servo meskipun dalam literasi yang ada menunjukkan bahwa penggunaan logika fuzzy dan PID lebih baik jika dibandingkan dengan penggunaan logika fuzzy atau PID saja dalam sistem kendali servo dimaksudkan untuk mengetahui apakah implementasi dari filter kalman dan logika fuzzy lebih baik dari hasil penelitian yang lainnya yang menggunakan logika fuzzy dan PID pada sistem kendali motor servo, sehingga untuk mencapai tujuan tersebut maka penelitian kali ini berjudul “Implementasi Filter Kalman dan Logika Fuzzy pada Sistem Kendali Motor Servo”.

1.2 Identifikasi Masalah

Menarik kesimpulan dari latar belakang maka disimpulkan adanya beberapa masalah, diantaranya sebagai berikut:

1. Diperlukan sistem pembacaan nilai sudut yang akurat pada motor servo.

2. Adanya gangguan akustik atau noise dalam pembacaan sensor yang mengakibatkan hasil pembacaan yang tidak akurat.
3. Permasalahan ketidakakuratan pada pembacaan sensor yang mengakibatkan sistem kendali mengambil keputusan yang tidak tepat sehingga mengakibatkan kinerja dari aktuator tidak berfungsi dengan baik.
4. Diperlukannya sistem yang dapat mengolah data hasil pembacaan sensor sehingga hasil dari sistem yang dibuat memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi agar sistem kendali memiliki pilihan lebih handal dan realistis sesuai dengan hasil simulasi dalam melakukan sebuah keputusan.
5. Untuk memberikan respon yang baik terhadap aktuator yang bersifat dinamis diperlukan sistem kendali yang mampu menyajikan ketidaklinieran keputusan yang dapat disesuaikan dengan karakteristik dari aktuator.
6. Perlunya inovasi komponen dalam bidang sistem kendali motor servo, guna mendapatkan sistem kendali yang handal.
7. Perlunya sistem kendali yang handal sehingga aktuator mampu mencapai kondisi *steadystate* dengan cepat.
8. Perlunya sistem kendali dengan tingkat *error steadystate* yang rendah sehingga motor servo mampu memberikan keakuratan yang baik dalam mencapai sudut yang dikehendaki dari sudut acak.

1.3 Pembatasan Masalah

1. Hanya menggunakan motor DC 12V dengan konstruksi yang menggunakan sikat arang tanpa pembahasan materi yang mendalam.
2. Tidak membahas cara pembangkitan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*).

3. Filter kalman yang dibahas dalam tulisan kali ini hanya filter kalman dengan waktu *discrete*.
4. Pada penggunaan logika fuzzy sebagai pengambilan keputusan hanya menggunakan metode sugeno.
5. Dalam penggunaan filter kalman dan logika fuzzy sebatas riset operasi, sehingga dalam penelitian kali ini tidak dilakukan pembuktian secara matematis.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian kali ini adalah

1. Apakah hasil dari filter kalman memiliki nilai kesalahan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan filter kalman terhadap nilai rata-rata hasil pembacaan sensor?
2. Apakah logika fuzzy mampu memberikan kondisi *steadystate* pada sistem kendali motor servo yang lebih baik jika dibandingkan tanpa menggunakan logika fuzzy?
3. Apakah implementasi filter kalman dan logika fuzzy mampu memberikan kondisi *steadystate* pada motor servo yang lebih baik dari hasil penelitian lainnya yang menggunakan logika fuzzy dan PID pada sistem kendali motor servo?

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian yang dilakukan kali ini adalah:

1. Mengetahui apakah filter kalman mampu memberikan hasil pengolahan data hasil pembacaan sensor dengan kesalahan lebih kecil terhadap nilai rata-rata

hasil pembacaan sensor jika dibandingkan dengan hasil pembacaan sensor tanpa menggunakan filter kalman.

2. Mengetahui apakah logika fuzzy mampu mencapai kondisi *steadystate* lebih baik pada sistem kendali motor servo jika dibandingkan dengan sistem kendali tanpa menggunakan logika fuzzy.
3. Mengetahui apakah filter kalman dan logika fuzzy mampu memberikan kondisi *steadystate* yang lebih baik pada sistem kendali motor servo jika dibandingkan dengan hasil penelitian sistem kendali motor servo dengan mengimplementasikan logika fuzzy dan PID.

1.5 Manfaat

Diharapkan setelah terselesaikannya penelitian ini dapat berguna bagi berbagai pihak diantaranya:

1. Bagi pengguna alat

Pengguna dapat memanfaatkan hasil penelitian sehingga dalam dunia industri dapat digunakan sebagai referensi dalam mendesain sistem kendali motor servo.

2. Mahasiswa

Mampu untuk menganalisa permasalahan dan dapat memberikan solusi pada sistem kendali motor servo dan sebagai informasi kepada mahasiswa dalam melakukan inovasi sistem kendali motor servo.

3. Peneliti

Peneliti mendapatkan informasi tentang hasil dari implementasi filter kalman dan logika fuzzy pada sistem kendali motor servo, sehingga dalam melakukan penelitian di kemudian hari pada sistem kendali motor servo

peneliti mampu membuat inovasi baru untuk mendapatkan sistem kendali yang lebih baik pada motor servo.

1.6 Penegasan Istilah

1. Sistem kendali adalah sebuah cara dalam teknik untuk mengendalikan aktuator.
2. Logika fuzzy merupakan salah satu persamaan matematika dalam sistem kendali.
3. Filter kalman merupakan sebuah persamaan matematika dalam upaya meningkatkan ketelitian dari hasil pembacaan dan mengurangi derau nois.
4. Fourier merupakan sebuah persamaan matematika yang mampu menjumlahkan beberapa bentuk sinyal menjadi bentuk sinyal yang lain secara digital.
5. Mikrokontroler merupakan mikroprosesor yang dirancang khusus dalam mengendalikan peralatan yang biasanya terdiri dari memori dan rangkaian masukan juga keluaran.
6. Motor servo merupakan sebuah motor yang mampu menggerakkan sebuah porosengkol sesuai dengan sudut yang diinginkan oleh pengguna.
7. C++ merupakan sebuah bahasa pemrograman untuk memberikan perintah pada sistem mikrokontroler.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1.Kajian Pustaka

Perkembangan teknologi sistem kendali motor servo banyak digunakan di industri guna melakukan pekerjaan yang membutuhkan keakuratan dalam pergerakan poros engkol pada sebuah sistem, untuk mendapatkan sistem kendali yang handal maka diperlukan sistem *monitoring* yang akurat sehingga sistem kendali motor servo mendapatkan masukan data yang dapat digunakan sebagai pengambilan keputusan oleh sistem kendali dengan tepat. Sesuai dengan *study literatur* yang telah dilakukan, peneliti menyimpulkan bahwa dalam mengolah hasil pembacaan sensor agar diperoleh data yang akurat pada umumnya digunakan filter kalman dan pada sistem kendali motor servo lebih banyak menggunakan sistem logika fuzzy jika dibandingkan dengan berbagai algoritma lainnya.

Berikut beberapa penelitian terkait yang sudah dilakukan diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Ohtake, Tanaka, & Wang, 2011 dengan judul *Fuzzy Model-based Servo Control for Discrete-Time Nonlinear Systems with Constraints*. Yang dilakukan di IFAC Proceedings Volumes (Vol. 44). IFAC. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.03290>. Dalam jurnal tersebut membahas tentang sistem kendali motor servo dengan sistem diskrit dengan kendala pada sensor sebagai masukan dan pendekatan algoritma sistem kendali berbasis model fuzzy.

Am, Sumantri, & Wijayanto, n.d. dalam jurnal Pengaturan Posisi Motor Servo DC Dengan Metode Fuzzy Logic menjelaskan tentang pembuatan motor servo dengan penggunaan logika fuzzy sebagai sistem pengendaliannya. Dalam jurnal tersebut dijelaskan juga tata cara penentuan parameter dalam algoritma fuzzy yang terdiri dari kuantisasi, fuzzifikasi dan *rule base*.

M. Amirul Akbar, dan Munadi dalam jurnal dengan judul *Simulation of Fuzzy Logic Control for DC Servo Motor Using Arduino Based on Matlab / Simulink* menjelaskan perbandingan algoritma *Proportional Integral Derivative* dan fuzzy logic dengan menggunakan simulasi pada matlab / simulink dengan perangkat keras berupa papan PCB Arduino.

Abd-alkarim dengan jurnal yang berjudul *Application of Fuzzy Logic in Servo Motor* menjelaskan tentang cara kerja dari desain mekanik dan logika fuzzy pada saat mengendalikan motor servo, dalam jurnal ini dijelaskan tentang performa dari sistem terhadap beban yang berubah-ubah.

Budi Rudyanto dengan judul jurnal Algoritma Filter Kalman untuk Mengaluskan Data menjelaskan tentang tahapan filter kalman dalam melakukan komputasi guna mendapatkan nilai yang optimal dalam satu deret data yang disajikan oleh sebuah sensor.

Greg Welch & Gary Bishop dengan jurnal berjudul *An Introduction to The Kalman Filter* menjelaskan dengan sangat terperinci langkah dan parameter dari filter kalman dalam melakukan komputasi guna mendapatkan hasil yang lebih akurat. Dalam jurnal tersebut juga dijelaskan keunggulan dan kekurangan dari

filter kalman dan dampak dari perubahan setiap parameter penyusun dari filter kalman.

Gangqi Dong dan Zheng H. Zhu dengan jurnal yang berjudul *Autonomus Robotic Capture of Non-Cooperative Target by Adaptive Extended Kalman Filter Based Visual Servo*. Dalam jurnal tersebut dijelaskan tentang penggunaan logika filter kalman untuk memperkirakan pergerakan dari motor servo pada lengan robot secara otomatis.

Mitch Morse dalam jurnalnya dengan judul *Linier Hall Effect Sensor Angle Measurement Theory, Implementation, and Calibration*, menjelaskan tentang penggunaan *hall effect sensor* yang digunakan dalam menghitung nilai sudut rotasi berdasarkan nilai medan magnet secara dua dimensi, dalam jurnal tersebut juga dijelaskan cara pengkalibrasian dari sensor tersebut.

Dari berbagai literasi yang telah disajikan sebelumnya, maka berkesimpulan bahwa apabila motor servo disematkan filter kalman dan logika fuzzy akan memiliki kehandalan sistem yang lebih baik jika dibandingkan dengan motor servo tanpa filter kalman dan logika fuzzy pada sistem kendali motorservo.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Motor Servo

Motor servo merupakan hasil inovasi teknologi dalam bidang sistem kendali motor dengan sistem umpan balik tertutup yang memungkinkan poros engkol sebuah motor dapat dikendalikan dengan akurat. Motor servo sendiri memiliki peran yang sangat penting, salah satunya adalah dimana motor servo dikemudian hari dapat digunakan sebagai aktuator penggerak robot berlengan yang pada akhir-akhir ini dikembangkan. Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan

oleh(Akbar, 2014: 1)yang berjudul *Simulation foFuzzy Logic Control for DC Servo Motor Using Arduino based on Mathlab/Simulink* menyatakan bahwa“robot berlengan banyak dibutuhkan dalam dunia industri, pendidikan dan medis dikarenakan robot ini mampu bekerja dalam berbagai kondisi yang tidak terduga, berbahaya bagi manusia seperti pada reaktor nuklir atau dalam laboratorium kimia yang berbahaya” sehingga dari pernyataan diatas saya simpulkan bahwa sistem kendali motor servo yang handal dirasa sangat penting untuk diteliti guna menciptakan sistem kendali motor servo yang handal, dimana salah satu manfaat dari penelitian kali ini diantaranya adalahdikemudian hari dapat diterapkan dalam pembuatan robot berlengan yang banyak digunakan di industri guna menggantikan peran manusia.

Cara kerja dari motor servo adalah dengan mengatur sudut poros engkol sesuai dengan keinginan dengan sistem umpan balik tertutup, dimana posisi dari poros engkol motor servo akan diinformasikan kembali ke rangkaian guna menentukan arah dan nilai kecepatan pergerakan motor. Pada umumnya motor servo identik dengan motor stepper karena fungsinya yang mirip, yakni mampu menentukan poros engkol sesuai dengan kehendak pengguna. Kekurangan dari motor stepper adalah mengadopsi sistem loop terbuka, sehingga jika sistem pada motor stepper mengalami kesalahan, motor stepper tidak mampu melakukan langkah guna memperbaiki kesalahan yang dialami oleh sistem pada motor tersebut. Motor servo pada umumnya terdiri dari motor DC sebagai penggerak utama, *gear box* sebagai pengubah atau *reducer* kecepatan motor, potensio meter atau sensor *hall effect* sebagai sensor yang digunakan untuk mengetahui

posisi sudut dari poros engkol, dan rangkaian kontrol elektronik guna sebagai sistem kendali dari motor servo, dalam sistem elektronik terdiri dari sistem *monitoring* dan sistem kendali. Penjelasan umum tentang cara kerja motor servo menurut (Syahrul : 145) yang diterbitkan dalam Majalah Ilmiah UNIKOM Vol. 8, No. 2 menjelaskan bahwa “Arus posisi rotasi poros (keluaran servomotor) dibaca oleh sebuah sensor. Sensor ini biasanya adalah sebuah potensiometer (variable resistor) yang menghasilkan tegangan yang sesuai dengan sudut mutlak poros. Sensor posisi kemudian mengumpankan nilai arus ke error amplifier yang membandingkan arus posisi dengan posisi yang diperintahkan dari *pulsewidth to voltage converter*. Potensiometer memungkinkan sirkuit kontrol untuk memonitor arus sudut servo motor. Jika poros motor berada pada sudut yang benar, maka motor mengunci. Jika sirkuit mendapatkan sudut yang tidak benar, dia akan memutar motor ke arah yang benar hingga sudutnya benar”. Motor servo yang ada di pasaran dirasa memiliki banyak kekurangan dalam hal keakuratan dalam menggerakkan poros engkol motor servo dikarenakan pada umumnya motor servo menggunakan sistem kendali sederhana tanpa menggunakan sistem yang kompleks seperti penggunaan filter kalman dan sistem kendali yang handal layaknya logika fuzzy sehingga dalam penelitian ini bermaksud menerapkan filter kalman dan logika fuzzy dalam sistem kendali motor servo sehingga motor servo yang dihasilkan akan memberikan respon yang akurat pada perubahan sudut poros engkol motor servo sesuai dengan kehendak dari pengguna.

Penerapan filter kalman dan logika fuzzy pada sistem kendali yang dirancang dalam penelitian kali ini akan menggunakan sistem mikrokontroller, dengan alasan

menurut (Syahrul : 145) yang diterbitkan dalam Majalah Ilmiah UNIKOM Vol. 8, No. 2 tersebut juga menyatakan bahwa “penggunaan dari mikrokontroler dapat memberikan kemudahan dalam pendesainan serta implementasi dari pengontrolan yang lebih baik”.

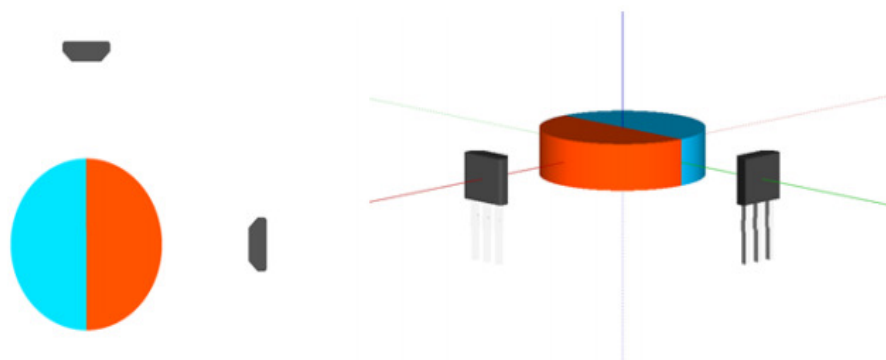
Dari landasan teori pada bab duasanya menyimpulkan perlunya perbaikan dalam sistem *monitoring* dan sistem kendali pada motor servo sehingga tujuan untuk mendapatkan sistem motor servo yang handal dapat tercapai.

2.2.1.1 Mencari Nilai Sudut *Shaft* Motor Servo

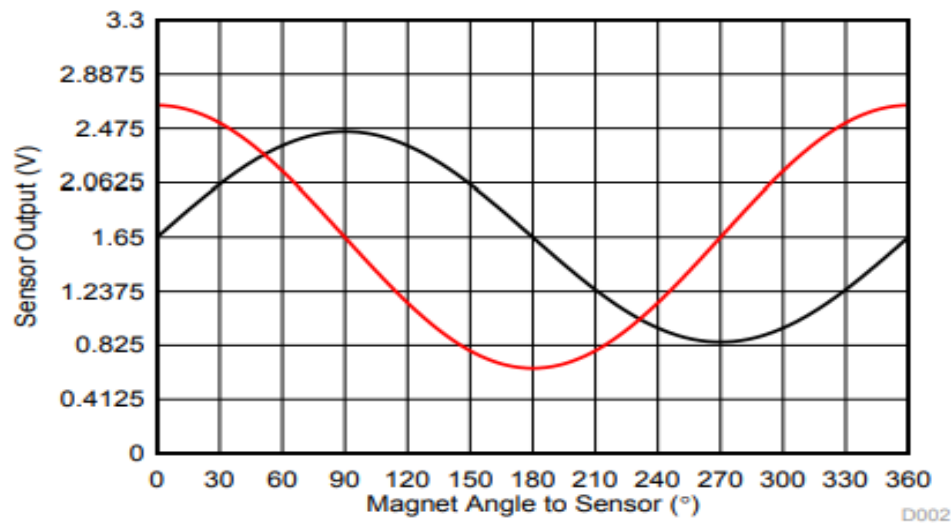
Menentukan nilai sudut dalam penelitian kali ini merupakan hal yang sangat vital sehingga dirasa perlu menggunakan sistem yang handal guna mendapatkan hasil yang baik mengingat nilai dari sudut poros motor servo yang akan dibuat sangat penting guna menentukan pergerakan arah, kecepatan dan torsi dari motor servo itu sendiri. Mengingat pentingnya keakuratan dari pembacaan nilai sudut poros motor servomaka dalam penelitian kali ini akan menggunakan *hall effect sensor* guna mendapatkan nilai dari sudut dari *shaft* motor servo. *Hall effect sensor* sendiri merupakan sensor yang umumnya digunakan untuk mendeteksi posisi dari kutub magnet motor sinkron, menghitung kecepatan putar motor dan untuk menentukan torsi dari motor listrik yang digunakan. Alasan yang kuat bagi saya menggunakan *halleffect sensor* dalam penelitian kali ini dikarenakan berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Current and Sensing, (2018:3) dalam laporan yang ditujukan kepada Texas Instrumen yang berjudul *Linier Hall Effect Sensor Angle Measurement Theory, Implementation, and Calibration* menyatakan bahwa “*hall effect sensor* merupakan sensor yang dapat

mengubah kekuatan medan magnet menjadi sinyal listrik secara linier” dan penelitian yang dilakukan oleh (Treutler, 2001) dimana dalam penelitian tersebut dibahas tentang penggunaan *hall effect sensor* untuk mengukur sudut dari sebuah *shaft* dengan rumus yang akan dijelaskan pada rumus 2.6. Penelitian terkait yang diterbitkan oleh Texas Instrumen ini menunjukkan satu atau perpaduan dari beberapa *hall effect sensor* dapat digunakan untuk mengetahui posisi dari sudut magnet, dikarenakan keluaran dari *hall effect sensor* berupa sinyal analog yang dapat merepresentasikan nilai medan magnet yang terbaca oleh *hall effect sensor*.

Pada umumnya tipe magnet permanen yang digunakan berupa magnet diametrik dan magnet aksial yang berbentuk mulai dari silinder, piringan, dan cincin. Magnet aksial memiliki kutub utara dan selatan pada bagian kulit luarnya, sedangkan magnet diametrik memiliki kutub utara dan selatan di setiap tepi magnet. Untuk mendapatkan hasil yang spesifik maka pada desain penempatan sensor akan sangat menentukan hasil, dalam penelitian kali ini akan menggunakan magnet diametrik dan dua *hall effect sensor* dengan penempatan *hall effect sensor* yang dijelaskan sesuai dengan gambar 2.1.



Gambar 2.1. Implementasi *Hall Effect Sensor* Terhadap Magnet
 Sumber :*Linier hall effect sensor angle measurement theory, implementation and calibration*



Gambar 2.2. Grafik Pembacaan Hall Effect Sensor Sesuai Penempatan Pada Gambar 2.1

Sumber : *Linier hall effect sensor angle measurement theory, implementation and calibration*

Dari gambar 2.2 akan digunakan sebagai acuan mencari nilai dari sudut poros pada motor servo yang juga telah diteliti oleh (Treutler, 2001) di Stuttgart, Germany yang berjudul *Magnetic sensors for automotive applications* dengan fungsi alih sesuai dengan rumus 2.6 sehingga dalam menentukan sudut maka akan diperlukan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Melakukan pembacaan nilai maksimum, minimum serta nilai tengah dari hasil sampel data dalam satu periode yang mana nilai dari pembacaan akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan sudut.
- b. Setelah melakukan kalibrasi maka selama satu periode maka akan di dapat nilai sensor yang akan digunakan secara normal sebagai nilai yang akan di ubah ke nilai sudut dengan menggunakan persamaan pada rumus 2.0 hingga 2.6 sebagai berikut.

$$\text{Nilai Tengah} = \frac{V_{\text{maksimal}} - V_{\text{minimal}}}{2} + V_{\text{minimal}} \quad (2.0)$$

$$\text{Nilai Pembagi} = \frac{V_{\text{maksimal}} - \text{Nilai tengah}}{100} \quad (2.1)$$

$$\text{Nilai } x = V_{\text{terukur}} - \text{Nilai tengah} \quad (2.2)$$

$$\text{Nilai operasi normal} = \frac{V_{\text{terukur}} - V_{\text{minimal}} - V_{\text{amplitudo}}}{V_{\text{amplitudo}}} \quad (2.3)$$

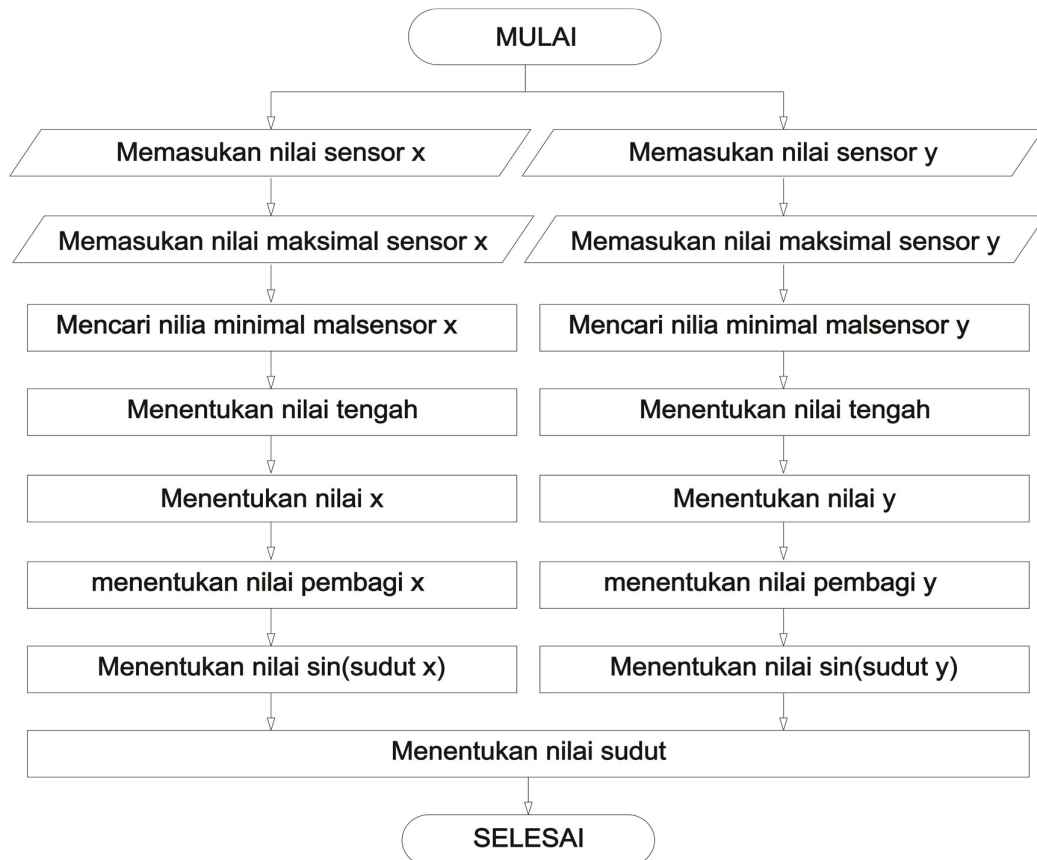
$$V_{\text{amplitudo}} = \frac{V_{\text{maksimal}} - V_{\text{minimal}}}{2} \quad (2.4)$$

$$\text{Nilai sudut } x = \frac{\text{Nilai } x - \text{Nilai Pembagi}}{2} \quad (2.5)$$

- c. Dari hasil perhitungan nilai operasi normal kemudian akan diubah ke nilai sudut dengan persamaan:

$$\text{Sudut} = \arctan^2 \text{ nilai (operasi normal nilai } x \text{ dan nilai } y) \quad (2.6)$$

Untuk memahami lebih jelas dari rumus 2.0 hingga 2.6 maka akan dijabarkan dalam bentuk *flowchart* seperti pada gambar 2.3.



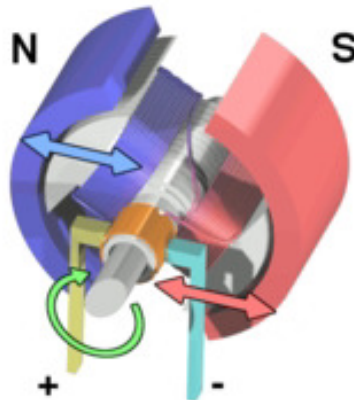
Gambar 2.3. Flowchart Pembacaan Sensor

Dari persamaan 2.0 hingga 2.6 akan diubah ke dalam bahasa pemrograman C++ dengan urutan komputasi berdasarkan gambar 2.3 guna mendapatkan hasil yang diinginkan.

2.2.1.2 Motor DC

Motor merupakan pengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada umumnya motor mengubah medan magnet menjadi gerakan mekanik rotari yang kemudian akan digunakan untuk menggerakkan peralatan yang lainnya. Motor dapat bergerak searah dengan jarum jam atau berlawanan dengan arah jarum jam dengan mengatur posisi medan magnet pada kumparan stator ataupun rotor, sedangkan untuk mengatur kecepatan dari gerakan mekanik motor pada umumnya

dapat dilakukan dengan mengatur besarnya medan magnet yang ada pada stator ataupun pada rotor.



Gambar 2.4. Mekanisme Motor DC Dengan Sikat Arang.

Sumber : https://en.wikipedia.org/wiki/DC_motor

Pada gambar motor DC diatas merupakan motor DC dengan menggunakan sikat arang untuk menghantakan arus dari sumber ke bagian stator sehingga arus yang mengalir dapat dikonversikan menjadi medan magnet guna menggerakkan stator motor DC.

Kecepatan dan torsi dari motor DC akan sangat ditentukan dari nilai arus pada bagian stator yang akan diubah menjadimedan magnet. Adapun besarnya medanmagnet yang akan di berikan pada stator dikendalikan oleh sistem mikrokontroller berdasarkan nilai dari logika fuzzy yang telah diolah.

2.2.2 Filter Kalman

Filter kalman adalah persamaan matematika untuk mendapatkan nilai yang dirasa akurat berdasarkan prediksi nilai dalam pembacaan sebuah nilai. Filter kalman pertamakalidi perkenalkan oleh R. E. Kalman pada tahun 1960 sebagai solusi persamaan filter data diskrit. Filter kalman dirasa penting dalam sistem

monitoring dikarenakan perkembangan jaman menuntut adanya perbaikan dalam berbagi sistem yang lebih efektif, salah satunya adalah penggunaan sistem perhitungan matematika dalam pemrograman untuk mendapatkan hasil keluaran yang diharapkan, salah satu rumus matematika yang sering digunakan untuk mengolah hasil pembacaan sensor adalah penggunaan filter kalman. Menurut Auxilia (2017:2) menyatakan bahwa “Filter kalman menggabungkan semua pengukuran yang tersedia, tanpa memperhatikan ketepatannya, untuk menduga nilai terbaru dari variabel yang diteliti dengan menggunakan pengetahuan tentang sistem dan alat pengukuran, deskripsi statistis dari derau sistem, pengukuran, dan ketidakpastian dalam model dinamis, dan informasi yang tersedia tentang keadaan awal dari variabel yang diteliti”. Kelebihan dari filter kalman jika dibandingkan dengan filter digital lainnya adalah konsep pemrosesan data dengan menggunakan konsep rekursif, selain itu kelebihan filter kalman menurut Mazaheri and Radan, (2017:1) dalam jurnal yang berjudul *Performance evaluation of nonlinear Kalman filtering techniques in low speed brushless DC motors driven sensor-less positioning systems* adalah “karena kesederhanaan, optimalitas, traktabilitas dan keandalannya dalam memproses data”, sedangkan dalam penelitian yang dilakukan oleh Auxilia (2017:2) menyatakan bahwa “tujuan utama dari filter kalman yaitu untuk menduga keadaan dari sistem dinamis”. Dalam filter kalman digunakan teknik pemrograman rekursif, yakni sistem yang dapat memanggil dirinya sendiri yang umumnya digunakan untuk menyelesaikan sebuah komputasi matematika dengan menggunakan beberapa prosedur tertentu, sehingga dikarenakan sistem ini menggunakan sistem pemanggilan dirinya sendiri dapat

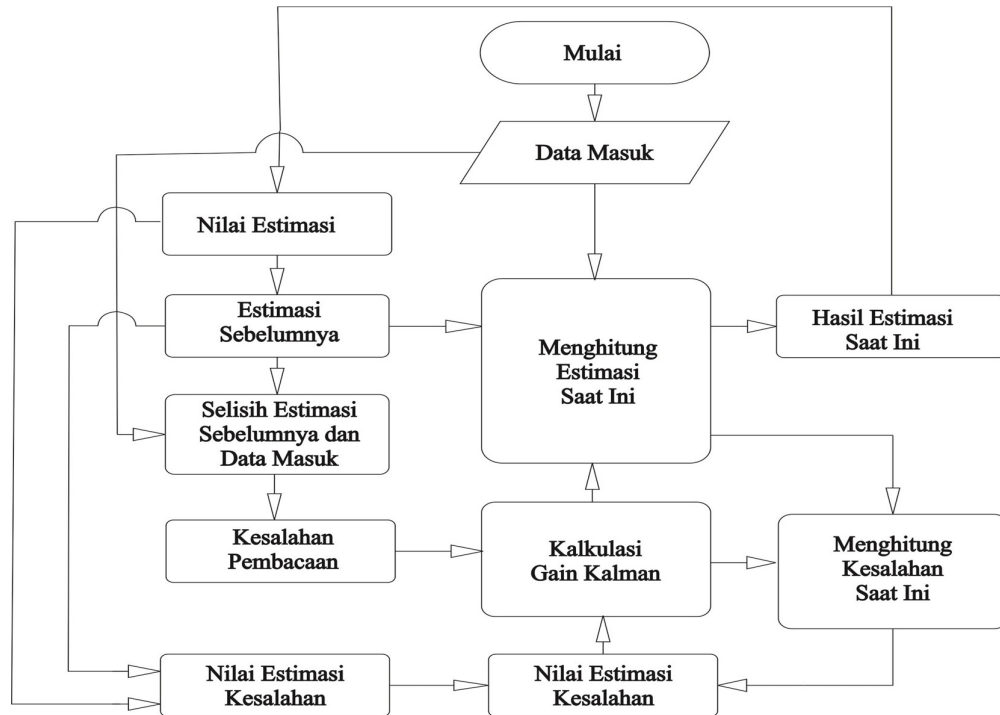
disimpulkan bahwa sistem rekursif merupakan sistem loop tertutup, pada umumnya sistem rekursif hanya dapat dihentikan dengan logika boolean. Kelebihan dari penggunaan konsep rekursif pada filter kalman maka filter kalman adalah tidak memerlukan memori penyimpanan untuk menyimpan semua data.

Filter kalman telah digunakan dengan luas dalam berbagai bidang pembacaan sensor, seperti sistem *tracking* pada video dan laser, navigasi satelit, pendugaan rudal balistik, radar, dan pengontrol tembakan, dalam beberapa penelitian filter kalman sangat membantu dalam meningkatkan kualitas pembacaan data sensor yang diolah secara digital baik data sensor yang berupa pembacaan data analog maupun pembacaan data secara digital. Pada gambar 2.5 ditampilkan dasar dari cara penerapan filter kalman pada suatu sistem *monitoring*.

Penelitian yang dilakukan Qomarudin, (2015:5) dalam terjemahannya dari penelitian oleh Greg Welch dan Gary Bishop dalam penelitian yang berjudul *An Introduction to the Kalman Filter* menjelaskan bahwa “Persamaan untuk filter kalman dikelompokkan dalam dua bagian yakni persamaan *update* waktu dan persamaan *update* pengukuran. Persamaan *update* waktu bertugas untuk mendapatkan nilai pra-estimasi untuk waktu step selanjutnya, persamaan *update* pengukuran bertugas untuk keperluan umpan balik, seperti memadukan hasil pengukuran terbaru dengan nilai pra-estimasi untuk mendapatkan nilai paska-estimasi yang lebih baik”. Pada filter kalman terdapat persamaan pembaharuan waktu yang juga sering disebut dengan persamaan prediksi, dan juga persamaan pembaharuan pengukuran atau yang juga disebut dengan koreksi, sehingga filter

kalman akan menyerupai persamaan prediksi dan koreksi yang dilakukan secara terus menerus.

Penjelasan dari filter kalman dicantumkan dalam bagan sebagai berikut dijelaskan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Alur Proses Dalam Filter Kalman
(sumber: Pengantar Filter kalman Diskrit)

Dengan persamaan sebagai berikut:

Pembaharuan waktu(prediksi)

$$\text{Keadaan sebelumnya} \quad X_k^- = AX_{k-1}^+ + BU_{k-1} \quad (2.7)$$

$$\text{Error kovariansi sebelumnya} \quad P_k^- = AP_{k-1}^+ A_k^T + Q \quad (2.8)$$

Pembaaruan pengukuran

$$\text{Mencari kalman gain} \quad K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R)^{-1} \quad (2.9)$$

$$\text{Memperbahauai keadaan} \quad X_k^+ = X_k^- + K(z_k - HX_k^-) \quad (2.10)$$

$$\text{Pembaharuan kovariansi} \quad P_k^+ = (1 - K_k H) P_k^- \quad (2.11)$$

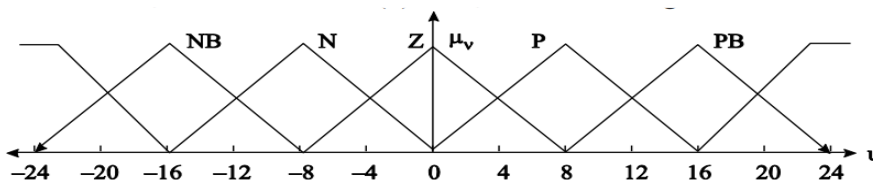
Seperti yang telah dijelaskan pada gambar 2.5 bahwa filter kalman bekerja dengan cara mengestimasi keadaan yang akan terjadi berdasarkan persamaan yang telah ditentukan sesuai dengan rumus 2.7 sampai dengan rumus 2.11 dilakukan dengan terus menerus. Dari pembahasan tentang kalman filter maka dapat disimpulkan bahwa, filter kalman memiliki kemampuan untuk memprediksi nilai yang akan disajikan dengan lebih baik, sehingga dalam penelitian ini akan digunakan filter kalman untuk mengolah hasil pembacaan dari sensor sehingga didapatkan hasil olahan data yang lebih baik.

2.2.3 Logika Fuzzy

Logika fuzzy merupakan hasil dari upaya peningkatan dari pada logika boolean yang hanya memiliki kesimpulan benar atau salah. Logika fuzzy akan menyatakan nilai kebenaran sebuah studi kasus dari nol sampai satu, yang kemudian juga akan diputuskan kesimpulan atau hasil berdasarkan data masukan serta aturan yang telah ditentukan. Logika fuzzy pertama kali dikenalkan oleh DR. Lotfi Zadeh di Universitas California, Berkeley pada tahun 1965. Dalam sistem kendali, logika fuzzy merupakan logika pemrograman yang umum digunakan dalam sistem kendali motor guna mendapatkan efisiensi dan menekan biaya produksi namun tetap mempertahankan kualitas dari barang yang diproduksi. Dalam penelitian kali ini akan digunakan logika fuzzy dalam sistem kendali motor servo yang merupakan salah satu komponen penyusun robot ber lengan, dengan tujuan yakni peningkatan akurasi pergerakan poros engkol motor servo, dengan penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi dari pergerakan lengan robot yang menggunakan motor servo sebagai komponen

penggeraknya. Penelitian yang terkait dengan logika fuzzy dalam upaya optimasi performa dari motor servo salah satunya dilakukan oleh Abd-alkarim, (2007:2) dalam penelitian yang berjudul *Application of Fuzzy Logic in Servo Motor* yang mengatakan bahwa “sistem kendali motor servo DC cocok dikombinasikan dengan sistem kontrol pada fuzzy, terutama semenjak nonlinieritas dari motor berpengaruh secara signifikan terhadap dinamika proses pada saat perubahan beban pada motor”. Dalam beberapa penelitian terkait lainnya juga menunjukkan bahwa logika fuzzy lebih baik jika dibandingkan dengan sistem kendali motor lainnya serta logika fuzzy lebih tahan terhadap gangguan noise.

Logika fuzzy secara umum memiliki beberapa tahapan diantaranya adalah: *fuzzification*, *rule base tabel* dan *defuzzifikasi*. Fuzzifikasi merupakan proses perubahan nilai dari input numerik menjadi variabel linguistik dengan menerapkan *membership function*. Dalam logika fuzzy maka semakin banyak variabel linguistik maka respon dari sistem kendali akan semakin baik yang ditandai dengan kecilnya *overshoot* dan kecepatan menuju *set point*. Dalam penelitian kali ini akan digunakan lima level fuzzy yakni: NB (*Negative Big*), NS (*Negative Small*), ZE (*Zero*), PS (*Positive Small*), PB (*Positive Big*) (Hooda & Vivek, 2017: 186).



Gambar 2.6. Membership Function Input dan Output
 Sumber: *Fuzzy Logic Model and Fuzzy Control* (2017: 186)

Masukan dari sistem kendali logika fuzzy pada umumnya berupa *error E* dan perubahan *error ΔE*. Pada tabel dibawah dijelaskan hubungan komputasi dari E dan ΔE.

Dari gambar 2.6 sebagai contoh perhitungan nilai fuzzy antara Z (*zero*) dan P (*positive*), maka dapat disimpulkan bahwa:

Persamaan Z (*zero*) adalah :

$$u(Z) = \frac{P - U}{P - Z} \quad (2.12)$$

$$Z = \frac{u(P)}{x} + P \quad (2.13)$$

Persamaan P (*positive*) adalah :

$$u(P) = \frac{P - (u - P)}{P - Z} \quad (2.14)$$

$$P = \frac{u(P)}{x} + Z \quad (2.15)$$

Sehingga nilai fuzzy pada nilai antara *zero* dan *positive* adalah :

$$\text{Fuzzy} = \frac{u(Z) \times Z + u(P) \times P}{u(Z) + u(P)} \quad (2.16)$$

Dari persamaan dan kajian teori tentang filter kalman memungkinkan untuk digunakan dalam sistem kendali kendali pada motor servo dikarenakan persamaannya yang dapat lebih mudah di rubah dan di prediksi sehingga memungkinkan sistem kendali yang digunakan akan bekerja secara dinamis terhadap karakter aktuator yang digunakan.

2.3 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian dengan judul “Implementasi Filter Kalman dan Logika Fuzzy pada Sistem Kendali Motor Servo” akan meningkatkan kehandalan dari motor servo jika dibandingkan dengan motor servo yang sudah ada dikarenakan penggunaan persamaan matematika yang sudah teruji dalam beberapa penelitian sebelumnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari perancangan, simulasi, dan pembuatan motor servo yang mengimplementasikan filter kalman dan logika fuzzy maka disimpulkan bahwa:

- a. Hasil dari filter kalman terbukti mampu mengolah hasil pembacaan sensor dan memberikan data yang lebih baik terhadap adanya ketidak stabilan dari nilai sensor akibat dari berbagai masalah, salah satunya adalah adanya gangguan nois.
- b. Hasil pembacaan sensor tanpa menggunakan filter kalman memiliki nilai tidak stabil jika dibandingkan dengan menggunakan filter kalman, hal ini nampak jelas pada hasil pembacaan setelah menggunakan filter kalman dimana data yang disajikan memiliki tingkat nilai dua angka dibelakang koma dan mampu memberikan kepastian nilai yang lebih baik.
- c. Sistem kendali tanpa menggunakan logika fuzzy akan sangat sulit dalam mendapatkan kestabilan dalam sebuah sistem kendali, hal ini dapat dibuktikan dalam tabel 4.5 dimana motor servo tidak mampu mencapai sudut yang ditentukan dengan tepat, sehingga dalam praktiknya sistem kendali tidak mampu mencapai nilai *steadystate* yang telah ditentukan. Dalam hal ini disimpulkan bahwa tanpa mengimplementasikan logika fuzzy maka sistem kendali tidak handal.
- d. Implementasi logika fuzzy pada sistem kendali motor servo mampu memberikan performa yang lebih baik jika dibandingkan dengan tanpa

menggunakan logika fuzzy, sistem kendali mampu mencapai nilai *steadystate* dengan kealahan *steadystate* kurang dari 2%.

- e. Logika fuzzy mampu memberikan sistem kendali yang handal pada motor servo, namun tanpa menggunakan filter kalman logika fuzzy memiliki tingkat kesalahan saat kondisi *steadystate* antara 0.1% sampai 1.1% hal ini dikarenakan tanpa filter kalman nilai sudut dan akselerasi terus berubah dikarenakan gangguan nois, hal ini membuat logika fuzzy merespon hal tersebut dan menggerakkan poros motor servo untuk mencapai kondisi *steadystate*, yang seharusnya motor servo berhenti karena telah mencapai nilai *steadystate*.
- f. Sistem kendali motor dengan mengimplementasikan filter kalman dan logika fuzzy terbukti mampu untuk mendapatkan nilai akurasi yang baik, hal ini terbukti dengan nilai kesalahan *steadystate* yang cukup kecil, yakni 0.03% hingga 0.45%, lebih dari dua kali lebih baik jika tanpa menggunakan filter kalman. Akurasi yang tinggi dalam pengimplementasian filter kalman disebabkan oleh kepastian nilai yang baik dari pengolahan nilai hasil pembacaan sensor sudut oleh filter kalman, sehingga logika fuzzy mampu mengendalikan motor servo dengan lebih baik sesuai dengan kehendak pengguna dan identik dengan hasil simulasi.
- g. Kesimpulan untuk hasil dari implementasi filter kalman dan logika fuzzy pada sistem kendali motor servo terhadap penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wei Ji pada tahun 2011 dengan judul *Adaptive fuzzy PID composite control with hysteresis-band swithhing for line of sight stabilization servo system* menunjukkan bahwa implementasi filter kalman dan logika fuzzy pada sistem

kendali motor servo tidak lebih baik dari penggunaan logika fuzzy dan PID pada sistem kendali motor servo yang telah dibuktikan dengan pembahasan 4.2.4 tentang pembahasan hasil implementasi filter kalman dan logika fuzzy pada sistem kendali motor servo terhadap hasil implementasi logika fuzzy dan PID pada sistem kendali motor servo.

5.2 Saran

Perkembangan industri yang semakin kompleks menuntut berbagai pekerjaan dijalankan dengan cepat, akurat dan murah. Untuk mencapai tujuan tersebut perlunya sistem kendali yang handal dan hasil pembacaan yang kompleks sehingga disarankan untuk:

- a. Untuk mendapatkan hasil yang baik dalam mendesain alat disarankan untuk melakukan simulasi terlebih dahulu, sehingga hasil yang didapat dalam pengaplikasiannya mendekati hasil yang diharapkan.
- b. Disarankan untuk menggunakan filter kalman dalam berbagai pengolahan data pada sehingga didapatkan nilai yang dirasa lebih baik.
- c. Penelitian kali ini menggunakan digital dengan sifat filter pasif, sehingga banyak parameter yang sulit disesuaikan terhadap nilai gangguan nois yang berdampak pada filter kalman hanya mampu mengurangi masalah gangguan nois tanpa benar-benar menghilangkannya pada keluaran filter kalman, untuk mengoptimalkan fungsi dari filter kalman dapat dikombinasikan dengan filter adaptif sehingga didapatkan filter yang ideal.

- d. Logika fuzzy dalam berbagai literasi yang ada dan dari hasil penelitian kali ini maka disarankan untuk menggunakan logika fuzzy untuk sistem kendali pada aktuator yang bersifat dinamis seperti pada sistem kendali motor DC.
- e. Pada sistem kendali mengalami beberapa masalah salah satunya adalah penyesuaian dari sistem kendali terhadap aktuator yang bersifat dinamis sehingga pada hasil sistem kendali mengalami *overshoot* yang besar, untuk mengurangi *overshoot* dan kondisi *steadystate* yang baik disarankan menggunakan motor sinkron.
- f. Untuk mempertahankan penggunaan motor *brushed* sebagai aktuator dengan alasan jika menggunakan motor *brushless* atau motor sinkron terlalu mahal untuk biaya produksi, maka untuk mendapatkan nilai *overshoot* yang rendah dan kondisi *steadystate* yang baik dapat digunakan penggabungan algoritma atau sering disebut dengan *hybride algorithm* antara PID dan logika fuzzy

DAFTAR PUSTAKA

- Abd-alkarim, S. F. (2007). Application of Fuzzy Logic in Servo Motor, *Al-khwaizmi Engineering Journal* 3(2), 8–16.
- Ahmadabadi, Z. N. (2019). Nonlinear energy transfer from an engine crankshaft to an essentially nonlinear attachment. *Journal of Sound and Vibration*, 443, 139–154. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2018.11.040>.
- Awad, A. (2018). Impulse noise reduction in audio signal through multi-stage technique. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.10.008>.
- Biocanin, S., & Biocanin, M. (2017). Measurement crankshaft angular speed of an OM403 engine. *Serbian Journal of Electrical Engineering*, 14(2), 257–275. <https://doi.org/10.2298/sjee1702257b>.
- Chen, B. Sen, & Peng, S. C. (1995). Stability analysis of digital Kalman filters. *Control and Dynamic Systems*, Department of Electrical Engineering Natioan; Tsing Hua University. 73(C), 207–236. [https://doi.org/10.1016/S0090-5267\(05\)80008-8](https://doi.org/10.1016/S0090-5267(05)80008-8)
- Chop, B. (1999). t JZZY Design of a single-input fuzzy logic controller and its properties, *Fuzzy Set and Systems*. 106, 299–308.
- Current, M. M., & Sensing, M. (2018). *Linear Hall Effect Sensor Angle Measurement Theory, Implementation , and Calibration, (July)*, 1–26.
- Dong, G., & Zhu, Z. H. (2016). Autonomous robotic capture of non-cooperative target by adaptive extended Kalman filter based visual servo. *Acta Astronautica*, 122, 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.02.003>
- eWolf Community. (2011). *INDEKS LENGKAP SYNTAX/EWOLF COMMUNITY*. edisi pertama .Yogyakarta: Mediakom.
- Gutiérrez León, P., García-Morales, J., Escobar-Jiménez, R. F., Gómez-Aguilar, J. F., López-López, G., & Torres, L. (2018). Implementation of a fault tolerant system for the internal combustion engine's MAF sensor. Measurement: *Journal of the International Measurement Confederation*, 122(May 2017), 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.006>.
- Ilyas, A., Yahya, S., & Al-rizzo, H. (2017). Fuzzy-logic control of an inverted pendulum on a cart Fuzzy-logic control of an inverted pendulum on a cart R, (July). <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.05.016>

- Istiyanto, Jazi. (2014). PENGANTAR ELEKTRONIKA & INSTRUMENTASI (PROJECT PENDEKATAN ARDUINO DAN ANDROID). Edisi Pertama Yogyakarta: Andi Offset.
- Mazaheri, A., & Radan, A. (2017). Performance evaluation of nonlinear Kalman filtering techniques in low speed brushless DC motors driven sensor-less positioning systems. *Control Engineering Practice*, 60(December 2015), 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2017.01.004>.
- Morse. Texas instrument. (2018). *Linier hall effect sensor angle measurement theory, implementation and calibration*. SLYA036A–July 2018–Revised August 2018
- Munir, R dan Lidya L. (1997). *Algoritma dan Pemrograman*. edisi pertama. Bandung: Informatika Bandung.
- Odry, Á., Fullér, R., Rudas, I. J., & Odry, P. (2018). Kalman filter for mobile-robot attitude estimation: Novel optimized and adaptive solutions. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 110, 569–589. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2018.03.053>
- Ohtake, H., Tanaka, K., & Wang, H. O. (2011). Fuzzy Model-based Servo Control for Discrete-Time Nonlinear Systems with Constraints. *IFAC Proceedings Volumes* (Vol. 44). IFAC. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.03290>
- Reza, W., Ade, Y., & Widhiada, I. W. (2018). Implementasi Sistem Kontrol Fuzzy Pada Robot Lengan Exoskeleton, *Jurnal METTEK*. 4 (2), 54–61.
- Setiawan, S. (2006). MUDAH DAN MENYENANGKAN BELAJAR MIKROKONTROLLER. Edisi Pertama. Yogyakarta: Andi Offset.
- Shinichi, Yatsuzuka, dkk (2015). *Experimental and numerical evaluation of liquid-piston steam engine*. Denso Corporation, Japan.
- Sianipar, R.H. (2015). *MATLAB UNTUK MAHASISWA*. Edisi pertama. Yogyakarta : ANDI.
- Srihari, M., Saheb, S. H., & Nirmala, S. V. (2016). Design and Analysis of Crankshaft for 4- Stroke Deisel Engine, *International Journal of scientific and Modern Education(IJSRME)* (September). <https://doi.org/10.5281/ZENODO.158931>.
- Stovner, B. N., Johansen, T. A., Fossen, T. I., & Schjøllberg, I. (2018). Attitude estimation by multiplicative exogenous Kalman filter. *Automatica*, 95, 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2018.05.038>
- Sudjana. (1996). *METODA STATISTIKA*. Edisi keenam. Bandung: Tarsito Bandung.

- Sugiyono. (2016). *METODE PENELITIAN PENDIDIKAN*. Edisi ke-23. Bandung. Alfabeta Bandung.
- Treutler, C. P. O. (2001). Magnetic sensors for automotive applications. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 91(1–2), 2–6. [https://doi.org/10.1016/S0924-4247\(01\)00621-5](https://doi.org/10.1016/S0924-4247(01)00621-5).
- Wei, J. Qi, L. Dean, Z. & Shixiong, F. (2011). Adaptive Fuzzy PID composite control with hysteresis-band switching for line of sight stabilization servosystem. *Aerospace Science and Technology* (15), 25-32.
- Welch, G., & Bishop, G. (2006). TR 95-041: *An Introduction to the Kalman Filter*. *In Practice*, 7(1), 1–16. 2nd ed. Department of Computer Science University of North Carolina at Chapel Hill. <https://doi.org/10.1.1.117.6808>.
- Yuliani, S., & Saputra, M. (2016). Kolaborasi Kalman Filter dengan Complementary Filter untuk Mengoptimasi Hasil Sensor Gyroscope dan Accelerometer, *Seminar Nasional ITENAS(01)*, 1–6.