



**RANCANG BANGUN THERMAL VACUUM
EVAPORATOR UNTUK PELAPISAN FILM TIPIS
DENGAN ALGORITMA FUZZY-PID**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana
Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

oleh

Andi Suhono

5301414085

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Andi Suhono
NIM : 5301414085
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro
Judul : Rancang Bangun Thermal Vacuum Evaporator Untuk Pelapisan
Film Tipis Dengan Algoritma Fuzzy-PID

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 15 Juli 2019

Dosen pembimbing



Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T.

NIP.197805312005011002

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Rancang Bangun Thermal Vacuum Evaporator Untuk Pelapisan Film Tipis Dengan Algoritma Fuzzy-PID” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 26 Juli 2019

Oleh

Nama : Andi Suhono
NIM : 5301414085
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

Panitia

Ketua

Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, M.T.
NIP.197805312005011002

Sekretaris

Drs. Agus Suryanto, M.T.
NIP. 196708181992031004

Penguji 1

Prof. Dr. Sutikno, M.T.
NIP.197411201999031003

Penguji 2

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

Penguji 3/Pembimbing

Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, M.T.
NIP.195506061986031002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 15 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Andi Suhono

NIM. 5301414085

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Hadapi semua liku-liku, untuk sampai ke puncak.
2. Nikmati dan syukuri apa yang ada

Untuk Bapak, Ibu dan adik tercinta.
Serta untuk Negara Kesatuan Republik Indonesia.

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua tercinta yang tiada henti memberikan motivasi, semangat, do'a, dan dukungan.
2. Adik tercinta yang selalu mendo'akan, menghibur, dan penyemangat hidup untuk segera lulus.
3. Semua anggota keluarga yang telah memberikan do'a dan dukungan.
4. Dosen pembimbing yang telah membimbing, memotivasi dan mengarahkan.
5. Teman-teman seperjuangan PTE 2014 yang menyemangati, menguatkan, dan membagi ilmunya.
6. Partner bisnis miniatur yang ikut andil dan memberi pendapatan dana untuk menambah kelancaran pembuatan alat skripsi.

ABSTRAK

Andi Suhono. 5301414084. 2019. Rancang Bangun Thermal Vacuum Evaporator Untuk Pelapisan Film Tipis Dengan Algoritma Fuzzy-PID Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang. Dr.-ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T.

Teknologi Film tipis merupakan teknologi modern yang sudah banyak digunakan terutama pada lapisan konduktor-semikonduktor. Terutama nano teknologi yang dewasa ini berkembang dengan pesat, itu terkait dengan teknologi lapisan film tipis. Salah satu metode yang digunakan untuk pelapisan film tipis adalah *Physical Vapor Deposition*, metode tersebut memanfaatkan pembakaran material dalam ruang vakum dengan sistem evaporasi dan deposisi.

Penelitian menghasilkan sebuah alat pelapisan film tipis yang bernama *Thermal Vacuum Evaporator*. Dalam metode *PVD* tidak lepas dari pengaturan suhu filamen yang digunakan untuk membakar material dalam ruang vakum. Maka dari itu peneliti menggunakan algoritma *fuzzy-PID* untuk mengendalikan panas, dengan tujuan agar memperoleh lapisan film tipis yang baik dan efektif.

Sistem kendali *Fuzzy-PID* memanfaatkan logika *Fuzzy* untuk mengolah *error* dan *delta error* menjadi nilai K_p , K_i , dan K_d . Yang kemudian nilai K_p , K_i , dan K_d tersebut digunakan untuk *tuning* parameter sistem Kendali *PID*. Algoritma sistem kendali *Fuzzy-PID* didesain menggunakan *software* Simulink MATLAB. Di dalam desain tersebut dihasilkan *membership function*, *rule base*, desain pemanas. Dengan menggunakan *software* Simulink MATLAB sistem kendali *Fuzzy-PID* diuji menggunakan *Step Respon* dan *Ramp Respon*.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang menghasilkan alat *Thermal Vacuum Evaporator* yang menggunakan algoritma sistem kendali *Fuzzy-PID*. Algoritma tersebut mengendalikan pemanas melalui mikrokontrol ATMEGA 2560 yang telah diprogram dengan metode *Fuzzy-PID*. Dengan suhu maksimal 500°C . Namun alat ini belum mampu digunakan untuk pelapisan film tipis, dikarenakan suhu pemanas hanya mencapai suhu 500°C .

Kata kunci – Film Tipis, *PVD*, *Fuzzy-PID*, *Arduino*, *Thermal Vacuum Evaporator*

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul Rancang Bangun Thermal Vacuum Evaporator Untuk Pelapisan Film Tipis Dengan Algoritma Fuzzy-PID. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita semua mendapatkan syafaatnya di yaumul akhir nanti, amin.

Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada yang terhormat:

1. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi izin dalam penyusunan proposal skripsi.
2. Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T, M.T., Ketua Jurusan Teknik Elektro sekaligus Kaprodi Pendidikan Teknik Elektro.
3. Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, memotivasi dan mengarahkan.
4. Semua dosen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan bekal pengetahuan yang berharga.
5. Semua pihak yang telah memberi bantuan dan motivasi untuk karya tulis ini.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pelaksanaan pembelajaran di Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 12 April 2019

Peneliti



Andi Suhono

NIM. 5301414085

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
PRAKATA.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
1 BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan.....	4
1.6 Manfaat.....	5
2 BAB II.....	6
2.1 Kajian Pustaka yang Relevan	6
2.2 Lapisan Film Tipis.....	8
2.3 Physical Vapor Deposition (PVD)	9
2.4 Sistem Kendali Fuzzy-PID	10
2.4.1 Logika Fuzzy.....	12
2.4.2 Kendali <i>PID</i>	23
2.4.3 Kendali <i>Fuzzy-PID</i>	26
2.5 Penggunaan komputer Untuk Simulasi	27
2.5.1 Software MATLAB R2016b.....	28
2.5.2 Simulink MATLAB	28
3 BAB III	30
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	31

3.2	Prosedur Penelitian	32
3.3	Desain dan Sistem Alat	35
3.3.1	Desain Alat.....	35
3.3.2	Rancangan Tampilan Alat.....	36
3.3.3	Rancangan Sistem Alat	38
3.4	Cara kerja Alat.....	47
3.5	Alat, Bahan, dan Software.....	49
3.6	Teknik Pengumpulan Data	50
3.7	Teknik Analisis Data	51
4	BAB IV	52
4.1	Rancangan Alat	52
4.1.1	Ruang Vakum	53
4.1.2	Panel Kendali	55
4.1.3	Brankas.....	56
4.2	Hasil dan Pembahasan Simulasi Menggunakan Software.....	57
4.2.1	Fuzzy-PID dengan <i>Step Respon</i>	58
4.2.2	Fuzzy-PID dengan <i>Ramp Respon</i>	59
4.3	Kinerja Alat	60
4.3.1	Hasil dan Pembahasan Sensor Suhu berdasarkan <i>Set Point</i>	60
4.3.2	Hasil dan Pembahasan pelapisan Aluminium pada kaca ITO	64
5	BAB V.....	67
5.1	Simpulan.....	67
5.2	Saran	68
	DAFTAR PUSTAKA	69
	DAFTAR LAMPIRAN.....	73
	Source Code ATmega	73
	Foto Pengujian Alat	77
	Petunjuk Penggunaan Alat	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur sistem kendali <i>loop</i> tertutup (Corrigan, 2012:6)	11
Gambar 2.2 Representasi linear naik (Kusumadewi dan Purnomo, 2004)	14
Gambar 2.3 Representasi linear turun (Kusumadewi dan Purnomo, 2004).....	15
Gambar 2.4 Representasi Kurva Segitiga (Kusumadewi dan Purnomo, 2004)	16
Gambar 2.5 Representasi Kurva Trapesium (Kusumadewi dan Purnomo, 2004) 16	
Gambar 2.6 Struktur Kontrol Logika <i>Fuzzy</i> (Patole dan Mittal, 2017)	18
Gambar 2.7 Sistem Kendali <i>PID</i> (Patole dan Mittal, 2017)	23
Gambar 2.8 Diagram Kendali <i>Fuzzy-PID</i> (Pattole dan Mittal, 2017).....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian	33
Gambar 3.2 Ruang Vakum.....	36
Gambar 3.3 Panel Kendali	37
Gambar 3.4 Lemari penyimpanan.....	37
Gambar 3.5 Diagram Blok Alat	38
Gambar 3.6 Konfigurasi Pin ATmega 2560	39
Gambar 3.7 Struktur Sistem Kendali <i>fuzzy-PID</i>	41
Gambar 3.8 Proses Logika Fuzzy	43
Gambar 3.9 <i>Membership Function error(e)</i> dan <i>delta error(Δe)</i>	43
Gambar 3.10 <i>Membership Function Kp</i>	44
Gambar 3.11 <i>Membership Function Ki</i>	44
Gambar 3.12 <i>Membership Function Kd</i>	44
Gambar 3.13 Blok Simulasi Simulink, MATLAB	46
Gambar 3.14 Diagram Alir Cara Kerja <i>Thermal Vacuum Evaporator</i>	47
Gambar 4.1 Tampilan Alat Keseluruhan	53
Gambar 4.2 Ruang Vakum.....	53
Gambar 4.3 Tempat Bahan Material.....	54
Gambar 4.4 Tempat Substrat.....	54
Gambar 4.5 Pemanas.....	55
Gambar 4.6 Panel Kendali	55
Gambar 4.7 Brankas.....	57
Gambar 4.8 <i>Fuzzy-PID</i> dengan <i>Step Respon</i>	58
Gambar 4.9 Grafik <i>Fuzzy-PID</i> dengan <i>Step Respon</i>	58
Gambar 4.10 <i>Fuzzy-PID</i> dengan <i>Ramp Respon</i>	59
Gambar 4.11 Grafik <i>Fuzzy-PID</i> dengan <i>Ramp Respon</i>	59
Gambar 4.12 Kinerja Alat Pada <i>Set Point</i> 100 °C	60
Gambar 4.13 Kinerja Alat Pada <i>Set Point</i> 125 °C	61
Gambar 4.14 Kinerja Alat Pada <i>Set Point</i> 150 °C	62
Gambar 4.15 Kinerja Alat Pada <i>Set Point</i> 175 °C	63
Gambar 4.16 Kinerja Alat Pada <i>Set Point</i> 200 °C	64
Gambar 4.17 <i>Set Point</i> 500°C	64
Gambar 4.18 Sisa Hasil Pembakaran	65
Gambar 4.19 Kaca <i>ITO</i> Setelah Pengujian Alat	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengaruh kontroler <i>PID</i> pada sistem respon.....	24
Tabel 3.1 Konfigurasi Pin ATmega 2560	40
Tabel 3.2 <i>Fuzzy Rules Kp</i>	45
Tabel 3.3 <i>Fuzzy Rules Ki</i>	45
Tabel 3.4 <i>Fuzzy Rules Kd</i>	45

DAFTAR LAMPIRAN

Source code Atmega 2560	73
Gambar Pengujian Alat	77
Petunjuk Penggunaan Alat	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di dalam perkembangan teknologi pada bidang ilmu material, para ahli senantiasa melakukan pembaharuan seiring dengan perkembangan zaman. Salah satu perkembangan teknologi di dalam ilmu material adalah bidang material mutakhir. Material mutakhir erat kaitannya dengan teknologi nano dan perangkat-perangkat canggih yang memiliki fungsi luar biasa, salah satunya adalah teknologi lapisan film tipis atau biasa disebut dengan *Thin Film*.

Lapisan Film tipis adalah suatu lapisan yang sangat tipis terbuat dari bahan organik, inorganik, metal maupun campuran metal organik dan memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor maupun isolator (Sudjatmoko, 2003). Lapisan tipis pada umumnya mempunyai ketebalan yang berkisar antara 10^{-6} - 10^{-9} meter (Ezema, 2004). Untuk membuat lapisan tipis suatu reagen direaksikan dengan cara dideposisikan di atas suatu bahan yang disebut substrat yang pada umumnya berbentuk keping, sehingga sifat bahan awalnya akan berbeda dengan hasil pengendapan yang diperoleh atau terbentuknya unsur baru (Ezema *and* Okeke, 2003).

Dewasa ini lapisan tipis merupakan salah satu aspek yang mendapat perhatian sangat besar, terutama dalam bidang material karena lapisan tipis merupakan material yang menarik yang memiliki sifat optik yang sangat tergantung pada konstanta dielektrik, indeks bias, dan energi gap. Lapisan tipis juga sangat tergantung pada sifat-sifat bahan lapisan tipis yang akan di endapkan (Ugwu, 2006). Dengan teknologi lapisan tipis diharapkan dapat diperoleh suatu bahan yang

berkualitas baik, sehingga dapat diaplikasikan ke dalam suatu bahan. Perkembangan penelitian tentang penumbuhan lapisan tipis semakin maju yang dapat diaplikasikan untuk bidang komunikasi, ilmu teknik dan teknologi lainnya termasuk aplikasi dalam fisika, yang digunakan dalam industri elektronika (pembuatan foto detektor, kapasitor, dan mikroelektronika), untuk perangkat bahan semikonduktor (Yahaya et al, 2007).

Aspek lain yang sangat penting dalam teknologi pembuatan lapisan tipis adalah metode preparasinya. Hingga dewasa ini telah dikenal berbagai metode dan sudah diaplikasikan secara luas. Beberapa metode yang dipakai dalam penumbuhan lapisan tipis antara lain: *physical vapor deposition* (PVD) (Lee et al., 2003) seperti penguapan, dan pengembunan, *chemical vapor deposition* (CVD) (Ravangave et al., 2012), *chemical bath deposition* (CBD) (Raniero et al., 2010), *DC magnetron sputtering* (Sun et al, 2010). Pemakaian metode-metode tersebut mempunyai tujuan yang sama yaitu untuk menghasilkan lapisan tipis yang mempunyai kualitas yang baik dengan biaya produksi rendah (Syamsu dkk, 2005).

Proses Physical Vapour Deposition adalah proses pengendapan atom atau molekul yang diuapkan dari sumber padat atau cair, terbawa dalam bentuk uap melalui ruang vakum atau gas bertekanan rendah, kemudian mengembun pada substrat media yang disediakan. PVD dapat digunakan untuk menguapkan bahan tunggal, ganda maupun majemuk. Dalam proses PVD hampir semua bahan dari organik maupun anorganik dapat diuapkan, serta bebas polusi (Mattox, 1995).

Beberapa penelitian terkait PVD sebagai pembuatan film tipis, Pelapisan Titanium Nitrida (TiN) pada permukaan kaca (Nurfitriyana, 2018), Pelapisan Zinc

(Zn) pada substrat safir (Deandra, 2012), dan pelapisan Cuprum(Cu) pada konfigurasi film tipis *double layer* CdS/CdTe (marwoto et al, 2012). Beberapa penelitian tersebut menjelaskan bahwa metode *PVD* merupakan metode yang umum untuk digunakan dalam teknologi penumbuhan film tipis. Temperatur merupakan variabel utama yang menjadi pertimbangan dalam mengubah sifat dari material film tipis itu sendiri (Donald dan Smith, 1995).

Pengatur suhu pembakaran filament agar sesuai dengan titik uap bahan yang digunakan untuk pelapisan film tipis sangat dipertimbangkan untuk menghasilkan produk yang optimal. Pada kenyataannya proses deposisi yang dilakukan secara manual untuk mengatur suhu pembakaran bahan. Oleh karena itu, suhu pembakaran terkadang lebih rendah atau lebih tinggi dari yang dibutuhkan untuk menguapkan bahan film tipis. Dengan ketidaksesuaian pada suhu pembakaran maka berimbas pada penumbuhan lapisan film yang tidak layak.

Pada Penelitian ini, Penulis menggunakan sistem kendali tertutup dengan metode algoritma penggabungan logika *Fuzzy* dan kendali PID untuk mengendalikan temperatur filament. Sistem kendali tersebut menggunakan *setpoint* yang dapat langsung ditentukan nominalnya melalui *keypad* oleh pengguna alat untuk mengendalikan temperatur filament (*Output*). Dengan Sistem kendali tersebut, dimungkinkan proses vakum evaporasi dapat dijalankan secara otomatis dan dipantau secara langsung. Dengan adanya permasalahan maka penulis bermaksud mengembangkan alat vakum evaporasi yang digunakan untuk metode pelapisan film tipis dengan sistem kendali. Maka penulis menggunakan judul “Rancang Bangun *Thermal Vacuum Evaporator* Untuk Pelapisan Film Tipis

Dengan Sistem Kendali *Fuzzy PID*” sebagai usaha dalam mengembangkan kekurangan pada alat pelapisan film tipis.

1.2 Identifikasi Masalah

Penggunaan metode *PVD* untuk penumbuhan lapisan tipis dapat dipengaruhi oleh suhu pembakaran bahan. Suhu pembakaran yang tidak sesuai akan berdampak pada hasil lapisan film tipis.

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup pembahasan dalam penelitian ini di batasi sebagai berikut :

1. Fokus skripsi ini adalah perancangan dan implementasi Sistem Kontrol *Fuzzy-PID*
2. Simulasi secara digital menggunakan *software* MATLAB 2016.
3. Analisis berdasarkan tanggapan transien yang ditampilkan oleh grafik hasil simulasi pada *Software* MATLAB dan grafik hasil implementasi pada produk.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah didapat, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil simulasi sistem kendali menggunakan algoritma *Fuzzy-PID* pada pemanas ?
2. Bagaimana kinerja temperature pemanas *Thermal Vacuum Evaporator* menggunakan algoritma sistem kendali *Fuzzy-PID*?

1.5 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, Penelitian dalam skripsi ini bertujuan untuk :

1. Memperoleh hasil simulasi sistem kendali pemanas yang menggunakan algoritma *Fuzzy-PID*.
2. Memperoleh hasil kinerja pemanas pada *Thermal Vacuum Evaporator* yang menggunakan algoritma *Fuzzy-PID*.

1.6 Manfaat

Hasil perancangan dan implementasi kontroler *Fuzzy-PID*, diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan pengetahuan mengenai simulasi sistem kendali *fuzzy-PID* pada pemanas.
2. Memberikan pengetahuan mengenai kinerja pemanas *Thermal Vacuum Evaporator* yang menggunakan algoritma kendali *Fuzzy-PID*

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Pada bab ini dijelaskan tentang kajian teori dan referensi penunjang, penunjang permasalahan. Adapun bahasan dalam bab ini meliputi penelitian sebelumnya, teori tentang film tipis, *Physical Vapour Deposition (PVD)*, sistem kontrol *PID*, dan logika *fuzzy*.

2.1 Kajian Pustaka yang Relevan

Beberapa penelitian mengenai pembuatan lapisan tipis menggunakan metode *Physical Vapor Deposition (PVD)* akan dijelaskan secara singkat dibawah ini :

Nurfitriyana, melakukan penelitian pada tahun 2018 dengan judul “Preparasi Dan Karakterisasi Lapisan Tipis Titanium Nitrida (TiN) Pada Substrat Kaca Hasil Dari Metode *Sputtering DC*” menggunakan metode *Sputtering DC* untuk membuat lapisan tipis TiN pada substrat kaca. Di awali dengan membuat lapisan tipis dari paduan *Titanium* dan *Nitrogen* yang ditumbuhkan pada substrat kaca dengan jarak 4cm dilakukan sebanyak 3 kali dengan waktu deposisi yang bervariasi yaitu 30, 60, dan 90 menit dengan menggunakan tegangan 4 kV dan arus kurang lebih 10mA. Dideposisikan pada ruang vakum bertekanan $(1,9-2,2) \times 10^{-2}$ Torr, dengan perbandingan gas argon 70 dan Nitrogen 30 yang mengalir pada ruang vakum. Setelah dideposisikan kemudian diuji dengan UV-Vis menghasilkan 3,47 eV pada waktu deposisi 30 menit, 3,59 eV pada 60 menit, dan 3,68 eV pada waktu 90 menit. Kemudian untuk hasil dari uji SEM-EDS untuk sampel deposisi 60 menit menghasilkan ketebalan 1,588 μ m, dengan berat *Titanium*(Ti) 13,6%, *Nitrogen*(N) 51,8%, dan *Silicone*(Si) 34,6%. Lapisan TiN yang terbentuk pada substrat kaca dipengaruhi oleh rentan waktu deposisi.

Deandra, melakukan penelitian pada tahun 2012 dengan judul “ Pengaruh Temperatur Deposisi Terhadap Pertumbuhan Film Tipis Zn *Excimer* (Zn*) Pada Substrat Alumina (Al₂O₃)”, menggunakan metode *Physical Vapor Deposition*(PVD) untuk pembuatan lapisan alumina (Al₂O₃) yang dideposisikan pada lapisan tipis Zinc (Zn). Yang mana sebelumnya lapisan Zn sudah di atomasi dengan harapan akan menghasilkan lapisan *Zinc Excimer*(Zn*). Lapisan Zn diuji dengan *Scanning Electron Microscopy*(SEM) dengan temperature bervariasi untuk menentukan perbedaan mikrokristal yang ada lapisan Zn. Pada temperature 60°C menghasilkan morfologi Kristal yang proporsional pada tepi lapisan tipis. Pada temperature 80°C menghasilkan morfologi Kristal yang bervariasi. Sedangkan pada temperature 100°C morfologi Kristal sangat kecil dan jarang-jarang karena sebagian film tipisnya sudah terevaporasi. Ketebalan Lapisan Zinc (Zn) yang terbentuk pada alumina (Al₂O₃) dipengaruhi oleh temperature yang terjadi pada bahan deposisi.

Marwoto dkk, melakukan penelitian pada tahun 2012 dengan judul “Peningkatan Kualitas Film Tipis CdTe Sebagai Absorber Sel Surya Dengan Menggunakan Doping Tembaga (Cu)”. Menggunakan metode *DC Magnetron Sputtering* untuk menumbuhkan lapisan CdTe dengan paduan tembaga (CU) berkonsentrasi 2% pada substrat *Indium Tin Oxide* (ITO). Hasil pengukuran SEM menunjukkan bahwa CdTe:Cu2% menghasilkan permukaan dan struktur Kristal yang lebih sempurna daripada tanpa doping Cu 2%. Dan berhasil meningkatkan kualitas lapisan film tipis CdTe. Untuk hasil spectrometer fotoluminisensi menghasilkan 3 panjang gelombang yaitu 685nm(1,81 eV), 725nm (1,71 eV), dan 740nm (1,67 eV). Dengan doping Cu 2% terbukti merendahkan resistivitas film dari $8,40 \times 10^9 \Omega \text{ Cm}$

menjadi $6,92 \times 10^5 \Omega \text{ Cm}$. Lapisan CdTe yang terbentuk dengan adanya doping Cu 2% dipengaruhi oleh perpaduan bahan yang tepat dan pengaturan suhu yang tepat..

Berlandaskan kajian pustaka tersebut, penulis berusaha untuk merancang dan membangun alat deposisi film tipis dengan metode PVD yaitu *Thermal Vacuum Evaporation*. Untuk pengoptimalan pengaturan suhu pembakaran pada *Thermal Vacuum Evaporation* penulis menggunakan system kontrol *Fuzzy-PID* agar memperoleh suhu yang stabil.

2.2 Lapisan Film Tipis

Lapisan film Tipis adalah material dalam ketebalan ukuran nano yang dideposisikan ke material lain dengan tujuan untuk memperoleh hasil yang berbeda daripada saat material itu tunggal. Material berupa permukaan untuk deposisi bahan disebut dengan substrat, sedangkan bahan untuk pelapisan film yang akan dideposisikan pada substrat disebut target. Lapisan film tipis bervariasi jumlah lapisannya, terdiri dari satu lapisan (*single layer*) dan dua lapisan atau lebih (*multi layer*) (Deandra, 2012). Dengan menambahkan beberapa material layer yang berbeda dengan substrat akan menghasilkan fungsi yang berbeda (Donald, dan Smith, 1995).

Teknologi Lapisan tipis berkesinambungan dengan *surface engineering* atau teknologi permukaan yang menjelaskan perubahan sifat suatu material (Mattox, 2010). Dalam teknologi permukaan proses yang melibatkan modifikasi pada permukaan substrat (*underlying material*) hingga tertutup dan tidak terdeteksi maupun terlihat (Mattox, 2010). Dalam modifikasi teknologi lapisan tidak

mengubah substratnya, hanya mengubah sifatnya melalui lapisan yang dideposisikan pada substratnya.

Proses pelapisan material atom per atom termasuk proses deposisi lapisan tipis secara atomik (Mattox, 2010). Film tipis hasil deposisi dapat berupa *single crystal* hingga *amorphous* (atom-atom yang tidak teratur susunannya), dari yang tipis hingga tebal. Namun umumnya film tipis adalah lapisan yang memiliki ketebalan 10^{-6} - 10^{-9} meter (Ezema, 2004). Lapisan film tipis ditumbuhkan karena mencari sifat dan ketebalan yang berbeda dari substratnya, maka sifat serta ketebalan lapisan film tipis dipengaruhi substrat yang dapat memberikan ketebalan yang bervariasi.

Terkait dengan proses deposisi bahan lapisan film tipis harus dipastikan menempel pada substrat dengan baik. Umumnya untuk proses deposisi film tipis pada ruang vakum menggunakan metode *PVD*. Hal yang mempengaruhi proses deposisi film tipis antara lain kondisi substrat, ikatan kimia antara substrat dan bahan film, dan parameter kristalografi pada permasalahan epitaksi (Mattox, 2010).

Dalam teknologi pelapisan film tipis dapat melalui beberapa tahap. Bahan yang digunakan untuk lapisan film tipis dapat berupa zat padat, cair, uap, ataupun gas. Untuk bahan yang berupa zat padat harus dievaporasi untuk mendeposisikannya pada substrat. Pendeposisian film dapat menggunakan pemanasan, tembakan electron, foton, ataupun ion positif (*sputtering*). Metode ini disebut dengan *Physical Vapor Deposition (PVD)*.

2.3 Physical Vapor Deposition (PVD)

Physical Vapor Deposition (PVD) dirintis pertama kali oleh Michael Faraday pada awal 1800-an (John et al, 1991), istilah *PVD* pertama kali diperkenalkan oleh

CF Powell, JH Oxley, dan JM Bloche Jr dalam buku “*Vacuum Coating*” pada tahun 1963 (Mattox, 2010). Mereka bertiga bukan orang yang pertama menggunakan *PVD* sebagai metode pelapis film tipis, namun pada zaman itu tulisan mereka bermanfaat untuk memperjelas dan membangun metode *PVD* (Lofgran SC, 2013).

Metode *Physical Vapour Deposition (PVD)* termasuk dalam jajaran salah satu metode untuk menumbuhkan film tipis. Prinsip kerja *PVD* yaitu memevaporasikan material padat atau cair atau atom atau molekul, uap hasil evaporasi dideposisikan pada substrat dalam ruang vakum (Mattox, 1998). Metode *PVD* menghasilkan film tipis dengan ketebalan yang sangat tipis, berkisar 10^{-6} - 10^{-9} meter (Ezema, 2004) hingga berukuran beberapa Angstrom (Satuan panjang Gelombang Cahaya) (Mattox, 1995). *PVD* dapat digunakan untuk melapisi coating multilayer.

Dalam pelapisan Film Tipis menggunakan metode *PVD*, tekanan vakum dan kualitas film sangat berhubungan. Homogenitas dan kemurnian bahan merupakan elemen utama dalam menentukan kualitas lapisan film (Lofgran SC, 2013). Ketebalan lapisan film tergantung dari temperatur suhu pembakaran (Deandra, 2012).

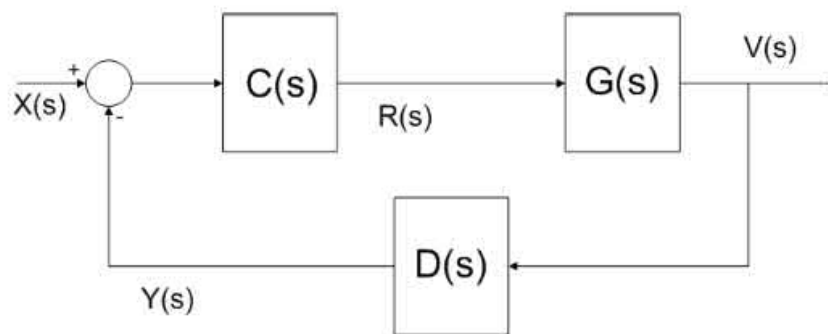
2.4 Sistem Kendali Fuzzy-PID

Tujuan dibuatnya sistem kendali adalah untuk mengolah *input system* agar *output* dapat mencapai *setpoint* (target yang diinginkan). Sistem Kendali diharapkan mampu meminimalkan *error* (kesalahan system) sampai nol atau mendekati nilai yang dapat ditolerir (Ogata, 1996). Suatu sistem kendali harus memiliki *input* dan *Output*. *Input* dan *Output* memiliki hubungan yang dapat digambarkan menggunakan diagram blok, yang memiliki fungsi alih. Ada dua

sistem kendali dasar yaitu kendali terbuka (*Open Loop*) dan sistem kendali tertutup (*Close Loop*) (Kim, 2017).

Sistem kendali terbuka (*Open Loop Control System*) adalah Suatu sistem kendali yang mempunyai karakteristik nilai keluaran yang tidak memberikan pengaruh pada aksi kendali tersebut. Sistem kendali *loop* terbuka tidak menggunakan umpan balik (Corrigan, 2012:6). *Error* antara masukan dan keluaran tidak dapat mempengaruhi atau menentukan *input* dari sistem yang dikendalikan (*Plant*). Meskipun *input* dan *output* dan tidak terpengaruh oleh gangguan. Namun, kendali *loop* terbuka ini tidak mumpuni untuk digunakan pada sistem penggerak motor berkinerja tinggi, yang mudah terpengaruh oleh variasi parameter dan gangguan seperti *back-EMF* dan torsi beban (Kim, 2017:42)

Sistem kendali *loop* tertutup identik dengan sistem kendali umpan balik, nilai *error* dari keluaran akan ikut mempengaruhi masukan pada aksi kendalinya. Diagram struktur dari sistem kendali *loop* tertutup ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur sistem kendali *loop* tertutup (Corrigan, 2012:6)

Keterangan: $X(s)$ adalah referensi sinyal masukan, $R(s)$ adalah sinyal *error* [$R(s) = X(s) - Y(s)$], $C(s)$, $G(s)$ dan $D(s)$ adalah fungsi alih sebuah sistem dan kontrolernya, $V(s)$ adalah sinyal keluaran, dan $Y(s)$ adalah sinyal *feedback*.

Fungsi kontroler pada sistem kendali *loop* tertutup adalah untuk mengurangi kesalahan antara keluaran dan nilai tujuan yang diinginkan (*setpoint*). Sehingga peranan kontroler pada sistem kendali *loop* tertutup amat penting. Pada umumnya sistem kendali *loop* tertutup digunakan untuk mengendalikan posisi, kecepatan, arus, atau fluks pada sistem kendali motor. Persamaan (2.1) digunakan dalam sistem kendali loop tertutup.

$$\frac{V(s)}{X(s)} = \frac{C(s)G(s)}{1+(X(s)G(s)H(s))} \quad (2.1)$$

2.4.1 Logika Fuzzy

Prinsip dasar kontrol logika *fuzzy* sebenarnya sangat sederhana. Bila pada pengontrol konvensional, sistem yang dikontrol dimodelkan secara analitis oleh sejumlah persamaan diferensial yang solusinya menentukan aksi kontrol yang harus diberikan pada sistem, maka kontrol logika *fuzzy* didasarkan pada suatu model logika yang merepresentasikan proses berfikir seorang operator ketika sedang mengontrol suatu sistem.

Kontrol logika *fuzzy* menggunakan basis pengetahuan dan ungkapan linguistik yang merepresentasikan cara kerja operator manusia. Dimana aturan kontrol ini merupakan himpunan aturan-aturan kontrol linguistik yang diturunkan secara heuristik berdasarkan keadaan proses dan pengalaman operator, sehingga tidak memerlukan model matematik proses (*plant*). Dengan kata lain, kontrol logika *fuzzy* merupakan suatu kontroler yang pada prinsipnya merubah strategi kontrol linguistik ke dalam strategi kontrol otomatis.

2.4.2.1. Himpunan *Fuzzy*

Konsep himpunan *fuzzy* dikenalkan pertama kali oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 (Klir & Yuan, 1995). Teori himpunan *fuzzy* didasari oleh logika *fuzzy* yang merupakan perluasan dari logika *Boolean*. Pada logika *Boolean* terdapat tingkat logika 1 dan 0 yang menyatakan benar dan salah, sedang pada logika *fuzzy* terdapat tingkat logika antara 0 dan 1 yang menyatakan tingkat kebenaran dan merupakan ciri fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy*.

Jika U adalah kumpulan objek-objek yang dilambangkan $\{u\}$, maka U dinyatakan sebagai semesta pembicaraan, dan u adalah elemen dari U . Himpunan *fuzzy* F dalam semesta pembicaraan U dikarakterisasi dengan fungsi keanggotaan μ_F selanjutnya disebut membership function. μ_F memiliki kemungkinan nilai dalam interval $[0,1]$. Dalam fungsi matematika dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\mu_F = U \rightarrow [0,1] \quad (2.2)$$

Himpunan *fuzzy* F dalam himpunan semesta U dapat direpresentasikan sebagai pasangan antara elemen u dan tingkat fungsi keanggotaannya, atau

$$F = \{(u, \mu_F(u))/u \in U\} \quad (2.3)$$

Semua elemen u dalam U yang memberikan nilai $\mu_F(u) > 0$ disebut penyokong (*support*) dari himpunan *fuzzy* yang bersangkutan. Dalam hal dimana $\mu_F(u) > 0,5$ maka u disebut sebagai titik silang dan himpunan *fuzzy* dimana penyokongnya bernilai 1,0 disebut sebagai *fuzzy tunggal* (*singleton*).

Jika adalah suatu *fuzzy tunggal* yang menyokong u , maka ditulis:

$$F = \mu_F(u)/u \quad (2.4)$$

Dimana $\mu_F(u)$ adalah tingkat keanggotaan u didalam himpunan F , selanjutnya himpunan *fuzzy* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$F = \int \mu_F(u)/u, \text{ jika } u \text{ kontinu} \quad (2.5)$$

$$F = \sum_{i=1}^n [\mu_F(u_i)/u_i], \text{ jika } u \text{ diskret} \quad (2.6)$$

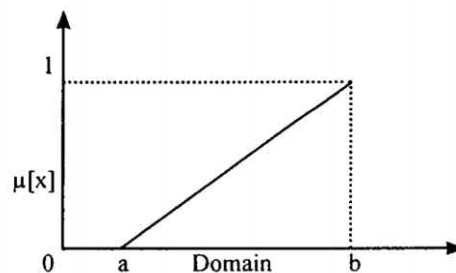
2.4.2.2. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah fungsi yang kontinu dalam range $[0,1]$. Fungsi keanggotaan ini menunjukkan derajat keanggotan nilai “*crisp*” dalam himpunan *fuzzy*. Banyak bentuk kurva yang digunakan untuk mendesain fungsi keanggotaan *fuzzy* :

a. Representasi Linier

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Terdapat 2 keadaan himpunan fuzzy yang linear yaitu linear naik dan linear turun. Linear naik menunjukkan semakin ke kanan nilai domain semakin besar derajat keanggotaannya, sedangkan linear turun merupakan kebalikannya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.

Fungsi keanggotaan linier naik :



Gambar 2.2 Representasi linear naik (Kusumadewi dan Purnomo, 2004)

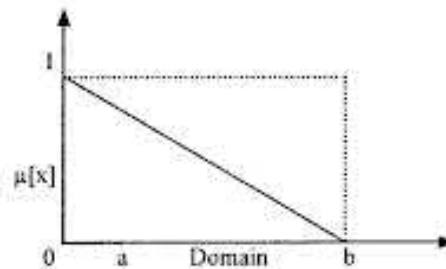
$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a < x < b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad (2.7)$$

Keterangan :

a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

b = derajat keanggotaan terbesardalam domain

Fungsi keanggotaan linier turun :



Gambar 2.3 Representasi linear turun (Kusumadewi dan Purnomo, 2004)

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \geq b \\ \frac{b-x}{b-a}; & a < x < b \\ 1; & x \leq a \end{cases} \quad (2.8)$$

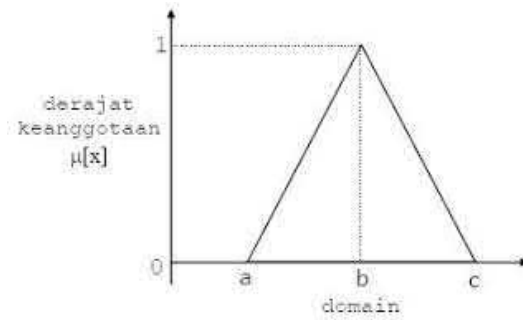
Keterangan :

a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

b = derajat keanggotaan terbesardalam domain

b. Representasi Kurva Segitiga

Fungsi keanggotaan segitga ditandai oleh adanya tiga parameter $\{a, b, c\}$ yang akan menentukan koordinat x dari tiga sudut. Kurva ini pada dasarnya merupakan gabungan antara dua garis lurus. Adapun persamaan untuk bentuk segitiga ini adalah:



Gambar 2.4 Representasi Kurva Segitiga (Kusumadewi dan Purnomo, 2004)

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2.9)$$

Keterangan :

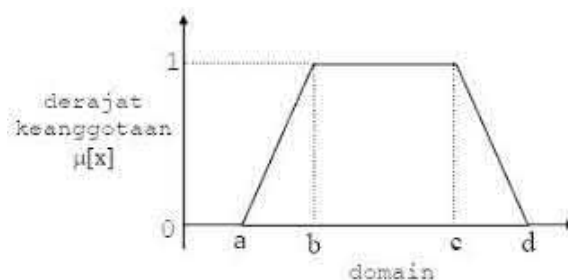
a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

b = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

c = nilai domain terbesar saat derajat keanggotaan terkecil

c. Representasi Kurva Trapesium

Representasi kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki keanggotaan 1. Representasi kurva trapesium dapat dilihat pada gambar



Gambar 2.5 Representasi Kurva Trapesium (Kusumadewi dan Purnomo, 2004)

$$\mu[x] = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \end{array} \right\} \quad (2.10)$$

2.4.2.3. Operasi Himpunan Fuzzy

Misalkan A dan B adalah dua himpunan *fuzzy* dalam himpunan semesta dengan fungsi keanggotaan masing-masing dan Operasioperasi teori himpunan seperti komplemen, gabungan dan irisan untuk himpunan *fuzzy* didefinisikan sebagai berikut:

1. Komplemen dari A (A')

Komplemen himpunan *fuzzy* A dinyatakan dengan:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.11)$$

2. Irisan dari A dan B (A∩B)

Irisan himpunan *fuzzy* A dan B yang mempunyai derajat keanggotaan $\mu_A(x)$ dan $\mu_B(y)$ dinyatakan dengan persamaan :

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad (2.12)$$

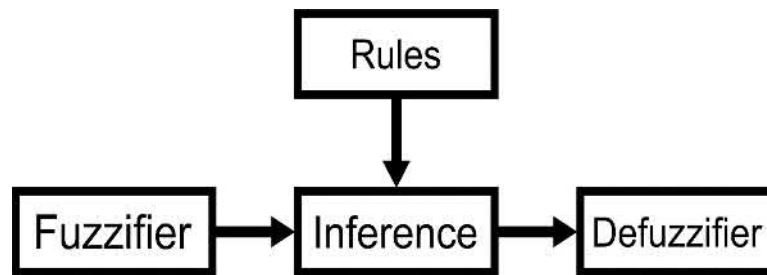
3. Gabungan dari A dan B (A∪B)

Gabungan himpunan *fuzzy* A dan B yang mempunyai derajat keanggotaan $\mu_A(x)$ dan $\mu_B(y)$ dinyatakan dengan persamaan :

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad (2.13)$$

2.4.2.4. Struktur Dasar kontrol Logika Fuzzy

Untuk memperlihatkan Struktur dasar suatu kontrol logika *fuzzy* diperlukan empat komponen utama, yaitu masing-masing:



Gambar 2.6 Struktur Kontrol Logika *Fuzzy* (Patole dan Mittal, 2017)

1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi didefinisikan sebagai pemetaan dari himpunan tegas ke himpunan *fuzzy*. Kriteria yang harus dipenuhi pada proses fuzzifikasi adalah semua anggota pada himpunan tegas harus termuat dalam himpunan *fuzzy*, tidak terdapat gangguan pada *input* sistem *fuzzy* yang digunakan harus bisa mempermudah perhitungan pada sistem *fuzzy*. Fuzzifikasi bertujuan untuk mentransformasikan masukan nyata yang bersifat bukan *fuzzy* ke himpunan *fuzzy*. Pada dasarnya fuzzifikasi memiliki fungsi sebagai berikut :

- a. Mengukur nilai variabel masukan
- b. Melakukan pemetaan berskala yang merubah jangkauan dari nilai variabel masukan kedalam semesta pembicaraan yang bersangkutan.
- c. Merumuskan fungsi fuzzifikasi yang merubah data masukan ke dalam nilai linguistik yang sesuai, yang digunakan sebagai label dari himpunan *fuzzy*.

Menurut wang, sebagaimana dikutip oleh Sumardi, et al (2000) ada tiga tipe fuzzifikasi yaitu :

1) Fuzzifikasi Tunggal (*singleton*)

Fuzzifikasi ini memetakan titik bernilai real $x^* \in U$ kedalam himpunan *fuzzy* A' yang memiliki nilai keanggotaan 1 di x^* dan 0 dititik yang lain.

$$\mu_{A'}(x) = \begin{cases} 1 & \text{jika } x = x^* \\ 0 & \text{jika sebaliknya} \end{cases} \quad (2.14)$$

2) Fuzifikasi Gaussian

Fuzifikasi ini memetakan $x^* \in U$ kedalam himpunan *fuzzy* A' yang mempunyai fungsi keanggotaan Gaussian.

$$\mu_{A'}(x) = \left(e^{-\frac{(x_1 - x_1^*)^2}{a_1}} \right) \dots \left(e^{-\frac{(x_n - x_n^*)^2}{a_n}} \right) \quad (2.15)$$

Dengan:

- a) *t-norm*, ini bisa dipilih perkalian aljabar atau *min*
- b) a_i = parameter bernilai positif ($i=1, \dots, n$)

3) Fuzifikasi *Triangular*

Fuzifikasi ini memetakan $x^* \in U$ kedalam himpunan *fuzzy* A' yang mempunyai fungsi keanggotaan segitiga.

$$\mu_{A'}(x) = \begin{cases} \left(\left(1 - \frac{|x_1 - x_1^*|}{b_1} \right) \dots \left(1 - \frac{|x_n - x_n^*|}{b_n} \right) \right) & \text{jika } |x_n - x_n^*| \leq b_i, i = 1, 2, \dots, n \\ 0, & \text{sebaliknya} \end{cases} \quad (2.16)$$

2. Aturan Fuzzy

Aturan yang digunakan pada himpunan *fuzzy* adalah aturan *if-then*. Aturan *fuzzy IF-THEN* merupakan pernyataan yang di representasikan dengan :

$$IF < \text{proposisi fuzzy} > THEN < \text{proposisi fuzzy} > \quad (2.17)$$

Proposisi *fuzzy* dibedakan menjadi dua, proposisi *fuzzy atomic* dan proposisi *fuzzy compound*. Proposisi *fuzzy atomic* adalah pernyataan single dimana sebagai variabel linguistik dan adalah himpunan *fuzzy* dari . Proposisi *fuzzy*

compound adalah gabungan dari proposisi *fuzzy atomic* yang dihubungkan dengan operator “*or*”, “*and*”, dan “*not*”. (Wang, 1997:62-63).

3. Logika Pengambilan Keputusan

Inferensi *fuzzy* merupakan tahap evaluasi pada aturan *fuzzy*. Tahap evaluasi dilakukan berdasarkan penalaran dengan menggunakan *input fuzzy* dan aturan *fuzzy* sehingga diperoleh *output* berupa himpunan *fuzzy*. Berikut akan dijelaskan macam inferensi *fuzzy* yaitu metode Mamdani, Tsukamoto dan Sugeno yang sering digunakan dalam berbagai penelitian. (Kusumadewi dan Purnomo, 2013: 31-75).

a. Metode Mamdani

Metode Mamdani pertama kali diperkenalkan oleh Ibrahim Mamdani pada tahun 1975. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dan paling sering digunakan untuk penelitian dibandingkan metode yang lain. *Input* dan *output* pada metode mamdani berupa himpunan *fuzzy* (Kusumadewi, 2002:98). Metode Mamdani menggunakan fungsi implikasi min dan agregasi max sehingga metode Mamdani juga disebut dengan metode *MIN-MAX (min-max inferencing)*. Keluaran untuk aturan metode Mamdani didefinisikan sebagai:

$$\mu_{B^k}(y) = \max[\min[\mu_{A_1^k}(x_i), \mu_{A_2^k}(x_j)]]_k \quad (2.18)$$

untuk $k = 1, 2, \dots, n$, A_1^k dan A_2^k menyatakan himpunan *fuzzy* pasangan anteseden ke- k , dan B^k adalah himpunan *fuzzy* konsekuen ke- k . (Kusumadewi dan Purnomo, 2013).

b. Metode Tsukamoto

Metode Tsukamoto merupakan metode dimana konsekuen dari aturan *fuzzy*-nya direpresentasikan dengan fungsi keanggotaan yang monoton.

c. Metode Sugeno

Berbeda dengan metode Mamdani, metode Sugeno juga menggunakan himpunan *fuzzy* pada *input*nya. Akan tetapi, *output* yang digunakan pada metode Sugeno adalah konstanta atau persamaan linier. Metode ini pertama kali dikenalkan oleh Takagi Sugeno Kang pada tahun 1985 (Kusumadewi dan Purnomo, 2013: 31-75). Jika pada metode Mamdani proses defuzzifikasi menggunakan agregasi daerah kurva, maka pada metode Sugeno agregasi berupa *singleton-singleton*.

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses yang berkebalikan dengan proses pada fuzzifikasi. Wang (1997:108) mendefinisikan defuzzifikasi sebagai pemetaan dari himpunan *fuzzy* () ke himpunan tegas. Himpunan *fuzzy* yang dimaksud disini adalah hasil *output* yang diperoleh dari hasil inferensi. Pada proses defuzzifikasi ada tiga kriteria yang harus dipenuhi yaitu masuk akal, perhitungannya sederhana dan kontinu. Berikut adalah beberapa metode yang digunakan untuk proses defuzzifikasi (Kusumadewi, 2002:98-99).

a) Metode Centroid

Metode Centroid disebut juga metode *Center of Gravity* atau metode pusat luas (*Center of Area, CoA*). Proses defuzzifikasi pada metode Centroid adalah dengan mengambil nilai titik pusat (x^*) dari daerah pada fungsi keanggotaan. Rumus metode centroid (Wang, 1997:107) didefinisikan sebagai

$$x^* = \frac{\int x \mu_B(x) dx}{\int \mu_B(x) dx} \quad (2.19)$$

Untuk domain kontinu, dan

$$x^* = \frac{\int x \mu_B(x) dx}{\int \mu_B(x) dx} \quad (2.20)$$

Untuk domain diskrit.

Selain mudah dalam perhitungan, keuntungan menggunakan metode centroid adalah nilai defuzzy bergerak halus sehingga perubahan dari suatu topologi himpunan fuzzy ke topologi himpunan fuzzy berikutnya juga bergerak secara halus.

b) Metode Bisektor

Metode bisektor mengambil nilai pada domain himpunan fuzzy yang memiliki nilai keanggotaan pada daerah fuzzy sebagai solusi tegas, dan didefinisikan sebagai:

$$x_p = \int_a^p \mu(x) dx = \int_p^b \mu(x) dx \quad (2.21)$$

Dengan $a = \min(x: x \in X)$ dan $b = \max(x: x \in X)$ sedangkan $p = x$ yang membagi daerah inferensi menjadi dua bagian yang sama besar.

c) Metode *Mean of Maximum* (MOM)

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

d) Metode *Largest of Maximum* (LOM)

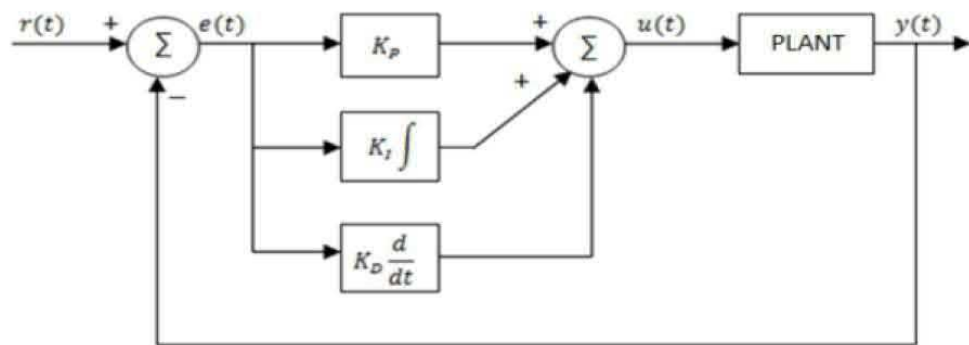
Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

e) Metode *Smallest of Maximum* (SOM)

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

2.4.2 Kendali *PID*

Kontrol *PID* merupakan salah satu jenis pengatur yang banyak digunakan. Selain itu sistem ini mudah digabungkan dengan metoda pengaturan yang lain seperti *Fuzzy* dan *Robust*. Kendali *PID* merupakan gabungan dari tiga macam pengendali, yaitu kontroler proporsional (*Proportional Controller*), kontroler integral (*Integral Controller*), dan kontroler turunan (*Derivative Controller*) yang dapat dirumuskan:



Gambar 2.7 Sistem Kendali *PID* (Patole dan Mittal, 2017)

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.22)$$

Dengan,

m = sinyal keluaran kendali

e = sinyal kesalahan penggerak

T_i = Waktu integral

K_p = Sensitivitas proporsional / penguatan

T_d = waktu derivatifnya

Tujuan dari penggabungan ketiga macam pengendali tersebut adalah untuk memperbaiki kinerja sistem di mana masing-masing kendali saling melengkapi dan menutupi dengan kelemahan dan kelebihan masing-masing. Keluaran kendali PID merupakan jumlahan dari keluaran kendali proporsional, keluaran kendali integral, dan keluaran kendali derivative. Kendali *PID* memiliki *transfer function* sebagai berikut:

$$H(s) = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \quad (2.23)$$

Masing-masing Kendali dari *PID* memiliki parameter tertentu yang harus diset untuk dapat beroperasi dengan baik, yang disebut sebagai konstanta. Setiap jenis memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, dapat dilihat pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Pengaruh kontroler *PID* pada sistem respon

Aksi	Rise time	Overshoot	Settling time	Steady state error
K_p naik	Lebih cepat	Meningkat	Perubahan kecil	Menurun
K_i naik	Lebih cepat	Meningkat	Meningkat	Menghilang
K_d naik	Perubahan kecil	Menurun	Menurun	Perubahan kecil

Parameter-parameter tersebut tidak bersifat independen, sehingga pada saat salah satu nilai konstantanya diubah, maka mungkin sistem tidak bereaksi seperti yang diinginkan. Tabel di atas hanya dipergunakan sebagai pedoman jika melakukan perubahan konstanta. Dalam merancang suatu kontrol *PID* biasanya digunakan metode *trial & error*, sehingga perancang harus mencoba kombinasi pengatur beserta konstantanya untuk mendapatkan hasil terbaik dan paling sederhana.

Desain sebuah sistem kontrol, dimulai dengan membuat blok diagram sistem. Blok diagram (yang berisi *transfer function*) tersebut selanjutnya dianalisis dengan menggunakan aksi pengontrolan yang berbeda. Dengan perubahan sinyal input sehingga perancang dapat melihat respon sistem jika mendapat input sinyal tertentu. Kombinasi antara sinyal input dan jenis aksi pengontrolan ini menghasilkan respon yang berbeda-beda.

Menurut Ogata (1994: 238) pada tanggapan transien ada beberapa parameter yang perlu diketahui, yaitu:

- a) Waktu Tunda (*Delay Time*), adalah waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai separuh dari harga akhirnya untuk pertama kali.
- b) Waktu naik (*Rise Time*), adalah waktu yang diperlukan sistem untuk naik dari 10% - 90% nilai akhir.
- c) Waktu puncak (*Peak Time*), waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai puncak pertama kali.
- d) Persen *Overshoot*, perbandingan nilai puncak maksimum dengan nilai akhir, *overshoot* ini hanya terjadi pada sistem yang kurang teredam.
- e) Waktu penetapan (*Settling Time*), adalah waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai $\pm 2\%$ dari nilai keadaan tunak (*Steady State*),
- f) Kesalahan keadaan tunak (*Steady State Error*), adalah perbedaan antara keluaran yang dicapai saat tunak dengan nilai yang diinginkan.

Dalam mendapatkan respon yang diinginkan, ada beberapa langkah yang harus dilakukan yaitu:

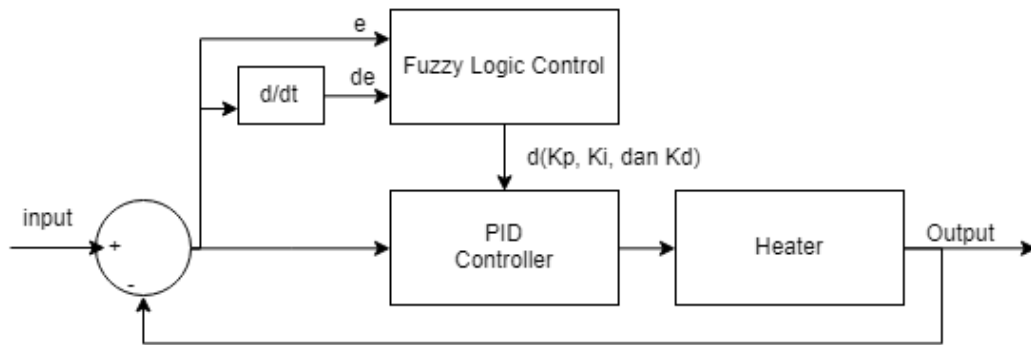
- a) *Plotting respon* sistem terbuka (*open-loop*) untuk menentukan bagian mana yang harus diperbaiki (*rise time, settling time, overshoot, steady state error*).
- b) Menambahkan kendali P untuk memperbaiki *rise time*.
- c) Menambahkan kendali D untuk memperbaiki *Overshoot*.
- d) Menambahkan kendali I untuk menghilangkan *Steady state error*.

Membuat kombinasi konstanta yang ada untuk mendapatkan respon yang diinginkan.

2.4.3 Kendali *Fuzzy-PID*

Ketika gangguan merubah suatu kondisi sistem, pengontrol yang dirancang tidak memiliki kinerja yang baik akan sangat berpengaruh, tentu saja Menggunakan pengontrol *PID self-tuning* adalah solusi yang tepat untuk mendominasi kondisi ini. Dalam logika *fuzzy self tuning-PID*, nilai *gain* dari parameter *PID* disetel berdasarkan aturan logika *fuzzy*. Pada kontroler ini, dikenal sebagai *auto-adaptive controller*, kesalahan dan nilainya dianggap sebagai *input* dan dapat memenuhi keinginan parameter *self-tuning* Ada banyak metode cerdas untuk mencapai *respon* yang cocok dan stabil di mana aturan logika *fuzzy* digunakan untuk ini (Patole dan Mittal, 2017).

Dalam sistem ini, nilai kesalahan didapatkan dari perbedaan antara *set point* dan *output*, tiga koefisien pengontrol PID yaitu, K_p , K_i , dan K_d yang diperoleh dari hasil dari inferensi *fuzzy*. inferensi *fuzzy* menggunakan keanggotaan segitiga.



Gambar 2.8 Diagram Kendali *Fuzzy-PID* (Pattole dan Mittal, 2017)

Dimana K_p , K_i , dan K_d adalah nilai output dari inferensi *fuzzy* yang kemudian dijadikan *tuning* untuk kendali PID secara otomatis menyesuaikan *input* dari *Error* dan *Delta Error*. Kendali PID juga menerima *input* kesalahan dan mengolah output menuju *heater*. (Ochoa G V et al. 2018).

2.5 Penggunaan komputer Untuk Simulasi

Penggunaan komputer sebagai pengolah data, penyimpan data dan komunikasi informasi tidak dapat diabaikan dalam pendekatan sistem. Model diwujudkan dalam berbagai bentuk persamaan, diagram alir dan diagram blok. Hal yang penting adalah memilih teknik dan bahasa computer yang digunakan untuk implementasi model. Pemilihan teknik dan bahasa computer yang digunakan akan mempengaruhi:

1. Ketelitian dari hasil komputasi
2. Biaya operasi model
3. Kesesuaian dengan komputer yang tersedia
4. Efektifitas dari proses pengambilan keputusan yang akan menggunakan hasil pemodelan tersebut.

Setelah program komputer dibuat dan format input atau output telah dirancang dan disesuaikan dengan model komputer.

2.5.1 Software MATLAB R2016b

MATLAB merupakan paket program dengan bahasa pemrograman yang tinggi untuk mengembangkan algoritma, visualisasi data, dan komputasi numerik. Program MATLAB ini dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah komputasi dengan lebih cepat dibandingkan dengan bahasa pemrograman tradisional. MATLAB digunakan untuk banyak aplikasi seperti *signal and image processing*, desain kendali, pengujian dan pengukuran, permodelan, dan analisis.

2.5.2 Simulink MATLAB

Simulink adalah *graphical extension* MATLAB untuk memodelkan dan mensimulasikan sebuah system. Simulink dapat membentuk model dari awal atau memodifikasi model yang sudah ada sesuai dengan apa yang diinginkan. Selain itu simulink juga mendukung sistem linier dan non-linier, permodelan waktu kontinu atau diskrit, atau gabungan. Simulink ini dapat digunakan sebagai media untuk menyelesaikan masalah dalam industri nyata meliputi kedirgantaraan dan pertahanan, otomotif, komunikasi, elektronik dan pemrosesan sinyal, Salah satu modul dalam Simulink yang dapat digunakan untuk komunikasi perangkat keras adalah *Instrument Control Toolbox*. Dalam Simulink, sistem digambarkan sebagai sebuah *block diagram*, diantaranya *transfer function*, *summing junction*, didalamnya juga terdapat *virtual input* dan *output device* seperti *function generator* dan *oscilloscope*. Pada simulink, data atau informasi dari berbagai *block* dikirim ke *block* lainnya dihubungkan dengan garis.

Elemen dasar dari Simulink adalah *block* dan *lines*, *block* digunakan untuk *generate, modify, combine, output, dan display signals*. *Lines* digunakan untuk mentransfer sinyal dari satu *block* ke *block* lainnya. Tutorial terkait penggunaan Simulink bisa didapatkan melalui penelusuran di internet, (Halvorsen, 2016:1- 49).

BAB V

PENUTUP

Bab ini berisi tentang beberapa simpulan yang dihasilkan berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan. Selain itu, pada bab ini juga dimasukkan beberapa saran yang dapat digunakan apabila penelitian ini ingin dikembangkan.

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian dan pembahasan tentang implementasi sistem kendali *fuzzy-PID* yang diterapkan pada pemanas, untuk pelapisan film tipis. Diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Simulasi yang telah dilakukan dengan mendapatkan hasil *step respon* dan *Ramp Respon* diharapkan mampu menjadi acuan untuk kendali pemanas.
2. Implementasi logika *Fuzzy* untuk menala kendali *PID* pada pengaturan pemanas yang sesuai *set point* telah mendapatkan hasil yang diinginkan, walaupun sistem kendali tidak bisa *steady state*.
3. Sesuai dengan simulasi yang ada pada software Simulink, matlab, tidak membuahkan hasil yang maksimal terhadap implementasi pada mikrokontrol dikarenakan sistem yang tidak bisa *steady* pada *set point* yang ditentukan. Permasalahan yang timbul karena pengendalian suhu tidak sempurna bisa disebabkan beberapa aspek, dari sensor suhu yang tidak mampu membaca suhu secara *realtime* dan terdapat delay. Maupun dari sistem kendali mikrokontrol yang kurang tepat.
4. Alat yang dibuat oleh peneliti belum mampu digunakan untuk fabrikasi pelapisan film tipis, dikarenakan beberapa spek yang terkait dengan suhu

pembakaran belum terpenuhi. Alat ini hanya mampu memanaskan material hingga 500 °C, sedangkan untuk pelapisan film tipis berbahan bubuk tembaga (Cu) memerlukan seminimal mungkin pemanas dapat membakar hingga 1200 °C.

5.2 Saran

Penelitian tentang pengembangan pengendali *Fuzzy-PID* pada pengaturan suhu pemanas perlu ditindak lanjuti agar diperoleh efektifitas dan hasil yang lebih sempurna . Peneliti memberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Perancangan *Thermal vacuum Evaporator* untuk pelapisan film tipis perlu dikembangkan terutama dengan menggunakan sistem kendali.
2. Sistem kontrol PID yang detuning logika fuzzy yang diimplementasikan pada mikrokontrol sangatlah bermanfaat.
3. Dalam pengembangan alat ini perlu diperhatikan pemanas yang digunakan, agar bisa digunakan untuk pelapisan film tipis

DAFTAR PUSTAKA

- L Donald, and Smith. (1995) '*Thin Film Deposition: Principles and Practice*. New York: Mc-Graww Hill.
- Sudjatmoko. (2003). *Aplikasi Teknologi Sputtering Untuk Pembuatan Sel Surya Lapisan Tipis*. Workshop: Sputtering untuk rekayasa Permukaan Bahan. Yogyakarta: Puslitbang Teknologi Maju Batan.
- Mattox, Donald (1998) "*Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing: Film Formation, Adhesion, Surface Preparation, and Contamination Control*". New Jersey: Noyes Publication.
- John L, Vossen, and werner Kern (1991). "*Thin Film Processes II*". Boston : Academic Press.
- D.M. Mattox. (2010). "*Foundations Of Vacuum Technology*". William Andrew publishing/Noyes.
- Arshad, Syariena & Mat Salleh, Muhamad & Yahaya, M. (2007). Detection of volatile organic compounds using titanium dioxide coated with dye-porphyrins thin films in bulk acoustic system. *Solid State Sci Technol*. 15.
- S. H. Kim (2017) 'Electric Motor Control', *Elsevier Science*; 1 edition (May 26, 2017). chapter 2
- Dr. D. Corrigan. (2012). 'An Introduction to Control System', Signal and Systems:3C1. *Control Systems Handout 1*. Electronic and Electrical Engineering. corrigan@tcd.ie
- K.H. Ang, G.C.Y. Chong and Y. Li. (2005) 'PID control system analysis, design, and technology', *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol.13. No.4

- G. Chen and T.T, Pham. (2000) 'Introduction to Fuzzy sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems', *CRC Press: USA*.
- C. Grosan and A. Abraham. (2011). 'Intelligent Systems', *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*. Library of Congress Control Number: 2011928063
- P.K. Sahoo and N.K. Barik. (2011) 'Speed control of separately excited DC motor using self tuned fuzzy PID controller', *Thesis*, National Institute of Technology Rourkela.
- H. P. Halvorsen. (2016). 'Tutorial: Introduction to Simulink'. University College of Southeast Norway. hans.p.halvorsen@hit.no
- M.M.F. Algreer, and Y.R.M. Kuraz. (2008) 'Design fuzzy self-tuning of PID controller for chopper-fed DC motor drive', *Al-Rafidain Engineering*, vol.16, no.2
- F. I. Ezema (2004) 'Fabrication, Optical Properties and Applications Of Undoped Chemical Bath Deposited ZnO thin Films'
- F. I. Ezema and C. E. Okeke (2003) 'Chemical Bath Deposition Of Beryllium Sulphide (BeS) Thin Film and Its Applications.
- E. I. Ugwu (2006) 'Optical Properties of Iron Halide (FeCl_2)Thin Film Deposited Using Solution Growth Technique (SGT)
- M. Yahaya, S. Sepeal, M. M. Salleeh (2007) 'Fabrication Of Whittr Organic Light Emitting Diode Using PHF Doped With Rubrene', *Journal of Sustainability Science and Management* 2007 volume 2 (1): 11-17.
- L. S. Ravange, U. V. Biradar, S.D. Misal (2012) 'The Effect of Ionic Composition on Structural and Optical Properties of $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{S}$ Thin Films Grown by Spray Pyrolysis'. *International Journal of Scientific and Research Publications*' volume 2, issue 6.

- M.H. Lee, I.Y. Bae, K.J. Kim, K.M. Moon, T. Oki (2003) 'Formation mechanism of new corrosion resistance magnesium thin films by PVD method'. *Surface and Coatings Technology*. 169-170:670-674.
- L. Raniero, C.L. Ferreira, L.R. Cruz, A.L. Pinto, R.M.P. Alves.(2010) 'Photoconductivity activation in PbS thin films grown at room temperature by chemical bath deposition'. *Physica* b405: 1283-1286.
- X. Sun, Z. Liu, H. Cao (2010), 'Effects of film density on electrochromic tungsten oxide thin films deposited by reactive dc-pulsed magnetron sputtering'. *Journal of Alloy and Compounds* 5418-5421
- Syamsu, Darsikin, Iqbal, jusman, Sukirno, dan M. Barmawi (2005), 'Penumbuhan Lapisan Tipis $\mu\text{c-Si:H}$ dengan Sistem Hot Wire PECVD untuk Aplikasi Divais Sel Surya'. *Journal Matematika dan Sains* vol 10. hal 93-96.
- Mattox, D. M. (1995). Hard coatings by PVD. *Plat. Surf. Finish.*, 82(1), 48-49.
- R. I. Nurfitriyana. (2018). 'Preparasi dan Karakterisasi Lapisan Tipis Titanium Nitrida (TiN) Pada Substrat Kaca Hasil Dari Metode Sputtering DC'. Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan ALam. Universitas Negeri Yogyakarta.
- N. S. Deandra (2012). 'Pengaruh Temperatur Deposisi Terhadap Pertumbuhan Film Tipis Zn Excimer (Zn^*) Pada Substrat Alumina (Al_2O_3)'. Skripsi Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- P. Marwoto, N. M. Darmaputra, Sugianto, Z. Othaman, E. Wibowo, S.Y. Astuti (2012). Peningkatan Kualitas Film Tipis Cdte Sebagai Absorber Sel Surya Dengan Menggunakan Doping Tembaga (Cu)'. *Jurnal Pendidikan Fisika* 8, 215-221.
- S. C. Lofgran (2013). 'Thin Film Deposition & Vacuum Technology'. Department of Physics, Brigham Young University-Idaho

- G. V. Ochoa, J. D. Forero, dan L.O. Quinones (2018). 'Fuzzy Adaptive PID Controller Applied to an Electric Heater in MATLAB/Simulink. Universidad del Atlantico Carrera, Colombia
- S. S. Patole, dan S. K. Mittal (2017). Fuzzy PID Controller Design for Heating Control System. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*. Vol.6, Issue 6.
- Hyniova, K., & Smitkova, L. 2013. An Innovative Active Suspension System for Autonomous Vehicles: A Safe and Comfortable Ride and Good Handling. *In ERCIM NEWS*, Vol. 1, No. 94: 28-29. France: Published by ERCIM EEIG
- Sumardi, Wahyudi, & Imam, S. 2000. Perancangan Sistem Kontrol Suspensi Semi-Aktif Menggunakan "Fuzzy Logic Control" Pada Model Kendaraan Seperempat. *Laporan Penelitian Proyek Pengkajian Ilmu Pengetahuan Terapan*. Semarang: UNDIP.
- Wang, L & Tom, K. 2005. VHDL-AMS Based Genetic Optimization of a Fuzzy Logic Controller for Automotive Active Suspension Systems. UK: University of Southampton.
- G. J. Klir dan B. Yuan (2015). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*.