DESAIN DAN PERANCANGAN *SPIN COATER* DIGITAL UNTUK DEPOSISI FILM TIPIS DENGAN KONTROL PID

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Oleh

Pujiyanto

NIM. 5301414004

PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama	: Pujiyanto
NIM	: 5301414004
Program Studi	: S-1 Pendidikan Teknik Elektro
Judul	: Desain dan Perancangan Spin Coater Digital Untuk Deposisi Film Tipis dengan Kontrol PID

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi S-1 Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, November 2019

Pembimbing,

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

NIP. 197805312005011002

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Desain dan Perancangan Spin Coater Digital Untuk Deposisi Film Tipis dengan Kontrol PID telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 6 bulan Desember tahun 2019.

Oleh

Nama	: Pujiyanto
NIM	: 5301414004
Program Studi	: Pendidikan Teknik Elektro

Panitia,

Ketua	Sekretaris
Ir. Ulfah Mediaty Arief M.T., IPM NIP. 196605051998022001	Drs. Ir. Sri Sukamta, M.Si., IPM NIP. 196505081991031003

Penguji I,	Penguji II,	Penguji III / Pembimbing,
Drs. Sutarno M.T. NIP. 195510051984031001	Prof. Dr. Sutikno S.T., M.T. NIP. 197411201999031003	Dr. -Ing Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T. NIP. 197805312005011002

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES

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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernak diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan / atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitoan saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dari 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 daya 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, November 2019

Yang membuat pernyataan,

METERAI TEMPEL 9FF09AHF245672587 6000 ENAM RIBU RUPIAH

Pujiyanto

NIM. 5301414004

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Sabar, usaha, dan doa. Adalah cara terbaik dalam menghadapi semua permasalahan. Karena tidak ada masalah yang tidak bisa kita selesaikan. Tuhan memberikan masalah sesuai dengan porsinya.

PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan kepada :

1. Ibu, Bapak, kelurga serta saudara – saudara yang selalu memberikan semangat dan dukungan
2. Jurusan Teknik Elektro UNNES
3. Teman – teman UKM RIPTEK dan Robotika UNNES yang telah memberi warna dan memberi banyak pandangan
4. Ucapan terimakasih khusus kepada yang pernah hilang selama delapan tahun dan telah kembali memberi *support* yang luar biasa
5. Teman – teman PTE 2014
6. Almamater Universitas Negeri Semarang
7. Dan semua pihak yang telah mendukung, memberikan doa, serta semangat.

RINGKASAN

Teknologi film tipis memiliki peranan penting utamanya dalam bidang elektronika. Perkembangan teknologi film tipis telah dilakukan dengan kemajuan yang pesat pada industri *Inegrated Circuit* (IC). Terdapat beberapa metode deposisi film tipis diantaranya yaitu, *Chemical Vapor Deposition* (CVD), *Physical Vapor Deposition* (PVD), dan *spin coating*. Alat untuk deposisi dengan metode *spin coating* adalah *spin coater*.

Untuk membuat spin coater bagus untuk digunakan dalam fabrikasi DSSC, kestabilan kecepatan motor merupakan factor utama. Pada penelitian ini dirancang *spin coater* digital, dimana kecepatan motor dan durasi putaran dapat diatur secara digital melalui keypad dan ditampilkan pada LCD 20 x 4. Kecepatan putaran dapat divariasikan hingga 9000 rpm. *Spin coater* dilengkapi dengan kontrol PID untuk menjaga kesetabilan putaran. Penelitian dilakukan dengan cara perancangan, pemodelan dan simulasi secara perangkat lunak sistem pengendali kecepatan. Optimasi dari simulasi kemudian diimplementasikan dalam realisasi perangkat keras. Optimasi lanjutan dilakukan untuk tuning parameter kontrol pada peragkat keras.

Kata kunci: Spin Coater, Deposisi Film Tipis, PID

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Elektro S1 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Tak lupa sholawat serta salam senantiasa disampaikan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, semoga semua mendapatkan safa'at di yaumul akhir, Aamiin.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Prof. Drs. Fathur Rokhman, M.Hum, selaku Rektor Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan kesempatan kepada peneliti untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Ir. Ulfah Mediaty Arief M.T., IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Kepala Program Studi Pendidikan Teknik Elektro S1 Fakultas Teknik Univertitas Negeri Semarang.

4. Dr. -Ing Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan serta saran yang sangat membantu dalam proses penyusunan skripsi.
5. Prof. Dr. Sutikno S.T., M.T. selaku dosen penguji I dan Drs Sutarno M.T. selaku dosen penguji II yang telah memberikan kritik, saran, bimbingan dan arahan dalam menyempurnakan skripsi ini.
6. Orang tua, keluarga, sahabat dan teman yang telah memberikan doa, dukungan, dan semangat kepada peneliti selama proses penyusunan skripsi
7. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan skripsi.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini, namun penulis berharap skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Semarang, November 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING ii

LEMBAR PENGESAHAN iii

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH iv

MOTTO DAN PERSEMBAHAN v

RINGKASAN vi

KATA PENGANTAR vii

DAFTAR ISI ix

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR GAMBAR xiv

DAFTAR LAMPIRAN xvii

BAB IPENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Identifikasi Masalah 3

1.3 Pembatasan Masalah 4

1.4 Rumusan Masalah 4

1.5 Tujuan 5

1.6 Manfaat 5

BAB II KAJIAN PUSTAKA 6

2.1 Kajian Pustaka 6

2.2 Landasan Teori 8

2.2.1 Spin Coating 8

2.2.2 Pulse Width Modulation (PWM) 9

2.2.3 Kontrol PID 11

2.2.4 Motor DC *Brushed* 15

2.2.5 Sensor Photodiode 16

2.2.6 Mikrokontroller Arduino Mega 2560 17

2.2.7 Driver Motor H – Bridge BTS 7960 19

2.2.8 LCD *Alphanumeric* 20 x 4 20

BAB III METODE PENELITIAN 23

3.1 Waktu Dan Tempat Pelaksanaan 23

3.2 Desain Dan Perancangan 23

3.2.1 Diagram Blok Sistem Kontrol 23

3.2.2 Flowchart Program 23

3.2.3 Prinsip Kerja 24

3.2.4 Desain Skemati dan Board Kontrol 25

3.2.5 Desain Alat 27

3.3 Alat Dan Bahan 27

3.3.1 Hardware (Perangkat Keras) 27

3.3.2 Software (Perangkat Lunak) 28

3.4 Alur Penelitian..... 28

3.4.1 Pengumpulan Komponen, Alat dan Bahan 30

3.4.2 Perancangan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak 30

3.4.3 Pemodelan Dan Simulasi Sistem Control 30

3.4.4 Pembuatan Perangkat Keras Dan Optimasi Sistem Control 35

3.4.5 Pengujian Kinerja Sistem 36

3.4.6 Perbaikan..... 36

3.4.7 Simpulan 36

3.5 Teknik Pengumpulan Data 37

3.6 Teknik Analisis Data 37

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 40

4.1 Hasil Penelitian 40

4.1.1 Hasil Simulasi Respon Motor DC..... 40

4.1.2 Hasil Simulasi PID *Tunning* Manual 41

4.1.3 Hasil Simulasi *Tunning* PID Metode Ziegler Nichols 47

4.1.4 Prototype Alat 50

4.1.5 Prosedur Penggunaan 58

4.1.6 Pengukuran Tegangan *Output* Driver Motor 60

4.1.7 Pengukuran Pengaruh Nilai PWM Terhadap Kecepatan Motor 61

4.1.8 Eksperimen dan Implementasi PID pada Motor Spin Coater 62

4.1.9 Pengujian Performa Spin Coater 65

4.1.10 Pengujian Pelapisan dengan Spin Coater 66

4.2 Pembahasan 70

4.2.1 Pembahasan Pengaruh Nilai PWM terhadap *Output* Driver Motor 70

4.2.2 Pembahasan Pengaruh Nilai PWM terhadap Putaran Motor 72

4.2.3 Pembahasan Kerja Spin Coater 72

BAB V PENUTUP 76

5.1 Simpulan 76

5.2 Saran 76

DAFTAR PUSTAKA 77

LAMPIRAN 79

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi Motor DC 32

Tabel 2. Parameter Tunning..... 49

Tabel 3. Pengukuran Tegangan Driver Motor 60

Tabel 4. Percobaan 1..... 65

Tabel 5. Percobaan 2..... 66

Tabel 6. Percobaan 3..... 66

Tabel 7. Percobaan 4..... 66

Tabel 8. Pengukuran tegangan dan arus motor pada kecepatan uji 67

Tabel 9. Ketebalan Lapisan Tipis Variasi Kecepatan..... 69

Tabel 10. Perbandingan Tegangan Ukur dan Penghitungan Driver Motor 71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Hubungan kecepatan putaran dengan ketebalan lapisan 9

Gambar 2. Gelombang kotak *duty cycle* PWM (Kapil, 2015:66) 10

Gambar 3. *Duty Cycle* dan Resolusi PWM (Supani, Azwardi, 2015:5) 11

Gambar 4. Blok diagram kontrol PID (Bansal, *et al*, 2012:312) 12

Gambar 5. Blok diagram kontrol P (Rao, Mishra, 2014:2741) 13

Gambar 6. Motor DC *brushed* Mabuchi RS 550 16

Gambar 7. Simbol dan Bentuk Photodioda (Sari, *et al*, 2017:151) 16

Gambar 8. Mikrokontroller Arduino 18

Gambar 9. Driver Motor BTS 7960 20

Gambar 10. LCD Alphanumeric 20x4 21

Gambar 11. Diagram Blok Sistem Kontrol 23

Gambar 12. *Flowchart* program 24

Gambar 13. Prinsip Kerja Sistem 25

Gambar 14. Desain Skematik Spin Coater 26

Gambar 15. Board Kontrol 26

Gambar 16. Desain Alat 27

Gambar 17. Flowchart Penelitian 29

Gambar 18. Bentuk Rangkaian Elektronik Motor (Archana, *et al*, 2014:832) ... 31

Gambar 19. Fungsi Alih Motor DC (Archana, *et al*, 2014:832) 31

Gambar 20. Fungsi Alih Motor DC RS550 33

Gambar 21. Rangkaian Simulasi Simulink PID Kontrol 33

Gambar 22. Grafik Kurva S Ziegler Nichols Metode I (*open loop*) 33

Gambar 23. Formula untuk Menghitung Parameter 34

Gambar 24. Kurva Osilasi Tunning Ziegler Nichols Metode II (*close loop*) 34

Gambar 25. Formula untuk Menghitung Parameter Z-N Metode II..... 35

Gambar 26. Rancangan kerja spin coater..... 39

Gambar 27. Rangkaian Simulasi Motor DC pada Simulink Matlab..... 40

Gambar 28. Kurva respon Motor DC terhadap Masukan 41

Gambar 29. Kurva Respon Sistem (Kp = 0, Ki = 0, Kd = 0)..... 42

Gambar 30. Kurva Respo Sistem (Kp = 10, Ki = 0, Kd = 0)..... 43

Gambar 31. Kurva Respon Sistem (Kp = 20, Ki = 0, Kd = 0)..... 44

Gambar 32. Kurva Respon Sistem (Kp = 20, Ki = 0, Kd = 5)..... 45

Gambar 33. Kurva Respon Sistem (Kp = 20, Ki = 10, Kd = 5)..... 46

Gambar 34. Kurva Respon Sistem (Kp = 20, Ki = 20, Kd = 5)..... 47

Gambar 35. Rangkaian Simulasi PID Z-N Metode II (*close loop*)..... 48

Gambar 36. Sinyal Keluaran Sistem yang Berosilasi 48

Gambar 37. Respon Sistem Hasil *Tunning* Z-N *close loop* 49

Gambar 38. Perbandingan Sinyal Keluaran Metode Z-N dan Manual *Tunning*. 50

Gambar 39. Alat Tampak Depan 51

Gambar 40. Alat Tampak Samping Kiri 51

Gambar 41. Alat Tampak Samping Kanan 52

Gambar 42. Alat Tampak Belakang..... 53

Gambar 43. Alat Tampak Atas 54

Gambar 44. Bagian Komponen..... 55

Gambar 45. Tampilan Menu Awal 56

Gambar 46. Tampilan Pengaturan Kecepatan..... 57

Gambar 47. Tampilan Pengaturan Waktu..... 58

Gambar 48. Grafik Tegangan Driver Motor Terhadap nilai PWM 61

Gambar 49. Grafik Kecepatan Putaran Motor 62

Gambar 50. Hasil Penerapan Simulasi Manual Tuning..... 63

Gambar 51. Z-N metode pada Motor DC 64

Gambar 52. Perbandingan Manual Tuning dan Z-N Tuning..... 65

Gambar 53. Ketebalan Lapisan Masing – Masing Sampel..... 68

Gambar 54. Lapisan Tampak Atas..... 70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain *Cutting casing* Bahan Triplek 5mm 79

Lampiran 2. Desain Alat Tampak Panel Depan 80

Lampiran 3. Desain Alat Tampak Samping Kiri 81

Lampiran 4. Desain Alat Tampak Samping Kanan 82

Lampiran 5. Desain Alat Tampak Belakang..... 83

Lampiran 6. Desain Alat Tampak Atas 84

Lampiran 7. SOP Penggunaan Alat 85

Lampiran 8. Spesifikasi Alat 87

Lampiran 9. Data Pengoperasian Alat 88

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi film tipis memiliki peranan penting dalam perkembangan teknologi tingkat tinggi. Teknologi film tipis telah dikembangkan terutama pada kebutuhan industri Inegrated Circuit (IC). Permintaan untuk pengembangan perangkat yang lebih kecil dan semakin kecil dengan kecepatan yang lebih tinggi terutama pada IC generasi baru memerlukan bahan dan teknologi yang lebih maju. Dalam hal ini, Fisika dan teknologi film tipis memiliki peranan yang sangat penting. Produksi film tipis untuk perangkat telah dikembangkan selama 40 tahun terakhir (Fardousi, 2013:126).

Film tipis adalah lapisan material yang memiliki ketebalan dengan skala micrometer hingga nanometer (Sevvanthi, 2012:3573). Teknik deposisi film tipis dapat dilakukan dengan berbagai Teknik diantaranya yaitu, *Chemical Vapor Deposition* (CVD) dan *Physical Vapor Deposition* (PVD) (Hussein, 2011:423). Teknik lain untuk deposisi film tipis adalah *spin coating. Spin coating* merupakan suatu metode untuk mendeposisikan film tipis dengan cara menyebarkan larutan di atas substrat terlebih dahulu kemudian substrat diputar dengan kecepatan konstan tertentu agar diperoleh endapan film tipis di atas substrat. Atau metode percepatan larutan pada substrat yang diputar (Purwanto dan Prajitno, 2013: 4). *Spin coating* merupakan metode paling mudah dalam proses deposisi film tipis pada substrat. Tingkat homogen dan heterogen pada *single* dan *multiple* layer film tipis didapatkan dari tingkat optimasi kecepatan putaran spin coating (C. Thirunavukkarasu, dkk,

2016:10017). Keunggulan lain dari metode spin coating adalah mudah digunakan, aman dan murah (Bianchi, dkk, 2006:33). Alat yang digunakan untuk deposisi dengan metode spin coating disebut spin coater (Nandi, dkk, 2015:80).

Beberapa peneliti telah mencoba merancang sendiri alat spin coater untuk kepentingan penelitian dan berhasil menggunakannya. (Bianchi, dkk, 2006:36) membuat alat spin coater dengan menggunakan motor Hard disk bekas (HDD motor) berbasis PIC 16F877 dengan kecepatan putaran 10000 rpm dengan kendali manual. (Fardousi, dkk, 2013:134) mengembangkan spin coater yang murah dan efektif dengan kecepatan putaran mencapai 3800 rpm. Spin coater dibuat dengan menggunakan motor DC 3800 rpm, spinning disk, regulator12 volt, dan controlling circuit analog. Kecepatan putar divariasikan menjadi 11 bagian, mulai dari 350 rpm hingga 3800 rpm. (Sharma dan Naser, 2016:25) membuat racang bangun mesin spin coating dengan DC motor brushless menggunakan prosesor ARM sebagai control untuk studi PVA. Kecepatan putaran dapat dikontrol secara digital dengan variasi 500 rpm sampai 3800 rpm. (Labanie, 2011:56) merancang spin coater digital berbasis mikrokontroler dengan menggunakan motor DC 3000 rpm dengan memberikan sensor rotary encoder agar dapat mengetahui kecepatan putaran motor. Pengaturan kecepatan motor menggunakan metode PWM (*Pulse Width Modulation*).

Karena tingkat kesetabilan kecepatan motor menentukan optimasi dari suatu deposisi film tipis, maka perlu dibuat sistem kontrol otomatis yang mampu menjaga kesetabilan kecepatan putaran motor pada spin coater. Dalam sistem kontrol kita mengenal adanya beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol

proporsional, aksi kontrol integral, dan aksi kontrol derivative. Masing – masing aksi kontrol memiliki keunggulan tertentu, dimana kontrol proporsional mempunyai keunggulan risetime yang cepat, aksi kontrol integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil error dan aksi kontrol derivative mempunyai keunggulan untuk mengurangi overshoot. Untuk itu agar dapat menghasilkan keluaran dengan risetime yang cepat dan nilai error yang kecil kita dapat menggabungkan ketiga aksi kontrol tersebut menjadi aksi kontrol pid (Bachri, 2004: 25). Bagaimana membuat dan menerapkan aksi kontrol PID pada Spin coater agar mendapatkan kecepatan motor yang konstan adalah hal yang menarik untuk diteliti.

Spin coater pada penelitian ini kecepatan putaran maksimal yang dapat dicapai adalah 9000 rpm, dan dapat diatur kecepatannya sesuai dengan kebutuhan. Selain kecepatan yang dapat diatur, waktu putaran motor juga dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Atas dasar permasalahan yang ada maka penulis mengambil judul “DESAIN DAN PERANCANGAN SPIN COATER DIGITAL UNTUK DEPOSISI FILM TIPIS DENGAN KONTROL PID”.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dari latar belakang penelitian adalah :

a. Deposisi film tipis akan mencapai tingkat homogen yang tinggi jika putaran motor pada metode *spin coating* berada pada kecepatan yang konstan.
b. Upaya untuk meningkatkan optimasi deposisi film tipis dengan metode *spin coating* perlu dilakukan. Salah satu cara yaitu dengan mengatur kecepatan

putaran motor agar dapat berputar dengan kecepatan yang konstan dengan menerapkan sistem kontrol PID.

1.3 Pembatasan Masalah

Pada perancangan alat ini penulis akan membatasi ruang lingkup permasalahan yang akan dibahas, antara lain :

a. Motor DC yang digunakan adalah motor DC dengan kecepatan 9000 rpm
b. *Spin coater* digunakan untuk deposisi film tipis
c. Mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega 2560
d. Variasi kecepatan putaran diatur dengan tombol secara digital dan pengaturan ditampilkan pada LCD
e. Penggunaan sensor photodioda atau *hall effect sensor* untuk memonitoring kecepatan putaran motor
f. Kontrol kendali motor menggunakan aksi kontrol PID dengan mengatur PWM untuk mendapatkan putaran motor yang stabil
g. Tampilan yang digunakan adalah *Alphanumeric* LCD 20 x 4

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

a. Bagaimana mengoptimasi rangkaian elektrik pada *spin coater* digital.
b. Bagaimana diagram alur pemprograman sistem kontrol putaran motor pada pembuatan *spin coater* digital.
c. Bagaimana kinerja pelapisan film tipis pada *spin coater* digital berdasarkan kecepatan motor dan waktu proses.

1.5 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

a. Mengoptimasi perancangan dan pembuatan rangkaian elektrik pada *spin coater* digital.
b. Membuat diagram alur pemprograman beserta sistem kontrol putaran motor pada *spin coater* digital.
c. Menganalisis hubungan kecepatan dan waktu proses terhadap kinerja pelapisan film tipis pada *spin coater* tersebut.

1.6 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

a. Memahami perancangan serta pembuatan rangkaian elektrik pada *spin coater*.
b. Memahami pembuatan program berdasarkan diagram alur pemrograman serta sistem kendali pada mikrokontroler ATMega 328 untuk kontrol kecepatan motor pada *spin coater*.
c. Memahami hubungan antara kecepatan putaran motor, dan waktu proses terhadap kinerja pelapisan film tipis pada *sipin coater*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian terhadap perancangan *spin coater* telah banyak dilakukan. Bianci *et al* (2006) telah meranang *spin coater* dengan menggunakan DC brushless motor dari hard disk drivers (HDD) bekas. Sistem spin coater yang telah dirancang masih menggunakan kontrol manual. *Spin coater* menggunakan mikrokontroler PIC 16F877 dengan Bahasa assembly dalam kontrolnya. Kecepatan dari putaran motor *spin coater* dapat diatur secara manual dari 500 rpm sampai 6000 rpm tanpa memiliki sistem monitoring kecepatan putaran. Sehingga pengguna tidak dapat mengetahui dengan pasti berapa kecepatan putaran motor yang sedang digunakan. Labanie (2011) merancang *spin coater* terkendali waktu dan kecepatan menggunakan ATMega 16 dengan Bahasa pemrograman Bascom AVR. Kecepatan yang dihasilkan ditampilkan pada layer LCD dengan menggunakan rotary encoder sebagai pengukur kecepatan motor. Kecepatan yang dihasilkan adalah 1 rpm sampai 9999 rpm. Pengaturan kecepatan menggunakan metode PWM. Fardousi *et al* (2013) membuat desain dan konstruksi *spin coater* untuk deposisi film tipis dengan menggunakan motor DC. Kecepatan putaran yang dihasilkan adalah 350 rpm – 3800 rpm yang diatur secara analog dengan 11 *steps* kecepatan. Komponen penyusunnya terdiri dari motor DC, regulator, spinning disk, dan *controlling circuit*. *Controlling Circuit* tidak tersusun dari mikrokontrol, melainkan rangkaian pembagi tegangan sebagai pengatur kecepatan putar *spin coater*. Gaur dan Rana (2014) merancang *spin coater* dengan menggunakan motor AC universal berbeda

dengan beberapa peneliti yang menggunakan motor DC. Kecepatan putaran yang didapat adalah 500 – 6000 rpm. Desain antara *holder* yang akan diberi lubang untukselang *vacuum pump* dengan motor dihubungkan dengan *belt*. Nandi *et al* (2015) membuat percobaan perancangan *spin coater* dengan menggunakan motor Hard Disk Drivers (HDD) BLDC (*Brushless Direct Current*) yang memiliki kecepatan putaran tinggi. Pengaturan kecepatan putaran rpm motor menggunakan metode PWM dari mikrokontroller. Percobaan ini memiliki beberapa kelebihan yaitu adanya sensor rpm yang dapat secara langsung memantau kecepatan putaran motor, dapat mengatur berapa waktu yang diinginkan ketika motor berputar, dan semua pengaturan tersebut sudah digital. Kaddachi *et al* (2016) merancang *spin coater* dengan menggunakan motor DC yang memiliki kecepatan putaran 3500 rpm. Pada penelitian tersebut terlihat lebih kompleks jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Memiliki *interface* antara *spin coater* dengan komputer melalui software LabView. Menggunakan sensor infra merah untuk memantau kecepatan putaran motor. Kontrol dan monitoring *spin coater* bisa dilakukan dengan melalui *interface* yang terhubung dengan komputer. Pengaturan kecepatan motor menggunakan metode PWM yang yang dikirimkan ke driver motor untuk menentukan kecepatan motor DC. Hasil dari penggunaan *spin coater* untuk deposisi didapatkan lapisan dengan ketebalan 98 nm – 110 nm.

Dari beberapa penelitian terdahulu tentu memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, namun ada satu kekurangan yang hampir sama dari penelitian-penelitian di atas yaitu belum adanya kontrol untuk stabilitas putaran motor. Oleh karena itu pada penelitian ini penulis akan melakukan perancangan

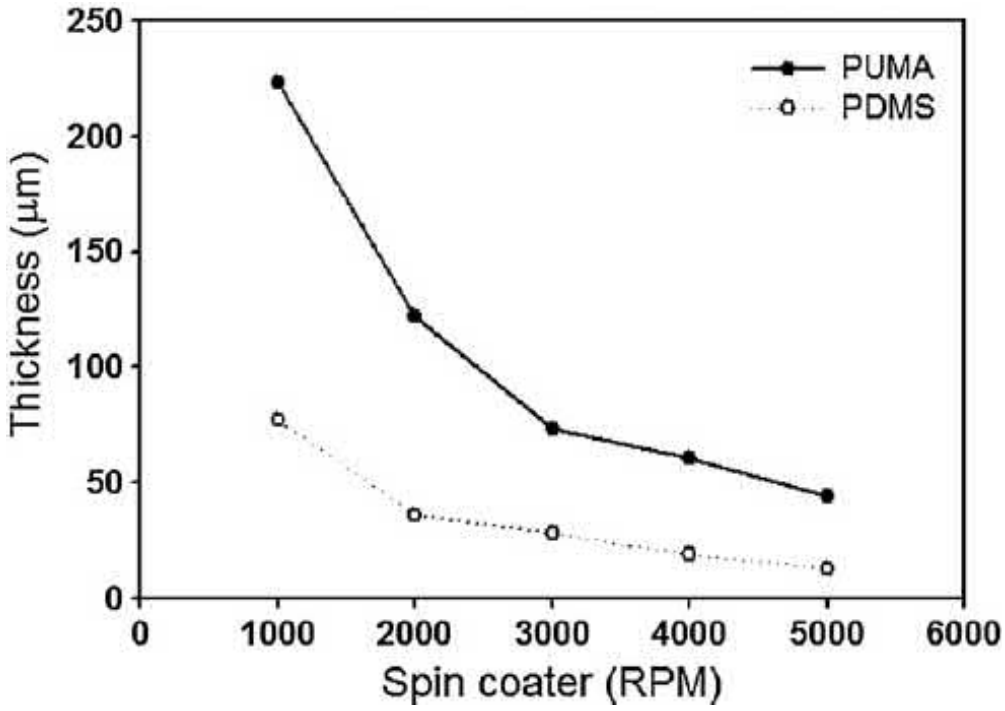
spin coater digital dengan menggunakan kontrol PID pada putaran motor dengan tujuan mendapatkan kecepatan putaran yang stabil.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Spin Coating

Spin coating merupakan suatu metode untuk mendeposisikan film tipis dengan cara menyebarkan larutan di atas substrat terlebih dahulu kemudian substrat diputar dengan kecepatan konstan tertentu agar diperoleh endapan film tipis di atas substrat. Atau metode percepatan larutan pada substrat yang diputar (Purwanto dan Prajitno, 2013: 4). Bahan yang akan dibentuk lapisan dibuat dalam bentuk larutan (gel) kemudian diteteskan di atas substrat yang diletakkan di atas piringan yang diputar, karena adanya gaya sentripetal ketika piringan berputar, maka bahan tersebut dapat tertarik ke pinggir substrat dan tersebar secara merata.

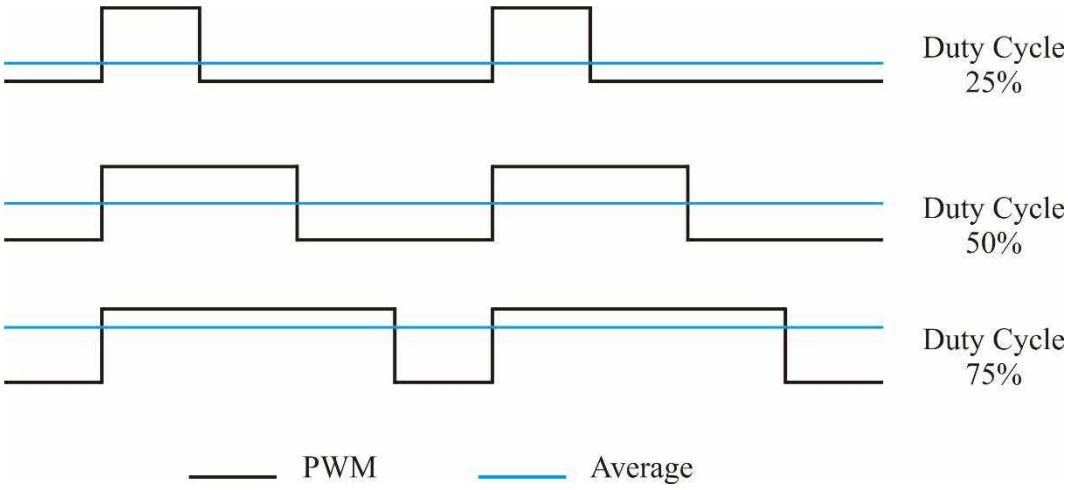
Kecepatan putar merupakan salah satu faktor terpenting dalam proses *spin coating*. Kecepatan putaran pada substrat berpengaruh terhadap gaya sentrifugal yang mengenai cairan selain kecepatan dan *turbullance* udara di atasnya.Secara lebih spesifik tingkat kecepatan putar yang tinggi dan waktu putaran menentukan ketebalan lapisan yang terbentuk. Berikut grafik hubungan antara ketebalan film dengan kecepatan putaran(Wade, 2016: 3).



Gambar 1. Hubungan kecepatan putaran dengan ketebalan lapisan (Wade, 2016: 3)

2.2.2 Pulse Width Modulation (PWM)

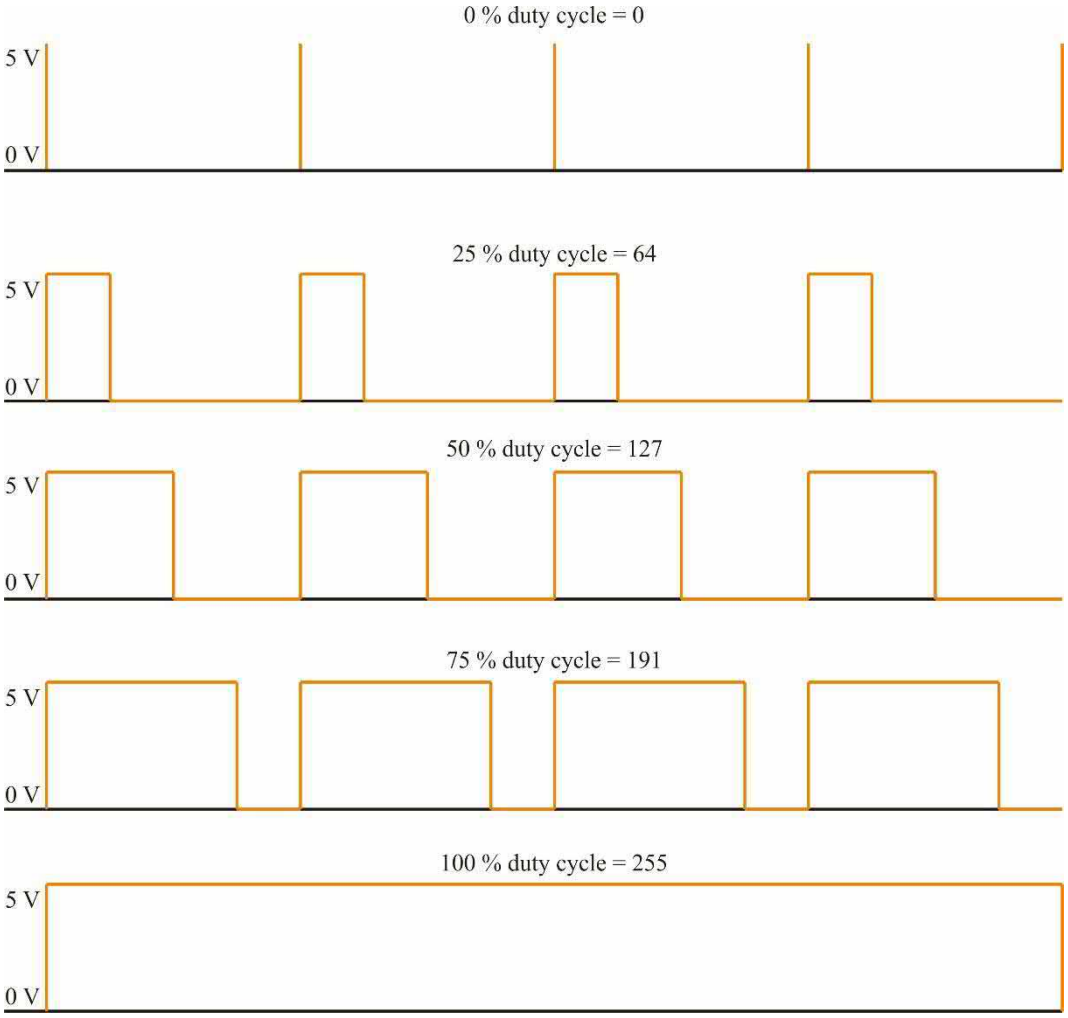
Pulse Width Modulation (PWM) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan penggunaan sinyal digital untuk menghasilkan sinyal output analog. Hal ini bisaanya digunakan untuk mengontrol daya rata-rata untuk beban dalam rangkaian kontrol kecepatan motor (LU *et al*, 2011:195). PWM menggunakan sinyal kotak dengan *duty cycle* tertentu menghasilkan berbagai nilai rata – rata dari suatu bentuk gelombang kotak.



Gambar 2. Gelombang kotak *duty cycle* PWM (Kapil, 2015:66)

PWM merupakan salah satu teknik untuk mendapatkan sinyal analog dari perangkat digital. Sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan menggunakan metode analog maupun digital. Membangkitkan PWM dengan metode analog dapat menggunakan rangkaian op – amp. Sedangkan metode digital dapat menggunakan perangkat digital seperti mikrokontrol dan sejenisnya.

Dengan menggunakan metode analog perubahan PWM sangat halus, sedangkan pada metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Resolusi dalam hal ini adalah jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit, berarti PWM memiliki nilai variasi sebanyak 2^8 = 256. Variasi nilai dimulai dari 0 – 255 yang mewakili perubahan nilai *duty cycle* 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut.

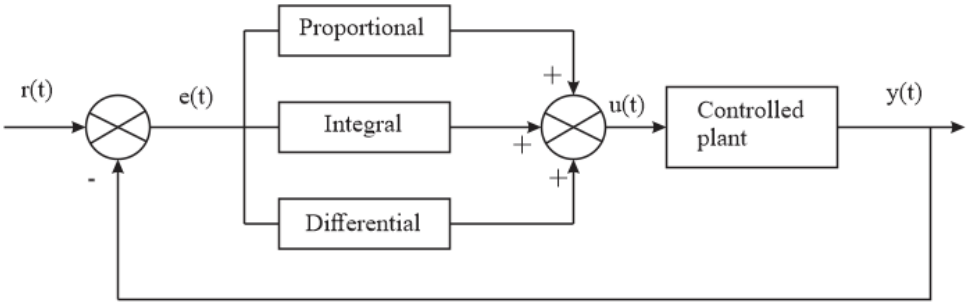


Gambar 3. *Duty Cycle* dan Resolusi PWM (Supani, Azwardi, 2015:5)

2.2.3 Kontrol PID

Proportional Integrative and Derivative (PID) banyak digunakan untuk sistem kontrol dengan perencanaan *set point* yang diinginkan. Metode kontrol PID adalah metode kontrol yang fleksibel dan sederhana. Metode ini lebih popular diantara semua jenis metode pengendalian. PID terdiri dari 3 jenis kontrol yaitu *proportional*, *integrative*, dan *derivative*. Ketiga kontrol tersebut dapat dipakai secara bersamaan maupun sendiri-sendiri. Penentuan konstanta *proporsional* (KP),

derivative (KD), *integrative* (KI) disebut sebagai *tunning* PID (Bansal, *et al*, 2012:312).



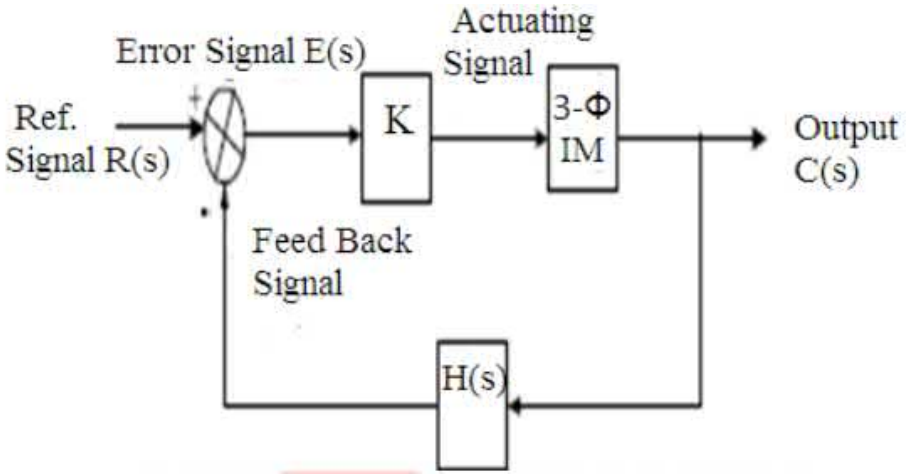
Gambar 4. Blok diagram kontrol PID (Bansal, *et al*, 2012:312)

PID merupakan sistem kontrol tertutup yang terdiri dari beberapa aksi kontrol. Aksi kontrol dikenal juga dengan sinyal kontrol yang beraksi berdasarkan sinyal *error*. Aksi kontrol ini berusaha untuk mereduksi *error*. Beberapa aksi kontrol diantaranya adalah aksi kontrol proporsional (P), aksi kontrol PI, aksi kontrol PD, dan aksi kontrol gabungan P,I,D yaitu PID (Bolton, 2006:103).

a. Aksi kontrol proporsional (P)

Sistem kontrol proporsional (kontrol P) adalah sistem kontrol dengan umpan balik linear. Sistem kontrol proporsional lebih kompleks jika dibandingkan dengan sistem kontrol *on-off* seperti termostart bimetal, namun lebih sederhana daripada kontrol PID yang digunakan pada suatu sistem. Umumnya dapat dikatakan kontrol proporsional tidak bisa menstabilkan proses yang lebih tinggi. Kontrol proporsional memberikan pengaruh sebanding dengan nilai *error*, semakin besar

nilai *error* semakin besar pula sinyal kontrol yang diberikan (Rao, Mishra, 2014:2740).



Gambar 5. Blok diagram kontrol P (Rao, Mishra, 2014:2741)

Dalam sistem kontrol proporsional keluaran pengontrol sebanding dengan nilai *error*, yang merupakan selisih antara *set point* dengan umpan balik (*feedback*). Selisih ini akan mempengaruhi kontrol untuk mempercepat mencapai *set point* atau memperlambat kontrol untuk mencapai *set point* (Rao, Mishra, 2014:2741). Penggunaan kontrol proporsional harus memperhatikan ketentuan – ketentuan berikut:

1. Bila nilai k_p yang diberikan kecil, kontrol hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil sehingga respon dari sistem akan lambat.
2. Bila nilai k_p yang diberikan dinaikkan, maka respon sistem akan lebih cepat.
3. Bila nilai k_p yang diberikan berlebihan, maka akan mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil dan berisolasi.

b. Aksi kontrol proporsional integral (PI)

Saat ini, kontrol PI paling banyak diadopsi dalam aplikasi industri karena strukturnya yang sederhana, mudah untuk dirancang, dan biaya yang relative rendah. Meskipun memiliki beberapa keunggulan tersebut kontrol PI masih belum mampu mengatasi objek dengan tingkat ketidak linearan yang tinggi dan tidak menentu (Rao, Mishra, 2014:2741). Kontrol PI dapat dirumuskan sebagai :

PI = KP * error + KI * integral error terhadap waktu (Bolton, 2006:113).

Dimana k_p adalah konstanta proporsional dan k_i adalah konstanta integral. Kombinasi antara kontrol proporsional dan kontrol integral memiliki suatu keuntungan utama jika dibandingkan dengan kontrol proporsional saja, yaitu *error* dalam keadaan tunak (*error* = 0) dapat diatasi. Hal ini dapat terjadi karena bagian integral pada kontrol dapat menghasilkan keluaran pengontrol meskipun sinyal *error* sama dengan nol.

c. Aksi kontrol Proporsional derivative (PD)

Kontrol derivatif memberi respons terhadap sinyal-sinyal *error* yang berubah terhadap waktu, tetapi tidak terhadap sinyal-sinyal *error* konstan, karena untuk sinyal-sinyal *error* konstan laju perubahan *error* terhadap waktu adalah nol. Berdasarkan alasan ini, kontrol derivatif dikombinasikan dengan kontrol proporsional yang dapat disebut kontrol PD. Kontrol PD dirumuskan sebagai berikut :

PD = KP * error + KD * integral terhadap waktu (Bolton, 2006:110).

Dimana k_p adalah konstanta proporsional dan k_d adalah konstanta derivatif. Perubahan mula-mula yang cepat pada pengontrol sebagai akibat dari kontrol

derivatif yang diikuti perubahan bertahap karena aksi kontrol proporsional. Dengan demikian bentuk kontrol ini merespons lebih baik terhadap perubahan proses yang terjadi secara cepat dibandingkan dengan hanya kontrol proporsional.

d. Aksi kontrol PID

Pengembangan dari ketiga mode kontrol (proporsional, integral, derivatif) memungkinkan untuk mendapatkan sebuah sistem kontrol yang tidak mempunyai *error* keadaan tunak (*error* = 0), serta dapat mereduksi kecenderungan terjadinya osilasi.berikut adalah persamaan yang menggambarkan aksi kontrol PID :

PID = KP * error + KI * integral error + KD * laju perubahan error (Bolton, 2006:114).

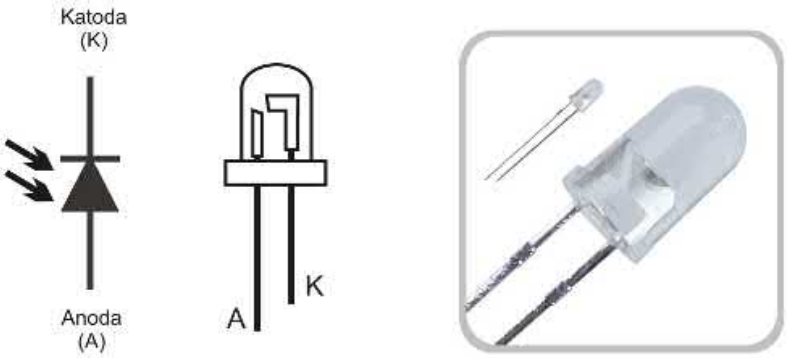
2.2.4 Motor DC *Brushed*

Motor DC *brushed* banyak diterapkan pada berbagai perangkat seperti peralatan elektronik, robotika, peralatan industri dan masih banyak lagi. Motor tersebut mudah diaplikasikan, mudah diterapkan berbagai sistem control (Afjei, *et al*, 2007:48). Kelebihan yang dimiliki salah satunya adalah memiiki torsi yang lebih besar jika dibandingkan motor *brushless*. Pada penelitian ini motor DC *brushed* yang akan digunakan adalah motor bertipe Mabuchi RS 550 yang ditunjukan pada gambar 6.

Gambar 6. Motor DC *brushed* Mabuchi RS 550 (*Datasheet* motor DC *brushed* Mabuchi RS 550)

2.2.5 Sensor Photodiode

Photodiode adalah suatu jenis dioda yang bekerja berdasarkan intensitas cahaya, dimana jika terkena cahaya dioda bekerja sperti pada umumnya, tetapi jika tidak mendapat cahaya maka akan berperan seperti resistor dengan nilai tahanan yang besar sehingga arus listrik tidak dapat mengalir. Simbol dan bentuk photodioda ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Simbol dan Bentuk Photodioda (Sari, *et al*, 2017:151)

Photodioda terbuat dari bahan semikonduktor yaitu *silicon* (Si), atau *Galium Arsenida* (GaAs), dan yang lain adalah Insb, InAs, PbSe. Material material ini menyerap cahaya dengan karakteristik Panjang gelombang mencakup 2500 A –

11000 A untuk bahan *silicon*, 8000 A – 20000 A untuk bahan GaAs. Ketika sebuah photon (satu satuan untuk energi cahaya) dari sumber cahaya diserap, hal tersebut membangkitkan suatu elektron dan menghasilkan sepasang pembawa muatan tunggal, sebuah elektron dan sebuah hole, dimana suatu hole adalah bagian dari kisi – kisi semikonduktor yang kehilangan elektron.

2.2.6 Mikrokontroller Arduino Mega 2560

Modul mikrokontroller Arduino diciptakan oleh Massimo Banzi, David Cuartilles, Tom Gianluca, David. A, Mellis, dan Nicholas Zambetti pada tahun 2005. Bahasa Arduino merupakan Bahasa *fork* (turunan) bahasa *wiring platform* dan bahasa *processing*. *Wiring platform* diciptakan oleh Hernando Barragan pada tahun 2003 dan *processing* diciptakan oleh Casey Reas dan Benjamin Fry pada tahun 2001.

Arduino menggunakan standar lisensi *open source*, mencakup perangkat keras (skema rangkaian, desain PCB atau *Printed Circuit Board*), *firmware bootloader*, dokumen serta perangkat lunak IDE (*Integrated Development Environment*) sebagai aplikasi pemprograman board Arduino (Jazi, 2014:8).

Gambar 8. Mikrokontroller Arduino

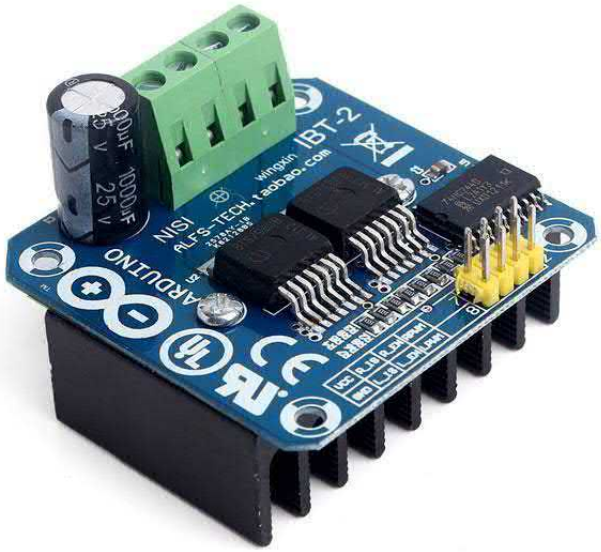
Arduino memiliki banyak jenis diantaranya adalah Arduino Uno dengan basis ATMega328, Arduino Mega dengan basis ATMega2560, Arduino Due dengan basis Atmel SAM3X8 ARM Cortex-M3 CPU, dan masih banyak lagi. Pada penelitian ini Arduino yang digunakan adalah Arduino Mega dengan basis ATMega2560. Berikut adalah spesifikasi lengkap Arduino Mega.

Microcontroller	: ATmega2560
Operating Voltage	: 5V
Input Voltage (recommended)	: 7-12V
Input Voltage (limits)	: 6-20V
Digital I/O Pins	: 54 (15 pins PWM output)
Analog Input Pins	: 16

DC Current per I/O Pin	: 40 mA
DC Current for 3.3V Pin	: 50 mA
Flash Memory	: 256 KB (8 KB used by bootloader)
SRAM	: 8 KB
EEPROM	: 4 KB
Clock Speed	: 16 MHz

2.2.7 Driver Motor H – Bridge BTS 7960

Driver motor merupakan rangkaian yang berfungsi untuk mengendalikan tegangan yang akan dilanjutkan ke motor yang mengakibatkan perubahan kecepatan dan arah putaran motor. Pada penelitian yang akan dilakukan driver motor yang digunakan adalah BTS 7960. Alasan penggunaan driver motor tersebut karena memiliki batas arus yang tinggi yaitu 43 ampere. Driver BTS 7960 dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Driver Motor BTS 7960

Driver motor BTS 7960 memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Tegangan masukan : 5.5 – 27 volt

Tegangan kerja : 3.3 – 5 volt

Arus maksimal : 43 ampere

Tegangan masukan adalah tegangan yang akan digunakan sebagai pengendali kecepatan motor. Tegangan ini dikendalikan oleh pin pwm yang terdapat pada driver motor. Pwm yang digunakan memiliki resolusi tegangan 0 – 5 volt DC. Sedangkan tegangan kerja adalah tegangan yang digunakan oleh driver motor tersebut untuk pengoperasian rangkaian.

2.2.8 LCD *Alphanumeric* 20 x 4

Liquid Crystal Display (LCD) adalah perangkat yang digunakan untuk menampilkan karakter, angka, dan huruf sebagai monitor data dari mikrokontroler.

Ada banyak ukuran dari LCD *alphanumeric* diantaranya adalah 16x2, 20x2, 20x4 dan masih banyak lagi. Ukuran tersebut berdasarkan jumlah karakter yang dapat ditampilkan oleh LCD dengan konfigurasi ukuran X xY, X untuk panjang karakter mendatar, dan Y untuk ukuran karakter menurun. Pada penelitian yang akan dilakukan, LCD yang akan digunakan berukuran 20x4. LCD *alphanumeric* 20x4 ditunjukkan pada gambar 10.

Gambar 10. LCD Alphanumeric 20x4

LCD *Alphanumeric* 20x4 memiliki 16 pin yang memiliki fungsi masing – masing untuk dihubungkan dengan mikrokontrol. Berikut adalah penjelasan dari pin LCD.

a. Kaki 1 (GND) : Kaki yang berhubungan dengan ground.

b. Kaki 2 (VCC) : Kaki yang berhubungan dengan tegangan sumber 5 volt

c. Kaki 3 (VEE) : Kaki untuk mengatur tegangan kontras LCD

d. Kaki 4 (RS) : *Register Select*, pemilihan register untuk akses LCD

e. Kaki 5 (R/W) : Kaki untuk perintah pembacaan dan penulisan pada LCD

f. Kaki 6 (E) : *Enable* clock LCD

g. Kaki 7 – 14 (D0 – D7) : Data Bus

h. Kaki 15 (Anoda) :berfungsi sebagai tegangan positif LED backlight

i. Kaki 16 (Katoda) : berfungsi sebagai tegangan nol (ground) LED backlight.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Setelah dilakukan penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Rangkaian elektrikal pada *spin coater* digital yang dibuat dapat bekerja secara optimal berdasarkan hasil yang telah dicapai dimana setiap komponen dapat bekerja sesuai dengan fungsinya.

2. Program yang dibuat dapat berjalan sesuai dengan perancangan pada diagram alur program. Untuk sistem kontrol yang digunakan adalah kontrol PID dengan tunning manual, setelah dilakukan beberapa percobaan pada simulasi dengan MATLAB.

3. Berdasarkan hasil yang telah dicapai pada percobaan uji 4 sampel dengan perbedaan 4 variasi kecepatan, didapatkan hasil yang optimal pada kecepatan putaran 3500 rpm dengan durasi *spin coating* 2 menit pada sampel 3. Dengan ketebalan lapisan 73.3 µm dan sebaran lapisan yang hampir merata keseluruhan jika dibandingkan sampel lain.

5.2 Saran

1. Untuk memperbaiki penelitian yang telah dilaksanakan berdasarkan simpulan nomor 3, pengujian dapat dilakukan dengan membuat variasi durasi putaran. Kemudian dilakukan pengujian hasil sampel untuk mengetahui berapa tegangan yang dihasilkan supaya didapatkan hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Abdulameer, Aswaq, Marizan Sulaiman, M.S.M. Aras, Dawood Saleem. 2016. GUI Based Control System Analysis Using PID Controller for Education. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* 3 (1). 91 – 101.

Archana, J., P. Suganthini, C. Malathi. 2014. DC Motor Speed Control Using Matlab. *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology* 2 (12). 832 – 834.

Bachri, H. Samsul. 2004. Sistem Kendali Hybrid PID – Logika Fuzzy Pada Pengaturan Kecepatan Motor. *Makara Teknologi* 8 (1). 25 – 34.

Bianchi, R.F., M.F. Panssiera, J.P.H. Lima, L. Yagura, A.M. Andrade, R.M. Faria. 2006. Spin Coater based on brushless DC motor of hard disk drivers. *ELSEVIER*. 33 – 36.

Fardousi, Mohua, M.F. Hossain, M.S. Islam, and Sharik Rahat Ruslan. 2013. Cost-Effective Home-Made Spin Coater for Depositing Thin Films. *Journal of Modern Science and Technology* 1 (1). 126 – 134.

Hamoodi, Safwan.A, Rasha A. Mohammed, Bashar M. Salih. 2018. DC Motor Speed Control Using PID Controller Implementation by Simulink and Practical. *International Journal of Electrical Engineering* 11 (1). 39 – 49.

Hussein, H.F., G.M. Shabeeband, S.S. Hashim. 2011. Preparation ZnO Thin Film by Using Sol-gel-processed and Determination of Thickness and Study Optical Properties. *Journal of Materials and Environment Science* 2 (4). 423 – 426.

Kaddachi, Z, M. Belhi, M. Ben Karoui, R. Gharbi.2016. Design and Development of Spin Coating System. *17th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control & Computer Engineering*. IEEE. Sousse. 558 – 562.

Kapil, P.N., Keyur Patel.2015. Simulation of PWM Controller Based DC Motor. *International Journal of Current Engineering and Scientific Research* 2 (5). 65 – 68.

Kinchen, Jonathan Wade.2016. Design and Build of Spin Coating Machine to Test Thin Films for Blisters Using Laser Interferometry. *Thesis*. Industrial Technology Southeastern Louisiana University. Hammond.

LU, Xueqin, Shuguo Chen, Chenning Wu, Mingzhu Li.2011. The Pulse Width Modulation and Its Use In Inductor Motor Speed Control. *Fourth International Symposium on Cmputational Intelligence and Design*. IEEE. Guangzhou. 195 – 198.

Nandi, Akshaykumar A., R.B. Shettar, Vaishali B.M., and Vinay Patil. 2015. Automation of DC Motor Control Using PWM Technique for Thin Film

Deposition. *Multidisciplinary Journal of Research in Engineering and Technology*. 80 – 89.

Ohring, M. 1992. *The Materials Science of Thin Films*. 13rd ed. London.Academic Press Limited.

Purwanto, Romli, dan Gontjang Prajitno. 2013. Variasi Kecepatan dan Waktu Pemutaran Spin Coating Dalam Pelapisan TiO2 Untuk Pembuatan dan Karakterisasi Prototipe DSSC dengan Ekstraksi Kulit Manggis (Garnicia Mangostana) sebagai Dye Sensitizer. *Jurnal Sains dan Seni POMITS* 2 (1). 1-7.

Rao, K Smriti, Ravi Mishra. 2014. Comparative Study of P, PI and PID Controller for Speed Control of VSI-fed Induction Motor. *International Journal of Engineering Development and Research* 2 (2). 2740 – 2744.

Sari, Zulfiah Ayu Kurnia, Handjoko Permana, Widyaningrum Indrasari. 2017. Karakterisasi Sensor Photodioda, DS18B20, dan Konduktivitas Pada Rancang Bangun Sistem Deteksi Kekeruhan dan Jumlah Zat Padat Terlarut Dalam Air. *Spektra : Jurnal Fisika dan Aplikasinya* 2 (2). 149 – 156.

Sevvanthi, P., A. Claude, Jayanthi, and A. Poiyamozhi. 2012. Instrumentation for Fabricating an Indegenous Spin Coating Apparatus and Growth of Zinc Oxide Thin Films and Their Characterizations. *Advances in Applied Science Research* 3 (6). 3573 – 3580.

Sharma, P. Harsha, Mohamed Naser.2016. Production of Spin Coating Machine proscribed by Arm Processor for corporeal Studies PVA. *SSRG International Journal of Mechanical Engineering* 3 (12). 21 – 25.

Supani, Ahyar, Azwardi.2015. Penerapan Logika *Fuzzy* dan *Pulse Width Modulation* untuk Sistem Kendali Kecepatan Robot *Line Follower*. *INKOM* 9 (1). 1- 10.

Thirunavukkarasu, C., K.K. Saranya, B. Janarthanan, and J. Chandrasekaran. 2016. Design, Fabrication and Working of In-House Spin Coating Unit for Thin Film Deposition. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering, and Technology* 5 (6). 10017 - 10023.