

**PENGEMBANGAN ALAT *DIP COATING* BERBASIS RASPBERRY
PI 3 UNTUK PENUMBUH LAPISAN TIPIS**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar
Sarjana Sains*



Oleh :

INANDITA MARDHIYAH

15034049 / 2015

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2020**

PERSETUJUAN SKRIPSI

**PENGEMBANGAN ALAT *DIP COATING* BERBASIS
RASPERRY PI 3 UNTUK PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS**

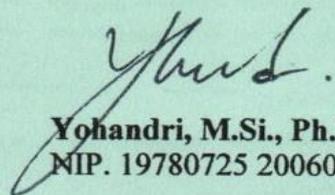
Nama : Inandita Mardhiyah
Nim : 15034049
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si.
NIP. 19690120 199303 2 002

Padang, November 2020
Disetujui oleh,
Pembimbing



Yohandri, M.Si., Ph.D.
NIP. 19780725 200604 1 003

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Inandita Mardhiyah
Nim : 15034049
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

PENGEMBANGAN ALAT *DIP COATING* BERBASIS RASPERRY PI 3 UNTUK PENUMBUH LAPISAN TIPIS

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Padang

Padang, November 2020

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Yohandri, M.Si., Ph.D.
Anggota	: Dr. Asrizal, M.Si.
Anggota	: Dr. Ramli, S.Pd., M.Si.

Tanda tangan



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul "Pengembangan Alat *Dip Coating* Berbasis Raspberry Pi 3 untuk Penumbuh Lapisan Tipis", adalah asli karya saya sendiri.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya, tanpa bantuan pihak lain, kecuali pembimbing.
3. Di dalam karya tulis ini, tidak dapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada kepustakaan.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan yang berlaku

Padang, November 2020
Yang membuat pernyataan



Inandita Mardhiyah
NIM. 15034049/2015

PENGEMBANGAN ALAT *DIP COATING* UNTUK PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS BERBASIS RASPBERRY PI 3

Inandita Mardhiyah

ABSTRAK

Pelapisan pada bahan saat ini sangat dibutuhkan dalam dunia industri. Hal ini diperlukan untuk menjaga kualitas bahan yang akan digunakan. Metode *dip coating* merupakan salah satu jenis metode pelapisan sederhana dengan teknik pencelupan bahan pada larutan pelapis. Pada proses *dip coating* kecepatan pencelupan serta kecepatan penarikan bahan dari dalam larutan pelapis merupakan hal penting. Nilai kecepatan yang digunakan pada proses tersebut akan mempengaruhi nilai ketebalan lapisan yang dihasilkan. Keberadaan alat *dip coating* yang mampu memberi variasi nilai kecepatan diperlukan untuk memperoleh nilai ketebalan lapisan yang diharapkan. Tujuan dari penelitian ini untuk menentukan spesifikasi performansi dari alat *dip coating* berbasis Raspberry pi 3 untuk penumbuh lapisan tipis, menentukan pengaruh variasi kecepatan penarikan pada proses *dip coating* terhadap lapisan tipis yang dihasilkan.

Penelitian ini tergolong penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) yaitu metode penelitian yang digunakan untuk mengembangkan produk. Ada dua Teknik pengumpulan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengukuran langsung dan pengukuran tidak langsung. Pengukuran langsung dilakukan dengan membandingkan waktu tempuh tuas pada alat dengan alat ukur standar, sehingga dapat dibandingkan nilai kecepatannya. Disisi lain, pengukuran tidak langsung dilakukan dengan menentukan ketepatan dan ketelitian dari alat *dip coating*.

Berdasarkan hasil analisis data dapat disimpulkan dua hasil data penelitian. Pertama, spesifikasi performansi dari alat *dip coating* terdiri dari *stepper motor*, modul Raspberry pi 3, LCD *touchscreen* khusus untuk Raspberry pi, komponen pendukung rangkaian elektronika terdiri dari resistor, kapasitor, regulator 5v, dan *power supply* adaptor. Kedua, hasil ketepatan dan ketelitian dari alat *dip coating* sebesar 97,53% dan 99.17%. nilai ketepatan dan ketelitian ini menjelaskan bahwa alat layak digunakan untuk memenuhi kebutuhan dalam kegiatan pelapisan bahan. Diperoleh juga grafik hubungan antara kecepatan tarik dan ketebalan lapisan tipis dengan persamaan polynomial orde ketiga.

Kata kunci: *Dip Coating*, Lapisan Tipis, Raspberry Pi 3.

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur diucapkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat beserta salam senantiasa penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Judul dari skripsi ini adalah “Pengembangan Alat *Dip Coating* Berbasis Raspberry Pi 3 Untuk Penumbuh Lapisan Tipis”. Tujuan penulisan skripsi ini untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) bagi mahasiswa program S-1 di program studi Fisika Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang.

Skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Dengan dasar itu, pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada peneliti dalam menyusun skripsi ini, terutama kepada :

1. Bapak Yohandri, M.Si, Ph.D sebagai Pembimbing atas segala bantuannya yang tulus ikhlas memberikan bimbingan, arahan dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Dr. H. Asrizal, M.Si dan Bapak Dr. Ramli, M. Si sebagai dosen penguji skripsi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan masukan, kritikan dan pandangan kepada peneliti untuk menyempurnakan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si sebagai Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

4. Ibu Syafriani, M. Si, Ph. D sebagai Ketua Program Studi Fisika Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
5. Bapak Dr. Ahmad Fauzi, M.si sebagai Dosen Pembimbing Akademik.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
7. Staf administrasi dan Laboran di Laboratorium Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
8. Orang tua yang telah memberikan dukungan baik berupa moril maupun spiritual.
9. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA UNP khususnya Fisika angkatan 2015 yang telah membantu berjuang hingga akhir dan semua pihak yang telah ikut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berjasa dalam penyelesaian skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah diberikan. Peneliti menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Peneliti mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk lebih baiknya skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, sebagai referensi dan sebagai sarana untuk menambah ilmu pengetahuan dan informasi.

Padang, November 2020

Peneliti

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Batasan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	6
A. <i>Dip Coating</i>	6
B. Lapisan Tipis.....	7
C. Motor <i>Stepper</i>	9
D. Raspberry Pi.....	12
E. Sistem Pengontrolan	16
BAB III METODE PENELITIAN	17
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	17
B. Alat dan Bahan.....	17
C. Jenis Penelitian	18
D. Data dan Variabel Penelitian	19
E. Prosedur Penelitian	19
F. Teknik Pengumpulan Data.....	27
G. Teknik Analisis Data	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30

A. Hasil Penelitian	30
B. Pembahasan	46
BAB V PENUTUP	47
A. Kesimpulan	47
B. Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skematis proses <i>dip coating</i>	7
Gambar 2. Jumlah pulsa mewakili jumlah putaran	9
Gambar 3.(a) bentuk pulsa keluaran dari pengendali motor stepper (b) penerapan pulsa pengendali pada motor stepper dan arah putaran yang bersesuaian	10
Gambar 4. Motor <i>stepper</i>	12
Gambar 5. <i>Board</i> Raspberry pi 3	13
Gambar 6. LCD <i>touch screen for raspberry</i>	15
Gambar 7. Tampilan PyQt <i>Designer</i>	16
Gambar 8. Langkah – langkah Penelitian R&D yang Bersifat Mengembangkan Produk yang Telah Ada	20
Gambar 9. Diagram alir sistem kerja alat	23
Gambar 10. Diagram alir program motor <i>stepper</i> pada alat	24
Gambar 11. Desain mekanis alat <i>dip coating</i>	27
Gambar 12. Alat <i>dip coating</i>	33
Gambar 13. Posisi motor <i>stepper</i>	34
Gambar 14. Modul Raspberry Pi 3 yang terpasang pada alat	35
Gambar 15. Tampilan layar pada alat <i>dip coating</i>	36
Gambar 16. <i>Data logger</i> pada <i>interface</i>	37
Gambar 17. Rangkaian elektronika pada alat <i>dip coating</i>	38

Gambar 18. Grafik <i>input</i> kecepatan tarik pada pengujian ketepatan program alat di nilai 2 mm/s dan 4 mm/s	41
Gambar 19. Grafik nilai Histerisis alat	42
Gambar 20. Hasil pengukuran nilai ketebalan lapisan tipis pada beberapa sampel menggunakan alat uji SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>).....	45
Gambar 21. Grafik hubungan variasi nilai kecepatan tarik terhadap lapisan tipis yang dihasilkan.....	46
Gambar 22. Datasheet Raspberry Pi 3	53
Gambar 23. <i>Pinout</i> Raspberry Pi 3	53
Gambar 24. Proses pelapisan substrat kaca menggunakan alat <i>dip coating</i>	87
Gambar 25. Larutan Perkursor yang digunakan sebagai pelapis substrat kaca	87
Gambar 26. Sampel substrat yang sudah dilapisi menggunakan alat <i>dip coating</i> ..	88
Gambar 27. Susunan sampel yang akan diukur menggunakan SEM	88
Gambar 28. SEM FT UA yang akan digunakan untuk mengukur nilai ketebalan lapisan pada sampel.....	89
Gambar 29. Tahap meletakkan sampel ke dalam SEM	89
Gambar 30. Proses pengukuran lapisan tipis dan dan pengampilan gambarnya ..	89

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Persentase kesalahan dan persentase ketepatan kecepatan pada program alat <i>dip coating</i> untuk $x = 20$ cm	39
Tabel 2. Persentase ketelitian alat <i>dip coating</i>	43
Tabel 3. Datasheet motor driver A4988.....	54
Tabel 4. Analisis % KR dengan panjang lintasan tuas 20 cm	82
Tabel 5. Analisis % KR dengan pengukuran berulang untuk panjang lintasan tuas 20 cm.....	83
Tabel 6. Analisis % ketelitian dengan panjang lintasan tuas 8 cm	85
Tabel 7. Analisis % ketepatan dengan panjang lintasan 20 cm	86

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Datasheet Raspberry Pi 3 B.....	53
Lampiran 2. Datasheet <i>Motor Driver</i> A4988.....	54
Lampiran 3. Datasheet <i>Stepper Motor</i> Nema 17	55
Lampiran 4. Program Sistem Alat <i>Dip Coating</i>	56
Lampiran 5. Program GUI Loop Alat <i>Dip Coating</i>	79
Lampiran 6. Data Analisis pengujian Alat <i>Dip Coating</i>	82
Lampiran 7. Dokumentasi Pengujian Alat <i>Dip Coating</i>	87
Lampiran 8. Dokumentasi Proses Pengukuran Nilai Ketebalan Lapisan Tipis yang Dihasilkan	88
Lampiran 9. Angket Validasi	90
Lampiran 10. Analisis Angket	93
Lampiran 11. Tabel Pengolahan Data Ketepatan Alat <i>Dip Coating</i> dengan $S = 20$ cm ...	94

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Industri pelapisan pada bahan saat ini terus berkembang sesuai dengan meningkatnya kebutuhan. Mulai dari metoda pelapisan, bahan yang digunakan untuk pelapisan, hingga berbagai lapisan bahan yang dihasilkan. Pada bidang elektronika, lapisan tipis digunakan untuk membuat sensor (Susanto, dkk, 2018). Selain sensor juga digunakan untuk membuat kapasitor, semikonduktor dan beberapa komponen elektronik lainnya. Pelapisan pada bahan juga dibutuhkan dalam bidang konstruksi terutama untuk bahan logam dengan tujuan untuk mencegah terjadinya korosi. Terdapat berbagai jenis metode untuk pelapisan pada bahan salah satunya *dip coating*. Metode *dip coating* merupakan metode pelapisan dengan prinsip pencelupan bahan ke dalam larutan dengan prekursor tertentu untuk memperoleh lapisan tipis sebagai pelapis bahan.

Pada proses *dip coating*, saat substrat ditarik perlahan dari larutan, terjadi penguapan sisa-sisa larutan yang menempel pada substrat, sehingga partikel-partikel yang terkandung dalam larutan tersebut terdeposisi pada substrat (Anggi, 2013). Pada proses ini kecepatan tarik memiliki peran penting dalam menentukan ketebalan lapisan yang dihasilkan. Adanya penambahan pengaturan kecepatan pada saat substrat ditarik akan mempermudah proses untuk memperoleh variasi ketebalan berdasarkan variasi perlakuan kecepatan yang diberikan. Ketebalan lapisan bergantung dengan kecepatan pada saat penarikan substrat, namun tidak

sama untuk berbagai jenis larutan, tergantung pada larutan dan jenis prekursor yang digunakan.

Pada penelitian sebelumnya, (Phutrie, 2010) merancang pengatur level kecepatan Motor DC pada alat pelapisan (*dip coating*) berbasis mikrokontroler atmega8535, akan tetapi masih menggunakan Motor DC. Penelitian lainnya Khairunnisa (2018) merancang alat untuk pelapisan pada bahan menggunakan metode *dip coating* berbasis arduino dengan menggunakan motor *stepper* yang lebih akurat dibanding Motor DC sebagai pengontrol kecepatan. Namun, alat ini tidak dilengkapi dengan sistem penyimpanan sehingga data pengukuran masih disimpan secara manual oleh pengguna alat. Tampilan data variabel pada alat ini juga masih menggunakan LCD matrix sehingga jumlah data variabel yang dapat ditampilkan terbatas. Dibutuhkan penambahan sistem agar tampilan data variabel pada alat menjadi *user friendly* dari sebelumnya dan juga dapat menyimpan data hasil pengukuran secara langsung dan *real time*, sehingga memudahkan pengguna dalam mengoperasikan alat.

Alat *dip coating* yang telah dibuat oleh Khairunnisa (2018) masih menggunakan arduino. Arduino yang digunakan sebagai akuisisi pada sistem mengharuskan penggunaan PC untuk mengoperasikan *interface* pada alat ukur tersebut. Namun, penggunaan PC saat ini dirasa kurang efisien untuk sistem pengukuran sebab memerlukan tempat yang cukup besar dan tidak bersifat *portable*. Oleh sebab itu, penulis akan menggunakan Raspberry Pi 3 sebagai akuisisi dan pengganti keberadaan PC yang akan diaplikasikan pada alat.

Menurut Nataliana (2014), ada beberapa kelebihan dari penggunaan Raspberry Pi untuk sistem yang dirancang, yaitu konsumsi dayanya lebih kecil dari sebuah *personal computer*, dan terdapat pin-pin GPIO yang dapat difungsikan sebagai *input* atau *output*. Pin ini dapat langsung dihubungkan dengan sensor atau komponen-komponen elektronika lainnya yang akan digunakan dalam sistem sehingga dapat berperan sebagai komputer mini serta akuisisi pada sistem. Raspberry Pi juga menggunakan bahasa python yang lebih sederhana dibandingkan dengan arduino. Hal tersebut tentu lebih memudahkan dalam perancangan perangkat lunak untuk sistem.

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan, maka telah dikembangkan suatu alat untuk membuat lapisan tipis pada bahan menggunakan metode *dip coating*. Oleh karena itu, peneliti telah melakukan penelitian dengan judul “Pengembangan Alat *Dip Coating* Berbasis Raspberry Pi 3 Untuk Penumbuhan Lapisan Tipis”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan maka didapatkan rumusan masalah. Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana spesifikasi performansi dari pembuatan alat *dip coating* berbasis raspberry pi 3 untuk penumbuh lapisan tipis?
2. Bagaimana pengaruh variasi nilai kecepatan tarik pada proses *dip coating* terhadap ketebalan lapisan tipis yang dihasilkan?

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari topik yang ditentukan.

Penelitian ini mempunyai batasan masalah sebagai berikut :

1. Spesifikasi performansi dari alat *dip coating* berbasis Raspberry pi 3 untuk penumbuhan lapisan tipis.
2. Ketepatan dan ketelitian yang diuji hanya terhadap sistem kerja alat yang dibuat.
3. Pada penelitian ini hanya menyelidiki pengaruh kecepatan tarik terhadap ketebalan lapisan tipis yang dihasilkan dari proses *dip coating*.
4. Penelitian ini tidak sampai pada tahap analisis morfologi dari lapisan tipis yang dihasilkan.
5. Tahapan penelitian dan pengembangan yang dilakukan oleh peneliti hanya sampai pada tahap pembuatan produk.
6. Alat yang dirancang menggunakan *stepper motor*.
7. Menggunakan Raspberry Pi 3 sebagai mikrokontroler sekaligus pengganti keberadaan PC untuk sistem antarmuka.
8. Menggunakan LCD *touchscreen* khusus untuk Raspberry sebagai *display*.
9. Menggunakan bahasa python sebagai bahasa pemrograman untuk merancang sistem antarmuka.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian merupakan sasaran yang ingin dicapai peneliti dalam sebuah penelitian. Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan spesifikasi performansi dari pembuatan alat *dip coating* berbasis Raspberry pi 3 untuk penumbuhan lapisan tipis.
2. Menentukan pengaruh variasi nilai kecepatan tarik pada proses *dip coating* terhadap ketebalan lapisan tipis yang dihasilkan.

E. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada:

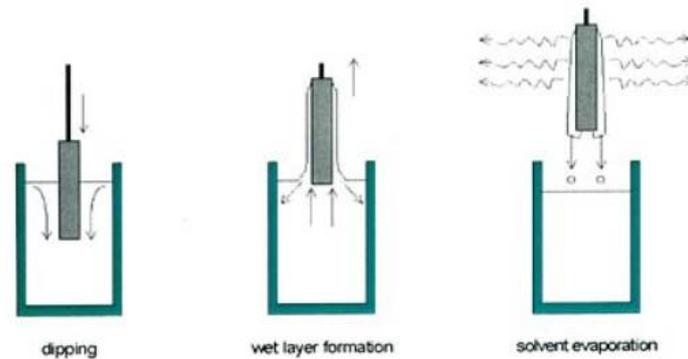
1. Peneliti, sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi fisika S1 dan pengembangan diri dalam bidang penelitian fisika.
2. Jurusan fisika, sebagai instrumen yang dapat digunakan pada laboratorium fisika khususnya laboratorium elektronika dan instrumentasi
3. Peneliti lain, sebagai acuan dalam pembuatan dan pengembangan alat *dip coating* untuk penumbuh lapisan tipis.
4. Pembaca, untuk menambah pengetahuan dan memperluas wawasan dalam bidang kajian elektronika.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Dip Coating

Dip-coating adalah teknik sederhana yang digunakan untuk menyiapkan membran komposit dengan *toplayer* yang sangat tipis namun padat. Membran yang diperoleh dengan metode ini digunakan dalam osmosis balik, pemisahan gas, dan pervaporasi. Menurut Brinker (2013) proses pelapisan *dip coating* terbagi dalam beberapa tahapan yaitu perendaman, deposisi, dan penguapan. Pada saat perendaman substrat dicelupkan ke dalam larutan prekursor pada kecepatan konstan dengan durasi tunggu tertentu. Durasi ini bertujuan agar adanya waktu interaksi yang cukup antara substrat dengan larutan pelapis untuk pembasahan total. Lalu pada tahapan deposisi substrat ditarik ke atas dengan kecepatan konstan sehingga terjadi pengendapan film untuk membentuk lapisan tipis dari larutan prekursor yang ditentukan. Pada tahapan ini, cairan yang berlebih akan mengalir dari permukaan substrat. Kemudian pada tahapan penguapan pelarut menguap dari fluida, membentuk film tipis yang diendapkan. Proses ini dapat dipercepat dengan pengeringan dengan cara dipanaskan. Selanjutnya lapisan tersebut akan dipanaskan lagi untuk membakar sisa organik dan menginduksi kristalisasi oksida fungsional. Secara sederhana, proses *dip coating* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skematis proses *dip coating*

(Chemat, 2001)

Metode ini banyak diminati karena prosesnya yang sederhana dan tidak memerlukan biaya yang mahal, selain itu juga tidak merusak lingkungan dan peralatan yang digunakan tidak begitu kompleks (Sanjaya, 2013). Pada proses *dip coating*, kecepatan alat sangat berpengaruh pada tiap langkah yang dilalui. Oleh karena itu, perlu diperhatikan pengontrolan kecepatan gerak alat agar hasil pelapisan bahan semikonduktor sesuai dengan kebutuhan (Phutrie, 2010). Tahapan-tahapan pada proses pelapisan *dip coating* akan mempengaruhi nilai ketebalan lapisan yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan, variasi nilai kecepatan yang diberikan pada tahap tersebut menghasilkan nilai ketebalan lapisan tipis yang akan bervariasi juga.

B. Lapisan Tipis

Lapisan tipis merupakan suatu lapisan yang terdiri dari bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal organik (*organometallic*) dengan ketebalan dalam orde nm (nanometer) hingga μm (mikrometer) yang memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor, maupun isolator. Bahan-bahan dari lapisan tipis dapat memperlihatkan sifat-sifat khusus, yaitu mempunyai

sifat-sifat bahan unik yang diakibatkan oleh proses pertumbuhan lapisan tipis. Aplikasi lapisan tipis saat ini telah menjangkau hampir semua bidang industri baik dalam pembuatan piranti elektronika seperti kapasitor, transistor, dan teknologi mikroelektronika. Dalam bidang optik digunakan pembuatan lapisan anti refleksi, filter interferensi, cermin reflektor tinggi, kacamata pelindung dari cahaya, transmisi daya tinggi, maupun dalam bidang lain. Menurut Tyas (2017) pembentukan lapisan tipis melewati tiga tahap utama yaitu:

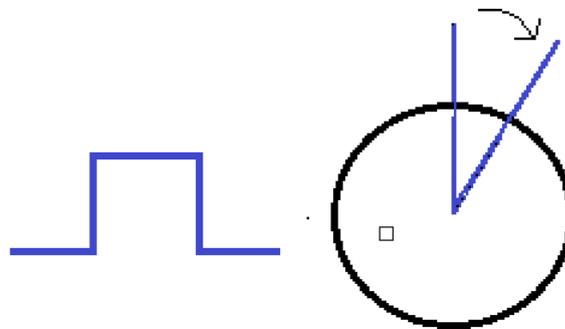
1. Pembentukan jenis atom, molekul atau ion.
2. Transport jenis atom, molekul atau ion.
3. Kondensasi pada permukaan substrat secara langsung atau melalui reaksi kimia atau elektrokimia untuk membentuk suatu deposisi.

Selain dipengaruhi oleh nilai kecepatan, jenis prekursor yang terdapat dalam larutan pelapis juga mempengaruhi kualitas lapisan yang dihasilkan. Lapisan yang diharapkan dari proses ini yaitu lapisan yang bersifat homogen atau tersebar merata pada substrat yang dilapisi. Terdapat banyak jenis prekursor yang digunakan dalam proses *dip coating* terhadap substrat. Prekursor yang juga sering digunakan seperti CoFe_2O_4 . Larutan ini adalah salah satu material magnetik yang banyak diteliti karena mempunyai kekerasan mekanik dan stabilitas kimia yang baik. Selain itu, CoFe_2O_4 akan mempunyai sifat superparamagnetik dengan mengontrol ukuran material menjadi ukuran nano. Sifat superparamagnetik yaitu mempunyai magnetisasi tinggi saat diberi medan eksternal, namun magnetisasi yang dimiliki rata-rata nol tanpa medan eksternal (Cedeño, 2007). CoFe_2O_4 mempunyai saturasi magnetisasi dan *anisotropy magnetocrystalin cubic* yang

tinggi yaitu $33,44 \text{ kWb/m}^2$ dan $K_1 = +2 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$, serta sifat mekanik yang kuat dan stabilitas kimia yang tinggi (Saragi, 2015).

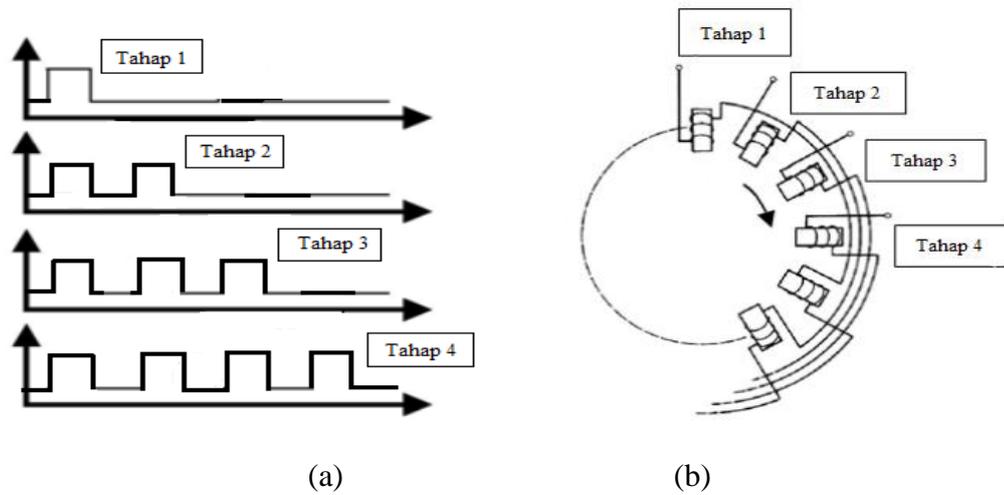
C. Motor Stepper

Motor *stepper* adalah motor listrik yang dikendalikan dengan pulsa-pulsa digital, bukan dengan memberikan tegangan yang terus-menerus. Deretan pulsa diterjemahkan menjadi putaran *shaft*, dimana setiap putaran membutuhkan jumlah pulsa yang ditentukan. Satu pulsa menghasilkan satu kenaikan putaran atau *step*, yang merupakan bagian dari satu putaran penuh. Oleh karena itu, perhitungan jumlah pulsa dapat diterapkan untuk mendapatkan jumlah putaran yang diinginkan. Perhitungan pulsa secara otomatis menunjukkan besarnya putaran yang telah dilakukan, tanpa memerlukan informasi balik (*feedback*). Gambar 2 menunjukkan jumlah pulsa yang mewakili jumlah putaran (Guntur, 2017).



Gambar 2. Jumlah pulsa mewakili jumlah putaran

Ketepatan kontrol gerak motor *stepper* terutama dipengaruhi oleh jumlah *step* tiap putaran. Semakin banyak jumlah *step*, semakin tepat gerak yang dihasilkan. Gambar 3 berikut adalah ilustrasi struktur motor *stepper* sederhana dan pulsa yang dibutuhkan untuk menggerakkannya.



Gambar 3.(a) bentuk pulsa keluaran dari pengendali motor stepper (b) penerapan pulsa pengendali pada motor stepper dan arah putaran yang bersesuaian

(Guntur,2017)

Menurut Kalitiku & Joeфри (2011), biasanya pada motor *stepper* tertulis spesifikasi N_p (pulsa/rotasi), sedangkan kecepatan pulsa ditulis dengan pps (pulsa/second) dan kecepatan putar umumnya ditulis sebagai ω (rotasi/menit atau rpm). Kecepatan putar motor *stepper* (rpm) dapat diketahui dengan menggunakan kecepatan pulsa (pps) seperti Persamaan 1.

$$\begin{aligned} \omega &= 60 \frac{pps}{N_p} (rpm) \\ &= \frac{60}{N_p} pps \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \omega &= 60 \frac{pps}{N_p} (rpm) \\ &= \frac{60}{N_p} pps \end{aligned}} \right\} (1)$$

Karena 1 rotasi = 360° , maka tingkat ketelitian motor *stepper* dapat dinyatakan dalam persamaan 2.

$$\begin{aligned} \delta &= \text{°/pulsa} \\ \delta &= \frac{1}{N_p} \left(\text{rotasi/pulsa} \right) \times 360^\circ \\ \delta &= \frac{360^\circ}{N_p} \left(\text{°/pulsa} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

Pada pembuatan alat *dip coating* motor *stepper* yang akan digunakan yaitu motor *stepper* dengan tipe *Hybrid* (HB). Struktur dari motor *stepper* tipe ini merupakan kombinasi dari motor tipe *Permanen Magnet* dan *Variable reluctance*. Motor dengan tipe *Hybrid* memiliki torsi yang cukup besar dan kecepatan sebesar 1000 *step*/detik. Motor *hybrid* standar mempunyai 200 gigi rotor dan 1,8 ° sudut *step*.

Derajat per *step* adalah faktor terpenting dalam pemilihan motor *stepper* sesuai dengan aplikasinya. Tiap-tiap motor *stepper* mempunyai spesifikasi masing-masing, antara lain: 0,72° per *step*, 1.8° per *step*, 3.6° per *step*, 7,5° per *step*, 15° per *step*, dan bahkan ada yang 90° per *step* (Zulkaromi, 2017). Pada pembuatan alat *dip coating* ini digunakan motor *stepper* dengan besar sudut setiap langkahnya 1,8° dengan tujuan untuk mendapat tingkat presisi yang tinggi. Motor *stepper* bergerak setiap satu langkah dengan besar sudut 1,8° jadi untuk berputar satu putaran penuh membutuhkan 200 *step*. Kecepatan motor *stepper* juga dapat diubah sesuai dengan kebutuhan. Dengan mengubah waktu perpindahan dari suatu *input* ke *input* lain pada motor *stepper*

Motor *stepper* pada umumnya dihubungkan ke sekrup pembawa dari beberapa jenis yang mengijinkan gerak rotasi untuk dikonversi menjadi perpindahan linier seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Motor *stepper*

(Zulkaromi, 2017)

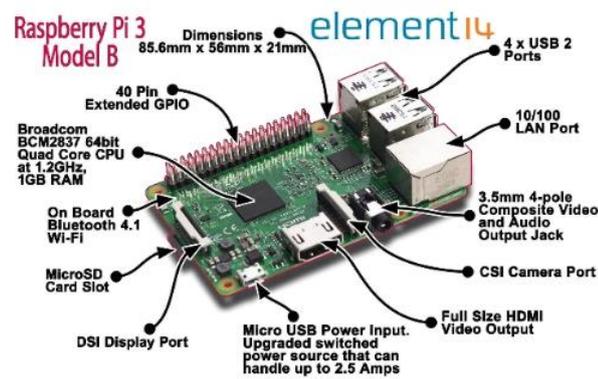
Misalnya, motor *stepper* memiliki 200 langkah tiap putaran yang dihubungkan ke sekrup pembawa yang memiliki puncak 5 untaian per inci. Motor harus membuat $200 \times 5 = 1000$ *steps* untuk menghasilkan gerak linier 1 inci, akibatnya tiap *steps* menghasilkan perpindahan sebesar 0,001 inci. Dengan menghitung pulsa secara tepat kita dapat memposisikan alat mesin, lengan X-Y, dan sebagainya untuk memastikan kepresisian dari 1000 inci pada jarak penuh yang diinginkan pergerakannya. Kepresisian ini tanpa *feedback* ialah merupakan alasan mengapa motor *stepper* sangat berguna dalam mengontrol sistem (Zulkaromi, 2017).

Penggunaan motor *stepper* pada pembuatan alat *dip coating* yaitu untuk menggerakkan tuas pengapit substrat. Sekrup pada motor *stepper* dihubungkan dengan ulir pada posisi vertikal yang dikaitkan dengan tuas pangapit. Dengan memanfaatkan konversi gerak rotasi menjadi perpindahan linear, motor *stepper* mampu menggerakkan tuas secara vertikal pada proses pencelupan substrat.

D. Raspberry Pi

Raspberry Pi merupakan komputer mungil seukuran dengan sebuah kartu kredit dengan berbagai fungsi. Raspberry Pi menggunakan sistem operasi

Raspbian. Raspberry memiliki prosesor dengan spesifikasi 700MHz ARM11. Ada 2 tipe dari Raspberry Pi yakni tipe A dan B. Pada Tipe B RAM yang dimiliki adalah sebesar 512 MB. Raspberry Pi menggunakan SD Card sebagai media penyimpanannya. Selain itu Raspberry juga dilengkapi 2 buah port USB untuk tipe B, konektor HDMI dan port ethernet. Pada Raspberry Pi tidak disediakan switch power. Port micro USB pada Raspberry Pi digunakan sebagai power supply. Penggunaan micro USB dikarenakan murah dan mudah didapatkan. Raspberry Pi membutuhkan supply sebesar 5V dengan arus minimal 700mA untuk tipe B dan 500mA untuk tipe A (Richardson and Wallace, 2012).



Gambar 5. Board Raspberry pi 3

(Wiguna,2017)

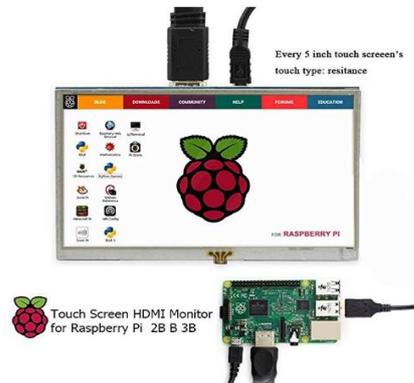
Modul mini komputer ini juga memiliki mikrokontroler yang dapat digunakan sebagai akuisisi pada instrumen di penelitian ini. Memiliki ukuran yang kecil serta mempunyai fungsi yang sama dengan PC membuat penggunaan modul Raspberry Pi lebih efisien. Menurut Nataliana (2014), ada beberapa kelebihan dari penggunaan Raspberry Pi untuk sistem yang dirancang. Selain karena konsumsi dayanya yang lebih kecil dari sebuah *personal computer*, terdapat pin-pin GPIO yang dapat difungsikan sebagai *input* atau *output* yang

dapat langsung dihubungkan dengan sensor atau komponen-komponen elektronika lainnya yang akan digunakan dalam sistem sehingga lebih mudah dalam hal perancangan perangkat lunak pada sistem.

Penggunaan Raspberry Pi pada penelitian ini sebagai akuisisi instrumen sekaligus pengganti fungsi PC pada sistem. Dengan kemampuan Raspberry Pi yang sama dengan PC, modul ini juga bermanfaat untuk mengembangkan alat *dip coating* agar memiliki piranti penyimpanan data dari beberapa parameter yang diukur. Program yang dibuat pada Raspberry Pi ini berguna untuk kontrol kendali kecepatan pada alat *dip coating*.

Untuk membangun *interface* pada alat *dip coating ini*, digunakan bahasa pemrograman Python. Tidak hanya untuk *interface* saja, Python merupakan bahasa pemrograman yang juga digunakan untuk kendali kecepatan alat *dip coating* pada penelitian ini. Python merupakan bahasa pemrograman yang *freeware* atau perangkat bebas, tidak ada batasan dalam penyalinannya atau mendistribusikannya. Lengkap dengan *source code*-nya, *debugger* dan *profiler*, antarmuka yang terkandung didalamnya untuk pelayanan antarmuka, fungsi sistem, GUI (antarmuka pengguna grafis), dan berbasis datanya. Python menjadi bahasa resmi yang terintegrasi dalam Raspberry Pi. Kata “pi” dalam Raspberry Pi merupakan slang yang merujuk pada “python”. Oleh karenanya, tepat dikatakan bahwa python merupakan bahasa natural Raspberry Pi (Rakhman, 2014).

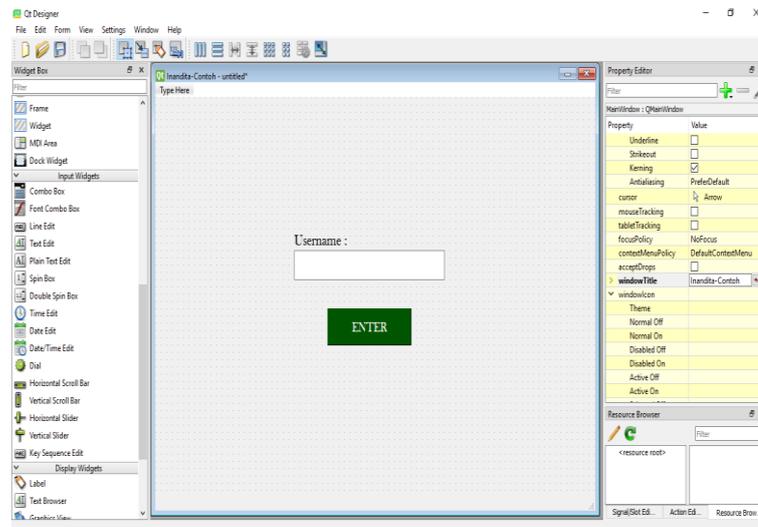
Untuk menampilkan *interface* yang dibangun, digunakan LCD *touchscreen* yang diproduksi khusus untuk penggunaan Raspberry Pi. LCD tersebut seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. LCD *touch screen* for raspberry

LCD *touch screen* ini dihubungkan dengan Raspberry Pi melalui kabel HDMI yang disambung melalui port HDMI pada papan Raspberry Pi dan *driver* LCD. Bentuk grafis yang akan ditampilkan pada LCD *touch screen* ini didesain menggunakan aplikasi pyQt.

Qt adalah salah satu pustaka pembuat aplikasi GUI. Qt mendukung berbagai *platform* sistem operasi termasuk MS Windows, Linux, OSX, dan Symbian. Qt digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk Skype, Mathematica, VirtualBox, dan KDE. Qt memiliki beberapa lisensi termasuk LGPL 2.1 sehingga termasuk pustaka *opensource* (Primardiansyah, 2011). PyQt adalah pustaka yang memungkinkan aplikasi yang dibuat dalam bahasa Python mengakses fungsi-fungsi Qt. Dengan kata lain PyQt adalah Python binding dari Qt (Barus, 2018). Qt juga mencakup Qt *Designer*, yaitu sebuah aplikasi yang untuk mendesain antar muka grafis. Qt *Designer* memungkinkan pembuatan *widget*, *dialog*, dan *main window* lengkap dengan hanya melakukan *drag-and-drop* pada *form*. Dengan menggunakan Qt *designer*, tiap perubahan pada halaman yang telah dibuat dapat dilihat secara langsung (Primardiansyah, 2011). Tampilan dari Qt *Designer* seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan PyQt Designer

Dari Gambar 7 tersebut merupakan salah satu pengaplikasian pyQt untuk membangun sebuah sistem antar muka.

E. Sistem Pengontrolan

Sistem pengontrolan adalah mengukur nilai variabel sistem yang dikontrol dan menerapkan nilai ke sistem untuk membatasi penyimpangan nilai yang diukur dari nilai yang dikehendaki. Sementara itu, sistem adalah kombinasi dari beberapa komponen yang bekerja bersama dan melakukan suatu sasaran tertentu (Makasengehe dkk, 2012). Tujuan dari sistem pengontrolan adalah untuk mengaktifkan maupun menonaktifkan suatu peralatan elektronika (Asrizal, 2012).

Karakteristik sistem pengontrolan dibagi menjadi dua jenis sistem, yaitu sistem kontrol loop terbuka dan tertutup. Sistem kontrol loop terbuka merupakan suatu sistem yang keluarannya tidak diumpan balik ke masukan. Sistem kontrol loop tertutup atau yang disebut sebagai sistem kontrol umpan balik digunakan untuk meminimalisir sinyal kesalahan yang diperoleh dari perbedaan antara sinyal

masukan dan sinyal umpan balik demi mempertahankan sinyal keluaran sistem pada nilai yang dikehendaki (Arindya,2014).

Teknik pengukuran dan pengontrolan harus memenuhi spesifikasi dan persyaratan yang tepat dan sesuai dengan sistem yang ada. Spesifikasi merupakan pendeskripsian secara mendetail produk hasil penelitian. Secara umum ada dua spesifikasi yaitu:

1. Spesifikasi Performansi

Spesifikasi performansi adalah spesifikasi yang mengidentifikasi mengenai fungsi-fungsi dari setiap komponen pembentuk sistem. Spesifikasi performansi biasa disebut juga dengan spesifikasi fungsional. Kualitas dan kuantitas pembentuk sistem yang dapat memberikan kemudahan dalam penggunaannya diliputi oleh spesifikasi performansi. Menurut Yudaningtyas (2017), Performansi merupakan unjuk kerja yang ada pada suatu sistem. Performansi sistem kontrol yang seharusnya dipenuhi adalah yang berkaitan dengan kestabilan, kesalahan keadaan mantap (*error etady state*), dan respon transien (peralihan) pada suatu sistem.

2. Spesifikasi Desain

Spesifikasi desain adalah spesifikasi yang menjelaskan tentang ketepatan dan ketelitian pengukuran, toleransi, bahan pembentuk sistem, ukuran sistem, dimensi sistem dan uji produk. Spesifikasi desain bergantung pada sifat alami dari material yang digunakan. Secara umum ketepatan atau akurasi sebuah alat ukur ditentukan dengan cara kalibrasi pada kondisi operasi tertentu dan dapat diekspresikan dalam bentuk persentase atau pada titik pengukuran yang spesifik. Suatu alat ukur yang

baik memiliki akurasi mendekati 1 atau 100%, sedangkan ketelitian merupakan membandingkan hasil pengukuran sistem dengan perhitungan secara teoritis dengan cara melakukan pengukuran berulang (Meiza dkk, 2017).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data serta pembahasan terhadap sistem alat *dip coating* yang telah dikembangkan untuk penumbuh lapisan tipis ini maka dapat dirumuskan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil spesifikasi performansi dari alat *dip coating* terdiri dari *stepper motor*, modul Raspberry Pi 3, LCD *touchscreen* khusus untuk Raspberry Pi, komponen pendukung rangkaian elektronika terdiri dari resistor, kapasitor, regulator 5v, *limit switch*, dan *power supply adaptor*. Ketepatan dan ketelitian pada alat *dip coating* berbasis Raspberry Pi 3 dimulai dari uji nilai kecepatan yang diprogramkan. Berdasarkan data hasil plot tersebut didapatkan koefisien relasi sebesar 0,997. ketepatan dan ketelitian yang didapatkan dari alat *dip coating* berbasis Raspberry Pi 3 yaitu 97,53% dan 99,17%
2. Hubungan antara variasi nilai kecepatan tarik pada proses *dip coating* terhadap ketebalan lapisan tipis yang dihasilkan pada beberapa sampel yang diuji memperoleh bentuk persamaan polynomial orde ketiga. Ditemukan anomali dalam hubungan nilai kecepatan tarik dengan ketebalan lapisan tipis yang dipengaruhi oleh beberapa faktor dalam proses pembuatan dan pengukuran ketebalan lapisan. Faktor gaya gravitasi dan gaya *drag* yang saling mengimbangi juga menjadi penentu lapisan tipis yang dihasilkan pada penelitian ini.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat dikemukakan saran dalam penelitian ini, sebagai saran peneliti adalah sebagai berikut:

1. Alat *dip coating* berbasis raspberry pi 3 ini dapat dimanfaatkan sebagai sarana penunjang di laboratorium Fisika, khususnya laboratorium elektronika dan pada kegiatan pelapisan bahan.
2. Diperlukan penambah sistem agar raspberry pi tidak bergantung dengan wifi untuk memperoleh tanggal dan jam. Sehingga sistem *data logger* dapat bersifat *real time*.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai ketebalan lapisan tipis dengan jumlah sampel yang lebih banyak, agar pengaruh kecepatan tarik terhadap ketebalan lapisan tipis bisa terlihat lebih jelas.
4. Dibutuhkan penyempurnaan bentuk mekanik pada alat yang menjaga kondisi suhu pada proses *dip coating*. Sehingga faktor lingkungan yang mengganggu kualitas hasil lapisan tipis dapat diminimalisir.

DAFTAR PUSTAKA

- Aningrum, Tyas Puspita. 2017. *Pembuatan Bad Gap Dan Konduktivitas Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Dan Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) Hasil Preparasi Dengan Teknik Evaporasi Termal*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Arindya R. 2014. *Instrumentasi dan kontrol proses*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Asrizal, dkk. 2012. *Penentuan Karakteristik Sistem Pengontrolan Kelajuan Motor DC dengan Sensor Optocoupler berbasis Mikrokontroler AT89S52*. *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi* Vol 4(1).
- Barus, Eltra. E, dkk. 2018. “Otomatisasi Sistem Kontrol Ph Dan Informasi Suhu Pada Akuarium Menggunakan Arduino Uno Dan Raspberry Pi 3”. *Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinya*, Vol.3, No. 2
- Brinker, C.T. 2013. *Chemical Solution Deposition Of Fungsional Oxide Thin Film*. USA: Sandia National Laboratories
- Bottein, Thomas, dkk. 2017. “Full Investigation of Angle Dependence in Dip-Coating Sol–Gel Films”. *The Journal Physical Chemistry B*. USA: American Chemical Society publications
- Cedeño-Mattei. Y, O. Perales-Pérez, M. S. Tomar and F. Román. 2007. *Optimization of Magnetic Properties in Cobalt Ferrite Nanocrystals.*, ENS.
- Chemat Technology inc. 2001. *Advances in Sol-Gel Technology*. www.ceramicindustry.com. Diakses pada 12 Juli 2019
- Cooper, WD. 1999. *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*. Jakarta : Erlangga.

- Dona, Melkianus, dkk. 2018. "Otomatisasi Sistem Buka-Tutup Atap Rumah Teleskop dan Pengontrol Kelembaban Udara Menggunakan Raspberry Pi 3". *Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinya*, Vol.3, No. 3
- Fang, Hsu-Wei, dkk. 2008. "Dip Coating Assisted Polylactic Acid Deposition on Steel Surface: Film Thickness Affected by Drag Force and Gravity". *Elsevier B.V. Journal*. Taiwan
- Fuad, Muhammad, dkk. 2013. *Pembuatan dan Penentuan Spesifikasi Sensor Gaya Berat Berbasis Pegas dan Ldr*. Pillar Of Physics, Vol. 2
- Kalatiku, Protus Pieter dan Yuri Yudhaswana Joefrie. 2011. *Pemrograman Motor Stepper dengan Menggunakan Bahasa Pemrograman C*. Majalah Ilmiah MEKTEK tahun XIII No.1
- Khairunnisa. 2018. *Pembuatan Alat Dip coating Berbasis Arduino*. Padang: Universitas Negeri Padang
- Kirkup, L. (1994). *Experimental Method An Introduction to The Analysis and Presentation of Data*. John Willey & Sons. Singapore.
- Makasenggehe, Nolvensius Ch, dkk. 2012. *Perancangan Power Supply Digital Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Keypad Sebagai Pemilih Tegangan*. Universittas Sam Ratulangi. Manado.
- Matt Richardson & Shawn Wallace. (2012). *Getting Started with Raspberry Pi*. Sebastopol, California: O'REILLY.
- Meiza, Nofsi, dkk. 2017. *Pembuatan Set Eksperimen Muai Panjang Digital Berbasis Mikrokontroler Atmega328*. Pillar Of Physics, Vol. 10
- Nataliana, Decy, dkk. 2014. "Sistem Monitoring Parkir Mobil Menggunakan Sensor *Infrared* Berbasis Raspberry Pi". *Jurnal Elkomika* Vol.2 No.1

- Primardiansyah, Reza. 2011. *Implementasi Perangkat Lunak Untuk Pengelolaan Sinyal Dan Visualisasi Citra Ultrasonic Berbasis Open Source*. Tesis program studi Teknik elektro. Universitas Indonesia: Depok.
- Pertiwi, Phutrie dewi. 2010. *Rancang Bangun Pengatur level kecepatan motor DC pada alat pelapis (dip coating) berbasis mikrokontroler atmega8535*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Prakasa, Guntur Nanda. 2017. *Prototipe Kunci Pintu Menggunakan Motor Stepper berbasis Arduino Mega 2560 Dengan Perintah Suara Pada Android*. Lampung : Universitas Negeri Lampung.
- R. Anggi, Pravita dan Dahlan, Dahyunir. 2013. "Sintesis Lapisan TiO₂ Menggunakan Prekursor TiCl₄ Untuk Aplikasi Kaca *Self Cleaning* Dan Anti *Fogging*". *Jurnal Fisika Unand*, Vol.2, No.2
- Rakhman, Edi. dkk. 2014. *Raspberry pi-Mikrokontroler Mungil yang Serba bisa*. Andi: Yogyakarta.
- Sanjaya. Hary, Syukri Arief, Admin Alif. 2013. "Pembuatan Lapisan Tipis Tio₂ Pada Plat Kaca Dengan Metoda *Dip Coating* Dan Uji Aktivitas Fotokatalisnya Pada Air Gabut". *Jurnal Jurusan Kimia UNP*.
- Saragi, Togar., Syakir, N., Nainggolan, T.H., dan Albion, C. 2015. Studi Awal Preparasi Lapisan Tipis Bahan Magnet CoFe₂O₄ dengan Metode Sol Gel dan Karakterisasinya. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. Vol. 05, no. 01, pp 50-56.
- Sugiyono, 2016. *Metode Penelitian dan Pengembangan (Research and Develpoment)*. Bandung: Alfabeta
- Wiguna, Esa.H dan Subari, Arkhan. 2017. "Rancang Bangun Sistem Monitoring Ketinggian Air Dan Kelembaban Tanah Pada Penyiram Tanaman Otomatis Dengan Hmi (Human Machine Interface) Berbasis Raspberry Pi

Menggunakan *Software Node-Red*". *Jurnal GTech Gema Teknologi*, Vol.19,
No.3

Yudaningtyas, Erni. 2017. *Belajar Sistem Kontrol : Soal dan Pembahasan*.
Malang: Universitas Brawijaya Press

Zulkaromi, Muhammad. 2017. *Motor Stepper (Ketidakstabilan, Resonansi, dan
Penggerak Linier)*. Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro