



**SINTESIS FOTORESIS ORGANIK DARI BUNGA WARU
(*Hibiscus tiliaceus L. flowers*) UNTUK PEMOLAAN DENGAN
PAPARAN SINAR UV DAN SINAR-X**

Skripsi

diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains

oleh

Eva Amellia Defi

4211415032

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 23 Desember 2019

Pembimbing



Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T.

NIP. 19741120 199903 1 003

PERNYATAAN

Dengan ini, saya

nama : Eva Amellia Defi

NIM : 4211415032

program studi : Fisika, S1

menyatakan bahwa skripsi berjudul *Sintesis Fotoresis Organik dari Bunga Waru (Hibiscus tiliaceus L. flowers) untuk Pemolaan dengan Paparan Sinar UV dan Sinar-X* ini benar-benar karya saya sendiri bukan jiplakan dari karya orang lain atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang atau pihak lain yang terdapat dalam skripsi ini telah dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah. Atas pernyataan ini, saya secara pribadi siap menanggung resiko/sanksi hukum yang dijatuhkan apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya ini. Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat, dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, 30 Desember 2019



Eva Amellia Defi

NIM 4211415032

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul *Sintesis Fotoresis Organik dari Bunga Waru (Hibiscus tiliaceus L. flowers)* untuk Pemolaan dengan Paparan Sinar UV dan Sinar-X karya Eva Amellia Defi 421141503 telah dipertahankan dalam Ujian Skripsi FMIPA Universitas Negeri Semarang pada tanggal 30 Desember 2019 dan disahkan oleh Panitia Ujian.

Semarang, 30 Desember 2019

Panitia

Ketua,

Sekretaris,



Dr. Suharto Linuwih, M.Si.
NIP. 196807141916031005

Penguji I,

Penguji II,

Prof. Dr. Putut Marwoto, M.S.
NIP. 196308211988031004

Fianti, S.Si., M.Sc. Ph.D.
NIP. 197901212005012002

Anggota Penguji/Pembimbing,

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

MOTO DAN PERSEMBAHAN

Moto : Percaya bahwa skenario Allah SWT akan jauh lebih indah dari yang kita rencanakan. Jangan bersedih dan bersabarlah. Kita hanya perlu memperbaiki diri. Allah selalu memberikan senyum dibalik kesedihan, Allah selalu memberikan harapan dibalik keputus-asaan (Eva, 2019)

Untuk:

1. Ibu, Bapak dan Adikku
2. Sahabat-sahabatku
3. Teman-teman Fisika angkatan 2015
4. Pembaca skripsi ini

PRAKATA

Begitu besar nikmat yang Allah berikan, tetapi sangat sedikit yang kita sadari. Rasa syukur yang sangat mendalam kehadirat Allah yang telah memberikan daya dan upaya-Nya hingga penulis mampu menyelesaikan penelitian yang berjudul *Sintesis Fotoreisis Organik dari Bunga Waru (Hibiscus tiliaceus L. flowers) untuk Pemolaan dengan Paparan Sinar UV dan Sinar-X* dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Sains di Fakultas Matematika Universitas Negeri Semarang. Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik atas bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan rendah hati penulis menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada:

1. Dr. Sugianto, M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin dan kesempatan untuk melaksanakan penelitian.
2. Dr. Suharto Linuwih, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin dan kesempatan untuk melaksanakan penelitian sampai skripsi ini terselesaikan.
3. Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing atas bimbingan, masukan dan arahan yang diberikan.
4. Prof. Dr. Putut Marwoto, M.S. dan Fianti, S.Si., M.Sc. Ph.D., yang telah menguji dan memberikan masukan kepada penulis.
5. Pak Muttaqin, Pak Wasi, Bu Lia, Pak Alfin, dan Pak Agus sebagai laboran yang memberikan bantuan dalam penelitian ini.
6. Drs. Imam Sumpono, M.Si., selaku dosen wali penulis atas ijin dan arahan yang diberikan.
7. Bapak Suratno, Ibu Sumiati dan Adik Aldo yang sangat berperan pada perjuangan penulis, senantiasa memberikan doa, dukungan, semangat dan motivasi kepada penulis serta Adik Bienda, Mas Heru dan Mbak Rustini atas doa, dukungan dan bantuan yang diberikan.
8. Teman-teman laboratorium pengembangan, Laras, Deska, Ika, Tari, Fina, Ina yang memberikan bantuan, semangat dan motivasi.

9. Sahabat-sahabatku Deshinta, Rendria, Wening, Azizah, Zunita, Rosi, Syifa dan Kukuh yang memberikan semangat, doa dan motivasi.
10. Teman-teman Fisika 2015 lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan sat per satu.
11. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sampaikan satu per satu.

Semoga Allah SWT memberikan balasan kebaikan dan barokah kepada pihak-pihak tersebut. Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu kritik, saran dan masukan sangat penulis harapkan demi perbaikan penulisan karya berikutnya. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca dan penelitian berikutnya demi kebaikan di masa mendatang.

Semarang, 30 Desember 2019

Eva Amellia Defi

ABSTRAK

Defi, E. A. (2019). *Sintesis Fotoresis Organik dari Bunga Waru (Hibiscus tiliaceus L. flowers) untuk Pemolaan dengan Paparan Sinar UV dan Sinar-X*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T.

Kata Kunci : *fotoreasis; Hibiscus tiliaceus L.; epoxy; fotosensitivitas; resolusi.*

Fotoreasis merupakan bahan kimia yang digunakan dalam proses litografi untuk membuat pola pada piranti mikroelektronika. Penggunaan fotoreasis yang meningkat setiap tahunnya mengakibatkan ketersediaan bahan baku yang semakin menipis dan timbulnya pencemaran lingkungan, sehingga perlu ditemukan alternatif bahan lain yang lebih ramah lingkungan. Bunga waru merupakan senyawa organik yang mengandung pigmen antosianin yang memberikan pigmen warna merah kekuningan. Pigmen antosianin merupakan salah satu bahan fotoaktif.

Pembuatan fotoreasis organik dilakukan dalam lima tahap yaitu pembuatan ekstrak bunga waru, pembuatan film tipis ekstrak bunga waru, pembuatan cairan resist, pembuatan film tipis fotoreasis dan pengujian sensitivitas bahan fotoreasis. Kerapatan cairan resist dikarakterisasi dengan metode massa per volume. Film tipis fotoreasis ditumbuhkan melalui metode *spin coating* dengan tegangan 10 V selama 60 s dan pemanasan hingga suhu 200°C untuk karakterisasi struktur permukaan dan sifat optik.

Nilai kerapatan cairan resist yang dihasilkan dalam penelitian yaitu 1,047 g/ml, 1,0600 g/ml, 1,0767 g/ml, 1,0967 g/ml, 1,1033 g/ml dan 1,110 g/ml. Semakin rendah kandungan kadar ekstrak bunga waru cairan fotoreasis organik maka struktur mikro film tipisnya cenderung semakin homogen. Fotoreasis yang dihasilkan memiliki nilai - nilai absorbansi yang terletak pada rentang panjang gelombang 350 - 1050 nm dengan nilai absorbansi maksimal fotoreasis organik sebesar 0,07 - 0,3. Sumber radiasi sinar UV dan sinar-X digunakan untuk uji sensitivitas fotoreasis organik. Fotoreasis organik yang dihasilkan setelah diberi paparan sinar UV mampu menghasilkan rata-rata lebar pola garis terkecil sebesar 1929,1762 μm = 0,19 cm, sedangkan setelah diberi paparan sinar-X tidak terbentuk pola.

DAFTAR ISI

	Halaman
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN.....	iv
PRAKATA	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB	
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi	4
II. KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Tanaman Bunga Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i> L.).....	6
2.2 Pigmen	8
2.2.1 Pigmen Antosianin	8
2.3 Fotorexis.....	10
2.3.1 Komposisi Fotorexis	12

2.3.2	Aplikasi Fotoreisis.....	13
III. METODE PENELITIAN		
3.1	Pelaksanaan Penelitian.....	15
3.2	Alat dan Bahan.....	15
3.2.1	Alat.....	15
3.2.2	Bahan.....	16
3.3	Prosedur Penelitian.....	17
3.3.1	Ekstraksi Bunga Waru.....	18
3.3.2	Pembuatan Film Tipis Ekstrak Bunga Waru.....	19
3.3.3	Pembuatan Cairan Resist.....	20
3.3.4	Pembuatan Film Tipis Fotoreisis.....	22
3.3.5	Uji Sensitivitas Resist.....	24
3.3.6	Uji Paparan Sumber Radiasi.....	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Karakterisasi ekstrak Bunga Waru.....	28
4.1.1	Karakterisasi Vis-NIR (Visible and Near Infra Red).....	29
4.1.2	Karakterisasi FT-IR (Fourier Transform Infra Red).....	30
4.2	Karakterisasi Film Tipis Ekstrak Bunga Waru.....	31
4.3	Karakterisasi Fotoreisis.....	34
4.3.1	Karakterisasi Kerapatan Cairan Resist.....	35
4.3.2	Karakterisasi Struktur Permukaan Film Tipis Fotoreisis.....	37
4.3.3	Karakterisasi Absorbansi Permukaan Film Tipis Fotoreisis.....	38
4.4	Pengujian Bahan Fotoreisis.....	43
4.4.1	Uji Sensitivitas dengan Sinar UV.....	43
4.4.2	Uji Sensitivitas dengan Sinar X.....	47

V.	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran	48
	DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3. 1 Komposisi pembuatan ekstrak bunga waru	18
3. 2 Komposisi bahan fotoreasis.....	21
4. 1 Nilai kerapatan larutan fotoreasis SU-8 3000	37
4. 2 Nilai absorbansi pada garis-i, garis-h dan garis-g.....	40
4. 3 Hasil pengukuran pola pada sampel.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Habitus <i>Hibiscus tiliaceus</i> (Hamidah & Muhtadi, 2019).....	6
2. 2 Bunga Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i> L. flowers)	7
2. 3 Fotoresis negatif dan positif (Marinescu et al., 2018).....	11
3. 1 Mekanisme penelitian.....	17
3. 2 Proses blending bunga waru dan pelarut.....	19
3. 3 Proses pencampuran bahan-bahan pembuatan fotoresis	22
3. 4 Sampel cairan resist dari ekstrak bunga waru.....	22
3. 5 Proses spin coating cairan fotoresis	23
3. 6 Proses pre-bake sampel	24
3. 7 Alumunium offset	24
3. 8 Proses spin coating cairan resist pada PCB	25
3. 9 Pelapisan mask pada sampel.....	25
3. 10 Skema paparan radiasi pada fotoresis	26
3. 11 Proses paparan sinar radiasi (a) sinar UV (b) sinar-X.....	27
4. 1 Spektrum absorbansi Vis-NIR ekstrak bunga waru dengan variasi fraksi massa ekstrak bunga waru.....	30
4. 2 Spektrum FTIR ekstrak bunga waru dengan variasi fraksi massa ekstrak bunga waru	31
4. 3 Struktur permukaan film tipis ekstrak bunga waru pada sampel dengan fraksi massa (a) 0,025; (b) 0,050; (c) 0,075; (d) 0,100 dan (e) 0,125.....	32
4. 4 Grafik I-V Meter film tipis ekstrak bunga waru dengan variasi fraksi massa ekstrak bunga waru.....	33
4. 5 Perubahan warna saat proses pencampuran bahan	34
4. 6 Grafik kerapatan cairan resist	36
4. 7 Struktur perukaan film tipis fotoresis dengan kadar (a) 3%; (b) 5%; (c) 7%; (d) 9%; (e) 11% dan (f) 13%.....	38
4. 8 Spektrum absorbansi Vis-NIR film tipis fotoresis.....	39

4. 9	Absorbansi fotoreasis (Schurz et al., 2000).....	40
4. 10	Penentuan band gap energi film tipis fotoreasis organik dengan variasi kadar ekstrak bunga waru.....	42
4. 11	Proses paparan sinar UV dengan ukuran mask (a) 2,5 cm; (b) 2 cm; (c) 1,5 cm; (d) 1 cm; (e) 0,5 cm; (f) 0,2 cm dan (g) 0,1 cm	44
4. 12	Pola yang dihasilkan pada sampel dengan ukuran mask (a) 2,5 cm; (b) 2 cm; (c) 1,5 cm; (d) 1 cm; (e) 0,5 cm; (f) 0,2 cm dan (g) 0,1 cm.....	45
4. 13	Hasil pengukuran lebar garis terkecil.....	46
4. 14	Hasil uji sensitivitas terhadap paparan sinar X (a) fotoreasis dari ekstrak bunga waru dan (b) fotoreasis (Sigma Aldrich).....	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Run card penelitian	59
2. Data pengukuran nilai kerapatan cairan resist	78
3. Pola yang dihasilkan pada sampel dengan variasi ukuran mask	79
4. Dokumentasi kegiatan penelitian.....	80

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri mikroelektronika di dunia yang semakin pesat memerlukan jaminan suplai bahan baku yang memadai. Fotoreasis merupakan bahan kimia yang digunakan dalam pemolaan piranti mikroelektronika. Penggunaan fotoreasis yang meningkat setiap tahunnya mengakibatkan ketersediaan bahan baku yang semakin menipis dan timbulnya pencemaran lingkungan, sehingga perlu ditemukan alternatif bahan lain yang lebih ramah lingkungan. Pengembangan industri mikroelektronika dengan ketersediaan bahan fotoreasis perlu dijamin dengan cara mensintesis sendiri (Sutikno *et al.*, 2013).

Indonesia merupakan salah satu negara *megadiversity* di dunia dengan keanekaragaman hayati yang kaya dan unik (Hadi & Takaoka., 2018). Keanekaragaman hayati mencakup semua bentuk kehidupan antara lain gen, spesies tumbuhan, hewan, mikroorganisme serta ekosistem dan proses ekologi. Tumbuhan memiliki banyak kandungan zat-zat yang bermanfaat. Zat tersebut adalah beragam pigmen pada makhluk hidup. Pigmen atau zat warna merupakan zat yang memberi kesan warna pada benda berdasarkan responnya terhadap cahaya, baik yang dipantul atau yang diserap (Lismawenning *et al.*, 2013).

Berdasarkan material penyusunnya, pigmen dibagi menjadi dua, yaitu pigmen organik (*dyes*) dan pigmen anorganik (Rahman *et al.*, 2013). Pada umumnya pigmen organik diperoleh dari hasil ekstrak berbagai bagian tumbuhan, seperti buah, daun, biji, bunga, dan jaringan. Pigmen organik merupakan bahan fotoaktif (sensitif terhadap cahaya) antara lain meliputi pigmen antosianin, betasianin, carotenoid, klorofil (bahan pewarna alami), betalainin dan lain-lain.

Pada beberapa penelitian sebelumnya, kulit buah manggis (Aziz, 2014) telah digunakan sebagai *photo active compound* (PAC) dalam fotoreasis karena penerapan pigmen alami yang terkandung. Senyawa ini merupakan salah satu komponen penting dalam fotoreasis yang berfungsi sebagai pengendali reaksi kimia. Pigmen

yang digunakan dalam penelitian tersebut yaitu pigmen antosianin. Keuntungan dari antosianin adalah pengikatan karbonil dan hidroksil kelompok ke permukaan film semikonduktor berpori yang akan menyebabkan transfer elektron (Sutikno *et al.*, 2015).

Bunga waru merupakan penghasil zat warna alami yang memiliki kandungan pigmen antosianin (Nuryanti *et al.*, 2013). Penampilan bunga waru yang berwarna kuning dengan noda ungu pada pangkalnya menunjukkan ada pewarna alami yang terkandung di dalamnya. Keindahan dan keunikan bunga ini yaitu berbunga setiap tahun, sehingga dapat dijadikan jam biologi. Bunga waru mekar di pagi hari dengan mahkota berwarna kuning. Pada siang hari warnanya berubah jingga dan sore hari menjadi merah, sebelum akhirnya gugur. Pigmen antosianin yang terdapat pada bunga waru dapat dimanfaatkan sebagai formulasi bahan fotoreasis yaitu *photo active compound* (PAC). Sejauh ini, pigmen antosianin pada bunga waru dimanfaatkan sebagai indikator asam-basa (Nuryanti *et al.*, 2013).

Fotoreasis merupakan bahan kimia yang penting dalam pengolahan bahan semikonduktor, pengolahan *liquid crystal display* dan penggunaannya telah meningkat dalam beberapa tahun ini (Song *et al.*, 2007). Pada umumnya fotoreasis terdiri dari empat komponen yaitu resin (polimer), *photoacid generator* (PAG) dan *solvent* (pelarut) (Reuther *et al.*, 2007). Tidak ada perbedaan antara PAC dan PAG dalam fotoreasis. Kedua jenis senyawa ini merupakan bahan fotoaktif dalam fotoreasis yang menghasilkan asam pada saat terkena paparan radiasi.

Pada masa yang akan datang, fotoreasis dikembangkan dengan menggabungkan bahan yang berbeda, seperti senyawa organik dan anorganik (Chang *et al.*, 2008). Resist dengan efisiensi tinggi pada saat polimerisasi penyinaran cahaya dan reaktivitas yang memadai untuk mencapai panjang gelombang yang tinggi saat penyinaran, resolusi tinggi dan sensitivitas yang tinggi (Aziz, 2014).

Larutan fotoreasis digunakan untuk membuat saluran mikro dalam perangkat mikrofluida dan dapat memainkan peran penting sebagai komponen struktural dari perangkat tersebut (Hsieh *et al.*, 2006). Fotoreasis negatif SU-8 diakui sebagai resist yang mempunyai kemampuan *photopatterning* baik, kompatibilitas dengan

berbagai teknik *lithography*, seperti sinar ultraviolet (UV) dan sinar-X (Barber *et al.*, 2005). Metode *lithography* sekarang sudah sangat pesat yang dahulu umumnya menggunakan sinar UV, seperti *UV lithography* (Bertsch *et al.*, 1999) beralih menggunakan sinar-X, seperti *X-Ray lithography* (Ehrfeld & Schmidt, 1998). SU-8 telah terbukti sebagai bahan yang cocok untuk mikrofabrikasi dalam menggabungkan pengolahan lapisan fotoreซิส ultra-thick dan *UV lithography* (Liu *et al.*, 2005). Aplikasi litografi pada fotoreซิส harus memiliki sifat adhesi yang baik terhadap substrat, sensitivitas tinggi, resolusi tinggi, dan stabilitas termal yang tinggi (Chiang & Kuo, 2002).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi permasalahan yang diuraikan pada latar belakang, maka penelitian ini memfokuskan pada penyelesaian permasalahan - permasalahan sebagai berikut.

- 1) Bagaimana nilai absorbansi dan gugus fungsi ekstrak bunga waru?
- 2) Bagaimana struktur permukaan dan nilai konduktivitas film tipis ekstrak bunga waru yang dihasilkan?
- 3) Bagaimana nilai kerapatan cairan resist yang dihasilkan?
- 4) Bagaimana nilai absorbansi, struktur mikro permukaan dan resolusi film tipis fotoreซิส organik yang dihasilkan?
- 5) Bagaimana pengaruh film fotoreซิส terhadap paparan sumber radiasi sinar UV dan sinar-X?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini beberapa permasalahan akan dibatasi sebagai berikut:

- 1) Sintesis fotoreซิส organik dari bunga waru.
- 2) Cairan resist yang dihasilkan akan dikarakterisasi nilai kerapatan.
- 3) Film tipis fotoreซิส yang dihasilkan akan dikarakterisasi nilai absorbansi, struktur mikro permukaan dan resolusi.
- 4) Film tipis fotoreซิส yang dihasilkan akan diuji sensitivitasnya terhadap paparan sinar UV dan sinar X.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yang terangkum sebagai berikut.

- 1) Untuk mengetahui nilai absorbansi dan gugus fungsi ekstrak bunga waru.
- 2) Untuk mengetahui struktur permukaan, dan nilai konduktivitas film tipis ekstrak bunga waru yang dihasilkan.
- 3) Untuk mengetahui nilai kerapatan cairan resist.
- 4) Untuk mengetahui nilai absorbansi, resolusi dan stuktur mikro permukaan film fotoreisis organik.
- 5) Untuk mengetahui sensitivitas film tipis fotoreisis terhadap paparan sumber radiasi sinar UV dan sinar-X.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain sebagai berikut.

- 1) Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai alternatif bahan baku produksi fotoreisis dalam bidang mikroelektronika.
- 2) Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk mengetahui sifat, karakteristik dan sensitivitas terhadap paparan sumber radiasi fotoreisis organik dari bunga waru.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika dalam skripsi ini disusun dengan tujuan agar pokok-pokok masalah yang dibahas dapat urut, terarah dan jelas. Sistematika dalam skripsi ini terdiri atas tiga bagian, yaitu: bagian awal, bagian isi, dan bagian akhir. Bagian awal skripsi ini berisi halaman judul, halaman persetujuan pembimbing, halaman pengesahan, halaman pernyataan, halaman moto dan persembahan, kata pengantar, halaman abstrak, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran.

Bagian isi skripsi ini terdiri atas lima bab yang meliputi, antara lain:

- (1) Bab 1 Pendahuluan

Bab ini memuat latar belakang, rumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan skripsi.

- (2) Bab 2 Kajian Pustaka

Bab ini memuat mengenai kajian pustaka yang mendasari permasalahan penelitian ini serta penjelasan tentang berbagai teori yang diterapkan dalam skripsi dan pokok-pokok bahasan yang terkait dalam penelitian.

(3) Bab 3 Metode Penelitian

Bab ini memuat metode penelitian yang akan dilakukan dalam penyusunan skripsi. Metode penelitian ini meliputi: metode pengumpulan data, waktu dan tempat penelitian, prosedur penelitian dan analisis data.

(4) Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini memuat pelaksanaan penelitian, semua hasil penelitian yang dilakukan dan pembahasan terhadap hasil penelitian.

(5) Bab 5 Penutup

Bab ini memuat kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran sebagai implikasi dari hasil penelitian. Bagian akhir skripsi berisi daftar pustaka dan lampiran-lampiran yang melengkap uraian pada bagian isi skripsi.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Bunga Waru (*Hibiscus tiliaceus* L.)

Waru atau baru (*Hibiscus tiliaceus*, suku kapas-kapasan atau Malvaceae), juga dikenal sebagai waru laut. Tumbuhan ini memiliki nama yang berbeda-beda di berbagai wilayah Indonesia. Contohnya di Sumatera tumbuhan ini disebut *kioko* (Enggano); *siron* (Aceh); *baru* (Gayo); *bou* (Nias); *tobe* (Mentawai); *melanding* (Bangka); *bauk* (Melayu) di Jawa memiliki nama waru laut (Sunda); waru lengis (Jawa Tengah); baru (Madura). Kemudian di Nusa Tenggara memiliki nama *baru* (Sumba); *wau* (Alor), di Sulawesi disebut *balebirang* (Sangir); *molowahu* (Gorontalo); *lamogu* (Buol); *baru* (Ujung Padang); *waru* (Bugis) dan di Maluku disebutnya *papatela* (Seram); *halu* (Ambon); *balo* (Buru); *barudowongi* (Ternate); dan lain-lain (Hutapea *et al.*, 2001).

Hibiscus tiliaceus L. merupakan tanaman khas iklim tropis yang ditemukan di daerah hutan bakau (Caramão *et al.*, 2006). Bunganya digunakan sebagai obat tradisional di negara-negara Asia dan Afrika (Brondegaard, 1973), tetapi informasi mengenai komposisi kimianya langka dalam literatur ilmiah (Caramão *et al.*, 2006).



Gambar 2. 1 Habitus *Hibiscus tiliaceus* (Hamidah & Muhtadi, 2019)

Klasifikasi tanaman *Hibiscus tiliaceus* L. adalah sebagai berikut (Hutapea *et al.*, 2001):

Divisi : *Spermatophyta*
 Sub Divisi : *Angiospermae*
 Kelas : *Dicotyledonae*
 Bangsa : *Malvales*
 Suku : *Malvace*
 Marga : *Hibiscus*
 Jenis : *Hibiscus tiliaceus* L.

Pohon waru dapat mencapai tinggi ± 15 m, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Batangnya berkayu, bulat, bercabang dan berwarna coklat. Daun yang dimiliki adalah tunggal, bulat, berdiameter ± 19 cm, berkelenjar dan panjang daun penumpu $\pm 2,5$ cm. Pertulangan daunnya menjari dan warnanya hijau. Pada bagian bawah daun berambut abu-abu rapat (Suwandi & Hendrati, 2014). Pohon waru memiliki akar berbentuk tunggang. Daun dan akar *Hibiscus tiliaceus* mengandung saponin flavonoida, di samping itu daunnya mengandung polifenol dan akarnya mengandung tanin. Daun *Hibiscus tiliaceus* berkhasiat sebagai obat demam, obat bisul dan obat amandel (Hutapea *et al.*, 2001).



Gambar 2. 2 Bunga Waru (*Hibiscus tiliaceus* L. flowers)

Bunga waru memiliki bunga tunggal, bertajuk delapan sampai sebelas dan panjang kelopak $\pm 2,5$ cm. Mahkotanya berbentuk kipas, memiliki panjang 5 cm sampai 7 cm. Bunga waru berwarna kuning dengan noda ungu pada pangkal bagian dalam, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Bunga waru biasanya dijadikan

sebagai zat warna alami. Hal ini dikarenakan pada bunga waru terkandung pigmen warna yaitu pigmen antosianin (Nuryanti *et al.*, 2013). Letak benangsari berlekatan. Kepala sari berwarna kuning dan putiknya berwarna coklat kehitaman. Bakal buah beruang lima berwarna putih kekuningan. Buahnya berwarna coklat, berbentuk telur, berbulu lebat, beruang lima, dan panjangnya berukuran ± 3 cm (Hutapea *et al.*, 2001).

2.2 Pigmen

Pigmen pertama kali digunakan pada lukisan dinding gua prasejarah yang memberikan bukti bahwa hematit, bijih besi cokelat, dan mineral-mineral lainnya sebagai dasar pigmen yang lebih dari 30.000 tahun yang lalu (Hempelmann *et al.*, 2005). Pigmen merupakan bahan yang memiliki sifat optikal (warna) yang tak terhitung aplikasinya, hampir semua bidang industri membutuhkannya (Candeia *et al.*, 2007). Sifat optikal yang dihasilkan menyerap hampir semua panjang gelombang cahaya dan memantulkan panjang gelombang tertentu. Panjang gelombang yang dipantulkan oleh pigmen tersebut menjadi warna dasar yang terlihat atau tertangkap oleh panca indera.

Berdasarkan material penyusunnya pigmen dibagi menjadi dua, yaitu pigmen organik (dyes) yang larut dalam air dan pigmen anorganik (pigment) larut dalam solven (Rahman *et al.*, 2013). Menurut Hempelmann *et al.*, (2005), pigmen anorganik diklasifikasikan menjadi sembilan yaitu *white pigments*, *black pigments*, *colored pigments*, *metal effect pigments*, *interference pigments*, *luminescent pigments*, *fluorescent pigment* dan *phosphorescent pigments*. Pigmen organik merupakan bahan fotoaktif (sensitive terhadap cahaya) antara lain meliputi pigmen antosianin, klorofil (bahan pewarna alami), betalain dan lain-lain. Pigmen ini dapat dimanfaatkan sebagai formulasi bahan fotoreaksi yaitu sebagai PAC (*Photoactive compound*). Senyawa ini berfungsi sebagai pengontrol reaksi kimia pada fotoreaksi.

2.2.1 Pigmen Antosianin

Antosianin berasal dari dua kata Yunani *anthos* yang berarti bunga dan *kyanos* yang berarti biru (Mortensen, 2006). Menurut Yudiono (2011), antosianin merupakan

bagian senyawa fenol yang tergolong flavonoid. Flavonol, flavan-3-ol, flavon, flavanon, dan flavanonol adalah kelas dari flavonoid yang berbeda dalam oksidasi antosianin (Purnama *et al.*, 2018). Pigmen ini biasanya terdapat pada buah, sayuran dan tanaman.

Pada umumnya terdapat enam jenis antosianin yang terdapat pada tumbuhan tingkat tinggi yaitu pelargonidin (Pg), peonidin (Pn), cyanidin (Cy), malvidin (Mv), petunidin (Pt) dan delphinidin (Dp) (Chia *et al.*, 2003). Cyanidin – 3 – glucoside (C3G) adalah antosianin utama yang ditemukan dalam bunga waru (*Hibiscus tiliaceus* L. flowers) (Lowry, 1976). C3G juga ditemukan dalam buah blackberry (Ding *et al.*, 2006). Kesan warna yang diberikan oleh pigmen antosianin terbilang lebar yaitu dari warna jingga (orange) hingga biru (Tanaka *et al.*, 2008). Antosianin adalah zat warna yang bersifat polar dan akan larut dengan baik pada pelarut polar (Samsudin & Khoiruddin, 2009). Oleh karena itu, antosianin lebih larut dalam air daripada dalam pelarut non polar dan karakteristik ini membantu proses ekstraksi dan pemisahan (Xavier *et al.*, 2008). Ekstraksi pigmen antosianin dapat dilakukan dengan beberapa jenis pelarut (*solvent*), seperti air, etanol, methanol dan methanol yang diasamkan dengan HCl (Hambali *et al.*, 2014).

Pada umumnya pigmen organik diperoleh dari hasil ekstrak berbagai bagian, seperti buah, daun, biji, bunga dan jaringan pada tumbuhan. Bagian tumbuhan yang paling banyak menghasilkan warna adalah bunga. Menurut Samsudin & Khoiruddin (2009), pigmen antosianin terdapat pada jenis tumbuhan atau tanaman yang berada atau tumbuh di darat. Hal ini dikarenakan antosianin tidak ditemukan pada tanaman laut, hewan atau mikroorganisme. Secara kimia, antosianin adalah bentuk anthocyanidins yang terglukosilasi, yang disintesis melalui jalur flavonoid dan disimpan dalam vakuola (Xiao *et al.*, 2019).

Pigmen antosianin dapat dihasilkan salah satunya yaitu dengan cara di ekstraksi terlebih dahulu. Ekstraksi merupakan kegiatan penarikan kandungan kimia yang dapat larut, sehingga terpisah dari bahan yang tidak larut dengan pelarut cair. Hasil ekstraksi ini hingga akhirnya akan menjadi senyawa fotoaktif. Metode ekstraksi yang pernah dilakukan yaitu *supercritical fluid*, ekstraksi air dan ekstraksi pelarut organik (Wang, 2006). Metode ini memiliki kelebihan dan kekurangan yaitu

lebih ramah lingkungan, selektif dan cepat dalam proses ekstraksi, tetapi membutuhkan tekanan yang tinggi, sehingga biaya ekstraksi lebih mahal dibandingkan dengan ekstraksi pelarut biasa. Menurut Caramão *et al.*, (2006), ekstraksi juga dilakukan dengan metode maserasi, perkolasi dan soxhletasi. Metode maserasi merupakan cara ekstraksi sederhana yang dilakukan dengan cara merendam bahan dalam pelarut (*solvent*) pada temperatur dan waktu tertentu (Putri & Nisa, 2015). Semakin lama waktu maserasi yang digunakan maka akan semakin besar kadar antosianin yang didapatkan (Armanzah & Hendrawati, 2016). Keuntungan dari metode ini adalah peralatan yang digunakan sederhana.

Ekstraksi antosianin juga telah dilakukan dengan metode distilasi atau penyulingan untuk memisahkan larutan yang tidak digunakan dan larutan ekstrak (Sutikno *et al.*, 2015). Distilasi atau penyulingan merupakan suatu metode pemisahan zat cair dari campurannya berdasarkan perbedaan titik didih atau kemampuan zat untuk menguap (*volalitas*). Zat cair dipanaskan hingga titik didihnya dan mengalirkan uap ke dalam alat pendingin (kondensor) untuk mengumpulkan hasil pengembunan sebagai zat cair. Pada kondensor digunakan air yang mengalir sebagai pendingin. Air pada kondensor dialirkan dari bawah ke atas, hal ini bertujuan supaya air tersebut dapat mengisi seluruh bagian pada kondensor, sehingga akan dihasilkan proses pendinginan yang sempurna. Pada saat dipanaskan cairan yang titik didihnya lebih rendah akan menguap terlebih dulu. Kemudian cairan atau zat yang titik didihnya lebih tinggi masih tertinggal.

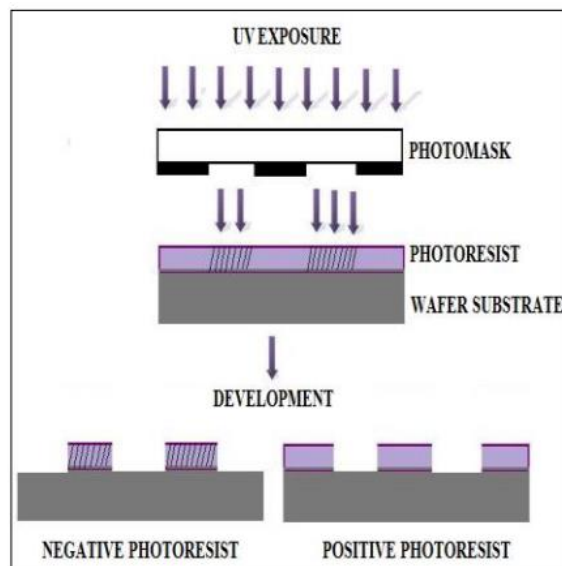
2.3 Fotoreasis

Bahan baku pembuatan mikroelektronika yang sering digunakan adalah fotoreasis. Fotoreasis adalah campuran organik dari polimer dan aditif dengan berat molekul rendah yang berfungsi sebagai bahan sensitif cahaya untuk pembuatan *integrated circuit* (Diby *et al.*, 2007). Resist litografi pada fabrikasi *integrated circuit* merupakan salah satu aplikasi utama dari polimer dalam bidang elektronik (Chiang & Kuo, 2002). Resist lithografi memanfaatkan sumber radiasi dan bahan polimer fotosensitif untuk proses transfer pola (Campo & Greiner, 2007).

Fotoreasis diklasifikasikan menjadi dua yaitu fotoreasis positif dan fotoreasis negatif (Sharma *et al.*, 2012). Pada fotoreasis positif bagian yang terkena paparan akan larut ke dalam larutan pengembangan, sedangkan pada fotoreasis negatif bagian yang terkena paparan menjadi susah larut dalam larutan pengembang.

Gambar 2.3 menunjukkan perbedaan proses bahan fotoreasis pada saat paparan sinar UV. Senyawa pada fotoreasis positif tidak akan larut dalam larutan pengembang sebelum adanya paparan radiasi. Namun, setelah adanya paparan sumber radiasi sinar UV pada fotoreasis positif maka terjadi reaksi fotokimia, sehingga memodifikasi sifat kimia dan sifat fisika (Mendes *et al.*, 2009). Paparan sinar UV menyebabkan fotoreasis negatif untuk menjadi dipolimerisasi, dan lebih sulit untuk larut.

Senyawa fotosensitif pada fotoreasis negatif setelah adanya paparan radiasi akan menyerap energi dan mengkonversikan menjadi energi kimia. Hal ini akan memicu terjadinya reaksi kimia yang menyebabkan ikatan silang molekul polimer. Polimer ini mempunyai berat molekul yang lebih besar, sehingga menjadi tidak mudah larut dalam larutan pengembang.



Gambar 2. 3 Fotoreasis negatif dan positif (Marinescu *et al.*, 2018)

2.3.1 Komposisi Fotoreasis

Matrik polimer merupakan komponen utama fotoreasis. Polimer yang digunakan harus mudah larut dalam larutan pengembang. Tingkat polimerisasi fotoreasis mampu membentuk ikatan hidrogen secara signifikan yang lebih tinggi dari pada fotoreasis konvensional karena pra-organisasi melalui ikatan hidrogen untuk membawa ikatan reaktif yang dekat satu sama lain, sehingga meningkatkan tingkat fotopolimerisasi (Chang *et al.*, 2006). Polimer berfungsi untuk mengatur viskositas (kekentalan), membantu pembentukan film dan menaikkan sifat mekanis dari cairan fotoreasis yang dihasilkan.

Fotoreasis positif memiliki tiga komponen utama yaitu resin dasar, senyawa fotosensitif dan pelarut (*solvent*). Fotoreasis negatif terdiri dari pengikat, monomer fungsional fotosensitif, *photoinitiator*, pelarut (*solvent*), dan pigmen (Lee *et al.*, 2008). Pada fotoreasis positif resin fenolik dan senyawa *diazonaphthoquinone* (DNQ) digunakan untuk memproduksi perangkat semikonduktor serta larutan alkali kuat, seperti cairan tetra-amonium hidroksida digunakan sebagai bahan pengembangnya (Miyagawa *et al.*, 2001). Senyawa populer yang digunakan dalam fotoreasis positif terdiri dari *photoactive compound*, *diazonaphthoquinone*, bahan matriks, dan resin tebal yang disebut novolak (Mendes *et al.*, 2009). Pada umumnya fotoreasis terdiri dari empat komponen yaitu resin (polimer), *photoacid generator*, *solvent* (pelarut) dan bahan aditif (Schuster *et al.*, 2009).

Bahan penting dalam pembuatan fotoreasis yaitu *photoactive compound* yang berfungsi sebagai pengontrol reaksi kimia. Senyawa ini merupakan senyawa yang peka terhadap cahaya. Tidak ada perbedaan antara *photoactive compound* dan *photoacid generator*. Kedua jenis senyawa ini merupakan bahan fotoaktif dalam fotoreasis yang menghasilkan asam pada saat terkena paparan radiasi. Proses radiasi ini menyebabkan dekomposisi atau perubahan pada *photoacid generator* untuk menghasilkan asam kuat di daerah paparan (Feiring *et al.*, 2003). *photoacid generator* membentuk asam kuat ketika dikenai paparan cahaya *deep-UV* (Mack, 1998). Asam ini berfungsi untuk mengkatalisis deproteksi dari polimer resist (Lamanna *et al.*, 2002).

Kemudian pelarut yang digunakan dalam pembuatan bahan fotorevis berfungsi untuk melarutkan resin. Pengembangan fotorevis difokuskan untuk mendapatkan kinerja litografi yang baik dengan melakukan variasi *photoacid generator*, komposisi polimer, dan formulasi resist (Nakayama *et al.*, 2008). Formulasi resist merupakan campuran kompleks yang mengandung bahan pengikat akrilik dengan gugus asam karboksilat, akrilat multifungsi cair, *photosensitizer* dan photoinitiator, pewarna, aditif untuk meningkatkan adhesi dan pelarut (Niedermann *et al.*, 2003)

Bahan aditif digunakan untuk meningkatkan sifat bahan material yang berpengaruh terhadap karakteristik litografi (Houlihan *et al.*, 2003). Pengaruh zat aditif pada fotorevis yaitu transparansi film resist pada 193-nm dapat dikendalikan oleh tingkat pembebanan dan jenis aditif, laju cahaya dan kontras film resist secara drastis terpengaruhi maka peningkatan laju cahaya dicapai dengan mudah, sifat termal dari film resist juga dipengaruhi oleh aditif meskipun efek pada umumnya sedang, aditif dapat mengurangi pembentukan *T-top* dari profil resist karena kontrol dari laju disolusi yang melekat pada resist (Suwa *et al.*, 1996).

Komponen utama pembuatan fotorevis selain polimer resin adalah *solvent* (pelarut) (Vlnieska *et al.*, 2018). Pelarut yang digunakan untuk pembuatan bahan fotorevis yaitu etanol (Sutikno *et al.*, 2018) dan toluena (Sutikno *et al.*, 2013).

2.3.2 Aplikasi Fotorevis

Serangkaian fotorevis yang dimodifikasi dengan silika telah berhasil dikembangkan melalui penggabungan suspensi nanopartikel tertentu (Lee *et al.*, 2008). Fotorevis merupakan bahan yang berperan penting yang dalam mikro miniaturisasi sirkuit semikonduktor (Sharma *et al.*, 2012), pengolahan bahan semikonduktor, pengolahan papan kristal cair *liquid crystal display* (Song *et al.*, 2007). Fotorevis banyak digunakan dalam pembuatan *Printed Circuit Boards* (PCB), percetakan dengan menggunakan kasa yang terpasang pada rangka *silk screen printings*, dan optical disks (Chae *et al.*, 2002).

Fotorevis merupakan bahan kimia yang digunakan dalam pemolaan piranti mikroelektronika. Bahan ini mempunyai daya tahan terhadap pelarutan, daya lekat yang kuat, dan peka cahaya yang digunakan untuk *photo etching* atau disebut juga

fotolitografi (*photolithography*). *Photolithography* merupakan tahapan proses dasar untuk pembuatan divais semikonduktor dengan teknologi mikroelektronika (Widodo & Sudrajad, 2014). Proses *photolithography* adalah proses pemindahan pola bentuk geometris pada masker ke lapisan tipis (beberapa mikron) dan bahan yang peka terhadap radiasi (fotoresis). Pengaruh intensitas sinar laser terhadap lebar garis pola bahan fotoresis negatif dapat diketahui dengan teknik *maskless lithography*.

Fotoresis negatif memiliki karakteristik ketahanan kimia yang tinggi, kualitas gambar yang baik dan biaya rendah. Fotoresis jenis ini dapat digunakan dalam pembuatan papan sirkuit dan perangkat mikroelektronik. Fotoresis ini dikenal sebagai proses *microlithographic*. Teknologi yang digunakan untuk membuat perangkat elektronik dan sangat bergantung pada bahan kimia organik polimer yang digunakan untuk menghasilkan bahan pencitraan yang sensitif radiasi yang dikenal sebagai fotoresis.

Teknik litografi dengan sinar UV dan sinar X pada jenis fotoresis negatif SU-8 diakui sebagai fotoresis yang mempunyai kompatibilitas dan kemampuan *photopatterning* yang baik (Barber *et al.*, 2005). SU8 juga digunakan sebagai bahan polimer untuk membuat komponen mikro-mekanis (Feng & Farris, 2003). UV litografi menggunakan sinar ultraviolet (Apohan *et al.*, 2004) untuk mentransfer pola geometris dari topeng cahaya (*photomask*) suatu bahan kimia peka cahaya fotoresis pada substrat (Bekiaris *et al.*, 2008). Fotoresis negatif SU-8 digunakan dalam sistem MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) (Yang *et al.*, 2007). MEMS merupakan salah satu bidang yang paling penting dalam teknologi mikroteknik dan mikrosistem (Cheng *et al.*, 2003). Substrat MEMS biasanya dibentuk secara fotolitografi dan permukaannya dilapisi resist kemudian diputar dengan kecepatan yang tinggi (Williams *et al.*, 2004). Pengembangan MEMS berdasarkan saat fabrikasi struktur mikro dan fitur dalam polimer fotoresis, secara selektif mengekspos sinar UV (Bourrier *et al.*, 2013).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pelaksanaan Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Penelitian dilakukan di dua tempat, yaitu di Laboratorium Komposit Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang untuk ekstraksi bunga waru, pembuatan cairan resist, pembuatan film tipis fotoreisis, memberikan paparan sumber radiasi sinar UV terhadap film tipis fotoreisis dan di Laboratorium Fisika Medik Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang untuk memberikan paparan sumber radiasi sinar-X terhadap film tipis fotoreisis.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gunting untuk memotong bahan; spatula untuk mengaduk larutan; pipet tetes; kuvet untuk tempat sampel ketika proses karakterisasi absorbansi; gelas ukur ukuran 100 ml untuk mengukur ekstrak bunga waru; gelas ukur 5 ml untuk mengukur nilai kerapatan larutan fotoreisis; gelas kimia atau *beaker glass* ukuran 100 ml dan 150 ml untuk tempat pengadukan dan pemanasan larutan bahan fotoreisis; blender untuk mengaduk, mencampur, menggiling, atau melunakkan bahan-bahan ekstraksi bunga waru; corong kaca sebagai alat bantu untuk memindah atau memasukkan larutan ke wadah; labu erlenmeyer untuk wadah hasil penyaringan; alat distilasi untuk memisahkan dan pemurnian dengan menggunakan perbedaan titik didih untuk mendapatkan ekstrak; alat saring dan kertas saring kasar untuk menyaring hasil ekstraksi dan resist; botol untuk menyimpan ekstrak bunga waru dan resist; *hot plate heated magnetic stirrer* untuk mengaduk dan memanaskan ekstrak dan bahan-bahan fotoreisis agar tercampur; timbangan digital untuk menimbang bahan yang

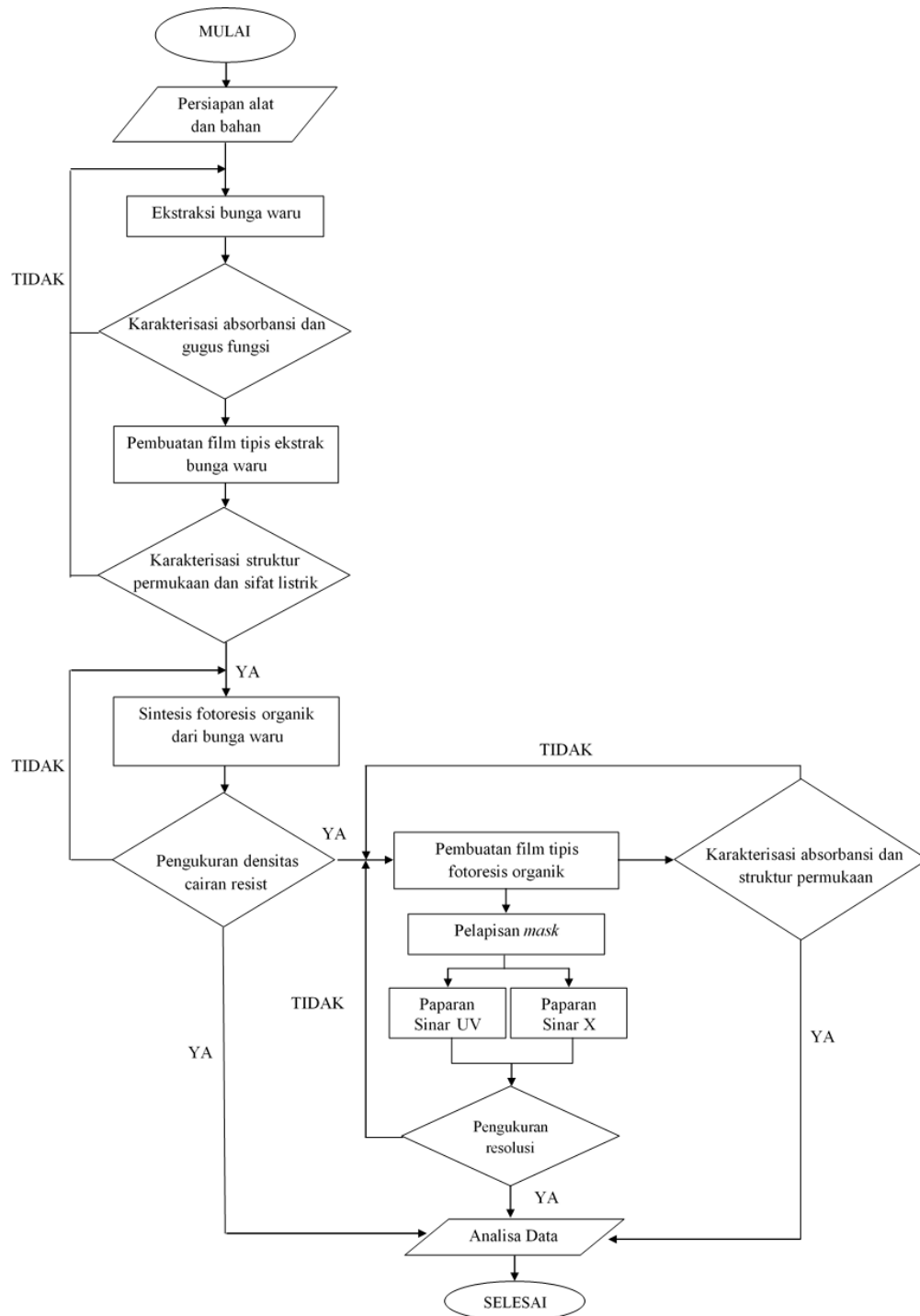
digunakan; termometer raksa untuk mengukur suhu; kaca preparat sebagai substrat film tipis ekstrak bunga waru dan fotoreisis; *spin coater* digunakan untuk membuat film tipis ekstrak bunga waru dan fotoreisis; oven untuk pemanasan awal (*prebake*) film tipis ekstrak dan fotoreisis; cawan penguap untuk wadah sampel saat proses *prebake*; PCB (*printed circuit board*) digunakan sebagai substrat dalam pengujian sensitivitas bahan fotoreisis organik terhadap paparan sumber radiasi; *Shear press brake & slip roll* untuk memotong substrat PCB; gerinda inakita dari Makita Corporation untuk menghaluskan tepi substrat PCB; alumunium foil untuk melapisi botol sampel; alumunium *offset* sebagai *mask* untuk membentuk pola pada substrat film tipis; UV *light* untuk memberikan paparan sinar UV terhadap bahan fotoreisis; pesawat sinar-X untuk memberikan paparan sinar-X terhadap bahan fotoreisis; larutan pengembang (*developer*) untuk menegaskan pola yang terbentuk pada bahan fotoreisis; air sebagai *stopper* untuk menghentikan proses pengembangan; *ocean optic* Vis-NIR USB4000 untuk karakterisasi absorbansi ekstrak dan fotoreisis; Perkin Elmer Frontier FT-IR untuk mengetahui gugus fungsi ekstrak; *Digital CCD Microscope MS-804 Scopeman* digunakan untuk mengetahui struktur permukaan film tipis ekstrak, film tipis fotoreisis dan untuk mengukur resolusi pola yang dihasilkan; serta I-V Meter Elkahfi 100 untuk mengetahui sifat listrik film tipis ekstrak bunga waru.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bunga waru (*Hibiscus tiliaceus* L. flowers), aquades (H_2O), asam asetat (CH_3COOH), etanol (C_2H_5OH) sebagai pelarut (*solvent*), Deionized (DI) water dan aseton (C_3H_6O) untuk membersihkan substrat, resin epoxy ($C_{21}H_{25}ClO_5$) sebagai matriks polimer, *sodium asetat 3-hydrate* ($C_2H_9NaO_5$), ekstrak bunga waru sebagai senyawa fotoaktif (*photoactive compound*) dan tambahan.

3.3 Prosedur Penelitian

Tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian ini dimuat dalam diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Mekanisme penelitian

3.3.1 Ekstraksi Bunga Waru

Bahan baku yang digunakan untuk proses ekstraksi yaitu bunga waru dan pelarut. Pelarut (*solvent*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah etanol, aquades dan asam asetat. Pembuatan ekstrak bunga waru menggunakan variasi fraksi massa. Pada penelitian ini sampel ekstrak bunga waru dibagi menjadi 5 jenis sampel dengan nilai fraksi yang berbeda-beda. Nilai fraksi yang digunakan yaitu 0,025; 0,050; 0,075; 0,100; dan 0,125 dengan variasi massa bunga waru berturut-turut sebesar 3,18 gram; 6,53 gram; 10,05 gram; 13,78 gram; 17,71 gram.

Tabel 3. 1 Komposisi pembuatan ekstrak bunga waru

No	Fraksi massa ekstrak bunga waru	Bunga waru (g)	Pelarut (g)
1	0,025	3,18	124
2	0,050	6,53	124
3	0,075	10,05	124
4	0,100	13,78	124
5	0,125	17,71	124

Tahap pertama proses ekstraksi adalah memotong bunga waru yang telah dibersihkan dan dikeringkan. Kemudian menimbang pelarut sebanyak 124 gram dan bunga waru, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. 1. Jumlah massa pelarut etanol 96% sebanyak 100 gram, asam asetat sebanyak 4 gram dan aquades sebanyak 20 gram. Pelarut yang digunakan ditimbang massanya untuk menghasilkan perbandingan ekstraksi. Perbandingan ini berhubungan dengan nilai fraksi massa ekstrak bunga waru. Pelarut dicampur menjadi satu pada gelas beker menggunakan *heated magnetic stirrer* selama 2 menit. Setelah itu bunga waru dan pelarut dicampur dengan teknik *blending* menggunakan blender selama 1 menit, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2, kemudian disaring menggunakan alat saring dan kertas saring. Selanjutnya larutan diukur volumenya menggunakan gelas ukur.



Gambar 3.2 Proses blending bunga waru dan pelarut

Larutan diekstrak menggunakan metode distilasi yaitu dengan dimasukkan ke dalam labu distilasi dan dipanaskan menggunakan kompor spiritus. Metode ini juga digunakan untuk ekstraksi jantung pisang (*Musa acuminata bracts*) (Madnasri *et al.*, 2019), bawang merah (Sutikno *et al.*, 2015), kulit manggis dan lain-lain. Uap yang dihasilkan akan dialirkan dan kemudian didinginkan, sehingga kembali menjadi cairan yang ditampung dalam wadah terpisah. Setelah proses distilasi, larutan diukur kembali volumenya menggunakan gelas ukur. Kemudian dilakukan pengadukan pada larutan dengan *heated magnetic stirrer* untuk mengentalkan ekstrak dan memekatkan warna. Ekstrak bunga waru disimpan dalam botol gelap dan ditutup aluminium foil agar tidak tembus cahaya. Langkah berikutnya yaitu pengujian absorbansi dan gugus fungsi ekstrak bunga waru. Pengujian absorbansi menggunakan *ocean optic Vis-NIR USB4000*, sedangkan pengujian gugus fungsi menggunakan Perkin Elmer Frontier FTIR Spectrometer.

3.3.2 Pembuatan Film Tipis Ekstrak Bunga Waru

Pada proses penelitian ini, pelapisan film tipis ekstrak bunga waru menggunakan metode *spin coating*. Metode *spin coating* merupakan metode yang digunakan untuk meratakan lapisan suatu substrat dengan memanfaatkan gaya semu (sentrifugal) dengan menggunakan laju putar *spin*. Substrat yang digunakan yaitu berukuran 1 cm x 1 cm. Kaca preparat yang telah dipotong kemudian dicuci dengan

aseton, etanol 96% dan DI water berurutan masing-masing selama 10 menit menggunakan penggetar *ultrasonic cleaner* branson model 1510. Aseton dan etanol digunakan untuk menghilangkan kontaminan, seperti senyawa kimia dan kotoran organik terlarut (*soluble*). Substrat selanjutnya dikeringkan menggunakan gas nitrogen (Khairurrijal *et al.*, 2004).

Substrat diletakkan pada *spin coater* dan ditetesi ekstrak bunga waru sebanyak satu tetes, kemudian *spin coater* diputar dengan arus 3,1 V selama 30 detik. Film tipis pada substrat di-*prebake* menggunakan oven dengan suhu 250°C selama 10 menit. Sampel film tipis ini selanjutnya dikarakterisasi struktur mikro permukaan dengan menggunakan *Digital CCD Microscope MS-804 Scopeman* dan karakterisasi sifat listrik menggunakan I-V Meter Elkahfi 100 (Khairurrijal *et al.*, 2007). *Digital CCD Microscope MS-804 Scopeman* merupakan sistem mikroskop video terbaru yang mengintegrasikan optik canggih, serat optik dan komponen CCD. Alat ini memberikan resolusi gambar tinggi yaitu pada 1280 x 960 piksel dengan keakuratan yang tinggi pula. *Digital CCD Microscope MS-804 Scopeman* dilengkapi dengan kamera perbesaran 400 kali hingga 2400 kali.

3.3.3 Pembuatan Cairan Resist

Tahap awal pembuatan fotoreซิส organik yaitu penimbangan massa bahan yang digunakan. Dalam penelitian ini, pembuatan fotoreซิส dibagi menjadi dua tahap yaitu tahap pembuatan sampel cairan resist dan tahap pembuatan sampel film tipis fotoreซิส.

Pembuatan sampel difokuskan pada variasi ekstrak bunga waru sebagai senyawa fotoaktif atau *photoactive compound*. Hal ini karena kandungan *photoactive compound* dapat mempengaruhi absorbansi dan sensitivitas film tipis fotoreซิส terhadap radiasi.

Tabel 3. 2 Komposisi bahan fotorevis

Epoxy Resin (g)	Etanol 96% (g)	Sodium Acetate 3-hydrate (g)	Ekstrak bunga waru (g)	Kadar Ekstrak (% berat)
20	10	4,73	1,05	3
20	10	4	1,78	5
20	10	3,23	2,55	7
20	10	2,42	3,36	9
20	10	1,58	4,20	11
20	10	0,70	5,08	13

Dalam tahap ini resin *epoxy* sebagai matriks polimer, sodium asetat 3-hydrate, ekstrak bunga waru sebagai senyawa fotoaktif atau *photoactive compound* dan tambahan, etanol sebagai bahan pelarut (*solvent*) dicampur sesuai Tabel 3. 2. Menurut Ingrosso *et al.*, (2007), fotorevis berbasis *epoxy* merupakan bahan komposit baru yang sangat baik. Hal ini dikarenakan memberikan kinerja litografi yang luar biasa apabila dipola menggunakan UV litografi.

Pencampuran bahan sodium asetat 3-hydrate, etanol dan ekstrak bunga waru dilakukan berurutan disertai pengadukan bahan menggunakan *heated magnetic stirrer* yang dapat dilihat pada Gambar 3.3. Pertama melarutkan *sodium asetat 3-hydrate* dengan etanol selama 3 menit. Kemudian larutan tersebut dimasukkan dalam resin epoxy selama 3 menit dan memasukkan ekstrak bunga waru selama 3 menit. Setelah suhu mencapai 75°C pemanasan dihentikan dan pengadukan tetap dilanjutkan hingga 15 menit. Proses pengadukan dilakukan di tempat yang tidak terkena sinar matahari langsung karena dapat menggumpalkan cairan fotorevis.



Gambar 3. 3 Proses pencampuran bahan-bahan pembuatan fotoresis

Proses selanjutnya yaitu cairan hasil pengadukan disaring dengan menggunakan alat saring yang selanjutnya dimasukkan pada botol yang gelap, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 untuk selanjutnya diukur kerapatannya.



Gambar 3. 4 Sampel cairan resist dari ekstrak bunga waru

3.3.4 Pembuatan Film Tipis Fotoresis

Metode yang digunakan untuk pembuatan film tipis fotoresis yaitu metode *spin coating*. Larutan atau cairan fotoresis yang dihasilkan pada proses sebelumnya dilapiskan di atas substrat kaca. Substrat kaca yang digunakan adalah kaca preparat berbentuk persegi ukuran 1 cm x 1 cm. Kaca preparat yang telah dipotong sesuai ukuran kemudian dicuci dengan menggunakan aseton, etanol 96% dan DI water secara berturut-turut menggunakan penggetar *ultrasonic cleaner* branson model 1510. Substrat selanjutnya dikeringkan dengan gas nitrogen. Substrat kaca

digunakan sebagai substrat tempat pelapisan film tipis fotoreซิส karena struktur permukaannya rata dan mempunyai sifat transparan. Oleh karena itu ketika dilakukan karakterisasi sifat optik sampel dengan rentang cahaya panjang gelombang tertentu dapat melewati substrat kaca preparat dan film tipis yang dilapiskan pada permukaan substrat kaca tersebut.



Gambar 3. 5 Proses spin coating cairan fotoreซิส

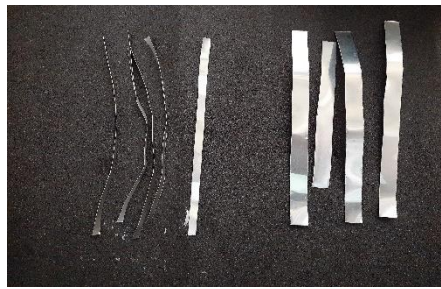
Substrat kaca yang telah ditetesi cairan resist sebanyak satu tetes dengan spatula selanjutnya diputar dengan menggunakan *spin coater* dengan arus 10 V selama 60 detik (Sutikno *et al.*, 2013) yang dapat dilihat pada Gambar 3.5. Proses ini dilakukan hingga cairan resist benar-benar rata pada seluruh permukaan substrat. Selanjutnya, film tipis pada substrat di-*prebake* menggunakan oven dengan suhu 200°C selama 15 menit, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. Setelah itu diangkat kemudian menunggu hingga dingin dan disimpan menggunakan kertas obat dan plastik. Tujuan dari *prebake* fotoreซิส adalah untuk mengeringkan resist setelah *spin coating* dengan menghapus pelarut dari film. Hasil substrat akan digunakan untuk karakterisasi absorbansi dan struktur mikro permukaan.



Gambar 3. 6 Proses pre-bake sampel

3.3.5 Uji Sensitivitas Resist

Tahap ini menerapkan *mask* pada permukaan substrat menggunakan aluminium *offset* yang dapat dilihat pada Gambar 3.7. *Mask* berupa lapisan tipis sebagai pencitraan pola yang dibentuk pada bahan fotoreซิส menggunakan teknik litografi.



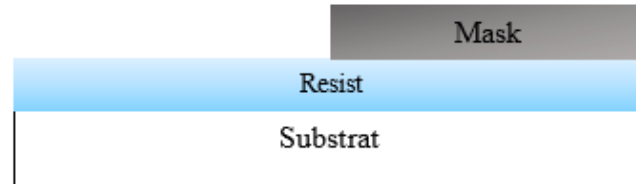
Gambar 3. 7 Alumunium offset

Substrat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Printed Circuit Board* (Sutikno *et al.*, 2018). Pembersihan substrat menggunakan aseton. Substrat tersebut dilapisi cairan resist dengan metode spin coating, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8 kemudian dikeringkan dengan suhu 200°C. Proses *pre-bake* dilakukan selama 15 menit. Selanjutnya sampel diangkat dan ditunggu hingga dingin.



Gambar 3. 8 Proses spin coating cairan resist pada PCB

Tahap pertama yaitu pelapisan mask dengan lebar mask 2,5 cm yang dilakukan pada setengah substrat PCB, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sinar radiasi yang dihasilkan terhadap sampel terlebih dahulu.



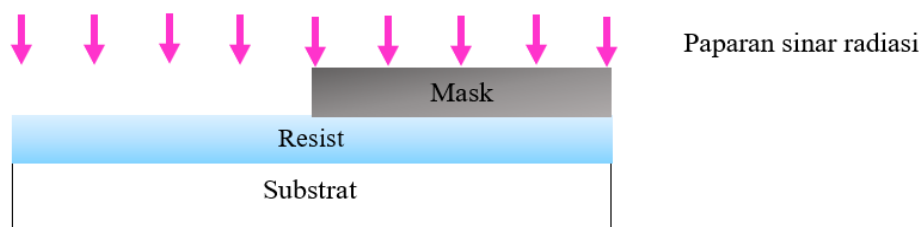
Gambar 3. 9 Pelapisan mask pada sampel

Tahap kedua, ketiga dan seterusnya dilakukan pelapisan mask dengan ukuran lebar mask yang semakin kecil. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan lebar mask yang lebih kecil.

3.3.6 Uji Paparan Sumber Radiasi

Pada tahap ini melakukan paparan radiasi pada substrat yang telah dilapisi cairan fotoreซิส dan *mask* pada permukaannya. Sumber radiasi yang digunakan yaitu sinar UV dan sinar-X. Sinar ini digunakan sebagai sumber radiasi karena mempunyai daya serap pada nilai rentang 10 - 1100 nm, sehingga diharapkan mampu

menembus substrat dan mengaktifkan senyawa peka cahaya untuk melakukan reaksi fotokimia pada fotoreซิส yang melapisi permukaan substrat.



Gambar 3. 10 Skema paparan radiasi pada fotoreซิส

Gambar 3.10 terdapat skema untuk proses paparan sinar radiasi. Paparan sinar UV dilakukan selama 5 menit, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 (a). Kemudian dimasukkan dalam larutan developer selama 5 menit dan air selama 3 menit. Selanjutnya dikeringkan selama ± 3 menit.

Paparan sinar-X dilakukan selama 0,125 detik pada film tipis fotoreซิส, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11. Perbedaan waktu paparan ini dikarenakan mesin sinar-X yang digunakan merupakan mesin untuk radiodiagnostik dengan waktu penyinaran yang diperbolehkan yaitu selama 0,125 detik. Selain itu untuk menjaga agar mesin sinar-X tidak mengalami panas yang menyebabkan kerusakan pada mesin. Tahap selanjutnya yaitu memasukkan sampel pada larutan pengembang selama 5 menit dan dimasukkan dalam air sebagai stopper untuk menghentikan proses pengembangan selama 3 menit lalu dikeringkan selama 3 menit.



(a)



(b)

Gambar 3. 11 Proses paparan sinar radiasi (a) sinar UV (b) sinar-X

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dipaparkan hasil dan analisis dari penelitian yang telah dilakukan. Bagian ini dibagi menjadi empat, yaitu hasil karakterisasi ekstrak bunga waru, hasil karakterisasi film tipis ekstrak bunga waru, hasil karakterisasi fotoreisis organik dan hasil pengujian bahan fotoreisis organik.

4.1 Karakterisasi ekstrak Bunga Waru

Bunga waru diekstrak dengan variasi fraksi massa. Hal ini didasarkan pada persamaan 4.1 (Sutikno *et al.*, 2017) :

$$x = \frac{a}{a+b} \quad (4.1)$$

dengan x = fraksi massa; a = jumlah massa bunga waru (g) dan b = jumlah volume pelarut (g). Variasi fraksi massa yaitu 0,025; 0,050; 0,075; 0,100; dan 0,125 berturut-turut diperoleh besar massa bunga waru yang akan diekstrak yaitu 3,18 gram, 6,53 gram, 10,05 gram, 13,78 gram, dan 17,71 gram.

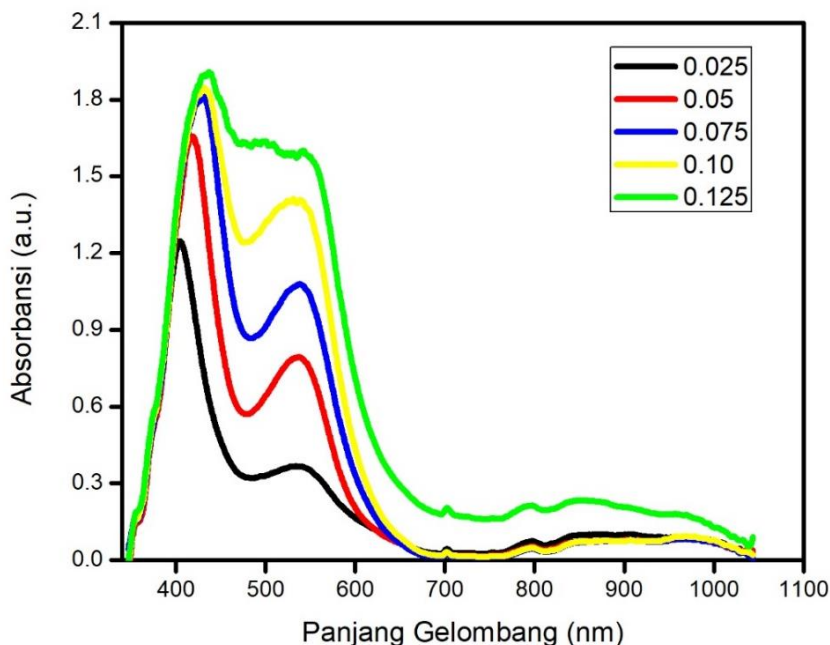
Dalam proses destilasi, cairan ekstrak bunga waru dipisahkan dari pelarutnya. Mula-mula larutan dalam labu destilasi dipanaskan hingga mencapai titik didihnya. Uap yang dihasilkan mengalir ke dalam kondensor dan mengumpulkan hasil pengembunan sebagai zat cair. Pada kondensor digunakan air yang mengalir sebagai pendingin. Hal ini bertujuan supaya air tersebut dapat mengisi seluruh bagian pada kondensor, sehingga dihasilkan proses pendinginan yang sempurna. Dalam hal ini cairan dipisahkan menjadi dua, yaitu bagian yang mudah menguap dan bagian yang sukar menguap. Cairan yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap terlebih dahulu. Uap ini akan dialirkan dan kemudian didinginkan, sehingga kembali menjadi cairan yang ditampung pada wadah terpisah. Cairan yang memiliki titik didih lebih tinggi masih tertinggal dalam labu destilasi.

Bahan-bahan yang telah diekstrak dengan metode destilasi antara lain jantung pisang (Madnasri *et al.*, 2019), bawang merah (Sutikno *et al.*, 2015) dan kulit buah manggis (Aziz, 2014). Ekstrak bunga waru yang dihasilkan dari metode destilasi memiliki warna merah kekuningan. Warna ini menunjukkan bahwa bunga waru mengandung pigmen antosianin jenis cyanidin. Menurut Chia *et al.*, (2003), pigmen antosianin jenis apigeninidin memiliki warna orange, capensinidin berwarna merah kebiruan (bluish-red), cyanidin memiliki warna merah kekuningan (orange-red), rosinidin berwarna merah dan lain-lain.

4.1.1 Karakterisasi Vis-NIR (Visible and Near Infra Red)

Karakterisasi sifat optik ekstrak bunga waru dilakukan dengan menggunakan *Spectrometer ocean optic Vis-NIR USB 4000*. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui sifat absorbansi ekstrak bunga waru pada panjang gelombang tampak hingga inframerah.

Hasil absorbansi ekstrak bunga waru dapat dilihat pada Gambar 4.1 Secara keseluruhan, kelima sampel memiliki absorbansi yang identik, tetapi nilainya berbeda secara berurutan. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan fraksi massa berpengaruh pada absorbansi ekstrak bunga waru. Berdasarkan hasil karakterisasinya sampel dengan fraksi massa 0,125 memiliki nilai absorbansi yang paling tinggi yaitu sebesar 1,96821 pada panjang gelombang 440,1 nm. Ekstrak bunga waru dengan fraksi massa 0,100; 0,075; 0,050; 0,025 secara berurutan memiliki nilai absorbansi sebesar 1,89821; 1,86513; 1,72551; 1,28742 pada panjang gelombang 430,15 nm; 425,06 nm; 412,51 nm; 403,77 nm. Dari fraksi 0,025 sampai 0,125 nampak bahwa semakin tinggi konsentrasi bunga waru maka semakin tinggi pula nilai absorbansinya. Perbedaan tingkat absorbansi maksimum ekstrak bunga waru dipengaruhi ukuran nanopartikel larutan yang digunakan tidak bersifat homogen (Aziz, 2014).



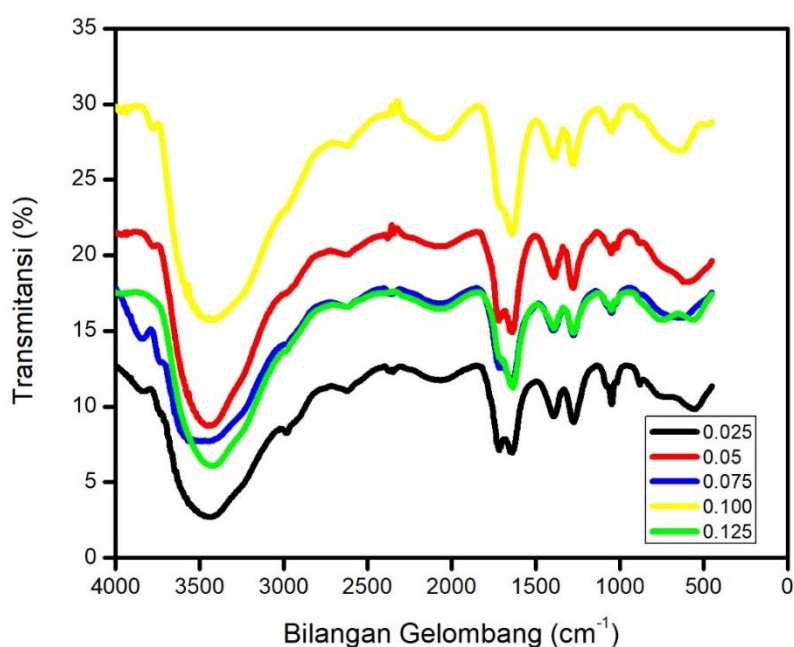
Gambar 4. 1 Spektrum absorbansi Vis-NIR ekstrak bunga waru dengan variasi fraksi massa ekstrak bunga waru

4.1.2 Karakterisasi FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*)

Karakterisasi sifat optik ekstrak bunga waru juga dilakukan dengan alat Perkin Elmer Frontier FTIR Spectrum di laboratorium Fisika UNNES. Uji spektroskopi inframerah bertujuan untuk melihat struktur ikatan pada ekstrak bunga waru. Pengujian dilakukan dengan cara meneteskan larutan ekstrak bunga waru pada KBr (*kalium bromide*) yang telah di *press*. Karakterisasi ini digunakan untuk analisis berdasarkan pengukuran intensitas inframerah terhadap bilangan gelombang dan untuk mendeteksi karakteristik vibrasi kelompok fungsi dari senyawa pada ekstrak bunga waru. Atom-atom di dalam suatu molekul tidak diam melainkan bervibrasi (bergerak). Jika sinar inframerah dilewatkan melalui sampel senyawa organik, maka terdapat sejumlah frekuensi yang akan diserap, ada yang diteruskan dan ada yang ditransmisikan tanpa diserap.

Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa kelima sampel memiliki struktur spektrum yang hampir sama. Merujuk penelitian yang dilakukan oleh Hardeli (2019), didapatkan puncak spektrum kelima sampel yakni $3445,29\text{ cm}^{-1}$ pada fraksi 0,025; $3436,52\text{ cm}^{-1}$ pada fraksi 0,050; $3503,93\text{ cm}^{-1}$ pada fraksi 0,075; $3435,7\text{ cm}^{-1}$ pada

fraksi 0,100; $3429,74\text{ cm}^{-1}$ pada fraksi 0,125 menunjukkan adanya ikatan -OH yang dianggap dari kelompok alcohol ($3650 - 3200\text{ cm}^{-1}$). Penyerapan getaran juga terjadi pada bilangan gelombang ($1350 - 900\text{ cm}^{-1}$) yang merupakan peregangan getaran alcohol C-O. Hal ini menegaskan bahwa antosianin dari ekstrak bunga waru memiliki kelompok fungsional hidroksil (OH). Pola substitusi gugus hidroksil (-OH) terdapat pada pigmen antosianin jenis cyanidin (Lestario *et al.*, 2011) (Chia *et al.*, 2003). Hal ini berkaitan dengan penelitian yang dilakukan (Lowry, 1976) bahwa antosianin yang ditemukan dalam bunga waru adalah jenis cyanidin-3-glucoside.



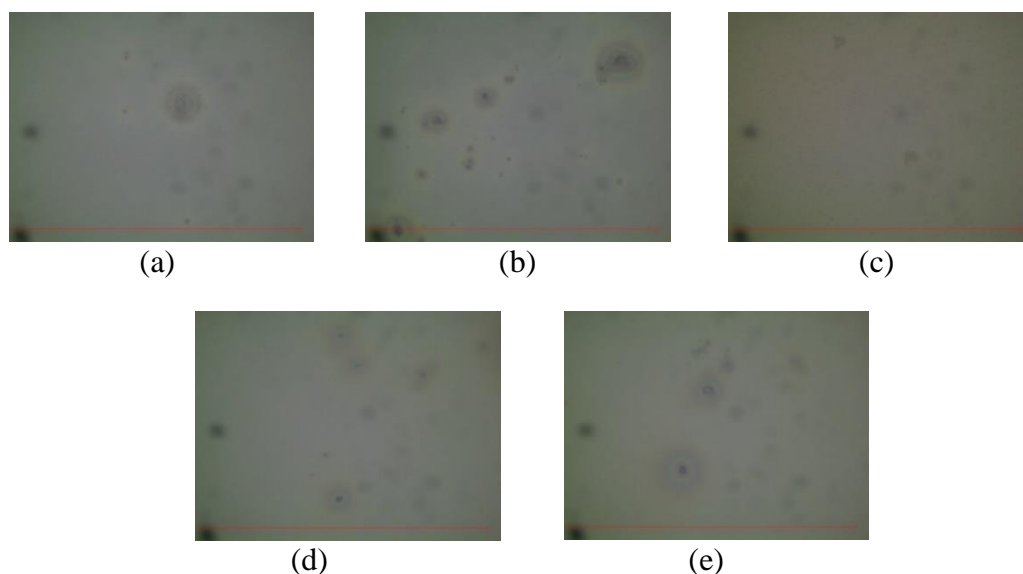
Gambar 4. 2 Spektrum FTIR ekstrak bunga waru dengan variasi fraksi massa ekstrak bunga waru

4.2 Karakterisasi Film Tipis Ekstrak Bunga Waru

4.2.1 Karakterisasi Struktur Permukaan Film Tipis Ekstrak Bunga Waru

Uji struktur permukaan film tipis ekstrak bunga waru menggunakan *Digital CCD Microscope MS-804 Scopeman*. Pada penelitian ini pengamatan dilakukan dengan perbesaran 400 kali, 800 kali, 1500 kali dan 2400 kali untuk masing-masing sampel. Data hasil pengamatan ini berupa gambar yang selanjutnya dianalisis dengan menggunakan analisis kualitatif.

Gambar 4.3 menunjukkan struktur permukaan film tipis ekstrak bunga waru menggunakan *Digital CCD Microscope MS-804 Scopeman* dengan perbesaran 2400x. Struktur permukaan sampel pada semua fraksi massa yang dihasilkan terlihat tidak homogen. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah proses *spin coating* dan proses *pre-bake* (Sutikno *et al.*, 2015).



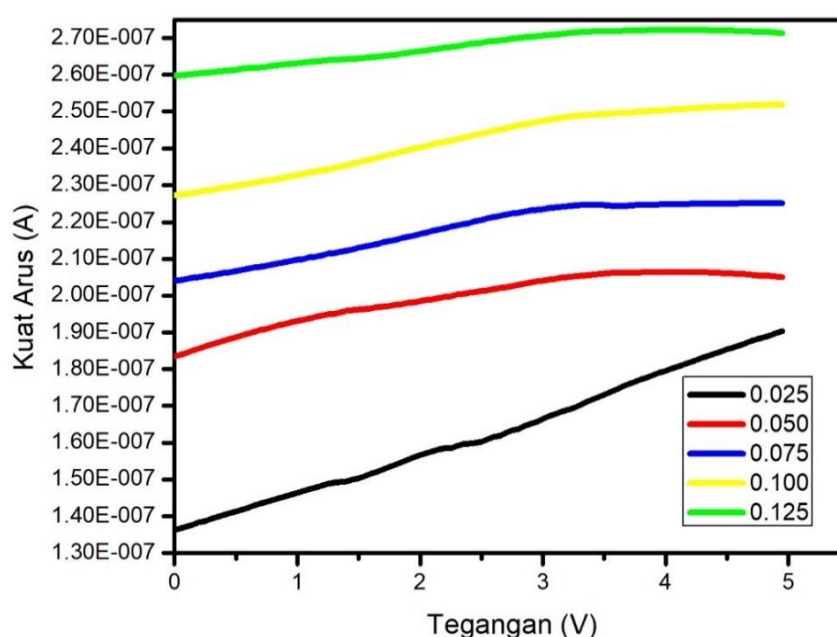
Gambar 4. 3 Struktur permukaan film tipis ekstrak bunga waru pada sampel dengan fraksi massa (a) 0,025; (b) 0,050; (c) 0,075; (d) 0,100 dan (e) 0,125

4.2.2 Karakterisasi I-V Meter

Sifat listrik film tipis ekstrak bunga waru dapat dikarakterisasi menggunakan alat I-V Meter Elkahfi 100 (Sutikno *et al.*, 2014). Alat ini berfungsi untuk mengetahui kuat arus tegangan yang terbangkitkan karena ekstrak bunga waru sebagai bahan fotoaktif harus mampu menghantarkan arus listrik. Pengukuran menggunakan alat I-V Meter ElKahfi 100 dilakukan dengan cara menancapkan dua *probe* yang terdapat pada alat I-V Meter pada film tipis ekstrak bunga waru. Kemudian akan dihasilkan nilai kuat arus tegangan yang terbangkitkan dari masing-masing sampel.

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai arus pada masing-masing fraksi berbeda. Semakin tinggi konsentrasi ekstrak bunga waru maka semakin besar nilai kuat arus film tipis ekstrak bunga waru. Semakin besar nilai kuat arus menunjukkan

semakin besar nilai konduktivitasnya. Menurut Sutikno *et al.*, (2015), semakin besar nilai konduktivitas bahan maka bahan tersebut semakin baik untuk diaplikasikan sebagai bahan fotoaktif khususnya fotoreisis. Pada film tipis ekstrak bunga waru dengan fraksi massa 0,125 memiliki nilai arus tertinggi yang terbangkitkan sebesar $2,71 \times 10^{-7}$ A dan nilai arus terendah yang terbangkitkan sebesar $1,88 \times 10^{-7}$ A pada film tipis ekstrak bunga waru dengan fraksi massa 0,025.

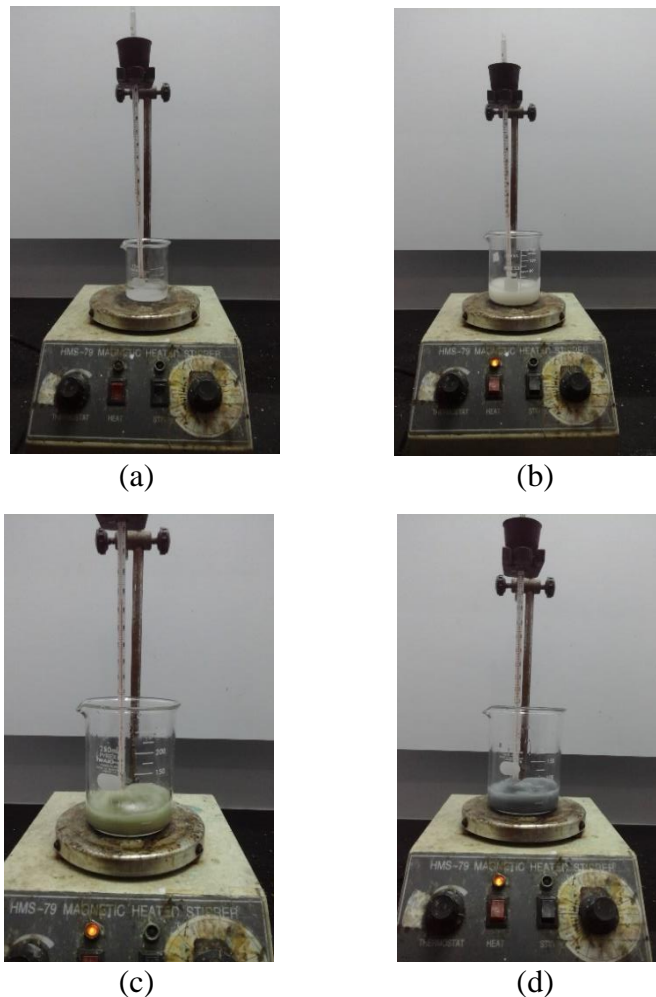


Gambar 4. 4 Grafik I-V Meter film tipis ekstrak bunga waru dengan variasi fraksi massa ekstrak bunga waru

Perbedaan lapisan ekstrak bunga waru dalam menyerap cahaya mempengaruhi kemampuannya dalam mengalirkan elektron. Sifat konduktif yang terjadi pada film tipis ekstrak bunga waru karena adanya energi foton dari luar yang diserap oleh elektron. Pada kondisi ini, energi foton memiliki kecenderungan untuk memberikan energi cukup bagi difusi elektron, sehingga peningkatan difusi ini mengakibatkan terjadinya rekombinasi elektron hole yang lebih banyak. Ekstrak bunga waru dapat memberikan tambahan daya hantar listrik, sehingga semakin banyak fraksi massa bunga waru maka kuat arus tegangan yang terbangkitkan semakin besar. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik dari film tipis ekstrak bunga waru bersifat semikonduktor.

4.3 Karakterisasi Fotoresis

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terjadi perubahan warna secara berturut-turut saat proses pencampuran bahan. Mula-mula *sodium asetat 3-hydrate* dilarutkan dalam etanol 96%. Campuran yang dihasilkan berwarna putih bening. Kemudian menambahkan resin *epoxy*, campuran berubah warna dari putih bening menjadi warna putih. Ketika ditambahkan ekstrak bunga waru pada campuran berubah warna menjadi hijau kemudian berubah warna menjadi abu-abu. Perubahan warna hijau hanya sesaat selama ± 5 detik. Hal ini menunjukkan bahwa dalam proses ini terjadi reaksi kimia atau perubahan kimia. Perubahan warna yang terjadi merupakan salah satu ciri-ciri reaksi kimia.



Gambar 4. 5 Perubahan warna saat proses pencampuran bahan

4.3.1 Karakterisasi Kerapatan Cairan Resist

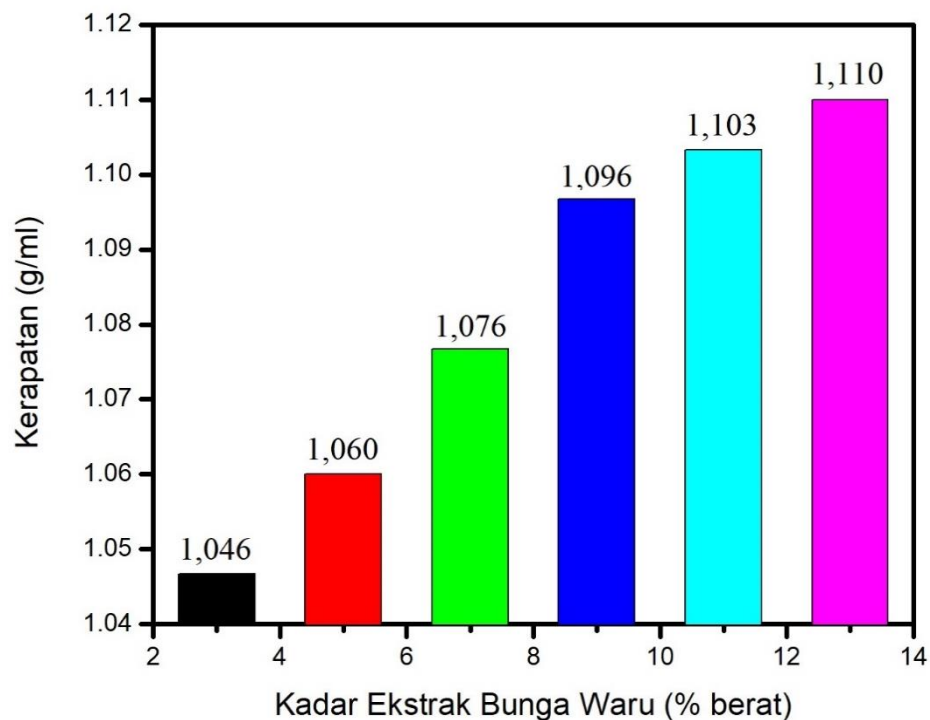
Salah satu sifat fisika yang perlu diketahui adalah densitas (kerapatan). Nilai kerapatan pada cairan resist dapat mempengaruhi sifat fisika dan mekanis bahan fotorevis. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kerapatan menggunakan prinsip Archimedes dengan persamaan:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4.2)$$

dengan ρ = kerapatan (g/ml); m = jumlah massa (g) dan v = jumlah volume (ml). Kerapatan didefinisikan sebagai massa persatuan volume. Pengukuran kerapatan setiap sampel dilakukan sebanyak tiga kali kemudian dihitung nilai rata-ratanya.

Hasil pengukuran kerapatan setiap sampel cairan resist dapat dilihat pada Lampiran 2. Pada tabel tersebut terlihat bahwa nilai kerapatan cairan resist semakin meningkat dari kadar ekstrak bunga waru 3% hingga 11%. Keenam sampel menggunakan komposisi resin *epoxy* sebesar 20 g, etanol 96% sebesar 10 g, variasi kadar *sodium acetate trihydrate* dan ekstrak bunga waru. Variasi kadar *sodium acetate trihydrate* pada keenam sampel secara berturut-turut yaitu sebesar 4,73 g; 3,23 g; 2,42 g; 1,58 g; 0,70 g. Variasi kadar ekstrak bunga waru pada keenam sampel secara berturut-turut yaitu sebesar 1,05g; 2,55 g; 3,36 g; 4,20 g; 5,08 g. Variasi kadar *sodium acetate trihydrate* dan ekstrak bunga waru pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan komposisi yang tepat dan mempunyai sifat fisika yang baik dalam aplikasi fotorevis. Semakin kecil kadar *sodium acetate trihydrate* dengan semakin besarnya kadar ekstrak bunga waru dapat dihasilkan nilai kerapatan cairan resist yang semakin besar.

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai kerapatan sampel mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar ekstrak bunga waru begitupun sebaliknya meskipun cenderung mempunyai nilai kerapatan yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa kadar ekstrak bunga waru mempengaruhi nilai kerapatan fotorevis yang dihasilkan.



Gambar 4. 6 Grafik kerapatan cairan resist

Cairan resist berbasis *epoxy* SU-8 merupakan cairan resist yang sudah banyak dijual di pasaran. Nilai kerapatan cairan resist berbasis *epoxy* SU-8 3000 yang dimiliki *Microchem* dapat dilihat pada Tabel 4. 1. SU-8 3000 adalah fotoreซิส berbasis *epoxy* yang memiliki tingkat kontras yang tinggi dan dirancang untuk permesinan mikro dan aplikasi mikroelektronik. SU-8 3000 merupakan formulasi yang disempurnakan dari SU-8 dan SU-8 2000 yang telah banyak digunakan oleh produsen MEMS selama bertahun-tahun.

Berdasarkan tabel pada Lampiran 2 diketahui bahwa nilai kerapatan cairan resist yang dihasilkan dalam penelitian ini jika dibandingkan dengan kerapatan cairan fotoreซิส berbasis *epoxy* SU-8 3000 memiliki nilai kerapatan yang cenderung sama dengan fotoreซิส SU-8 3005 dan SU-8 3010. Nilai kerapatan cairan resist yang dihasilkan dalam penelitian yaitu 1,047 g/ml, 1,0600 g/ml, 1,0767 g/ml, 1,0967 g/ml, 1,1033 g/ml dan 1,110 g/ml, sedangkan nilai kerapatan fotoreซิส SU-8 3005 dan SU-8 3010 yaitu 1,075 g/ml dan 1,106 g/ml. Fotoreซิส S1800 series mempunyai nilai kerapatan sebesar 1,02 g/ml (O'Neill & Sheridan, 2002).

Tabel 4. 1 Nilai kerapatan larutan fotoreasis SU-8 3000

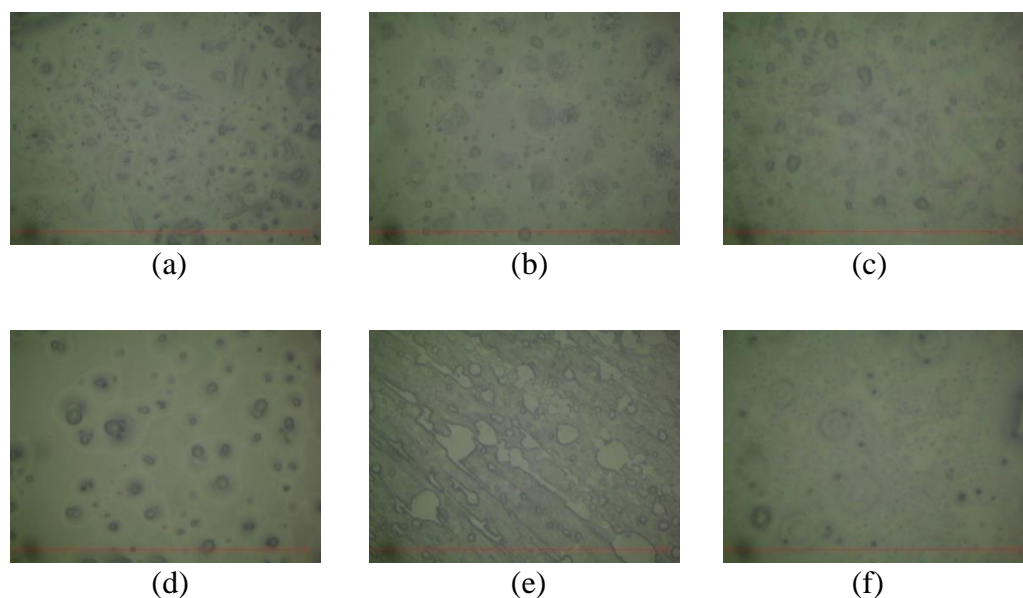
Fotoreasis SU-8 3000	Kerapatan (g/ml)
3005	1,075
3010	1,106
3025	1,143
3035	1,147
3050	1.153

Penelitian yang telah dilakukan oleh Aziz (2014) dihasilkan nilai kerapatan resist yang sesuai dengan fotoreasis berbasis epoxy SU-8 2000 yaitu sebesar 1,2 g/ml hingga 1,26 g/ml. Resist yang dihasilkan menggunakan ekstrak kulit buah manggis.

4.3.2 Karakterisasi Struktur Permukaan Film Tipis Fotoreasis

Karakterisasi struktur permukaan film tipis fotoreasis menggunakan *Digital CCD Microscope MS-804 Scopeman*. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui struktur permukaan film tipis fotoreasis dan homogenitas dari Fotoreasis.

Struktur mikro kelima sampel film tipis fotoreasis dengan variasi kadar ekstrak bunga waru ditunjukkan oleh Gambar 4.7. Berdasarkan gambar tersebut dapat ditunjukkan bahwa homogenitas permukaan sampel film tipis fotoreasis berbeda-beda. Pada sampel dengan kadar 3% terlihat penampang permukaannya bersifat homogen. Pada sampel dengan kadar 5% nampak terdapat gelembung yang terbentuk akibat proses *prebake*. Sampel dengan kadar 7% terlihat bersifat homogen, seperti sampel 3%. Sampel dengan kadar 9% dan 13% nampak terdapat gelembung-gelembung kecil yang terbentuk akibat proses *prebake*. Pada sampel dengan kadar 11% terlihat struktur yang berbeda dari kelima sampel yang lain masih terlihat homogen meskipun masih terdapat gelembung. Meskipun demikian, struktur mikro film tipis fotoreasis cenderung semakin homogen dari sampel dengan kadar 13% sampai kadar 3%, sehingga semakin rendah kandungan kadar ekstrak bunga waru cairan fotoreasis maka struktur mikro film tipis fotoreasis cenderung semakin homogen. Kondisi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu proses *spin coating* dan proses *prebake* (Sutikno *et al.*, 2013).



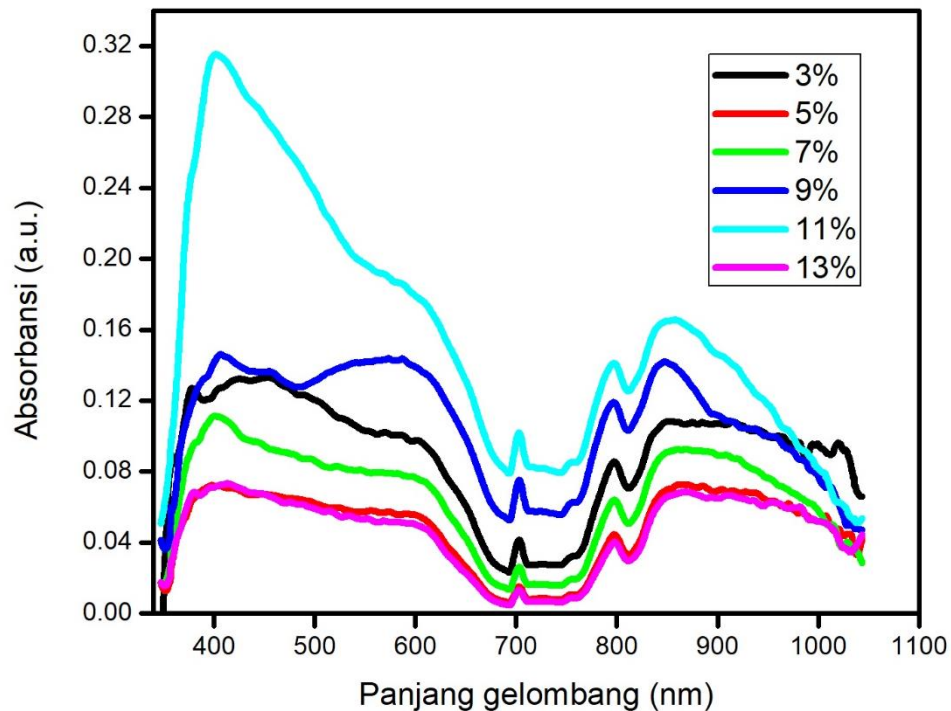
Gambar 4. 7 Struktur permukaan film tipis fotorevis dengan kadar (a) 3%; (b) 5%; (c) 7%; (d) 9%; (e) 11% dan (f) 13%

4.3.3 Karakterisasi Absorbansi Permukaan Film Tipis Fotorevis

Karakterisasi absorbansi pada film tipis fotorevis bertujuan untuk melihat sifat optik dari sampel film tipis fotorevis yang telah dibuat pada rentang cahaya tampak hingga inframerah. Karakterisasi sifat optik ini dilakukan menggunakan *spectofotometer ocean optic Vis-NIR USB4000*.

Secara keseluruhan, keenam sampel film tipis fotorevis organik memiliki nilai absorbansi yang identik. Gambar 4.8 menunjukkan bahwa sampel dengan kadar ekstrak bunga waru 11% memiliki nilai absorbansi paling tinggi yaitu sebesar 0,3184 pada panjang gelombang 400,57 nm. Sampel dengan kadar 9% memiliki nilai absorbansi sebesar 0,1470 pada panjang gelombang 403,13 nm. Sampel dengan kadar 3% memiliki nilai absorbansi sebesar 0,1368 pada panjang gelombang 379,14 nm. Sampel dengan kadar ekstrak bunga waru 7% memiliki nilai absorbansi sebesar 0,1122 pada panjang gelombang 395,86 nm. Sampel dengan kadar ekstrak 5% memiliki nilai absorbansi sebesar 0,0746 pada panjang gelombang 394,36 dan sampel dengan kadar ekstrak bunga waru 13% memiliki nilai absorbansi sebesar 0,0743 pada panjang gelombang 416,13 nm. Grafik dari

keenam sampel film tipis fotoreaksi organik memiliki nilai absorbansi berkisar 0,1 - 0,3. Secara umum film tipis fotoreaksi organik yang dihasilkan dalam penelitian ini sudah memenuhi syarat untuk absorbansi fotoreaksi. Hal ini dikarenakan umumnya nilai absorbansi fotoreaksi kisaran 0,1-3 (Muntean *et al.*, 2005).



Gambar 4. 8 Spektrum absorbansi Vis-NIR film tipis fotoreaksi

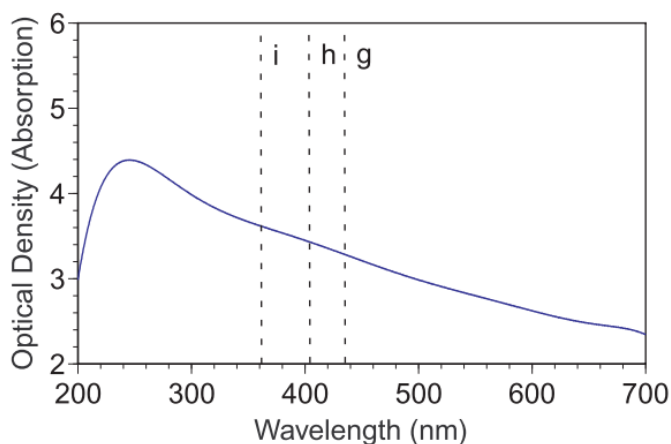
Absorbansi yang terukur dalam spektrofotometer setara dengan OD yang ditunjukkan dalam persamaan:

$$OD = \log_{10} \frac{1}{T} = -\log_{10}(T) = A \quad (4.3)$$

dimana OD adalah kerapatan optik, A adalah absorbansi dan T adalah transmitansi (Schurz *et al.*, 2000). Persamaan ini merupakan hukum Beer-Lambert tentang absorbansi cahaya.

Berdasarkan spektrum absorbansi pada Gambar 4.8 terlihat bahwa absorbansi film tipis fotoreaksi terjadi pada gelombang 347,2 - 1043,49 nm. Pada aplikasi litografi digunakan panjang gelombang 365 nm, 405 nm, dan 436 nm untuk mengetahui informasi nilai absorbansi pada garis-i (i-line), garis-h (h-line) dan garis-l (g-line). Pada aplikasi garis-i digunakan panjang gelombang 365 nm

menggunakan lampu merkuri. Pada aplikasi garis-h digunakan panjang gelombang 405 nm menggunakan lampu merkuri, dan pada aplikasi garis-g digunakan panjang gelombang 436 nm menggunakan lampu merkuri (Jipa *et al.*, 2013).



Gambar 4. 9 Absorbansi fotorexis (Schurz *et al.*, 2000)

Penelitian yang dilakukan oleh Schurz (2000) dihasilkan absorbansi fotorexis pada garis g, garis h dan garis i secara berturut-turut sebesar 3,27; 3,43; 3,63 seperti pada Gambar 4.9. Nilai absorbansi tersebut jika dibandingkan dengan nilai absorbansi fotorexis organik yang dihasilkan dalam penelitian ini memiliki nilai yang lebih rendah pada panjang gelombang garis-g, garis-h dan garis-i. Nilai absorbansi fotorexis organik dari ekstrak bunga waru pada garis-i, garis-h dan garis-g terdapat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Nilai absorbansi pada garis-i, garis-h dan garis-g

Sampel	Garis-i (365 nm)	Garis-h (405 nm)	Garis-g (436 nm)
3%	0,09232	0,12653	0.13109
5%	0,05293	0,07221	0.06666
7%	0,06401	0,11056	0.0974
9%	0,09315	0,1457	0.13676
11%	0,14597	0,31347	0.28852
13%	0,05037	0,07143	0.0686

Hasil pengujian sampel yang telah dilakukan dengan menggunakan metode Vis-NIR, kemudian dibuat grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 dengan bantuan software OriginPro 8 untuk mengetahui besarnya *band gap* dari lapisan film tipis fotoreisis organik dari bunga waru. Celah pita energi lapisan tipis dapat diperoleh melalui pengeplotan data absorpsi menggunakan persamaan transisi langsung (*direct bandgap*) seperti pada persamaan 4.4.

$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - E_g) \quad (4.4)$$

dengan α adalah koefisien absorpsi, A adalah konstanta, dan $h\nu$ adalah energi foton (eV). Koefisien absorpsi didefinisikan sebagai berikut yang ditunjukkan seperti pada persamaan 4.5.

$$\alpha = \frac{2303 A \rho}{L c} \quad (4.5)$$

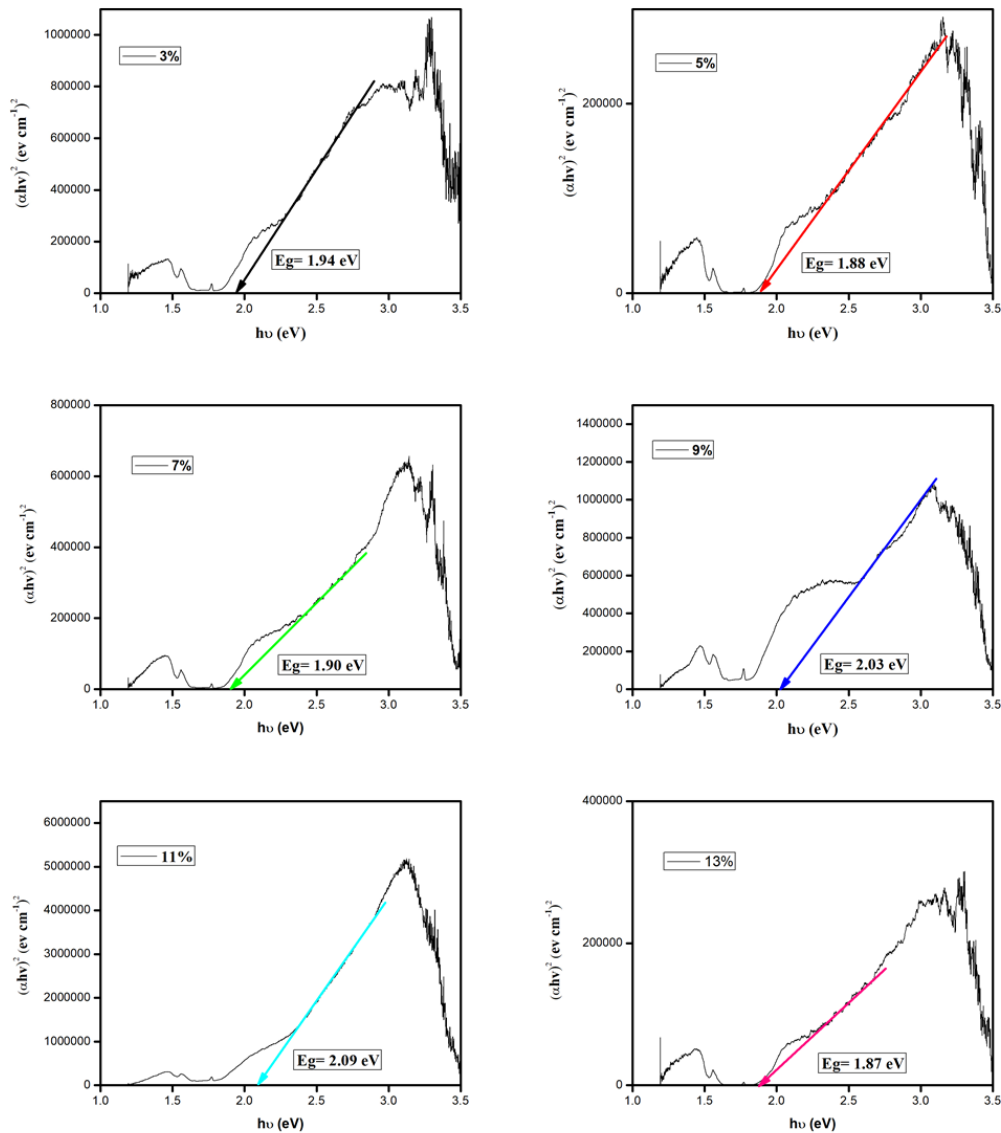
dengan A adalah konstanta, c adalah konsentrasi larutan (g L^{-1}), L adalah panjang garis edar ($L=1 \text{ cm}$). Plot $(\alpha h\nu)^2$ vs $h\nu$ dengan mengekstrapolasi bagian linier dari kurva ke garis absorpsi nol memberikan nilai celah pita energi untuk transisi langsung (Suroño & Sutanto, 2014).

$$h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (4.6)$$

Notasi $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$, $c = 3 \times 10^8 \text{ m}$, dan $\lambda = 347.2 - 1043.49 \text{ nm}$.

Penentuan band gap energi dengan metode *Touc Plot* yang dapat dilihat pada Gambar 4.10. Metode ini merupakan penarikan garis lurus antara perkalian energi serap ($h\nu$) dengan koefisien yang diserap terhadap foton ($\alpha h\nu^2$), sehingga diperoleh nilai *band gap* energi fotoreisis organik (Indriani *et al.*, 2018). Berdasarkan Gambar 4.10 diketahui nilai energi *band gap* pada fotoreisis organik dengan variasi kadar ekstrak bunga waru 3%, 5%, 7%, 9%, 11%, dan 13% masing-masing sebesar 1,937 eV, 1,883 eV, 1,904 eV, 2,026 eV, 2,094 eV, dan 1,869 eV. Maka dapat dikatakan bahwa variasi kadar ekstrak bunga waru berpengaruh terhadap energi band gap yang dihasilkan. Peningkatan nilai band gap menunjukkan bahwa film tipis fotoreisis organik adalah bahan yang cocok untuk aplikasi perangkat

mikroelektronika. Perbedaan nilai band gap ini kemungkinan dikarenakan kualitas lapisan yang dihasilkan (Surono & Sutanto, 2014). Band gap merupakan hasil interaksi konduktivitas elektron dengan inti ion kristal.



Gambar 4. 10 Penentuan band gap energi film tipis fotoresis organik dengan variasi kadar ekstrak bunga waru

4.4 Pengujian Bahan Fotoresis

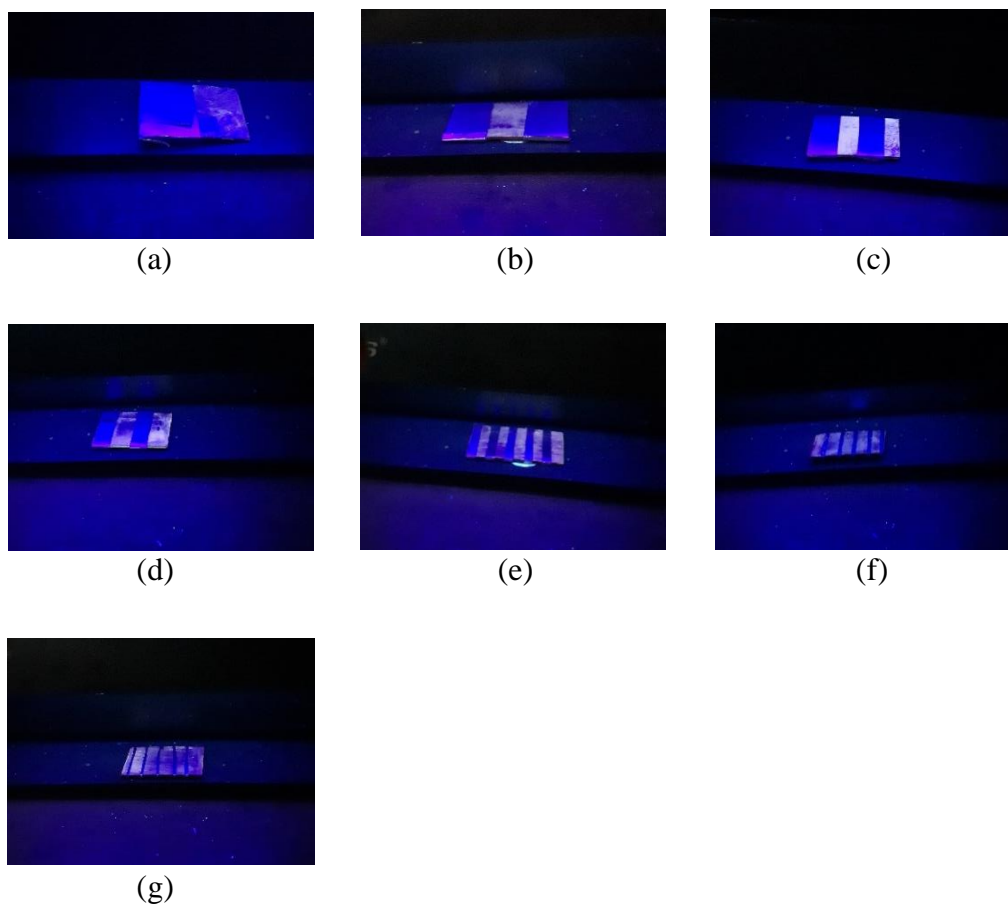
Pengujian bahan fotoresis dilakukan untuk mengetahui pengaruh paparan sinar radiasi dan nilai resolusi terhadap bahan fotoresis organik. Bahan yang digunakan yaitu cairan resist dengan kadar ekstrak bunga waru sebesar 11%. Hal ini dikarenakan sampel tersebut memiliki nilai absorbansi paling tinggi diantara sampel yang lain. Semakin tinggi absorbansi film tipis fotoresis maka semakin tinggi sensitivitas fotoresisnya (Houlihan *et al.*, 2003). Sumber radiasi yang digunakan untuk aplikasi litografi yaitu sinar UV dan sinar X (Mekaru, 2015).

4.4.1 Uji Sensitivitas dengan Sinar UV

Sinar Ultraviolet atau biasa disingkat sinar UV merupakan gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi antar 10^{15} Hz sampai 10^{16} Hz dan memiliki panjang gelombang antara 10^{-6} m sampai 10^{-8} m. Sinar UV yang digunakan dalam penelitian ini adalah UV *Light* merk KOSS. Sebelum dilakukan paparan sinar UV, film tipis fotoresis dengan substrat PCB yang sudah dilapisi larutan fotoresis menggunakan metode *spin coating* kemudian ditutupi *mask* pada permukaan substrat.

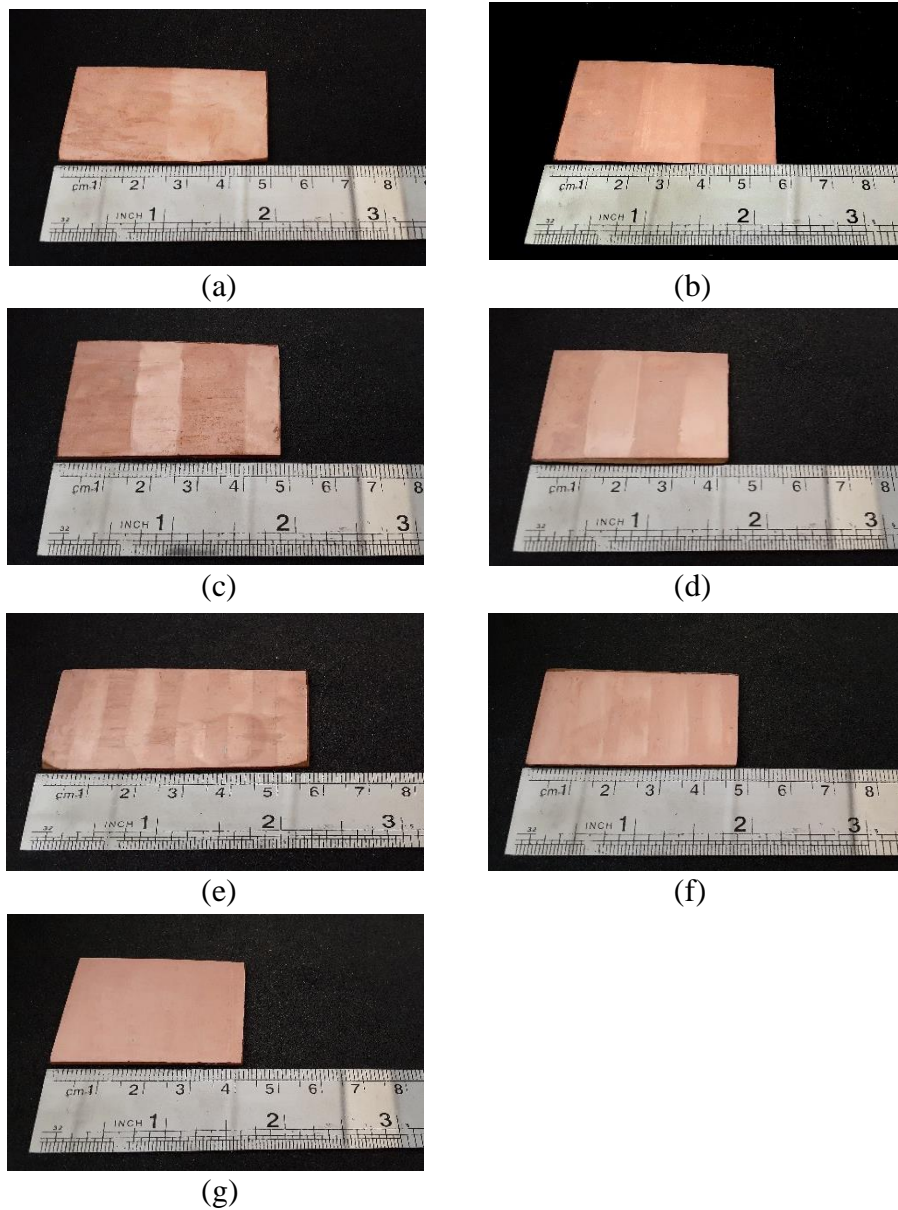
Mask yang digunakan pada sampel mempunyai ukuran yang berbeda pada setiap sampelnya yaitu 2,5 cm; 2 cm; 1,5 cm; 1 cm; 0,5 cm; 0,2 cm dan 0,1 cm. *Mask* berfungsi untuk menegaskan pola yang terbentuk dan untuk membedakan wilayah substrat yang terkena paparan sinar UV dan yang tidak terkena paparan sinar UV serta untuk mengetahui tingkat sensitif bahan terhadap sinar radiasi. Ketika cairan resist terkena paparan radiasi berenergi tinggi, seperti sinar ultraviolet (UV) dan sinar-X akan terjadi reaksi kimia pada area yang terpapar, sehingga mengakibatkan perubahan kelarutannya. Perbedaan kelarutan antara area yang terpapar dan yang tidak terpapar dapat membentuk sebuah pola dengan menggunakan larutan pengembang (Chiang & Kuo, 2002).

Ketika bahan fotoreaksi terkena paparan sinar UV, maka bahan tersebut berwarna putih mengkilap atau menyala, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.11. Hal ini membuktikan bahwa *sodium asetat 3-hydrate* ($C_2H_3NaO_5$) dan ekstrak bunga waru sebagai senyawa fotoaktif dapat bekerja dengan baik.



Gambar 4. 11 Proses paparan sinar UV dengan ukuran mask (a) 2,5 cm; (b) 2 cm; (c) 1,5 cm; (d) 1 cm; (e) 0,5 cm; (f) 0,2 cm dan (g) 0,1 cm

Gambar 4.12 merupakan pola yang dihasilkan pada masing-masing ukuran mask. Tabel 4.3 merupakan hasil pengukuran lebar pola garis pada masing-masing mask. Pada variasi ukuran mask sebesar 2,5 cm – 0,2 cm dihasilkan lebar pola garis sebesar 2,5 cm – 0,2 cm. Namun, pada variasi ukuran mask sebesar 0,1 cm tidak terbentuk pola pada sampel. Berdasarkan hasil tersebut, semakin kecil ukuran mask yang digunakan pada bahan fotorevis maka lebar pola garis yang dihasilkan semakin kecil.

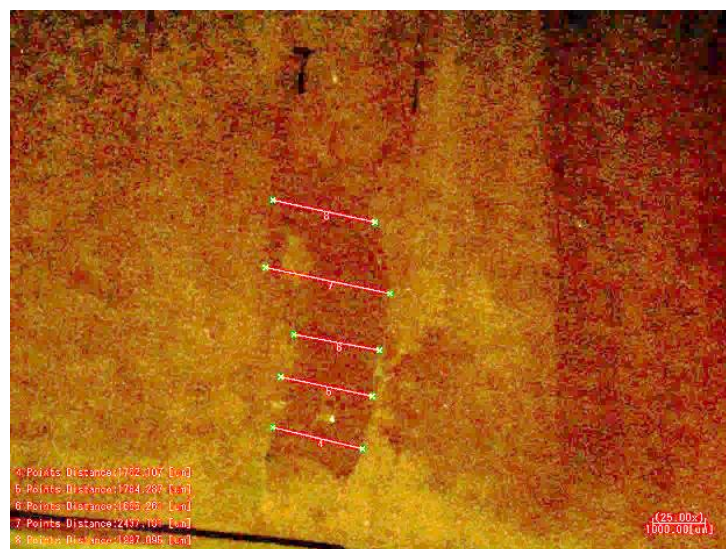


Gambar 4. 12 Pola yang dihasilkan pada sampel dengan ukuran mask (a) 2,5 cm; (b) 2 cm; (c) 1,5 cm; (d) 1 cm; (e) 0,5 cm; (f) 0,2 cm dan (g) 0,1 cm

Tabel 4. 3 Hasil pengukuran pola pada sampel

Ukuran mask (cm)	Lebar pola garis (cm)
2,5	2,5
2,0	2,0
1,5	1,5
1,0	1,0
0,5	0,5
0,2	0,2
0,1	Tidak terbentuk pola

Untuk mengetahui pola lebar garis yang dihasilkan dengan nilai keakuratan yang lebih tinggi dapat diukur dengan menggunakan Digital CCD Microscope MS-804 Scopeman. Pengukuran dilakukan sebanyak lima kali yang dapat dilihat pada Gambar 4.13 kemudian dihitung rata-ratanya. Garis ke-1 memiliki ukuran lebar pola sebesar 1762,107 μm . Garis ke-2 memiliki ukuran 1784,287 μm . Pada garis ke-3 memiliki ukuran 1665,261 μm . Garis ke-4 memiliki ukuran 2437,131 μm . Garis ke-5 memiliki ukuran 1997,095 μm . Setelah dilakukan penghitungan dihasilkan rata-rata lebar garis pola terkecil sebesar 1929,1762 $\mu\text{m} = 0,19 \text{ cm}$.

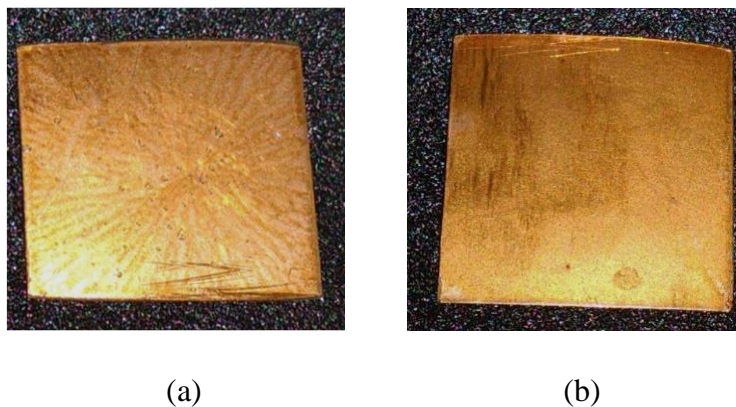


Gambar 4. 13 Hasil pengukuran lebar garis terkecil

4.4.2 Uji Sensitivitas dengan Sinar X

Saat ini, sumber cahaya yang paling bagus adalah sinar-X karena mempunyai panjang gelombang yang sangat pendek. Sumber cahaya untuk proses fotolitografi antara lain ultraviolet, pancaran elektron, laser, dan pancaran ion. Pada tahap ini dilakukan paparan sumber radiasi menggunakan sinar-X pada film tipis fotorevisi. Sinar -X dihasilkan melalui pesawat sinar-X dengan nilai tegangan sebesar 80 kV, nilai kuat arus sebesar 32 mA dan waktu paparan selama 0,125 detik (Sutikno *et al.*, 2018). Film tipis fotorevisi dengan substrat PCB sudah dilapisi larutan fotorevisi menggunakan metode *spin coating* dan *mask* pada permukaan substrat.

Hasil uji sensitivitas bahan fotorevisi terhadap paparan sinar-X dapat dilihat pada Gambar 4. 14. Pada gambar terlihat bahwa paparan sinar-X terhadap film tipis fotorevisi tidak ada perubahan yang terlihat pada bahan fotorevisi sampel maupun larutan fotorevisi (*Sigma Aldrich*). Hal ini dikarenakan Sinar X memiliki panjang gelombang yang pendek dibandingkan dengan sinar UV, kualitas radiasi (kV) yang digunakan kurang tepat, sehingga diperoleh hasil yang belum optimum.



Gambar 4. 14 Hasil uji sensitivitas terhadap paparan sinar X (a) fotorevisi dari ekstrak bunga waru dan (b) fotorevisi (*Sigma Aldrich*)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Fotoreasis organik dari ekstrak bunga waru berhasil disintesis dengan paparan sinar UV dan sinar-X. Nilai kerapatan cairan resist yang dihasilkan dalam penelitian memiliki nilai yang sama dengan cairan resist yang dijual di pasaran. Semakin rendah kandungan kadar ekstrak bunga waru pada cairan fotoreasis maka struktur mikro film tipis fotoreasis cenderung semakin homogen. Film tipis fotoreasis organik dari bunga waru memiliki nilai absorbansi yang telah memenuhi nilai standart dari fotoreasis pada umumnya. Uji sensitivitas yang telah dilakukan pada bahan fotoreasis menggunakan paparan sumber radiasi sinar UV dapat membentuk pola pada sampel, sedangkan setelah paparan sinar-X tidak dapat membentuk pola pada sampel. Rata-rata lebar pola garis terkecil yang dihasilkan sebesar 0,19 cm. Fotoreasis organik dari bunga waru dapat digunakan atau layak pakai, sehingga untuk meningkatkan fungsinya perlu adanya perbaikan metode dan material pendukung.

5.2 Saran

Pada penelitian ini dihasilkan lebar pola garis terkecil pada substrat PCB dalam skala sentimeter. Pembuatan fotoreasis organik perlu dikembangkan hingga menghasilkan lebar pola garis dalam skala mikro.

DAFTAR PUSTAKA

- Apohan, N. K., Amanoel, A., Arsu, N., & Güngör, A. 2004. "Synthesis and Characterization of UV-Curable Vinyl Ether Functionalized Urethane Oligomers." *Progress in Organic Coatings* 49(1):23–32.
- Armanzah, R. S. & Hendrawati, T. Y. 2016. "Pengaruh Waktu Maserasi Zat Antosianin Sebagai Pewarna Alami Dari Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea Batatas* L. Poir)." *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi* (2460 – 841):1–10.
- Aziz, N. 2014. "Fabrikasi dan Karakterisasi Bahan Resist dari Resin dan Ekstrak Kulit Manggis (*Garcinia mangostana* linn) untuk Aplikasi E-Beam Lithografi." *Skripsi*, Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Barber, R. L., Ghantasala, M. K., Divan, R., Vora, K. D., Harvey, E. C., & Mancini, D. C. 2005. "Optimisation of SU-8 Processing Parameters for Deep X-Ray Lithography." *Microsystem Technologies* 11(4–5):303–10.
- Bekiaris, N., Cervera, H., Dai, J., Kim, R., Acheta, A., Wallow, T., Kye, J., Levinson, H. J., Nowak, T., & Yu, J. 2008. "A Lithographic and Process Assessment of Photoresist Stabilization for Double-Patterning Using 172-Nm Photoresist Curing." *Advances in Resist Materials and Processing Technology XXV* 6923(2008):692321.
- Bertsch, A., Lorenz, H., & Renaud, P. 1999. "3D Microfabrication by Combining Microstereolithography and Thick Resist UV Lithography." *Sensors and Actuators, A: Physical* 73(1–2):14–23.
- Bourrier, D., Dilhan, M., Ghannam, A., Ourak, L., & Granier, H. 2013. "BPN a New Thick Negative Photoresist with High Aspect Ratio for MEMS Applications." *Microsystem Technologies* 19(3):419–23.
- Brondegaard, V. J. 1973. "Contraceptive Plants Drugs." *Planta Medica* 23(2):167–72.

- Campo, A. D. & Greiner, C. 2007. "SU-8: A Photoresist for High-Aspect-Ratio and 3D Submicron Lithography." *Journal of Micromechanics and Microengineering* 17(6):81–95.
- Candeia, R. A., Souza, M. A. F., Bernardi, M. I. B., Maestrelli, S. C., Santos, I. M. G., Souza, A. G., & Longo, E. 2007. "Monoferrite BaFe₂O₄ Applied as Ceramic Pigment." *Ceramics International* 33(4):521–25.
- Caramão, E. B., Melecchi, M. I. S., Péres, V. F., Dariva, C., Abad, F. C., Zini, C. A., & Martinez, M. M. 2006. "Optimization of the Sonication Extraction Method of Hibiscus Tiliaceus L. Flowers." *Ultrasonics Sonochemistry* 13(3):242–50.
- Chae, K. H., Sun, G. J., Kang, J. K., & Kim, T. H. 2002. "A Water-Developable Negative Photoresist Based on the Photocrosslinking of N-Phenylamide Groups with Reduced Environmental Impact." *Journal of Applied Polymer Science* 86(5):1172–80.
- Chang, F. C., Lin, H. M., & Hseih, K. H. 2008. "Characterization of Negative-Type Photoresists Containing Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane Methacrylate." *Microelectronic Engineering* 85(7):1624–28.
- Chang, F. C., Lin, H. M., Wu, S. Y., Huang, P. Y., Huang, C. F., & Kuo, S. W. 2006. "Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane Containing Copolymers for Negative-Type Photoresists." *Macromolecular Rapid Communications* 27(18):1550–55.
- Cheng, T. S., Lee, H. Y., Lee, C. T., Chen, H., & Lin, H. T. 2003. "Preparing an Acrylic Ester Copolymer as an Ultrathick Negative Photo Resist." *Materials Letters* 57(29):4578–82.
- Chia, L. S., Kong, J. M., Goh, N. K., Chia, T. F., & Brouillard, R. 2003. "Analysis and Biological Activities of Anthocyanins." *Phytochemistry* 64(5):923–33.
- Chiang, W. Y. & Kuo, H. T. 2002. "Preparation of Trimethylsilyl Group Containing

- Copolymer for Negative-Type Photoresists That Enable Stripped by an Alkaline Solution.” *European Polymer Journal* 38(9):1761–68.
- Diby, A. K., Voytekunas, V. Y., & Abadie, M. J. M. 2007. “Kinetic Study of Negative Dry-Film Photoresists.” *Express Polymer Letters* 1(10):673–80.
- Ding, M., Feng, R., Wang, S. Y., Bowman, Li., Lu, Y., Qian, Y., Castranova, V., Jiang, B. H., & Shi, X. 2006. “Cyanidin-3-Glucoside, a Natural Product Derived from Blackberry, Exhibits Chemopreventive and Chemotherapeutic Activity.” *Journal of Biological Chemistry* 281(25):17359–68.
- Ehrfeld, W. & Schmidt, A. 1998. “Recent Developments in Deep X-Ray Lithography.” *Journal of Vacuum Science and Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures* 16(6):3526–34.
- Feiring, A. E., Crawford, M. K., Farnham, W. B., Feldman, J., French, R. H., Leffew, K. W., Petrov, V. A., Schadt, F. L., Wheland, R. C., & Zumsteg, F. C. 2003. “Design of Very Transparent Fluoropolymer Resists for Semiconductor Manufacture at 157 Nm.” *Journal of Fluorine Chemistry* 122(1):11–16.
- Feng, R. & Farris, R. J. 2003. “Influence of Processing Conditions on the Thermal and Mechanical Properties of SU8 Negative Photoresist Coatings.” *Journal of Micromechanics and Microengineering* 13(1):80–88.
- Hadi, U. K. & Takaoka, H. 2018. “The Biodiversity of Black Flies (Diptera: Simuliidae) in Indonesia.” *Acta Tropica* 185:133–37.
- Hambali, M., Mayasari, F., & Noermansyah, F. 2014. “Variasi Konsentrasi Solven , Dan Lama Waktu.” *Teknik Kimia* 20(2):25–35.
- Hamidah, H. & Muhtadi, A. Z. 2019. “Genetic Relationship of Hibiscus Spp. Based on DNA Bands Using RAPD Technique.” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 217(1):1–6.
- Hardeli, Zainul, R., & Isara, L. P. 2019. “Preparation of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Using Anthocyanin Color Dyes from Jengkol Shell (*Pithecellobium*

- Lobatum Benth.) by the Gallate Acid Copigmentation.” Pp. 1–8 in *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1185.
- Hempelmann, U., Volz, H. G., Auer, G., Besold, R., Bohland, T., Brandt, K., Brussaard, H., & Buxbaum, G. 2005. *Industrial Inorganic Pigments*. Third, Com. edited by Gunter Buxbaum and G. Pfaff. Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,.
- Houlihan, F. M., Nalamasu, O., & Reichmanis, E. 2003. “Retrospective of Work at Bell Laboratories on the Effect of Fluorine Substitution on the Properties of Photoacid Generators.” *Journal of Fluorine Chemistry* 122(1):47–55.
- Hsieh, Y. Z., Tsai, Y. C., Jen, H. P., & Lin, K. W. 2006. “Fabrication of Microfluidic Devices Using Dry Film Photoresist for Microchip Capillary Electrophoresis.” *Journal of Chromatography A* 1111(2):267–71.
- Hutapea, J. R., Djumidi, Sutjipto, Sugiarso, S., Soerahso, Sihotang, H., Darwanto, Sardianto, Suhadi, Waluyo, E., Suwarni, Supriyati, Mujianto, L., Sunarsih, Harsono, Syamsuhidayat, S. S., & Soediono. 2001. *Inventaris Tanaman Obat Indonesia I Jilid 2*.
- Indriani, D., Fahyuan, H. D., & Ngatijo. 2018. “Uji UV-Vis Lapisan TiO₂/ N₂ untuk Menentukan Band Gap Energy.” *Journal Online of Physics* 3(2502-2016):6-10.
- Ingrosso, C., Fakhfour, V., Striccoli, M., Agostiano, A., Voigt, A., Gruetmer, G., Curri, M. L., & Brugger, J. 2007. “An Epoxy Photoresist Modified by Luminescent Nanocrystals for the Fabrication of 3D High-Aspect-Ratio Microstructures.” *Advanced Functional Materials* 17(13):2009–17.
- Jipa, F., Zamfirescu, M., Velea, A., Popescu, M., & Dabu, R. 2013. “Femtosecond Laser Lithography in Organic and Non-Organic Materials.” *Updates in Advanced Lithography*.
- Khairurrijal, Abdullah, M., Suhendi, A., Munir, M. M., & Surachman, A. 2007. “A

- Simple Microcontroller-Based Current Electrometer Made from LOG112 and C8051F006 for Measuring Current in Metal-Oxide-Semiconductor Devices.” *Measurement Science and Technology* 18(9):3019–24.
- Khairurrijal, Darsikin, & Budiman, M. 2004. “Kapasitor MOS Dengan Dielektrik Ceria Amorf.” *Jurnal Matematika Dan Sains* 9(3):269–72.
- Lamanna, W. M., Kessel, C. R., Savu, P. M., Cheburkov, Y., Brinduse, S., Kestner, T. A., Lillquist, G. J., Parent, M. J., Moorhouse, K. S., Zhang, Y., Birznieks, G., Kruger, T., & Pallazzo, M. C. 2002. “New Ionic Photo-Acid Generators (PAGs) Incorporating Novel Perfluorinated Anions.” *Advances in Resist Technology and Processing XIX* 4690:817.
- Lee, C. K., Don, T. M., Lai, W. C., Chen, C. C., Lin, D. J., & Cheng, L. P. 2008. “Preparation and Properties of Nano-Silica Modified Negative Acrylate Photoresist.” *Thin Solid Films* 516(23):8399–8407.
- Lestario, L. N., Rahayuni, E., & Timotius, K. H. 2011. “Kandungan Antosianin Dan Identifikasi Antosianidin Dari Kulit Buah Jenitri (*Elaeocarpus Angustifolius* Blume).” *Agritech: Jurnal Fakultas Teknologi Pertanian UGM* 31(2):93–101.
- Lismawenning, D., Yulianto, A., & Sulhadi. 2013. “Aplikasi Ekstrak Daun Jati (*Tectona Grandis*) Sebagai Film Kaca Non Permanen.” *Unnes Physics Journal* 5(2):51–57.
- Liu, G., Tian, Y., & Kan, Y. 2005. “Fabrication of High-Aspect-Ratio Microstructures Using SU8 Photoresist.” *Microsystem Technologies* 11(4–5):343–46.
- Lowry, J. B. 1976. “Floral Anthocyanins of Some Malesian Hibiscus Species.” *Phytochemistry* 15(9):1395–96.
- Mack, C. A. 1998. “Modeling Solvent Effects in Optical Lithography.” *Dissertation*. (Desember):12.
- Madnasri, S., Wulandari, R. D. A., Hadi, S., Yulianti, I., Edi, S. S., & Prastiyanto,

- D. 2019. "Natural Dye of *Musa Acuminata* Bracts as Light Absorbing Sensitizer for Dye-Sensitized Solar Cell." *Materials Today: Proceedings* 13:246–51.
- Marinescu, M. R., Avram, M., Pârvulescu, C., Voitincu, C., Țucureanu, V., & Matei, A. 2018. "Considerations Regarding the Use of SU-8 Photoresist in MEMS Technique." *Romanian Association of Nonconventional Technologies* (September):10–14.
- Mekaru, H. 2015. "Performance of SU-8 Membrane Suitable for Deep X-Ray Grayscale Lithography." *Micromachines* 6(2):252–65.
- Mendes, L. A. V., Avila, L. F., Menezes, J. W., Pinho, R. R., Lima, C. R. A., Cescato, L., & Rocco, M. L. M. 2009. "Photoresists Comparative Analysis Using Soft X-Ray Synchrotron Radiation and Time-of-Flight Mass Spectrometry." *European Polymer Journal* 45(12):3347–54.
- Miyagawa, K., Naruse, K., Ohnishi, S., Yamaguchi, K., Seko, K., Numa, N., & Iwasawa, N. 2001. "Study on Thermal Crosslinking Reaction of O-Naphthoquinone Diazides and Application to Electrodeposition Positive Photoresist." *Progress in Organic Coatings* 42(1–2):20–28.
- Mortensen, A. 2006. "Carotenoids and Other Pigments as Natural Colorants *." *Pure Appl. Chem* 78(8):1477–91.
- Muntean, L., Planques, R., Kilcoyne, A. L. D., Leone, S. R., Gilles, M. K., & Hinsberg, W. D. 2005. "Chemical Mapping of Polymer Photoresists by Scanning Transmission X-Ray Microscopy." *Journal of Vacuum Science and Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures* 23(4):1630–36.
- Nakayama, O., Fukumoto, T., Tachibana, M., Sato, J., Kitayama, M., & Kajiyashiki, T. 2008. "Synthesis and Evaluation of Novel Resist Monomers and Copolymers for ArF Lithography: Part II." *Advances in Resist Materials and Processing Technology XXV* 6923:69233F.

- Niedermann, P., Berthou, H., Zwickl, S., Schönholzer, U., Meier, K., Gantner, C., & Kapp-Schwoerer, D. 2003. "A Novel Thick Photoresist for Microsystem Technology." *Microelectronic Engineering* 67–68(2003):259–65.
- Nuryanti, S., Frantauansyah, & Hamzah, B. 2013. "Extracts of Hibiscus Tiliaceus as An Acid-Base Indicator." *Jurnal Akademika Kimia* 2(February):11–16.
- O'Neill, F. T. & Sheridan, J. T. 2002. "Photoresist Reflow Method of Microlens Production Part I: Background and Experiments." *Optik (Jena)* 113(9):391–404.
- Purnama, M. T. E., Prastiya, R. A., Fikri, F., Saputro, A. L., & Agustono, B. 2018. "Dragon Fruit Ethanol Extract Reduces Indications of White Rat Neoplasia Based On Histopathology and Cyclooxygenase-2 Inhibitors." *Jurnal Veteriner* 19(1):23.
- Putri, A. R. W. & Nisa, F. C. 2015. "Extraction Of Anthocyanin From The Sorted Red Rose (Rosa Damascene Mill) With Microwave Assisted Extraction." *Jurnal Pangan Dan Agroindustri Vol.* 3(2):701–12.
- Rahman, T. P., Sukarto, A., Rochman, N. T., & Manaf, A. 2013. "Sintesis Pigmen Besi Oksida Berbahan Baku Limbah Industri Baja (Mill Scale)." *Jurnal Fisika* 3(1):86–89.
- Reuther, F., Schuster, C., Kubenz, M., Gruetzner, G., & Fink, M. 2007. "Mr-NIL 6000: New Epoxy-Based Curing Resist for Efficient Processing in Combined Thermal and UV Nanoimprint Lithography." *Proc. of SPIE* 6517:65172B.
- Samsudin, A. M. & Khoiruddin. 2009. "Ekstraksi , Filtrasi Membran Dan Uji Stabilitas Zat." 672:1–8.
- Schurz, D., Flack, W. W., & Nakamura, M. 2000. "High Optical Density Photomasks for Large Exposure Applications." P. 869 in *20th Annual BACUS Symposium on Photomask Technology*. Vol. 4186.
- Schuster, Christine, Reuther, Freimut, Kolander, Anett, & Gruetzner, Gabi. 2009.

“Mr-NIL 6000LT - Epoxy-Based Curing Resist for Combined Thermal and UV Nanoimprint Lithography below 50 °C.” *Microelectronic Engineering* 86(4–6):722–25.

Sharma, M., Naik, A. A., Raghunathan, P., & Eswaran, S. V. 2012. “Evaluation of Microlithographic Performance of ‘deep UV’ Resists: Synthesis, and 2D NMR Studies on Alternating ‘High Ortho’ Novolak Resins.” *Journal of Chemical Sciences* 124(2):395–401.

Song, B. K., An, E. S., Park, S. Y., Lee, J. O., Kim, Y. H., & Kim, J. H. 2007. “Polymerization of Bisphenol a Using *Coprinus Cinereus* Peroxidase (CiP) and Its Application as a Photoresist Resin.” *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic* 44(3–4):149–54.

Surono, A.T., & Sutanto, H. 2014. “Sifat Optik Zinc Oxide (ZnO) yang dideposisi di atas Substrat Kaca menggunakan Metode Chemical Solution Deposition dan Aplikasinya untuk Degradasi Zat Warna Methylene Blue.” *Youngster Physics Journal* 2(2303-7371): 7-14.

Sutikno, Afrian, N., & Putra, N. M. D. 2015. “Karakterisasi Prototipe Sel Surya Organik Berbahan Dasar Ekstrak Bawang Merah Yang Difabrikasi Dengan Metode Spincoating.” *Unnes Physics Journal* 5(2):27–31.

Sutikno, Dharmaputera, N. M., & Rahayu, S. 2014. “Fabrication and Characterization of Banana Flower Extract Anthocyanin-Based Organic Solar Cell.” *Journal of Advanced Agricultural Technologies* 1(2):89–93.

Sutikno, Nurdiana, E., & Sugianto. 2013. “Sintesis Bahan Resist Dari Epoxy Untuk Aplikasi Fotolitografi.” *Seminar Nasional Fisika Dan Pendidikan Fisika* 2(1):200–208.

Sutikno, Susilo, & Raharja, H. D. 2018. “Photoresist: Fabrication, Characterization and Its Sensitivity on the Exposures of X-Ray and Ultraviolet Related Content Photoresist: Fabrication, Characterization and Its Sensitivity on the Exposures of X-Ray and Ultraviolet.” *IOP Conference Series: Materials Science and*

Engineering PAPER 367(012022):1–8.

Sutikno, Yulianti, I., & Saputra, D. S. 2017. “An Investigation of PH Effects on the Properties of the Fabricated Banana Flower Extracts-Based Organic Solar Cell.” *Oriental Journal of Chemistry* 33(1):318–23.

Suwa, M., Kajita, T., & Iwanaga, S. I. 1996. “Effect of Additives in Arf Single Layer Chemical Amplification Photoresist.” *Journal of Photopolymer Science and Technology* 9(3):489–96.

Suwandi & Hendrati, R. L. 2014. *Perbanyakan Vegetatif Dan Penanaman Waru (Hibiscus Tiliaceus) Untuk Kerajinan Dan Obat*. edited by M. A. S. Prof. Dr. Ir. Mohammad Na’iem, M. Dr. Ir. Mahfudz, and I. S. B. Prabawa. Jakarta: IPB Press.

Tanaka, Y., Sasaki, N., & Ohmiya, A. 2008. “Biosynthesis of Plant Pigments: Anthocyanins, Betalains and Carotenoids.” *Plant Journal* 54(4):733–49.

Vlnieska, V., Zakharova, M., Börner, M., Bade, K., Mohr, J., & Kunka, D. 2018. “Chemical and Molecular Variations in Commercial Epoxide Photoresists for X-Ray Lithography.” *Applied Sciences (Switzerland)* 8(4):1–16.

Wang, C. J. 2006. “Hibiscus Anthocyanins for Inhibiting Cancers.” *Patent Application Publication US* 2006027.

Widodo, S. & Sudrajad, N. 2014. “ITM-31 : Proses Photolithography Dalam Fabrikasi Divais Semikonduktor.” *Prosiding Seminar Nasional FIisika (e-Journal)* 3:306–16.

Williams, G. L., Wallhead, I., Sarojinamma, V. een., Ivey, P. A., & Seed, N. L. 2004. “The Patterning of Fine-Pitch Electrical Interconnections on Non-Planar Substrates: A Comparison between Methods Utilising Laser Ablation and Electro-Deposited Photoresist.” *Sensors and Actuators, A: Physical* 112(2–3):360–67.

Xavier, M. F., Lopes, T. J., Quadri, M. G. N., & Quadri, M. B. 2008. “Extraction

of Red Cabbage Anthocyanins: Optimization of the Operation Conditions of the Column Process.” *Brazilian Archives of Biology and Technology* 51(1):143–52.


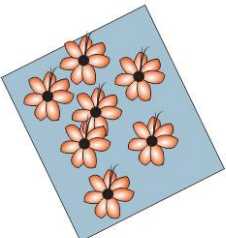
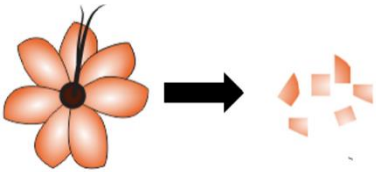
Xiao, Y. ..., Li, X., Ouyang, X., Wang, Y., Li, Y., Chen, Z., Zhao, J., Ding, L., Pei, Y., Wang, C., He, L., & Zhang, Z. 2019. “Over-Expression of the Red Plant Gene R1 Enhances Anthocyanin Production and Resistance to Bollworm and Spider Mite in Cotton.” *Molecular Genetics and Genomics* 0(0):0.

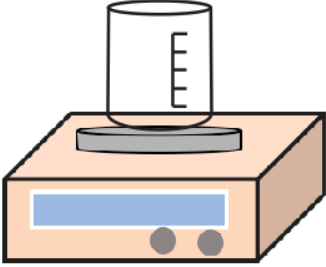
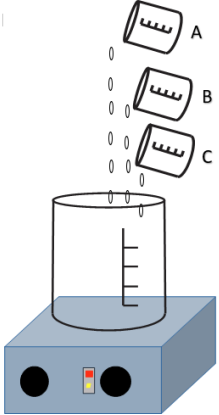
Yang, R., Soper, S. A., & Wang, W. 2007. “A New UV Lithography Photoresist Based on Composite of EPON Resins 165 and 154 for Fabrication of High-Aspect-Ratio Microstructures.” *Sensors and Actuators, A: Physical* 135(2):625–36.


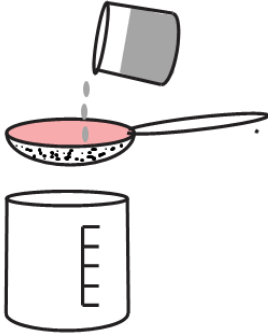
Yudiono, K. 2011. “Ekstraksi Antosianin Dari Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea Batatas* Cv. Ayamurasaki) Dengan Teknik Ekstraksi Subcritical Water.” *Jurnal Teknologi Pangan* 2(1):1–30.

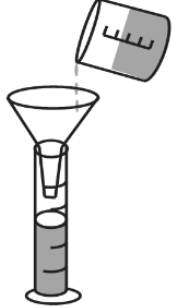
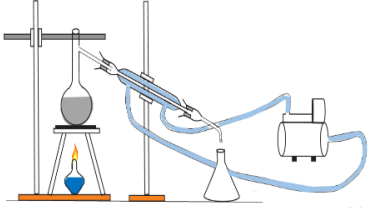
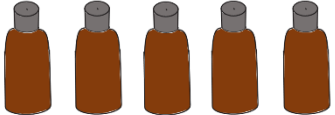
Lampiran 1. Run card penelitian



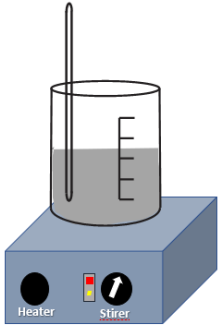
1. Ekstraksi Bunga Waru

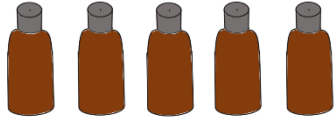


No	Tahapan	Gambar	Alat	Bahan	Variabel	Metode
1	Pencucian bunga waru		<ul style="list-style-type: none"> • Tumpo plastik • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Air • Bunga waru 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pencucian (t=1 min) 	Pembersihan konvensional
2	Pengeringan bunga waru		<ul style="list-style-type: none"> • Nampan 	<ul style="list-style-type: none"> • Bunga waru • Tissue 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pengeringan (t = 10 min) 	Pengeringan
3	Pemotongan bunga waru		<ul style="list-style-type: none"> • Pisau • Tatakan 	<ul style="list-style-type: none"> • Bunga waru 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran potongan bunga (1 cm x 1 cm) 	Pemotongan

4	Penimbangan bahan		<ul style="list-style-type: none"> • Gelas beker 150 ml • Timbangan digital 	<ul style="list-style-type: none"> • Bunga waru • Aquades • Etanol • Asam asetat 	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah bunga waru (3,18 g; 6,53 g; 10,05 g; 13,78 g; 17,71 g; 21,88 g) • Jumlah bahan pelarut Etanol = 100 g Aquades = 20 g Asam asetat = 4 g 	Penimbangan
5	Pencampuran ketiga pelarut ekstraksi		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Heated magnetic stirrer</i> • Gelas beker 500 ml • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Aquades (A) • Etanol (B) • Asam asetat (C) 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pengadukan (t = 2 min) • Kecepatan pengadukan (2000 rpm) • Jumlah pelarut Etanol = 100 g Aquades = 20 g Asam asetat = 4 g 	Pencampuran dengan pengadukan dan pemanasan



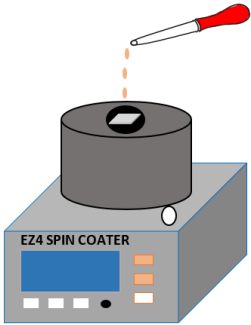
6	Pencampuran pelarut dan potongan bunga waru		<ul style="list-style-type: none"> • Blender • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Pelarut • Bunga waru 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu penghancuran (t = 1 min) • Jumlah pelarut (124 g) • Jumlah bunga waru (3,18 g; 6,53 g; 10,05 g; 13,78 g; 17,71 g; 21,88 g) 	Blending (penghancuran) $X = \frac{a}{a + b}$ dimana; X= fraksi massa a= jumlah massa bunga waru (g) b=jumlah volume pelarut (g)
7	Penyaringan pertama ekstrak bunga waru		<ul style="list-style-type: none"> • Gelas beker • Layar penyaring (<i>screen filter</i>) ukuran T54 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekstrak bunga waru 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran penyaring (T54) 	Pemisahan

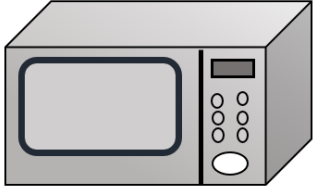

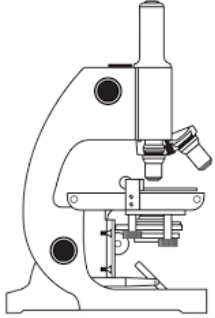
8	Penyaringan kedua ekstrak bunga waru		<ul style="list-style-type: none"> • Gelas ukur 100 ml • Corong kaca • Spatula • Kertas saring 58cmx58 cm ex jepang Gade kasar 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekstrak bunga waru 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran kertas saring (ex Jepang gade) 	Pemisahan
9	Proses penyulingan ekstrak bunga waru		<ul style="list-style-type: none"> • Alat destilasi • Spirtus • Pompa air • Ember 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekstrak bunga waru 	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah volume (vool = $\pm 130\text{ ml}$) • Lama proses destilasi (t = 360 min) • Suhu (T = 79°C - 89°C) 	Destilasi (pemisahan)
10	Penyimpanan ekstrak bunga waru		<ul style="list-style-type: none"> • Botol gelap 150 ml • Alumunium foil 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekstrak bunga waru (sampel) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran botol gelap 150 ml • Suhu penyimpanan (T = 27°C) 	Penyimpanan


11	Persiapan sampel uji absorbansi		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Spectrometer ocean optic Vis-NIR USB 4000</i> • Kuvet kaca 2,5 ml 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekstrak bunga waru 	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah sampel (variasi fraksi massa : 0.025; 0.05; 0.075; 0,100 ; 0.125; 0.150) • Jumlah volume (± 3 ml) 	Persiapan sampel
12	Karakterisasi absorbansi ekstrak bunga waru		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Spectrometer ocean optic Vis-NIR USB 4000</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekstrak bunga waru 	<ul style="list-style-type: none"> • Panjang gelombang (350-1050 nm) 	Pengujian
13	Proses pengentalan ekstrak bunga waru		<ul style="list-style-type: none"> • Gelas ukur 250 ml • Termometer • <i>Heated magnetic stirrer</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekstrak bunga waru 	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu pengadukan ($T = 76^{\circ}\text{C} - 81^{\circ}\text{C}$) • Waktu pengadukan ($t = 15$ min) • Kecepatan pengadukan ($N = 1400$ rpm) 	Pengadukan

14	Penyimpanan hasil pengadukan		<ul style="list-style-type: none"> • Botol tetes • Alumunium foil 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekstrak bunga waru 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran botol gelap 60 ml • Suhu penyimpanan ($T = 27^{\circ}\text{C}$) 	Penyimpanan
15	Persiapan sampel uji transmitansi		<ul style="list-style-type: none"> • Botol tetes 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekstrak bunga waru (yang sudah kental) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran botol tetes 30 ml • Suhu penyimpanan ($T = 27^{\circ}\text{C}$) 	Persiapan
16	Karakterisasi transmitansi ekstrak bunga waru		<ul style="list-style-type: none"> • Fourier Transform Infra Red (FTIR) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekstrak bunga waru • Pellet KBr 	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah sampel (variasi fraksi massa : 0.025; 0.05; 0.075; 0,100 ; 0.125; 0.150) • Jumlah tetes (satu tetes) 	Pengujian

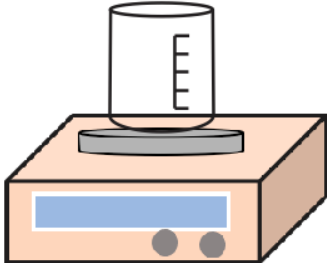
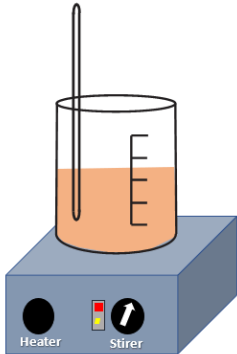
2. Pembuatan film tipis ekstrak bunga waru

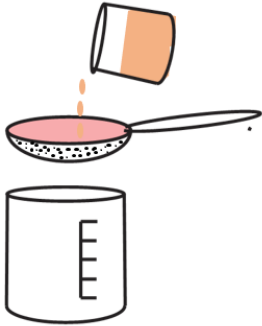
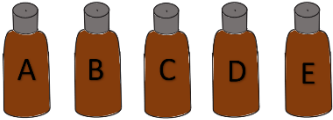
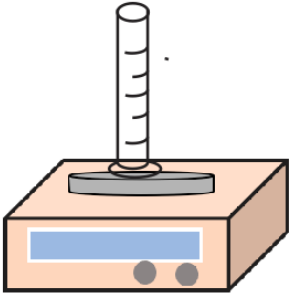
No	Tahapan	Gambar	Alat	Bahan	Variabel	Metode
1	Pemotongan substrat		<ul style="list-style-type: none"> • Peggaris • Scriber pen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kaca preparat 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran substrat kaca (1 cm x 1,25 cm) 	Pemotongan
2	Pencucian dan pengeringan substrat		<ul style="list-style-type: none"> • Cawan petri • Ultrasonic bath 	<ul style="list-style-type: none"> • Kaca preparat • Aseton • Etanol 96% • DI water • Nitrogen 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pembersihan (t = 30 min) • Waktu pengeringan (t = 10 min) 	Pembersihan dan pengeringan
3	Proses spin coating		<ul style="list-style-type: none"> • Spin coater • Spatula • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Substrat • Ekstrak bunga waru 	<ul style="list-style-type: none"> • Lama coating (t = 30 det) • Arus (I = 3,1 A) 	Spin coating


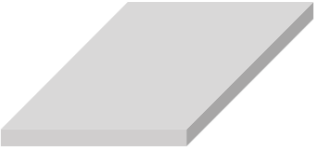
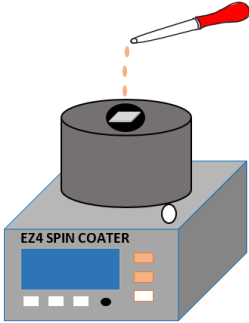
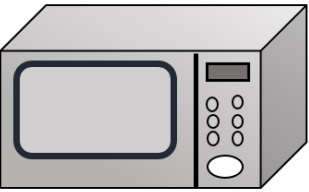
4	Proses <i>pre-bake</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Oven • Cawan penguap • Pinset 	<ul style="list-style-type: none"> • Substrat hasil spin coating 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pemanasan (t = 10 min) • Suhu pemanasan (T = 250°C) 	Pengeringan
5	Hasil sampel		<ul style="list-style-type: none"> • Pinset • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Film tipis ekstrak bunga waru • Kertas obat 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pendinginan (t = 1-2 min) 	Pendinginan
6	Karakterisasi struktur permukaan film		<ul style="list-style-type: none"> • Mikroskop CCD 	<ul style="list-style-type: none"> • Film tipis ekstrak bunga waru 	<ul style="list-style-type: none"> • Perbesaran mikroskop: 400x, 800x, 1500x dan 2400x. 	Pengamatan


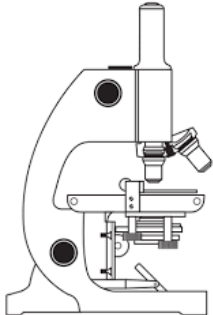

7	Karakterisasi sifat listrik film tipis photoresist		<ul style="list-style-type: none"> • I-V Meter Elkahfi 100 	<ul style="list-style-type: none"> • Film tipis ekstrak bunga waru 	<ul style="list-style-type: none"> • Tegangan (0 V sampai 5V) 	Pengujian
---	--	--	---	---	--	-----------

3. Pembuatan Resis dan Film Tipis Fotoresis

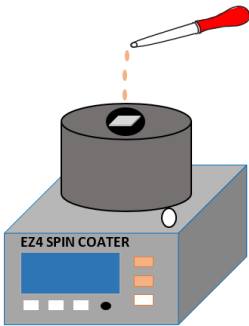
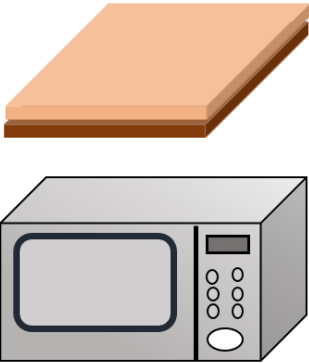
No	Tahapan	Gambar	Alat	Bahan	Variabel	Metode
1	Penimbangan bahan		<ul style="list-style-type: none"> Gelas beker 100 ml Neraca digital 	<ul style="list-style-type: none"> Resin epoxy Sodium asetat 3-hydrate Ekstrak bunga waru etanol 	<ul style="list-style-type: none"> Ukuran bahan Etanol = 10 g Resin epoxy = 20 g Sodium asetat trihydrate = 4,73 g; 4 g; 3,23 g; 2,42 g; 1,58 g; 0,70 g Ekstrak bunga waru = 1,05 g; 1,78 g; 2,55 g; 3,36 g; 4,20 g; 5,08 g 	Penimbangan
2	Pengadukan bahan		<ul style="list-style-type: none"> <i>Heated magnetic stirrer</i> Termometer Gelas ukur 100 ml Spatula 	<ul style="list-style-type: none"> Sodium asetat 3-hydrate Ekstrak bunga waru Resin epoxy Etanol 	<ul style="list-style-type: none"> Waktu pengadukan (t = 15 min) Kecepatan pengadukan (N = 1500 rpm) Suhu pengadukan (T = 75°C) 	Pengadukan dan pemanasan

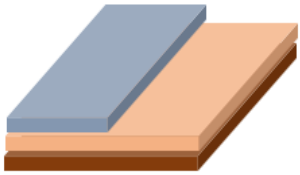
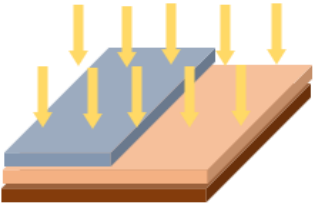
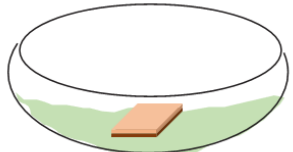
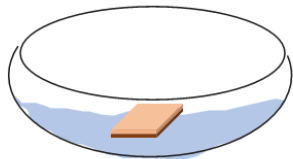
3	Penyaringan hasil proses pengadukan		<ul style="list-style-type: none"> • Gelas ukur 125 ml • Layar penyaring (<i>screen filter</i>) ukuran T54 	<ul style="list-style-type: none"> • Larutan hasil pengadukan 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran penyaring (T54) 	Pemisahan
4	Penyimpanan cairan resist		<ul style="list-style-type: none"> • Botol gelap • Aluminium foil 	<ul style="list-style-type: none"> • Resist 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran botol (vol = 60 ml) • suhu penyimpanan (T = 27°C) 	Penyimpanan
5	Karakterisasi kerapatan cairan resist		<ul style="list-style-type: none"> • Neraca ohaus scout pro • Gelas ukur 5 ml 	<ul style="list-style-type: none"> • Resist 	<ul style="list-style-type: none"> • Volume resist (1 ml) • Massa resist 	Pengujian dengan menggunakan persamaan : $\rho = \frac{m}{v}$

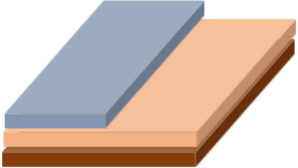
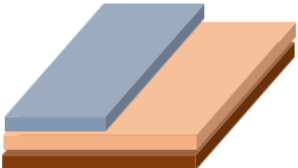
6	Pemotongan substrat		<ul style="list-style-type: none"> • Penggaris • Scriber pen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kaca preparat 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran substrat kaca • (1 cm x 1 cm) 	Pemotongan
7	Pencucian dan pengeringan substrat		<ul style="list-style-type: none"> • Cawan petri • Ultrasonic bath 	<ul style="list-style-type: none"> • Kaca preparat • Aseton • Etanol 96% • DI water • Nitrogen 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pembersihan (t = 30 min) • Waktu pengeringan (t = 15 min) 	Pembersihan dan pengeringan
8	Proses spin coating		<ul style="list-style-type: none"> • Spin coater • Spatula • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Substrat kaca • Resist 	<ul style="list-style-type: none"> • Lama spin (t = 1 min) • Arus (I = 10 A) 	Spin coating
9	Proses <i>pre-bake</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Oven • Cawan penguap • Pinset 	<ul style="list-style-type: none"> • Substrat hasil spin coating 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pemanasan (t = 15 min) • Suhu pemanasan (T = 200°C) 	Pengeringan

10	Hasil sampel		<ul style="list-style-type: none"> • Pinset • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Film tipis fotoreซิส • Kertas obat 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pendinginan (t = 1-2 min) 	Pendinginan
11	Karakterisasi struktur permukaan film		<ul style="list-style-type: none"> • Mikroskop CCD 	<ul style="list-style-type: none"> • Film tipis fotoreซิส 	<ul style="list-style-type: none"> • Perbesaran mikroskop: 400x, 800x, 1500x dan 2400x. 	Pengamatan
12	Karakterisasi absorbansi film tipis photoresist		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Spectrometer ocean optic</i> Vis-NIR USB 4000 	<ul style="list-style-type: none"> • Film tipis fotoreซิส 	<ul style="list-style-type: none"> • Panjang gelombang (350-1050 nm) 	Pengujian

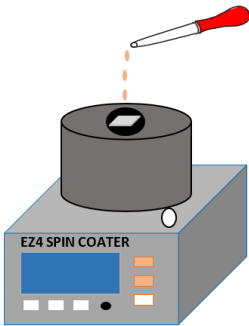
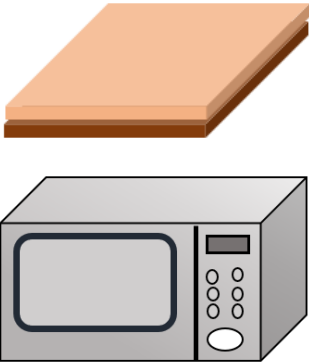
4. Pengujian paparan sinar ultraviolet (UV)

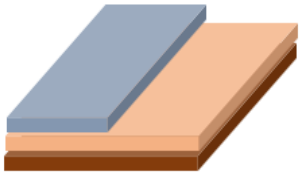
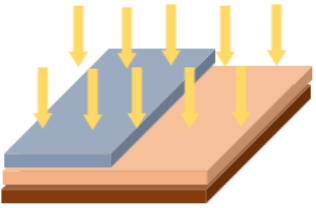
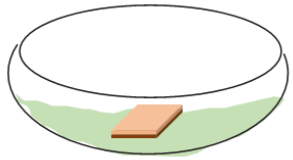
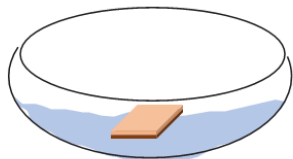
No	Tahapan	Gambar	Alat	Bahan	Variabel	Metode
1	Pelapisan substrat dengan resist		<ul style="list-style-type: none"> • Gelas ukur • Pinset • Spin coater • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • PCB • Cairan resist 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran PCB (2 cm x 2 cm) • Lama spin (t = 1 min) • Arus (I = 10 A) 	Spin coating
2	Pengeringan		<ul style="list-style-type: none"> • Oven • Cawan penguap • Pinset 	<ul style="list-style-type: none"> • Substrat hasil spin coating 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pemanasan (t = 15 min) • Suhu pemanasan (T = 200°C) 	Pengeringan/ Proses Pre-bake

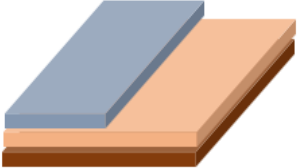
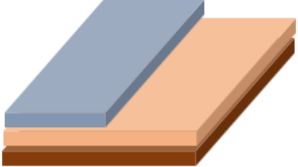
3	Pelapisan mask		<ul style="list-style-type: none"> • Gunting 	<ul style="list-style-type: none"> • Film hasil penyusunan • Alumunium offset 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran alumunium offset (lebar mask = 2,5 cm; 2 cm; 1,5 cm; 1 cm; 0,5 cm; 0,2 cm; 0,1 cm) 	Pelapisan
4	Uji paparan sumber radiasi		<ul style="list-style-type: none"> • UV light • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Film tipis fotoreซิส 	<ul style="list-style-type: none"> • Sinar radiasi (sinar UV) • Lama paparan sinar UV (t = 5 min) 	Pengujian
5	Penambahan larutan pengembang		<ul style="list-style-type: none"> • Mangkok plastic • Gelas ukur • Pinset • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Larutan <i>developer</i> • Film tipis fotoreซิส 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pelarutan (t = 5 min) 	Pelarutan
6	Penghentian proses pengembangan		<ul style="list-style-type: none"> • Mangkok plastic • Pinset • Gelas ukur • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Air • Film tipis fotoreซิส 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu perendaman (t = 3 min) 	Perendaman

7	Pengeringan sampel film fotorevisi		<ul style="list-style-type: none"> • Pinset • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Film tipis fotorevisi 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pengeringan ($t = 3 \text{ min}$) 	Pengeringan
8	Karakterisasi pengukuran resolusi		<ul style="list-style-type: none"> • Penggaris 	<ul style="list-style-type: none"> • Film tipis fotorevisi 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran mask 	Pengukuran

5. Pengujian paparan sinar X

No	Tahapan	Gambar	Alat	Bahan	Variabel	Metode
1	Pelapisan substrat dengan resist		<ul style="list-style-type: none"> • Gelas ukur • Pinset • Spin coater • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • PCB • Cairan resist 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran PCB (2 cm x 2 cm) • Lama spin (t = 1 min) • Arus (I = 10 A) 	Spin coating
2	Pengeringan		<ul style="list-style-type: none"> • Oven • Cawan penguap • Pinset 	<ul style="list-style-type: none"> • Substrat hasil spin coating 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pemanasan (t = 15 min) • Suhu pemanasan (T = 200°C) 	Pengeringan/ Proses Pre-bake

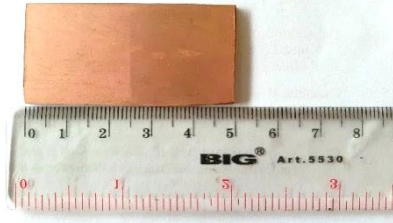
3	Pelapisan mask		<ul style="list-style-type: none"> • Gunting 	<ul style="list-style-type: none"> • Film hasil penyusunan • Alumunium offset 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran alumunium offset (lebar mask 2,5 cm) 	Pelapisan
4	Uji paparan sumber radiasi		<ul style="list-style-type: none"> • Pesawat sinar-X • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Film tipis fotoreซิส 	<ul style="list-style-type: none"> • Sinar radiasi (Sinar X) • Lama paparan sinar X (t = 0,125 st) 	Pengujian
5	Penambahan larutan pengembang		<ul style="list-style-type: none"> • Mangkok plastic • Gelas ukur • Pinset • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Larutan <i>developer</i> • Film tipis fotoreซิส 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pelarutan (t = 5 min) 	Pelarutan
6	Penghentian proses pengembangan		<ul style="list-style-type: none"> • Mangkok plastic • Pinset • Gelas ukur • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Air • Film tipis fotoreซิส 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu perendaman (t = 3 min) 	Perendaman

7	Pengeringan sampel		<ul style="list-style-type: none"> • Pinset • Stopwatch 	<ul style="list-style-type: none"> • Film tipis fotoresis 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pengeringan (t = 3 min) 	Pengeringan
8	Karakterisasi pengukuran resolusi		<ul style="list-style-type: none"> • Penggaris 	Film tipis fotoresis	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran mask 	Pengukuran

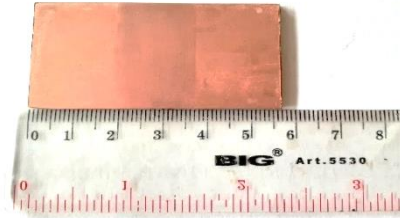
Lampiran 2. Data pengukuran nilai kerapatan cairan resist

Sampel	Volume (ml)	Massa (g)	Massa jenis (g/ml)	Massa jenis rata-rata (g/ml)
3%	1	1,05 1,05 1,04	1,05 1,05 1,04	1,0467
5%	1	1,06 1,05 1,07	1,06 1,05 1,07	1,0600
7%	1	1,07 1,07 1,09	1,07 1,07 1,09	1,0767
9%	1	1,08 1,10 1,11	1,08 1,10 1,11	1,0967
11%	1	1,08 1,11 1,12	1,08 1,11 1,12	1,1033
13%	1	1,11 1,09 1,13	1,11 1,09 1,13	1,1100

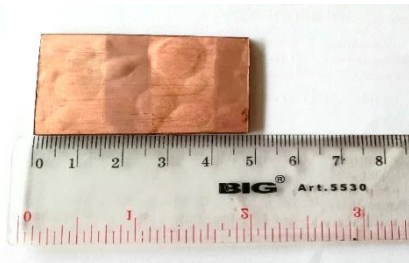
Lampiran 3. Pola yang dihasilkan pada sampel dengan variasi ukuran mask



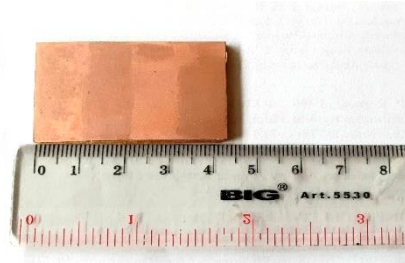
2,5 cm



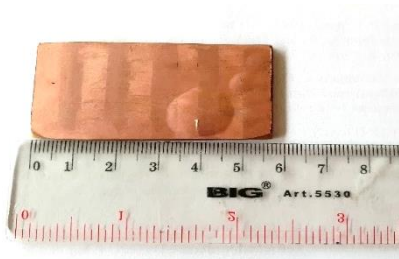
2 cm



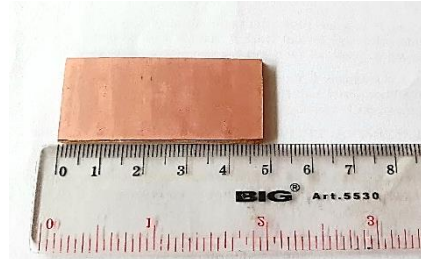
1,5 cm



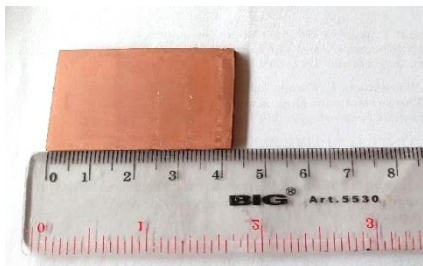
1 cm



0,5 cm



0,2 cm



0,1 cm

Lampiran 4. Dokumentasi kegiatan penelitian



Proses ekstraksi bunga waru



Proses karakterisasi



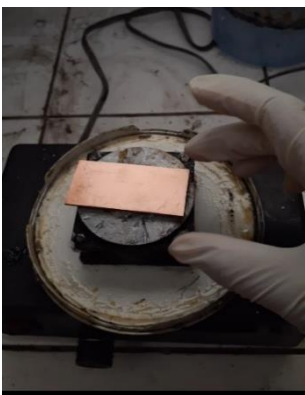
Pengentalan ekstrak



Penghalusan PCB



Penyaringan ekstrak



Spin coating



Pemotongan substrat PCB