



**PHOTORESIST: FABRIKASI, KARAKTERISASI
DAN SENSITIVITASNYA PAPARAN SINAR
*ULTRAVIOLET DAN SINAR-X***

skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat

untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Fisika

UNNES
oleh
Hanendya Disha Randy Raharja
4211511015
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2017**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul "Photoresist: Fabrikasi, Karakterisasi dan Sensitivitasnya Terhadap Paparan Sinar Ultraviolet dan Sinar-X" telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 29 Mei 2017

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Susilo, M.S.

NIP. 19520801 197603 1 006

Pembimbing Pendamping



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

NIP. 19741120 199903 1 003

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul: "*Photoresist: Fabrikasi, Karakterisasi dan Sensitivitasnya Terhadap Paparan Sinar Ultraviolet dan Sinar-X*" dan seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri, bebas plagiat dan apabila kemudian hari saya terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

Semarang, 2 Juni 2017

BAHASA
INDONESIA

FORMAT
STANDAR

KODE ETIK
PUBLIKASI

6000

Hanendya Disha Randy Raharja

4211411015

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul: "*Photoresist: Fabrikasi, Karakterisasi dan Sensitivitasnya Terhadap Paparan Sinar Ultraviolet dan Sinar-X*"

Disusun oleh

nama : Hanendya Disha Randy Raharja

NIM : 42111411015

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA Universitas Negeri Semarang pada tanggal 2 Juni 2017.

Panitia:



Ketua

Prof.Dr. Zaenuri M., S.E., M.Si., Akt.

NIP. 19641223 198803 1 001

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.

NIP. 19680714 199603 1 005

Pengaji Utama

Dr. Putut Marwoto M.S.

NIP. 19630821 198803 1 004

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Anggota Pengaji

Prof. Dr. Susilo, M.S.

NIP. 19520801 197603 1 006

Anggota Pengaji



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

NIP. 19741120 199903 1 003

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Kata tak pernah berhenti di suatu titik konstan, kata akan terus bergerak memberi inspirasi

- Hidup adalah soal keberanian, menghadapi yang tanda tanya, tanpa kita mengerti tanpa kita bisa menawar. Terimalah dan hadapilah (*Soe Hok Gie*)
- Hidup yang tidak diperjuangkan tidak akan pernah dapat dimenangkan (*Sutan Sjahrir*)
- Seribu orang tua hanya bisa bermimpi, satu orang pemuda bisa mengubah dunia (*Soekarno*)
- Hidup itu seperti naik sepeda, agar bisa seimbang kau harus terus bergerak (*Albert Einstein*)
- Bergerak atau tergantikan, bergerak berarti dia hidup, diam berarti dia mati (*Hanendya*)

PERSEMBAHAN

Skripsi ini adalah hasil dari sebuah perjuangan, dan saya persembahkan kepada :

- ✓ Alm.Bapak, Ibu, Kakakku dan Adikku
- ✓ Sahabat Jurusan Fisika 2011
- ✓ Keluarga Mahasiswa Jurusan Fisika UNNES 2012
- ✓ Keluarga BEM FMIPA UNNES 2013
- ✓ Keluarga BEM KM UNNES 2012,2014 dan 2015
- ✓ Keluarga Mahasiswa Banyumas UNNES
- ✓ Kawan seperjuangan
- ✓ Kamu yang menemani hidupku kelak
- ✓ Pembaca skripsi ini

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Selama menyusun skripsi ini, penulis telah banyak menerima bantuan, kerjasama, dan sumbangana pikiran dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Zaenuri, S.E, M.Si., Akt., Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Suahrto Linuwih, M.Si., Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang.
4. Prof. Dr. Susilo, M.S., Dosen pembimbing yang telah sabar dalam membimbing, memberi masukan, saran, dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
5. Prof. Dr. Sutikno, S.T, M.T., Dosen pembimbing yang senantiasa meluangkan waktu dalam membimbing dan memberi arahan selama penyusunan skripsi ini.
6. Dr. Putut Marwoto, M.S., selaku pengaji yang telah memberikan masukan yang sangat bermanfaat bagi penulis.
7. Seluruh dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan ilmu kepada penulis selama menempuh studi.
8. Seluruh civitas akademika Universitas Negeri Semarang yang telah menjadi kawan untuk bertukar pikiran dan gagasan.

9. Alm. Bapak, Ibu, Adik dan orang-orang yang menyayangiku yang telah memberikan dukungan dan motivasi serta hangatnya cinta sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
10. Keluarga besar Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang 2011, terima kasih atas bantuan dan kebersamaannya.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu kritik, saran dan masukan sangat penulis harapkan demi perbaikan penulisan karya selanjutnya. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca demi kebaikan di masa mendatang. Bagi penulis skripsi yang baik adalah skripsi yang selesai, namun skripsi yang paling baik adalah skripsi yang bermanfaat.

Semarang, 26 Mei 2017



ABSTRAK

Raharja Hanendya Disha Randy. 2017. *Photoresist: Fabrikasi, Karakterisasi dan Sensitivitasnya Terhadap Paparan Sinar Ultraviolet dan Sinar-X*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I Prof. Dr. Susilo, M.S., Pembimbing II Prof. Dr. Sutikno, S.T, M.T.

Kata kunci: photoresist; epoxy; karakterisasi; sensitivitas

Telah dilakukan penelitian tentang fabrikasi, karakterisasi dan uji sensitivitas bahan photoresist berbasis resin *epoxy*. Metode pembuatan photoresist dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap pembuatan larutan photoresist dan film tipis photoresist. Pembuatan photoresist dilakukan dengan mencampurkan resin *epoxy* (polimer), *sodium acetate trihydare* (PAC) dan etanol (pelarut) dengan variasi massa menggunakan *heated magnetic stirrer* dengan laju putaran 1000 rpm hingga suhu 75 °C. Sampel larutan photoresist untuk karakterisasi densitas dengan metode massa per volume dan viskositas menggunakan viskometer Ostwald. Sampel film tipis photoresist yang ditumbuhkan melalui metode *spin coating* dengan arus 5 volt selama 60 detik dan pemanasan hingga suhu 150 °C. Untuk karakterisasi struktur permukaan menggunakan *microscope CCD* MS-804, nilai absorbansi menggunakan spektrometer *ocean optic Vis-NIR USB4000* dan arus tegangan menggunakan I-V Meter Elkahfi 100. Uji sensitivitas photoresist dilakukan dengan memberikan paparan sumber radiasi sinar UV dan sinar-X terhadap bahan photoresist. Photoresist yang dihasilkan memiliki nilai densitas 1 hingga 1,23 g/ml, nilai viskositas dinamis yang dihasilkan antara 7 hingga 22 Cp dan nilai viskositas kinematis yang dihasilkan berkisar antara 7-18 Cst. Nilai absorbansi yang dihasilkan terletak pada rentang panjang gelombang 350 hingga 1050 nm dengan nilai absorbansi maksimal 0,2 sampai 0,5 pada panjang gelombang g-line, h-line dan i-line. Arus maksimum yang terbangkitkan mencapai $1,84 \times 10^{-8}$ ampere. Photoresist berbasis epoxy memiliki struktur homogen. Sensitivitas terhadap paparan sinar UV menunjukkan adanya reaksi fotokimia pada photoresist namun pada paparan sinar-X belum terjadi reaksi fotokimia sehingga photoresist berbasis *epoxy* sensitif terhadap paparan sinar UV namun belum sensitif terhadap paparan sinar-X. Pembuatan photoresist perlu dikembangkan lagi untuk memperoleh tingkat sensitivitas terhadap paparan sinar UV dan sinar-X.

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB	
1. PENDAHULUAN	1
1. 1 Latar Belakang	1
1. 2 Rumusan Masalah	7
1. 3 Batasan Masalah	7
1. 4 Tujuan Penelitian	7
1. 5 Manfaat Penelitian	8
1. 6 Sistematika Penulisan Skripsi.....	8
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2. 1 Pengertian Photoresist.....	10
2.2 Klasifikasi Photoresist	12

2.3	Komposisi Photoresist.....	15
2.4	Aplikasi Photoresist.....	18
2.5	Resin <i>Epoxy</i>	20
2.6	<i>Coating</i>	22
2.7	Interaksi Sumber Radiasi Dengan Bahan Photoresist.....	26
2.8	<i>Mask Pattern</i>	29
3.	METODE PENELITIAN.....	32
3.1	Pelaksanaan Penelitian.....	32
3.2	Alat dan Bahan.....	32
3.2.1	Alat.....	32
3.2.2	Bahan.....	33
3.3	Prosedur Penelitian.....	34
3.3.1	Alur Penelitian.....	34
3.3.2	Pembuatan Larutan Photoresist.....	35
3.3.3	Pembuatan Film Tipis Photoresist.....	37
3.3.4	Pembuatan <i>Mask</i>	38
3.3.5	Paparan Sumber Radiasi.....	39
3.3.6	Karakterisasi.....	40
3.3.7	Analisis Data.....	44
4.	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1	Pembuatan Photoresist.....	47
4.1.1	Pembuatan Larutan Photoresist.....	47
4.1.2	Pembuatan Film Tipis Photoresist.....	49
4.2	Karakterisasi Photoresist.....	51

4.2.1 Karakterisasi Densitas.....	51
4.2.2 Karakterisasi Viskositas.....	54
4.2.3 Karakterisasi UV-Vis.....	57
4.2.4 Karakterisasi IV-Meter.....	61
4.2.5 Karakterisasi Struktur Permukaan Film Tipis Photoresist	63
4.3 Uji Sensitivitas Bahan Photoresist.....	64
4.3.1 Paparan Sumber Radiasi Sinar UV.....	65
4.3.2 Paparan Sumber Radiasi Sinar-X.....	68
5. PENUTUP.....	71
5.1 Simpulan.....	71
5.2 Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA.....	73
LAMPIRAN.....	84

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3.1 Komposisi komponen bahan photoresist.....	35
Tabel 4.1 Nilai densitas larutan photoresist.....	52
Tabel 4.2 Nilai densitas larutan photoresist SU-8 2000.....	53
Tabel 4.3 Nilai viskositas dinamis larutan photoresist.....	54
Tabel 4.4 Nilai viskositas kinematis larutan photoresist.....	55
Tabel 4.5 Nilai i, h dan g line dari masing-masing sampel.....	60



DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Klasifikasi photoresist positif dan negatif.....	12
Gambar 2.2 Resin <i>epoxy</i> dari reaksi <i>epichlorohydrin</i> dan bisphenol-A.....	20
Gambar 2.3 Proses <i>spin coating</i>	24
Gambar 2.4 Interaksi sumber radiasi dengan photoresist.....	28
Gambar 2.5 <i>Mask pattern</i>	31
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	34
Gambar 3.2 Proses pembuatan larutan photoresist.....	36
Gambar 3.3 Proses pembuatan film tipis photoresist.....	37
Gambar 3.4 <i>Mask pattern alumunium offset</i>	38
Gambar 3.5 Paparan sumber radiasi terhadap photoresist.....	39
Gambar 3.6 <i>Microscope CCD MS-804</i>	40
Gambar 3.7 I-V Meter Elkahfi 100.....	41
Gambar 3.8 Spektrometer <i>ocean optic Vis-NIR USB 4000</i>	41
Gambar 3.9 Neraca digital.....	42
Gambar 3.10 Viskometer Ostwald.....	43
Gambar 4.1 Proses pembuatan photoresist.....	48
Gambar 4.2 Proses pembuatan film tipis photoresist.....	51
Gambar 4.3 Grafik nilai densitas larutan photoresist.....	53
Gambar 4.4 Grafik nilai viskositas dinamis larutan photoresist.....	55
Gambar 4.5 Grafik nilai viskositas kinematis larutan photoresist.....	56
Gambar 4.6 Grafik nilai absorbansi film tipis photoresist.....	58
Gambar 4.7 Grafik nilai kuat arus tegangan film tipis photoresist.....	61

Gambar 4.8 Struktur permukaan film tipis photoresist.....	63
Gambar 4.9 Proses paparan sumber radiasi sinar UV terhadap photoresist.....	65
Gambar 4.10 Perbandingan aplikasi photoresist pada PCB.....	67
Gambar 4.11 Proses paparan sumber radiasi sinar-X terhadap photoresist.....	69
Gambar 4.12 Perbandingan aplikasi photoresist pada PCB.....	70



DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Hasil penghitungan nilai densitas larutan photoresist.....	83
Lampiran 2. Hasil penghitungan nilai viskositas larutan photoresist.....	85
Lampiran 3. Grafik kuat arus tegangan film tipis photoresist.....	88
Lampiran 4. Grafik spektrum absorbansi menggunakan <i>ocean optic</i> Vis-NIR.....	91
Lampiran 5. Hasil pengamatan <i>microscope</i> CCD MS-804.....	94



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri semakin pesat sehingga membutuhkan suplai bahan baku industri mikroelektronika (Sutikno *et al*, 2016). Perlu dilakukan kajian dan penelitian untuk mencari bahan baku alternatif sebagai solusi kelangkaan suplai dan harga bahan baku yang cukup mahal, sehingga industri-industri mikroelektronika bisa berproduksi dan memberikan dampak positif bagi perekonomian nasional.

Letak geografis Indonesia dikelilingi gunung berapi dan lautan membawa keuntungan ketersediaan sumber daya alam melimpah, di berbagai wilayah terdapat beberapa sumber daya alam sebagai komoditas utama terutama sektor agraria dan mineral. Sumber daya alam melimpah tersebut belum dimanfaatkan secara efektif, sehingga tidak mempunyai nilai guna dan nilai ekonomis tinggi.

Bidang elektronika memegang peranan penting di berbagai sektor pembangunan. Hal ini menyebabkan banyak orang melakukan penelitian dan pembuatan alat-alat serta komponen-komponen elektronika yang mempunyai sifat dan karakteristik tertentu (Irzman *et al*, 2010).

Salah satu bahan dapat dijadikan bahan baku pembuatan komponen mikroelektronika adalah bahan photoresist yang terdiri dari empat komponen yaitu resin (polimer), *photoactive compound* (PAC), *solvent* (pelarut) dan aditif (Schuster *et al*, 2009).

Photoresist merupakan bahan kimia penting dalam proses semikonduktor, *Liquid Crystal Display* (LCD) dan proses pencetakan pola. Konsumsi photoresist terus meningkat dari tahun ke tahun. Secara khusus, photoresist positif banyak digunakan karena dapat mencetak pola yang tepat dibandingkan dengan photoresist negatif. Saat ini berbagai jenis polimer sedang diteliti sebagai photoresists jenis baru karena untuk mendapatkan resolusi tinggi (Kim *et al*, 2007). Resolusi ditandai dengan tajamnya citra pola yang terbentuk pada permukaan substrat.

Perlu dikembangkan metode produksi bahan photoresist untuk aplikasi litografi sinar *Ultraviolet* (UV) dan sinar-X dengan memanfaatkan bahan baku alternatif yang tersedia. Litografi yang banyak digunakan pada bidang elektronika saat ini adalah UV dan sinar-X. Photoresist yang dihasilkan harus sensitif terhadap paparan sinar UV dan sinar-X untuk melakukan reaksi fotokimia dan membentuk pola pada substrat.

Litografi adalah metode mentransfer pola yang terdapat pada master ke substrat (Widodo dan Sudrajad, 2014). Penggunaan bahan organik dalam komponen elektronika terbatas pada resin *photosensitif*, polimer, substrat fleksibel, isolator dan semikonduktor elektronik plastik (D'lorio, 2000). Dari sekian banyak resin yang ada di pasaran, ada tiga jenis resin yang digunakan yaitu polyester, vinil ester, dan *epoxy* (Rihayat dan Suryani, 2012).

Resin berbasis *epoxy* sangat menarik sebagai bahan alternatif karena terdapat polimer terepoksida yang tersedia baik dalam bentuk padat dan cair, bahan ini mempunyai sifat adhesi baik untuk permukaan semikonduktor, sensitivitas tinggi dan biaya rendah (Diby *et al*, 2007).

Resin *epoxy* dibentuk melalui reaksi kimia secara *in situ*, resin dan pengeras atau resin dengan katalis dicampur dalam satu tempat kemudian terjadi proses pengerasan atau polimerisasi (Firmansyah dan Astuti, 2013). Secara umum resin *epoxy* digunakan sebagai bahan adhesi dan lapisan pelindung yang baik karena memiliki kekuatan tinggi dan daya rekat kuat. Selain itu resin *epoxy* bersifat *dielektrik* dan *dissolution* serta baik dalam ketahanan terhadap bahan kimia, korosi dan suhu tinggi namun tidak tahan terhadap sinar UV (Yuzria dan Astuti, 2013). Dalam penelitian ini digunakan resin *epoxy*. Pemilihan resin *epoxy* karena kekuatan dan kekakuan resin *epoxy* lebih besar dibandingkan jenis resin yang lain (Rihayat dan Suryani, 2013).

Polimer merupakan molekul besar yang terbentuk dari unit-unit berulang sederhana (monomer) dan dihubungkan oleh ikatan kovalen. Nama ini berasal dari bahasa Yunani Poly, yang berarti “banyak”, dan mer, yang berarti “bagian”. Ada tiga metode utama sintesis polimer, yaitu sintesis organik di laboratorium dan pabrik, sintesis biologi pada sel dan organisme hidup, dan modifikasi kimia (Hadiyawarman *et al*, 2008). Penggunaan polimer paling efektif dan efisien dalam aplikasi elektronika adalah polimer konduktif yaitu polimer organik yang dapat menghantarkan arus listrik. Bahan tersebut biasanya merupakan bahan semikonduktif dengan konduktivitas seperti logam atau oksida logam. Polimer konduktif memiliki berbagai macam struktur dengan harga murah, mudah dibuat dan dapat diproses secara mekanik (Kuwat *et al*, 2013). Pola sirkuit terintegrasi pada mikrochip yang dibuat dengan sinar cahaya melalui masker ke sebuah wafer silikon yang dilapisi dengan bahan peka cahaya disebut photoresist (Bourzac, 2012). Di Indonesia belum banyak peneliti yang memfokuskan pada

pengembangan bahan photoresist sehingga industri tanah air secara mandiri belum mampu memproduksi bahan photoresist sebagai bahan baku utama produksi komponen elektronika, di berbagai negara maju sudah banyak dilakukan penelitian dan pengembangan bahan photoresist.

Marco *et al* (2012) telah melakukan penelitian tentang penemuan sebuah hidrofobik baru *perfluoropolyether* berbasis photoresist kimia terstruktur oleh dua fotonpolimerisasi, Subramani dan Selvaganapathy (2009) telah mengembangkan permukaan *micromachined* PDMS pada perangkat mikofluida yang dibuat menggunakan photoresist, sedangkan Schuster *et al* (2009) telah mengembangkan resist dari *epoxy* untuk kombinasi litografi termal dan UV *nanoimprint* di bawah suhu 50 °C.

Aplikasi photoresist dikembangkan dalam teknologi MEMS. MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) merupakan sebuah sensor mekanik yang komponen utamanya adalah silikon dan diterapkan pada *Integrated Circuit* (IC). Dalam ukuran mikro digunakan untuk mengukur percepatan, posisi, atau kejutan. Material yang digunakan adalah silikon, maka MEMS dibuat dalam ukuran mikro (Risandriya dan Rivai, 2011). Proses fotolitografi membuat transistor berukuran mikro serta digunakan membuat batang berukuran mikro, pegas, dan struktur mekanik lainnya. Aplikasi MEMS dikembangkan saat ini adalah bidang kedokteran, farmasi, otomotif, piranti elektronika, fotografi, dan aplikasi lainnya.

Sebuah photoresist modern berisi beberapa komponen tapi paling utama adalah polimer (Feiring *et al*, 2003). Photoresists berperan penting dalam mikro miniaturisasi sirkuit semikonduktor. Sebuah photoresist terdiri dua komponen

utama yaitu senyawa *photoactive compound* (PAC) dan polimer (Sharma *et al*, 2012).

Photoresist diklasifikasikan menjadi photoresist positif dan photoresist negatif. Pada photoresist positif, bagian photoresist yang terkena paparan sumber radiasi menjadi larut ke larutan pengembang photoresist, namun pada photoresist negatif bagian photoresist yang terkena paparan sumber radiasi tidak larut ke larutan pengembang photoresist (Sharma *et al*, 2012).

Pada photoresist positif senyawa PAC berfungsi sebagai *inhibitor* sebelum paparan sehingga mengurangi laju disolusi resin pada larutan pengembang. Pada photoresist positif polimer paling banyak digunakan adalah pencampuran DNQ dan resin novolak (resin fenol formaldehid) (Martins *et al*, 2014).

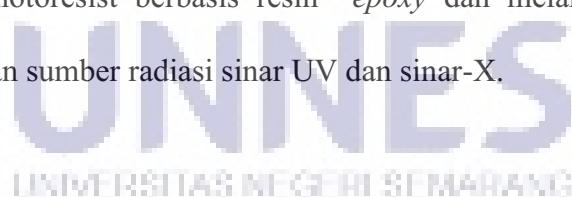
Pada photoresist negatif terjadi sebaliknya, bagian photoresist yang terkena paparan sumber radiasi tidak larut dalam larutan pengembang photoresist. Komponen utama dari photoresist negatif terdiri dari pengikat, monomer fungsional *photosensitif*, *photoinitiator*, pelarut, dan pigmen (Lee *et al*, 2008). Pada photoresist negatif paling banyak digunakan adalah SU-8. Photoresist negatif SU-8 diakui sebagai resist yang mempunyai kemampuan *photopatterning* baik, kompatibilitas dengan berbagai teknik litografi seperti sinar UV dan sinar-X (Barber *et al*, 2005).

Menurut bentuknya photoresist dibedakan menjadi photoresist cair dan photoresist kering. Pada photoresist cair digunakan metode *spin coating* untuk membentuk lapisan homogen diantara photoresist dan substrat. Penggunaan photoresist kering diminati beberapa tahun-tahun terakhir para ilmuwan untuk dikembangkan, terutama pembuatan cetakan elektroplating dan struktur mikofluida (Courbat *et al*, 2010).

Kontribusi aplikasi photoresist di bidang industri elektronika begitu penting sehingga perlu dilakukan penelitian dan pengembangan untuk mendapatkan parameter yang baik. Sensitivitas tinggi pada bahan photoresist baik dalam penerapan di bidang industri elektronika semikonduktor karena dapat membentuk pola rangkaian elektronika pada sebuah sistem IC.

Parameter utama dari photoresist adalah sensitivitas dan kekontrasan, kedua parameter ini mempengaruhi kualitas resolusi photoresist. Kualitas resolusi teknik litografi ditentukan oleh panjang gelombang sumber radiasi yang digunakan pada saat paparan. Sensitivitas tinggi mempengaruhi kemampuan dalam proses litografi sehingga semakin cepat menyerap energi sumber radiasi dan mampu menghasilkan reaksi fotokimia sehingga resolusinya tinggi dan mempercepat proses litografi pada penerapan di bidang elektronika.

Kajian photoresist begitu luas karena bisa mengkaji dari ruang lingkup kajian komposisi, metode pembuatan, metode pelapisan, karakterisasi bahan dan aplikasinya maka penelitian ini difokuskan pada pengembangan fabrikasi, karakterisasi photoresist berbasis resin *epoxy* dan melakukan uji sensitivitas terhadap paparan sumber radiasi sinar UV dan sinar-X.



1.2 Rumusan Masalah

- (1) Bagaimana fabrikasi bahan photoresist berbasis *epoxy*?
- (2) Bagaimana karakteristik bahan photoresist berbasis resin *epoxy* yang dihasilkan?
- (3) Bagaimana pengaruh paparan sinar UV dan sinar-X pada sensitivitas bahan photoresist yang dihasilkan?

1.3 Batasan Masalah

- (1) Dalam penelitian ini dilakukan fabrikasi bahan photoresist berbasis resin *epoxy* dengan etanol yang divariasiakan sebagai *solvent* dan *sodium acetate trihydrate* sebagai *photoactive compound* (PAC). Bahan Photoresist yang dihasilkan dianalisis nilai densitas dan viskositasnya.
- (2) Bahan photoresist yang dihasilkan akan dikarakterisasi nilai absorbansi, kuat arus tegangan, dan struktur permukaanya.
- (3) Bahan photoresist yang dihasilkan akan diuji sensitivitasnya terhadap paparan sinar UV dan sinar-X.

1.4 Tujuan Penelitian

- (1) Melakukan fabrikasi bahan photoresist berbasis resin *epoxy*.
- (2) Mengkarakterisasi bahan photoresist untuk litografi pada *printed circuit board* (PCB).
- (3) Menguji sensitivitas bahan photoresist terhadap paparan sumber radiasi sinar UV dan sinar-X.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini antara lain :

- (1) Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai alternatif bahan baku produksi photoresist dalam bidang mikroelektronika yang dapat diterapkan untuk litografi pada PCB.
- (2) Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dan sensitivitas terhadap paparan sumber radiasi bahan photoresist berbasis resin *epoxy*.
- (3) Dengan penelitian ini diharapkan dapat menjadi langkah awal dalam pengembangan photoresist yang lebih baik sehingga menjadi produksi industri skala makro untuk menopang perekonomian nasional.

1.6 Sistematika Penulisan Skripsi

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 motto 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 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Photoresist

Perkembangan perangkat semikonduktor dipengaruhi kemajuan teknik litografi, seperti kemajuan teknologi photoresist (Brainard *et al*, 2001). Semua piranti elektronika canggih seperti handphone, televisi, dan komputer dibuat dari bahan semikonduktor menggunakan teknologi pemrosesan semikonduktor. Bahan semikonduktor ZnO memiliki potensi aplikasi berbagai bidang teknologi seperti piranti elektronika dan berbagai aplikasi elektronika lainnya (Syuhada *et al*, 2014). Bahan semikonduktor merupakan bahan yang menghantarkan arus listrik karena celah energi dibentuk oleh struktur bahan lebih kecil dari celah energi bahan isolator tetapi lebih besar dari celah energi bahan konduktor, sehingga memungkinkan elektron berpindah dari satu atom penyusun ke atom penyusun lainnya dengan perlakuan tertentu terhadap bahan (Yacobi, 2003).

Photoresist merupakan bahan organik polimer kompleks dan zat aditif memiliki berat molekul rendah berfungsi sebagai bahan peka cahaya dan digunakan dalam pembuatan pola pada rangkaian elektronika (Diby *et al*, 2007). Dalam fabrikasi IC, lapisan photoresist tipis dilapiskan pada permukaan substrat (Cuno, 2011). Resist atau photoresist secara umum terdiri empat komponen yaitu resin (polimer), *photoactive compound* (PAC), *solvent* (pelarut) dan aditif (Schuster *et al*, 2009). Photoresist metode konvensional merupakan proses

teknologi rendah, menjadi kompleks ketika bertransformasi ke struktur mikro, 3D, pola ganda dan mobilitas tinggi. Film photoresist dibentuk pada wafer silikon dan terkena paparan sinar UV untuk jangka waktu tertentu (Kim *et al*, 2007).

Dewasa ini photoresist memberikan kontribusi pada industri elektronika sebagai alternatif langkanya ketersediaan suplai bahan baku pembuatan piranti mikroelektronika. Photoresists digunakan untuk pembuatan piranti elektronika, pencetakan papan sirkuit terpadu, penyimpanan optik, dan sebagainya (Lee *et al*, 2008). Dalam pembuatannya photoresist memanfaatkan bahan-bahan organik dan anorganik sehingga bahan baku alternatif tersedia diolah menjadi photoresist yang berguna pada aplikasi semikonduktor terutama industri elektronika.

Komposisi photoresist bergantung skema integrasi dan bahan kimia yang digunakan. Identifikasi larutan kimia mampu memodifikasi lapisan photoresist akan sangat menguntungkan karakterisasi kimia secara menyeluruh (Kesters *et al*, 2008). Photoresist adalah bahan kimia penting dalam pengolahan semikonduktor, *Liquid Crystal Display* (LCD) dan proses pencetakan.

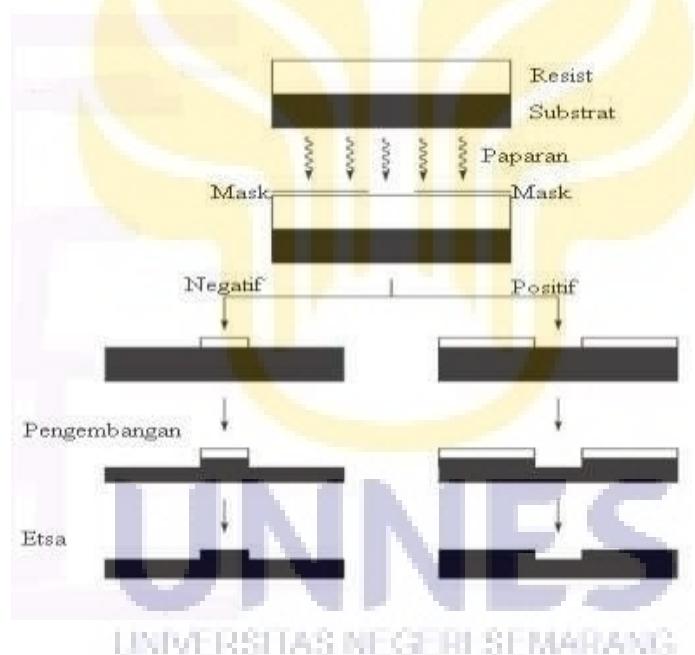
Konsumsi photoresist terus meningkat selama beberapa tahun. Saat ini, berbagai polimer diteliti sebagai photoresists baru karena permintaan meningkat untuk resolusi tinggi. Photoresists konvensional terdiri atas resin novolak dan *diazonaphthoquinone* (DNQ).

Resin novolak menunjukkan pembentuk film dengan sifat baik, adhesi baik, ketahanan etsa, dan kelarutan tinggi dalam larutan basa. Sifat beracun formaldehida yang digunakan pada resin novolak menyebabkan upaya penelitian

yang cukup untuk menemukan cara-cara alternatif proses pengerasan resin novolak (Kim *et al*, 2007).

2.2 Klasifikasi Photoresist

Photoresist diklasifikasikan dua macam, yaitu jenis photoresist negatif dan jenis photoresist positif (Widodo dan Sudrajad, 2014). Pada photoresist positif bagian photoresist yang terkena paparan sumber radiasi menjadi larut ke larutan pengembang photoresist, namun pada photoresist negatif bagian photoresist yang terkena paparan sumber radiasi tidak larut ke larutan pengembang photoresist yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Sharma *et al*, 2012).



Gambar 2.1 Klasifikasi photoresist positif dan negatif.

Photoresist positif terjadi ketika paparan sumber radiasi sinar UV bagian photoresist larut dalam larutan pengembang photoresist. Photoresist positif memiliki tiga komponen utama yaitu resin dasar, senyawa PAC dan pelarut. Pada photoresist positif senyawa PAC bertindak sebagai *inhibitor* sebelum paparan

sumber radiasi sehingga mengurangi laju disolusi resin pada larutan pengembang. Pada photoresist positif polimer yang digunakan adalah pencampuran DNQ dan jenis resin novolak (resin fenol formaldehid) (Martins *et al*, 2014).

Photoresist positif mempunyai kelebihan resolusi tinggi. Resolusi ditandai dengan tajamnya citra pola yang terbentuk pada permukaan substrat. Beberapa teknik dirancang untuk mengembangkan photoresist positif yang digunakan pada proses litografi di bidang elektronika dan optik untuk pembuatan komponen bantuan (Wood *et al*, 2013). Photoresist positif digunakan sebagai masker mentransfer pola geometris pada teknologi manufaktur IC, optik dan digunakan untuk membangun struktur periodik dengan sifat optik *diffractive*. Pada photoresist positif ketika terkena papaaran sumber radiasi sinar UV maka terjadi reaksi fotokimia sehingga memodifikasi sifat kimia dan sifat fisika (Mendes *et al*, 2009). Sifat penyerapan radiasi mempengaruhi sensitivitas dan resolusi.

Photoresist positif jenis baru dikembangkan dengan mencampurkan poli (bisphenol-A), PAC dan sebuah senyawa seperti DNQ. Nilai hidroksil dan berat molekul poli merupakan faktor penting dalam menentukan nilai fotosensitivitas dari photoresist. Poli diperoleh dengan memvariasikan nilai hidroksil dan berat molekul menunjukkan kinerja sebagai bahan photoresist (Kim *et al*, 2007).

Pada photoresist negatif terjadi sebaliknya, ketika paparan sumber radiasi sinar UV pada bagian photoresist tidak larut dalam larutan pengembang photoresist. Komponen utama dari photoresist negatif terdiri dari pengikat molekul, monomer fungsional fotosensitif, fotoinitiator, pelarut, dan pigmen (Lee *et al*, 2008). Pada photoresist negatif paling banyak digunakan adalah SU-8.

Photoresist negatif SU-8 diakui sebagai photoresist yang mempunyai kemampuan *photopatterning* baik, kompatibilitas dengan berbagai jenis teknik litografi seperti sinar UV dan sinar-X (Barber *et al*, 2005). Photoresist SU-8 digunakan dalam teknologi fabrikasi MEMS (Hirai *et al*, 2011). Litografi UV adalah salah satu teknologi paling menjanjikan untuk fabrikasi pola mikro, bahkan sampai pada struktur nano (Fei *et al*, 2009).

Photoresist negatif menunjukkan ketahanan suhu dan sensitivitas tinggi sehingga mudah dimodifikasi struktur kimia serta biaya produksi terjangkau. Photoresist negatif telah diadopsi piranti elektronika seperti pencetakan plat, layar kristal cair, fabrikasi mikro, struktur nano dan optik. Di masa depan photoresists negatif dikembangkan melalui bahan-bahan dan proses baru dengan menggabungkan bahan berbeda seperti senyawa organik dan anorganik untuk mendapat peningkatan kinerja (Lin *et al*, 2008).

Photoresist dibedakan menjadi photoresist cair dan photoresist kering. Photoresist cair digunakan metode *spin coating* untuk membentuk lapisan homogen antara photoresist dan substrat. Penggunaan photoresist kering mendapat minat beberapa tahun terakhir oleh ilmuwan untuk dikembangkan, terutama pembuatan pencetakan elektroplating dan struktur mikofluida (Courbat *et al*, 2010).

Dibandingkan dengan photoresist cair, photoresist kering memiliki kelebihan seperti adhesi baik untuk substrat, distribusi homogen, tidak ada penanganan cair, energi paparan rendah dan proses yang singkat. Selain itu photoresist kering tersedia secara komersial (Tsai *et al*, 2006).

2.3 Komposisi Photoresist

Resist atau photoresist secara umum terdiri dari empat komponen yaitu resin (polimer), *photoactive compound* (PAC), *solvent* (pelarut) dan aditif (Schuster *et al*, 2009). Beberapa syarat harus dipenuhi sebuah photoresist yang digunakan industri semikonduktor. Sebuah photoresist modern berisi beberapa komponen, tapi paling penting adalah polimer (Feiring *et al*, 2003). Polimer photoresist harus mudah larut dalam larutan pengembang photoresist pada proses deposisi menggunakan metode *spin coating* atau *dip coating* sehingga mudah dalam pembentukan lapisan tipis yang diterapkan pada sebuah substrat sehingga larutan bersifat homogen antara photoresist dan substrat.

Peran polimer adalah pada proses polimerisasi dan *photosulubolize* bahan photoresist ketika terkena paparan sumber radiasi. Pelarut mempunyai pengaruh penting dalam proses pembentukan photoresist dengan menggunakan metode *spin coating*. Senyawa PAC berfungsi mengontrol reaksi fotokimia dan aditif digunakan memfasilitasi proses untuk meningkatkan sifat material bahan photoresist sehingga berpengaruh pada karakteristik litografi yang digunakan (Houlihan *et al*, 2003). Perubahan fotokimia untuk polimer sangat penting sebagai fungsi photoresist. Polimer photoresist organik mempunyai sifat kelenturan, kelestan dan proses baik sehingga sejak lama diaplikasikan pada bidang industri. Sebaliknya Polimer photoresist anorganik mempunyai sifat mekanik dan stabilitas kurang baik sehingga sangat jarang digunakan membuat bahan photoresist (Lee *et al*, 2008).

Polimer semakin banyak digunakan pada industri elektronika. Salah satu aplikasi utama polimer dalam piranti elektronika adalah sebagai bahan litografi pada fabrikasi IC. Ketika photoresist terkena paparan sumber radiasi energi tinggi seperti sinar UV, berkas elektron dan sinar-X, reaksi kimia berlangsung pada daerah terbuka, sehingga mempengaruhi perubahan kelarutannya dengan memanfaatkan perbedaan kelarutan antara daerah terbuka dan tertutup. Pola dibentuk menggunakan larutan pengembang. Syarat utama dari photoresist pada aplikasi litografi adalah sensitivitas tinggi, resolusi tinggi, stabilitas termal tinggi, adhesi baik terhadap substrat dan ketahanan basah dan kering pada proses etsa (Chiang dan Kuo, 2002).

Photoresist positif memiliki tiga komponen utama yaitu resin dasar, senyawa PAC dan pelarut. Photoresist positif, senyawa PAC bertindak sebagai *sensitizer* atau *inhibitor*. Photoresist positif polimer paling banyak digunakan adalah pencampuran DNQ dan jenis resin novolak (resin fenol formaldehid) (Martins *et al*, 2014). Photoresist positif jenis baru dikembangkan dengan mencampurkan poli (bisphenol-A), PAC dan sebuah senyawa seperti DNQ. Photoresist negatif terdiri dari komponen utama pengikat, monomer fungsional fotosensitif, fotoinitiator, pelarut, dan pigmen (Lee *et al*, 2008).

Dari resin yang ada di pasaran, ada tiga jenis resin yang digunakan yaitu polyester, vinil ester, dan *epoxy*. Polimer resin *epoxy* memiliki beberapa sifat yaitu dibentuk dengan pematangan (*curing*), mengalami perubahan sifat jika dipanaskan pada suhu tinggi, tersusun dari ikatan kovalen yang kokoh dan padat, memiliki sifat isolasi listrik termal baik dan memiliki hidrofobisitas tinggi (Yandri, 2010).

Selain resin *epoxy*, Polimer yang digunakan dalam bahan photoresist adalah resin fenol. Resin fenol mempunyai sifat tahan terhadap panas di alam dan memiliki sifat suhu tinggi, resistensi, *infusibility*, dan menghambat penyinaran. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat-sifat resin fenol adalah rasio mol fenol untuk formaldehida, waktu reaksi, suhu, kadar air, dan kadar sisa fenol (Cardona dan Moscou, 2009). Komposisi resin fenol bergantung pada rasio monomer, katalis, kondisi reaksi, dan monomer bebas residu (Poljanšek dan Krajnc, 2005). Resin fenol terbentuk dari kondensasi reaksi polimerisasi antara fenol dan formaldehid. Ada dua jenis resin fenol yaitu resin fenol resol dan resin fenol novolak yang digunakan pada pembatan bahan photoresist. Resin fenol novolak dibentuk oleh reaksi fenol dan formaldehida dalam larutan asam dengan cukup formaldehida untuk menyelesaikan reaksi pada suhu 100 °C, kebalikan dari pembentukan resin fenol resol (Ku *et al*, 2010).

Komponen lainnya yang penting pada photoresist adalah PAC. PAC pada photoresist merupakan senyawa peka cahaya. PAC photoresist positif biasa disebut *sensitizer* DNQ yang bertindak sebagai *inhibitor* sebelum paparan sehingga mengurangi laju disolusi resin pada larutan pengembang (Martins *et al*, 2014). Fungsi dari PAC adalah mengontrol reaksi kimia yang terjadi pada bahan photoresist. Pelarut adalah bahan kimia yang mampu melarutkan berbagai zat cair, padat dan gas pada reaksi kimia sehingga terbentuk larutan atau senyawa baru. Pada photoresist komponen pelarut sangat penting dalam proses *spin coating*. Pelarut berfungsi melarutkan resin sehingga bersifat homogen dengan larutan pengembang photoresist. Pelarut yang umum adalah aseton, etanol, dan metanol. Pelarutan photoresist sangat dipegaruhi oleh polimer, berat molekul, suhu dan

kekuatan. Berat molekul mempengaruhi tingkat laju pelarutan, semakin berat molekul maka laju pelarutan semakin lambat. Komponen terakhir pembuatan photoresist adalah aditif. Aditif merupakan senyawa kimia berfungsi meningkatkan kualitas sifat fisika dan kimia sebuah bahan atau larutan melalui reaksi kimia, diharapkan terbentuk material dengan parameter yang dikehendaki.

Photoresist berperan penting dalam mikro miniaturisasi sirkuit semikonduktor (Sharma *et al*, 2012). Sebagai bahan peka cahaya photoresist berfungsi sebagai semikonduktor pembuatan IC (Kesters *et al*, 2008). Perlu adanya penelitian tentang variasi polimer, resin, PAC, *solvent* (pelarut) dan aditif pada komponen photoresist sehingga meningkatkan kualitas paramater teknik litografi dalam penerapannya di bidang industri elektronika struktur mikro hingga nano.

2.4 Aplikasi Photoresist

Perkembangan kinerja perangkat semikonduktor didorong sebagian oleh kemajuan bidang teknik litografi, pada gilirannya memacu kemajuan teknologi photoresist. Photoresist adalah campuran polimer organik kompleks dan aditif berat molekul rendah berfungsi sebagai lapisan fotosensitif sebagai bahan pembuatan semikonduktor IC (Diby *et al*, 2007). Photoresist banyak diterapkan pada teknologi litografi industri elektronika. Litografi photoresist memanfaatkan sumber radiasi dan fotosensitif bahan polimer untuk melakukan transfer pola. Photoresist berperan penting dalam mikro miniaturisasi sirkuit semikonduktor (Sharma *et al*, 2012). Kebutuhan peningkatan kinerja IC industri elektronika

memacu pengembangan metode, alat dan bahan untuk ditingkatkan kualitasnya, terutama aplikasi litografi semikonduktor (Kokkinis *et al*, 2005).

Kemajuan evolusioner dalam teknik litografi optik telah meningkatkan resolusi pencitraan dari 1 m hingga 0,25 m menggunakan i-line (365 nm) dari paparan sumber radiasi, dan untuk sub-100 nm resolusi menggunakan ARF (193 nm) dari radiasi sinar laser. Kemajuan teknik litografi diharapkan terus meningkat menggunakan F2 (157 nm) dan EUV (13,4 nm) dari paparan sumber radiasi. Kemajuan revolusioner dalam mikrolitografi termasuk penggunaan foton energi tinggi (13-0,5 nm) dan diproyeksikan partikel berenergi tinggi (elektron atau ion) (Brainard *et al*, 2001).

Dalam beberapa tahun terakhir miniaturisasi akuator, sensor, dan lainnya terus berlanjut. Komponen mikro mekanis semakin terintegrasi perangkat elektronik yang disebut *Micro Electro Mechanical Systems* (MEMS) (Munnik *et al*, 2003). Teknologi MEMS menyebabkan perkembangan perangkat optik miniatur substansial dan memberikan dampak besar pada aplikasinya. Teknologi MEMS berkembang pesat karena karakteristik MEMS sangat menguntungkan pada fabrikasi, sistem terintegrasi, dan sistem operasi mikro optik (Solgaard *et al*, 2014).

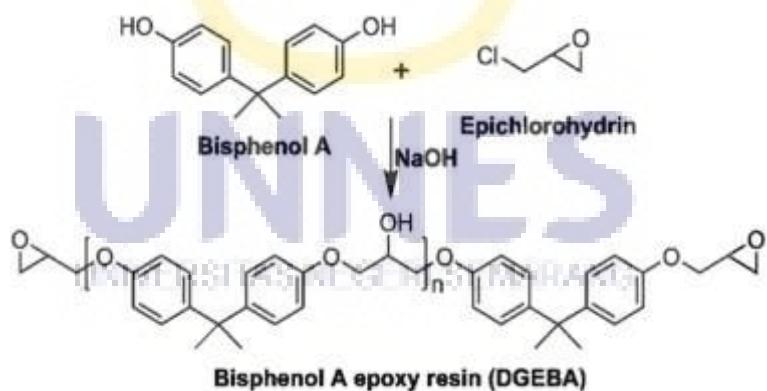
MEMS merupakan sistem mikro elektro mekanis sistem. MEMS dibangun untuk mencapai fungsi rekayasa secara elektro mekanis atau secara elektro kimia. Perangkat inti MEMS terdiri dua komponen utama yaitu sensor atau elemen penggerak dan unit sinyal transudasi. Sensor mikro dibangun untuk mendeteksi keberadaan intensitas kimia atau kuantitas fisik biologis seperti suhu,

tekanan, kekuatan, kelembaban, cahaya, radiasi nuklir, fluks magnetik, dan komposisi kimia (Sharma *et al*, 2012).

MEMS teknologi baru menawarkan fabrikasi 3D perangkat mikofluida. Akhir-akhir ini perkembangan sedang berlangsung pada teknologi MEMS adalah penerapan perangkat mikrofluida bertujuan membendung biologi sel (Hirai *et al*, 2011). Beberapa aplikasi MEMS dikembangkan saat ini adalah dalam bidang kedokteran dan farmasi, otomotif, piranti elektronik, fotografi, dan aplikasi lainnya.

2.5 Resin *Epoxy*

Resist atau photoresist secara umum terdiri dari empat komponen yaitu resin (polimer), *photoactive compound* (PAC), *solvent* (pelarut) dan aditif (Schuster *et al*, 2009). Dari resin yang ada di pasaran, ada tiga jenis resin yang banyak digunakan yaitu polyester, vinil ester, dan *epoxy*. Resin merupakan senyawa yang digunakan diberbagai bidang kehidupan sehari-hari. Resin *epoxy* adalah kopolimer plastik *termosetting* yang sering digunakan dalam matriks polimer komposit.



Gambar 2.2 Resin *epoxy* dari reaksi *epichlorohydrin* dan bisphenol-A (Zhu *et al*, 2016).

Pada Gambar 2.2 Resin *epoxy* dihasilkan dari proses reaksi kimia antara senyawa epiklorohidrin dan bisphenol-A (Singla dan Cawla, 2010). Resin *epoxy* merupakan kopolimer karena terbentuk dari berbagai monomer atau polimer yang terdiri dari molekul rantai pendek dengan kelompok gugus epoksida di kedua ujung. Suatu polimer dapat dibedakan berdasarkan sifat termalnya menjadi dua sifat yaitu *termosetting* dan *termoplastic* (Amin *et al*, 2011). Resin *epoxy* merupakan polimer *termosetting*, artinya polimer dalam pembentukanya memerlukan panas dan menambahkan senyawa unsur kimia tertentu akan menimbulkan perubahan struktur kimia atau biasa disebut polimerisasi (Cash *et al*, 2013). Setelah dipanaskan maka resin *epoxy* menjadi keras dan tidak dapat lunak walaupun sudah dipanaskan kembali. Resin *epoxy* banyak digunakan diberbagai aplikasi canggih seperti perekat bahan komposit, industri listrik dan piranti elektronika.

Resin *epoxy* digunakan untuk membuat pola menggunakan teknik UV litografi. Contoh photoresist berbasis *epoxy* populer adalah photoresist negatif SU-8. Resin *epoxy* mempunyai kelebihan sifat mekanik baik, ketahanan kimia baik dan bahan isolasi listrik baik serta biayanya murah (Xu *et al*, 2014).

Photoresist SU-8 digunakan pada aplikasi MEMS. Optimalisasi parameter penting untuk menghasilkan kualitas baik (Zhang *et al*, 2001). Photoresist negatif paling banyak digunakan adalah SU-8. Photoresist negatif SU-8 diakui sebagai resist yang mempunyai kemampuan *photopatterning* sangat baik dan kompatibilitas dengan berbagai jenis teknik litografi seperti sinar-X dan sinar UV (Barber *et al*, 2005).

2.6 Coating

Coating merupakan proses pelapisan pada permukaan substrat (Ruzic *et al*, 2012). Tujuan *coating* adalah dapat meningkatkan sifat permukaan substrat yang dilapisi. Sifat permukaan yang dapat dimodifikasi meliputi sifat kimia dan sifat fisika. Proses *coating* berperan dalam proses pelapisan bahan photoresist pada sebuah substrat. Larutan photoresist berbasis resin *epoxy* dalam bentuk cair kemudian dibentuk melalui proses *coating* sehingga menjadi bahan photoresist. Kaca preparat dan PCB sebagai substrat kemudian dilapisi cairan photoresist sehingga terbentuk bahan photoresist. Ada beberapa metode dalam proses *coating* diantaranya adalah metode *spin coating* dan *dip coating*.

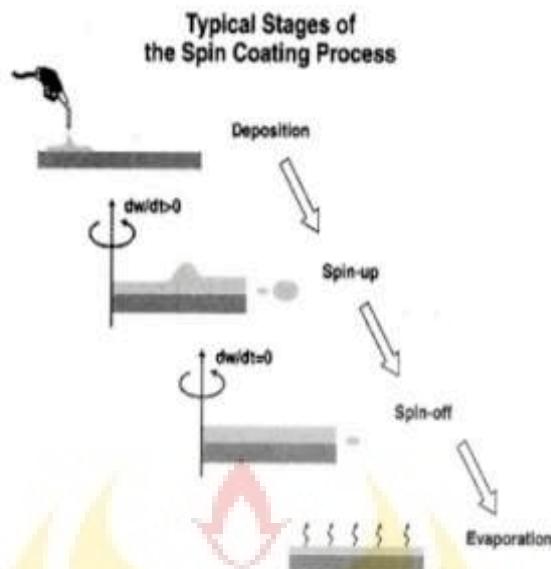
Metode *spin coating* merupakan metode yang digunakan untuk meratakan lapisan suatu substrat dengan memanfaatkan gaya semu (sentrifugal) dengan menggunakan laju putar *spin*. Cairan yang digunakan harus homogen (Yulika *et al*, 2014). Lapisan metode *spin coating* berupa lapisan sangat tipis dari bahan organik, anorganik, dengan sifat-sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor, dan isolator. Proses *spin coating* banyak digunakan pada pembuatan film tipis semikonduktor piranti mikroeletronik seperti sirkuit terpadu, layar televisi berwarna, cermin optik dan penyimpanan magnetik. Film tipis semikonduktor diaplikasikan pada nanoteknologi. Nanoteknologi adalah bagian dari ilmu pengetahuan dan teknologi tentang kontrol materi tingkat atom dan molekul skala mikro sekitar 100 nm atau lebih kecil (Daniyan *et al*, 2013).

Melalui proses optimalisasi kondisi dan parameter deposisi memungkinkan untuk mendapatkan film tipis berkualitas baik menggunakan

metode *spin coating* (Tayubi dan Suhandi, 2014). Banyak peneliti memanfaatkan metode *spin coating* dalam pembuatan film tipis semikonduktor, metode *spin coating* tidak rumit, metode *spin coating* sangat sederhana dan biaya operasional murah. *Spin coating* diartikan sebagai metode untuk membuat lapisan dari bahan polimer photoresist yang dideposisikan pada permukaan silikon dan material lain berbentuk wafer (Syuhada *et al*, 2014).

Prinsip kerja instrumen *spin coating* adalah mengubah energi listrik menjadi energi mekanik memanfaatkan gerakan rotasi pada perangkat pemutar. Instrumen inovasi mampu membentuk lapisan tipis di atas substrat secara merata, seimbang secara *stoikometris* dan *termodinamik*. Adanya gaya sentripetal ketika piringan tersebut berputar maka bahan tersebut tertarik ke pinggir substrat dan tersebar merata (Hidayat *et al*, 2015).

Peranan kajian fisika teoritis berpengaruh pada prinsip kerja metode *spin coating*. Peranan kajian fisika *spin coating* secara efektif dimodelkan membagi seluruh proses menjadi empat tahap yaitu deposisi, *spin up*, *spin off*, dan *evaporation* (Sahu *et al*, 2009). Pada metode *spin coating* memanfaatkan fenomena reaksi gaya sentripetal yang mengarah keluar pada benda berputar. Gaya setripetal adalah suatu benda bergerak melingkar maka benda mengalami gaya arahnya menuju ke pusat lingkaran (Susanty *et al*, 2014).



Gambar 2.3 Proses *spin coating* (Sahu *et al*, 2011).

Dari Gambar 2.3 menunjukkan tahap awal proses *spin coating* adalah proses deposisi. Pada tahap ini yang harus dilakukan adalah meneteskan cairan pada substrat pelapis dan diputar dengan kecepatan tertentu sehingga putaran substrat menghasilkan gaya sentrifugal yang mengakibatkan larutan bergerak keluar sehingga larutan menempel pada permukaan substrat pembentuk lapisan. Tahap deposisi dioptimalkan dengan menguji efek pelarut, rasio pelarut, waktu selama peleburan pada komposisi film tipis, efek dari kecepatan *spin*, dan perlakuan penguatan panas (Song *et al*, 2009).

Pada tahap *spin up* cairan pada larutan mulai diputar, akibat gaya sentrifugal, cairan pada substrat menjadi tersebar secara radial keluar dari pusat putaran menuju bagian tepi substrat pembentuk lapisan. Ketika substrat pada kecepatan konstan, artinya tidak ada percepatan sudut dengan ciri penipisan pada lapisan secara perlahan sehingga didapatkan ketebalan lapisan homogen. Dalam

kajian teoritis, kecepatan putar *spin coating* berpengaruh terhadap ketebalan film tipis (Hidayat *et al*, 2015).

Pada tahap *spin off* sebagian cairan yang berlebih menuju ke tepi substrat dan akhirnya terlepas dari substrat membentuk tetesan-tetesan (Rustami, 2008). Penyebaran substrat secara merata terlihat dengan tertutupnya permukaan substrat dengan lapisan photoresist, kemudian melakukan pemanasan untuk menghilangkan pelarut yang masih menempel pada substrat.

Evaporation atau evaporasi merupakan tahap akhir metode *spin coating*. Meskipun penguapan terjadi dari awal proses *spin coating*, ketika *spin off* lambat dan pelarut kurang stabil, penguapan menjadi mekanisme utama penghapusan pelarut dan penipisan film (Aguilar dan Lopez, 2011). Evaporasi rendah menyebabkan aliran lebih radial, sehingga lapisan menjadi lebih tipis. Selain itu evaporasi yang lama menyebabkan aliran fluida lebih lama di atas lapisan menyisakan ketebalan lapisan lebih homogen, lebih tipis, dan padat seragam (Rahmawati *et al*, 2014).

Seperti diungkapkan Cheng *et al* (2006) proses *spin coating* pada dasarnya ada dua tahap, tahap pertama mengeluarkan cairan pelapis sampai menutup substrat, dengan kecepatan 500 rpm dengan waktu 30 detik. Setelah tahap *dispensing*, sampel mempercepat ke putaran tertentu. Kecepatan putaran dan waktu putar digunakan untuk mengontrol ketebalan lapisan *coating*. Waktu *spin* 60 detik dalam pekerjaan ini. Setelah lapisan, sampel pemanasan pada suhu 55 °C dan 3 menit sampai kering.

Dip coating merupakan proses yang digunakan untuk pelapisan sebuah substrat (Figueira *et al*, 2015). Pada proses pelapisan, di bagi menjadi beberapa tahap. Perendaman, substrat direndam dalam cairan bahan lapisan pada waktu tertentu sehingga seluruh permukaan substrat terlapis oleh film tipis. Tahap selanjutnya adalah menarik substrat dari cairan, waktu penarikan sangat mempengaruhi kualitas film tipis yang dihasilkan pada permukaan substrat. Dengan waktu penarikan cepat maka akan dihasilkan film tipis dengan ketebalan besar. Selanjutnya melakukan pengeringan, substrat yang sudah terlapis cairan dikeringkan sampai benar-benar kering dan tidak ada cairan menetes. Tahap akhir pada metode *dip coating* adalah penguapan, cairan yang melapisi substrat kemudian menguap dan membentuk film tipis dengan ketebalan tertentu pada permukaan substrat (Arief *et al*, 2013). Pada penelitian ini metode *spin coating* digunakan dalam membuat sebuah film tipis photoresist untuk selanjutnya dikarakterisasi sifat fisika dan sifat kimia serta melakukan pengujian sensitivitas bahan photoresist terhadap paparan sumber radiasi.

2.7 Interaksi Paparan Sumber Radiasi dengan photoresist

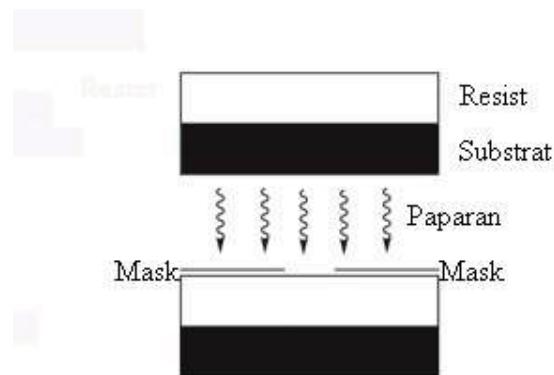
Dalam teknik litografi photoresist digunakan membuat sebuah lapisan masker pada suatu permukaan wafer silikon. Photoresist diproduksi dari campuran bahan kimia yaitu resin, pelarut, dan PAC (Cuno, 2011). Photoresist diterapkan pada wafer silikon dalam bentuk cair dan dipolimerisasi serta dikendalikan melalui paparan sumber radiasi.

Photoresists dibentuk dari rantai hidrokarbon kompleks yang dikenal sebagai polimer. Pada polimer terdapat rantai molekul yang lebih kecil dikenal

sebagai monomer. Pada photoresist jenis positif molekul rantai panjang putus akibat paparan elektron berenergi tinggi sehingga menjadi molekul rantai pendek yang disebut proses pemisahan rantai sehingga bagian terbuka dari polimer menjadi larut dalam pengembang. Pada photoresist negatif molekul rantai pendek awal bergabung setelah terpapar membentuk molekul rantai panjang yang disebut proses *cross-linking* sehingga bagian-bagian paparan polimer menjadi tidak larut dalam pengembang (Cui, 2008).

Photoresist terdapat sebuah komponen pembentuk sangat penting yang disebut PAC. Senyawa PAC dicampurkan dengan resin sehingga menjadi sebuah larutan. Campuran ini dilapiskan pada wafer semikonduktor dan kemudian diberikan paparan sumber radiasi melalui pola yang diinginkan. Dalam manufaktur perangkat semikonduktor, sumber radiasi biasa digunakan untuk teknik litografi adalah sinar UV dan sinar-X (Mekaru *et al*, 2015).

Sumber radiasi sangat mempengaruhi kualitas bahan photoresist yang dihasilkan karena sumber radiasi mempunyai karakteristik berbeda. Cairan photoresist dilapiskan pada wafer semikonduktor kemudian diberi paparan sumber radiasi. Komponen PAC sangat mempengaruhi kualitas dari resolusi sebuah bahan photoresist terutama pada sifat sensitivitas dan kekontrasan. PAC merupakan sebuah bahan *sensitizer* yang bekerja memodifikasi struktur kimia dan fisika dari bahan phoresist bila terkena paparan sumber radiasi dalam bentuk cahaya tampak, sinar UV, sinar-X dan bentuk energi berkas elektron.



Gambar 2.4 Interaksi sumber radiasi dengan photoresist.

Pada Gambar 2.4 pembentukan pola terjadi setelah adanya proses pengembangan photoresist setelah paparan sumber radiasi. Pengembangan bertujuan menegaskan pola yang terbentuk pada substrat dengan menghilangnya photoresist pada permukaan substrat (Peterman *et al*, 2003).

Pada photoresist positif bagian dari photoresist yang terkena paparan sumber radiasi menjadi larut ke larutan pengembang photoresist, namun pada photoresist negatif bagian dari photoresist yang terkena paparan sumber radiasi tidak larut ke larutan pengembang photoresist (Sharma *et al*, 2012).

Sifat penting sebuah photoresist adalah sensitivitas dan kekontrasan, secara langsung mempengaruhi resolusi bahan photoresist. Resolusi fotolitografi ditentukan oleh panjang gelombang sumber radiasi yang digunakan saat proses litografi. Sensitivitas merupakan jumlah energi radiasi yang diperlukan untuk memodifikasi perubahan struktur kimia dan fisika.

Dengan sensitivitas tinggi maka kemampuan dalam proses litografi akan semakin cepat dan baik karena mampu menyerap energi radiasi yang banyak dan akan mempercepat proses litografi pada aplikasi di bidang mikroelektronika. Sensitivitas photoresist sangat dipengaruhi oleh nilai absorbansi. Semakin tinggi

absorbansi maka semakin tinggi tingkat sensitivitas photoresist (Houlihan *et al*, 2003).

Sensitivitas merupakan sebuah parameter penting yang diperlukan suatu bahan photoresis untuk digunakan membentuk pencitraan elemen *individual* dari IC. Proses litografi yang digunakan membuat perangkat elektronika sangat bergantung pada sifat kimia bahan polimer, PAC, pelarut dan aditif.

2.8 *Mask Pattern*

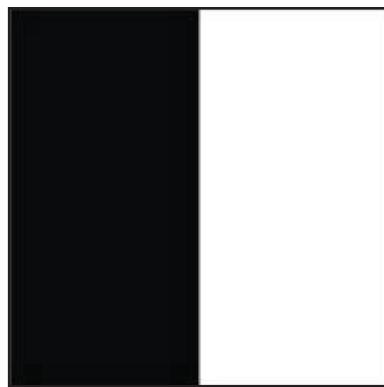
Aplikasi photoresist tentu sangat dipengaruhi oleh teknik litografi, terutama aplikasi pada piranti IC. Litografi adalah sebuah metode mentransfer pola yang terdapat pada master ke substrat (Widodo dan Sudrajad, 2014). *Mask* mendefinisikan tentang pola rangkaian yang sudah dibuat dan diterapkan pada permukaan substrat photoresist dan diberi paparan sumber radiasi untuk mentransfer pola melalui teknik litografi. Dalam perangkat semikonduktor, sumber radiasi biasa digunakan untuk teknik litografi adalah sinar UV dan sinar-X (Mekaru *et al*, 2015). *Mask* diletakkan pada permukaan sebuah substrat membentuk pola pencitraan pada substrat yang bisa diuji sensitivitas dengan mengamati pola yang terbentuk pada substrat setelah diberi paparan sumber radiasi.

Resolusi litografi dipengaruhi panjang gelombang sumber radiasi yang digunakan. Saat ini, sumber radiasi yang digunakan adalah sinar UV dan sinar-X. Sumber radiasi mampu merubah struktur kimia dan fisika untuk memberikan pencitraan pola rangkaian pada substrat. Nilai beda potensial yang digunakan saat paparan mempengaruhi kualitas sinar-X karena

perubahannya mempengaruhi panjang gelombang yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai kV semakin pendek panjang gelombang, semakin baik kualitas sinar-X (Yulianti dan Akhadi, 2001). Kemampuan berkas foton menembus materi bergantung pada besar energinya. Berkas foton sinar-X berenergi tinggi mempunyai daya tembus terhadap materi lebih tinggi daripada foton sinar-X berenergi lebih rendah. Semakin tinggi nilai kV dan energi rata-rata paparan sinar, semakin tinggi kemampuan penetrasi sinar-X terhadap sebuah materi.

Dengan diberikan paparan sumber radiasi maka berkas foton akan bereaksi dengan senyawa PAC sehingga terjadi reaksi fotokimia. Letak paparan sumber radiasi terhadap bahan photoresist menentukan pola yang terbentuk. Pada photoresist positif bagian dari photoresist yang terkena paparan sumber radiasi menjadi larut ke larutan pengembang photoresist, namun pada photoresist negatif bagian dari photoresist yang terkena paparan sumber radiasi tidak larut ke larutan pengembang photoresist (Sharma *et al*, 2012).

Pada penelitian ini *mask* dibuat dengan menggunakan sebuah plat logam alumunium *offset* yang terlebih dahulu dibentuk sebuah pola pada *mask*. *Mask* selanjutnya diletakan pada permukaan substrat. Substrat yang digunakan adalah sebuah PCB dengan ukuran 1,5cm x 1,5cm. Penggunaan substrat PCB digunakan pada penelitian ini sebagai aplikasi phototrsist pada pembentukan pola pada fabrikasi piranti elektronika.



Gambar 2.5 *Mask pattern*

Mask pada Gambar 2.5 diletakan pada permukaan substrat PCB dan memberikan paparan sumber radiasi pada bahan photoresist untuk memodifikasi bahan photoresist tersebut. *Mask* yang dibentuk berupa rangkaian elektronika. Tujuan dari *mask* adalah untuk mengetahui tingkat sensitivitas dari photoresist terhadap paparan sumber radiasi dengan mengamati pola yang terbentuk setelah paparan sumber radiasi.

Sensitivitas dan kekontrasan penting dalam kajian photoresist. Sensitivitas merupakan jumlah energi radiasi yang diperlukan untuk memodifikasi perubahan struktur kimia dan fisika. Sensitivitas tinggi pada bahan photoresist maka kemampuan dalam proses litografi akan semakin cepat karena mampu menyerap energi radiasi banyak dan resolusi dihasilkan juga semakin tinggi. Kekontrasan tinggi ditandai dengan pola terbentuk pada photoresist terlihat jelas setelah terkena paparan sumber radiasi dan proses pengembangan.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Photoresist berbasis resin *epoxy* dapat difabrikasi dengan campuran resin *epoxy*, etanol yang divariasikan dan *sodium acetate trihydrate*. Nilai densitas photoresist yang dihasilkan mempunyai nilai densitas antara 1 hingga 1,23 g/ml. Nilai viskositas dinamis yang dihasilkan antara 7 hingga 22 Cp dan nilai viskositas kinematis yang dihasilkan antara 7 hingga 18 Cst.

Hasil karakterisasi terhadap photoresist yang dihasilkan menunjukkan nilai absorbansi film tipis photoresist berbasis resin *epoxy* yang ditumbuhkan menggunakan metode *spin coating* terdapat pada rentang panjang gelombang 350 hingga 1050 nm dengan nilai absorbansi 0,2 hingga 0,5. Kuat arus listrik yang terbangkitkan pada film tipis photoresist mencapai $5,71 \times 10^{-10}$ hingga $1,84 \times 10^{-8}$ ampere. Struktur permukaan film tipis photoresist homogen namun terlihat masih tedapat gelembung karena faktor lingkungan dan *coating* yang tidak maksimal. Gelembung yang dihasilkan pada permukaan film tipis merupakan pelarut etanol yang masih menempel pada permukaan film tipis photoresist.

Uji sensitivitas yang telah dilakukan pada sampel A menggunakan paparan sumber radiasi sinar UV didapatkan hasil bahwa photoresist berbasis resin *epoxy* dan photoresist Sigma Aldrich dapat membentuk pola pada substrat. Perbedaan sensitivitas dipengaruhi oleh senyawa PAC dan larutan pengembang.

Uji sensitivitas menggunakan paparan sumber radiasi sinar-X belum tampak pola yang terbentuk. Rentang panjang gelombang penyerapan berpengaruh terhadap sumber radiasi yang digunakan. Untuk rentang penyerapan cahaya pada panjang gelombang 350-1000 nm lebih baik menggunakan sumber radiasi sinar UV.

5.2 Saran

Pada penelitian ini dihasilkan kontras yang tidak cukup jelas karena photoresist berwarna transparan sehingga sulit menentukan tingkat kekontrasan. Pembuatan photoresist perlu dikembangkan dengan menggunakan bahan resin *epoxy* yang berwarna sehingga lebih mudah menentukan indikator pola yang dibuat dan mendapatkan tingkat kekontrasan yang tinggi. Pada pembuatan bahan photoresist harus menggunakan larutan pengembang yang sesuai dengan komposisi bahan peka cahaya sehingga mampu mengaktifkan senyawa *photoactive compound* (PAC) untuk melakukan reaksi fotokimia.



DAFTAR PUSTAKA

- Aguilar, R. G., & J.O. López. 2011. “*Low Cost Instrumentation For Spin Coating Deposition of Thin Films in an Undergraduate Laboratory*”. *Journal Physics Education*, 12(2): 368-373.
- Amin, S., & M. Amin. 2011. “*Thermoplastic Elastomeric (TPE) Materials and Their Use In Outdoor Electrical Insulation*”. *Reviews on Advanced Materials Science*, 29: 15–30.
- Arief, S., H. Sanjaya, & A. Alif. 2013. “*Pembuatan Lapisan Tipis TiO₂ Pada Plat Kaca dengan Metoda Dip coating dan Uji Aktivitas Fotokatalisnya Pada Air Gambut*” Jurnal, Padang: Universitas Negeri Padang.
- Barber, R. L., M.K. Ghantasala, R. Divan, K.D. Vora, E.C. Harvery, & D.C. Mancini. 2005. “*Optimisation of SU-8 Processing Parameters for Deep X-Ray Lithography*”. *Journal Microsystem Technologies*, 11(4): 303-310.
- Bourzac, K. 2012. “*A Giant Bid to Etch Tiny Circuits*”. “*Nature*”. 487 (7408): 419.
- Brainard, R. L., G.G. Barclay, E.H. Anderson, & L.E. Ocola. 2001. “*Resists for Next Generation Lithography*”. *Journal Microelectronic Engineering*, 61: 707-715.
- Cardona, F., & C. Moscou. 2009. “*Synthesis and Characterization of Modified Phenolic Resins For Composites With Enhanced Mechanical Properties*”. In: *20th Australasian Conference On The Mechanics of Structures and Materials (ACMSM20): Futures In Mechanics of Structures and Materials*. 2-5 Dec 2008. Toowoomba, Australia.
- Cash, J.J., M.C. Davis, M.D. Ford, T.J. Groshens, A.J. Guenthner, B.G Harvey, K.R Lamison, J.M. Mabry, H.A. Meylemans, & J.T. Reams. 2013. “*High*

- T-g Thermosetting Resins From Resveratrol". Polymer Chemistry*, 4:3859–3865
- Cheng, P., R. Sundar, K.A. Patel, & K. Udupi. 2006. "Stent With Phenoxy Primer Coating". *United States Patent*, US 7.001.421 B2.
- Chiang, W.Y., & H.T. Kuo. 2002. "Preparation of Trimethylsilyl Group Containing Copolymer For Negative Type Photoresists That Enable Stripped by an Alkaline Solution". *European Polymer Journal*, 38: 1761-1768.
- Courbat, J., D. Briand, & N.F.D. Rooij. 2010. "Reversed Processing of Dry Photoresist: Application to The Encapsulation of Chemical Sensors", *Procedia Engineering*, 5(1): 335-338.
- Cui, Z. 2008. "Nanofabrication: Principles". *Capabilities and Limits*. Springer.
- Cuno, A. B. 2011. "Photoresist & Ancillary Chemicals Manufacturing". Merden. CT 06450, U.S.A.
- Daniyan, A., L. E. Umoru, & B. Olunlade. 2013. "Preparation of Nano TiO₂ Thin Film Using Spin Coating Method". *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 1: 138-144.
- De Marco, C., A. Gaidukeviciute, R. Kiyan, S.M. Eaton, M. Levi, R. Osellame, B.N. Chickov & S. Turri. 2012. "A New Perfluoropolyether Based Hydrophobic and Chemically Resistant Photoresist Structured by Two Photon Polymerization". *Journal Langmuir*, 29(1): 426-431.
- Diby, A.K., V. Y. Voytekunas, & M. J. M. Abadie. 2007. "Kinetic Study of Negative Dry film Photoresist". *eXPRESS Polymer Letter*, 1(10): 673-680.

- D'Lorio, M. 2000. "Molecular Materials for Microelectronics". *Canadian Journal Physics Issue*, 3(78): 231 - 241.
- Fei, X., Y. Wang, H. Zhang, Z. Cui, & D. Zhang. 2009. "Synthesis of a Fluorinated Photoresist for Optical Waveguide Devices". *Applied Physics A*, 96(2): 467-472.
- Feiring, A. E., M.K. Crawford, W.B. Farnham, J. Feldman, R.H. French, K.W. Leffew, V.A. Petrov, F.L. Schadt, III.R.C. Wheland, & F.C. Zumsteg. 2003. "Design of Very Transparent Fluoropolymer Resists for Semiconductor Manufacture at 157 nm". *Journal of Fluorine Chemistry*, 122(1): 11-16.
- Figueira, R., C.J.R. Silva, & E.V. Pereira. 2015. "Influence of Experimental Parameters Using the Dip Coating Method on the Barrier Performance of Hybrid Sol Gel Coatings in Strong Alkaline Environments". *Journal of Coatings Technology and Research*, 5(2): 124-141.
- Firmansyah & Astuti. 2013. "Sintesis dan Karakterisasi Sifat Mekanik Bahan Nanokomposit Epoxy Titanium Dioksida". *Jurnal Fisika Unand*, 2(2). Padang: Universitas Andalas.
- Hadiyawarman, A. Rijal, B.W. Nuryadin, M. Abdullah, & Khairurrijal. 2008. "Fabrikasi Material Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing". *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*, 1: 14-21.
- Hernowo, D.G.O., & T. Kuwat. 2013. "Pengembangan Prototipe Sensor Elektromekanik Berbasis Prinsip Strain Gauge Menggunakan Poly(3,4ethylenedioxythiophene) dan Poly(styrene sulfonic acid)

- (PEDOT:PSS)”. *Jurnal Fisika Indonesia*, 17(49). Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hidayat, A. S., M. Rokhmat, & A. Qurthobi. 2015. “*Pengaruh Suhu dan Kecepatan Putar Spin Coating Terhadap Kinerja Sel Surya Organik Berbahan Dasar TiO2*”. *Repositoriesy*, Bandung: Universitas Telkom.
- Hirai, Y., A. Uesugi, Y. Makino, H. Yagyu, K. Sugano, T. Tsuchiya, & O. Tabata. 2011. “*Negative Photoresist Mechanical Property for Nanofiltration Membrane Embedded in Microfluidics*”. *Proceedings of Transducers*, 2706-2709.
- Houlihan, F.M., O. Nalamasu, & E. Reichmanis. 2003. “*Retrospective Of Work At Bell Laboratories On The Effect Of Fluorine Substitution On The Properties Photoacid Generator*”. *Journal of Fluorine Chemistry*, 122: 47-55.
- Huang, D., B. Ou, & R.L. Prior. 2005, “*The Chemistry Behind Antioxidant Capacity Assays*”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 1841-1856.
- Indro, M. N., B. Sastri, L. Nady, Irzaman, & Siswadi. 2010. “*Uji Sifat Listrik Film Tipis LiTaO₃ dan LiTaFe₂O₃*”. *Kumpulan Abstrak Seminar Nasional Pendidikan dan Penelitian Fisika Dalam Mengantisipasi Perubahan Fenomena Alam*. Semarang: Universitas Diponegoro Semarang.
- Irzaman, R. Erviansyah, H. Syafutra, A. Maddu, & Siswandi 2010. “*Studi Konduktivitas Listrik Film Tipis Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO₃ Yang Didadah Ferium Oksida (BFST) Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition*”. *Departemen Fisika FMIPA*, 13(1): 33-38. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

- Jipa, F., M. Zamfirescu, A. Velea, M. Popescu, & R. Dabu. 2013. "Femtosecond Laser Lithography in Organic and Non Organic Materials". *Updates in Advanced Lithography*, 3.
- Kesters, E., M. Claes, Q.T. Le, M. Lux, A. Franquet, G. Vereecke, P.W. Mertens, M.M. Frank, R. Carleer, P. Adriaensens, J.J. Biebuyk, & S. Bebelman. 2008. "Chemical and Structural Modifications In A 193 nm Photoresist After Low K Dry Etch". *Thin Solid Films*, 516(11): 3454-3459.
- Kim, Y. H., E. S. An, S. Y. Park, J.O. Lee, J. H. Kim, & B. K. Song. 2007. "Polymerization Of Bisphenol A Using Coprinus Cinereus Peroxidase (CiP) and Its Application As A Photoresist Resin. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 44: 149-154.
- Kokkinis, A., E.S. Valamontes, & I. Raptis. 2005. "Dissolution Properties of Ultrathin Photoresist Films With Multiwavelength Interferometry". *Journal of Physics: Conference Series*, 10: 401-404.
- Ku, H., M. Trada, T. Cecil, & T. Wong. 2010. "Tensile Tests of Phenol Formaldehyde Glass- Powder Reinforced Composites: Pilot Study". *Journal of Applied Polymer Science*, 116: 10-17.
- Lee, C.K., T.M. Don, W.C. Lai, C.C. Chen, D.J. Lin, & L.P. Cheng. 2008. "Preparation and Properties Of Nano Silica Modified Negative Acrylate Photoresist". *Thin Solid Films*, 516(23): 8399-8407.
- Lin, H. M., K.H. Hsieh, & F.C. Chang. 2008. "Characterization Of Negative Type Photoresist Containing Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane Methacrylate". *Journal Microelectronic Engineering*, 85: 1624-1628.

- Martins, J.S., B.G.A.L. Borges, R.C. Machado, A.G. Carpanez, R.M. Grazul, F. Zappa, W.S. Melo, M.L.M. Rocco, R.R. Pinho, & C.R.A. Lima. 2014. "Evaluation Of Chemical Kinetics In Positive Photoresist Using Laser Desorption Ionization". *European Polymer Journal*, 59: 1-7.
- Mekaru, H. 2015. "Performance of SU-8 Membrane Suitable for Deep X-Ray Grayscale Lithography". *Journal Micromachines*, 6(2): 252-265.
- Mendes, L. A. V., L. F. Avila, J.W. Menezes, R. R. Pinho, C. R. A. Lima, & L. Cescato. 2009. "Photoresists Comparative Analysis Using Soft X-Ray Synchrotron Radiation and Time Of Flight Mass spectrometry". *European Polymer Journal*, 45(12): 3347–3354.
- Miyagawa, K., K. Naruse, S. Ohnisi, K. Yamaguchi, K. Seko, N. Numa, & N. Iwasawa. 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.
- Moradi, G.R., B. Karami, M. Mohadesi. 2013. "Densities and Kinematic Viscosities in Biodiesel–Diesel Blends at Various Temperatures". *Journal of Chemical & Engineering Data*, 58(1): 99-105.
- Munnik, F., F. Benninger, S. Mikhailov, A. Bertsch, P. Renaud, H. Lorenz, & M. Gmur. 2003. "High Aspect Ratio 3D Structuring Of Photoresist Materials By Ion Beam LIGA". *Microelectronic Engineering*, 67-68: 96-103.
- Peterman, M.C., P. Huie, D. M. Bloom, & H. A. Fishman. 2003. "Building Thick Photoresist Structures From The Bottom Up". *Journal Micromechanical and Microengenering*, 13(3): 380–382.

- Poljansek, I., & M. Krajnc. 2005. "Characterization of Phenol Formaldehyde Prepolymer Resins by In Line FT-IR Spectroscopy". *Acta Chimica Slovenica*, 52(3): 238-244.
- Radhakrishnan, A. A., & B.B Beena. 2014. "Structural and Optical Absorption Analysis of CuO Nanoparticles". *Indian Journal of Advances in Chemical Science* 2, 2(2): 158-161.
- Rahmawati, E., F. Robiandi, L.A. Didik, S. Rahayu, D.J. Djoko, H. Santjojo, S.P. Sakti, & Masruroh. 2014. "Pengaruh Jenis Pelarut Xilen dan Tetrahidrofuran Terhadap Ketebalan Lapisan Polistiren Dengan Metode Spin Coating". *Jurnal Natural B*. 2, Malang: Universitas Brawijaya.
- Rihayat, T., & Suryani. 2012. "Pembuatan Polimer Komposit Ramah Lingkungan Untuk Aplikasi Industri Otomotif dan Elektronik" *Jurnal Sains, Teknologi, dan Kesehatan*, ISSN: 2089-3582, 3(1). Bandung: Universitas Islam Bandung.
- Risandriya, S. K., & M. Rivai. 2011. "Aplikasi Sensor Micro Electro Mechanical system (MEMS) Sebagai Identifikasi Ketidaknormalan Pada Conveyor Belt System". ISBN : 0-1213240-0. *Seminar Nasional Pascasarjana XI*, Surabaya: Institut Sepuluh November.
- Rustami, E. 2008. "Sistem Control Kecepatan Putar Spin Coating Berbasis Microcontroller ATmega 8535". Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ruzic, J., M. Vilotijevic, D. Bozic, & K. Raic. 2012. "Understanding Plasma Spraying Process and Characteristics of DC-Arc Plasma Gun (PJ-100)". *Metallurgical Mater Engineers*, 18(4): 273–282.

- Sahu, N., B. Parija, & S. Panigrahi. 2009. "Fundamental Understanding and Modeling of Spin Coating Process: A review". *Indian Journal Physics*, 83(4): 493-502.
- Schuster, C., F. Reuther, A. Kolanter, & G. Gruetzner. 2009. "Mr NIL 6000LT Epoxy Based Curing Resist for Combined Thermal and UV Nanoimprint Lithography Below 50°C". *Journal Microelectronic Engineering*, 86(4-6): 722-725.
- Sharma, A. K., & A.K. Ohja. 2012. "A Study on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) Sensors & their Applications". *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, ISSN Online: 2249-8958. India. 1(5): 80-86.
- Sharma, M., A.A. Naik, P. Raghunathan, & S.V. Eswaran. 2012. "Evaluation of Microlithographic Performance of 'Deep UV' Resists: Synthesis, and 2D NMR Studies on Alternating 'High Ortho' Novolak Resins". *Journal Chemistry Science*, 124(2): 395-401.
- Singla, M., & V. Chawla. 2010. "Mechanical Properties Of Epoxy Resin Fly Ash Composite". *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 9(3): 199-210.
- Solgaard, O., A. A. Godil, L. P. Lee, Y. A. Peter, & H. Zappe. 2014 "Optical MEMS: From Micromirrors to Complex Systems". *IEEE Journal of Microelectromechanical Systems*, 2: 517 – 538.
- Song, S.S., N. Carlie, J. Boudies, L. Petit, K. Richardson, & C. B. Arnold. 2009. "Spin Coating of Ge₂₃Sb₇S₇₀ Chalcogenide Glass Thin Films". *Journal Non Crystal Solids*, 355(45-47): 2272–2278.

- Subramani, B.G., & P. Selvaganapathy. 2009. "Surface Micromachining of PDMS Using Sacrificial Photoresist". *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 19. 015013 (10pp).
- Susanthy, D., Gusnedi, & Z. Kamus. 2014. "Pengaruh Waktu Spin Coating Terhadap Struktur dan Sifat Listrik Sel Surya Pewarna Tersensitasi". *Jurnal Pillar Of Physics*, 1: 33-40. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Sutikno, M.L. Hakim, & Sugianto. 2016. "Synthesis of Phenolic Based Resist Materials for Photolithography". *Oriental Journal Of Chemistry*, 1(32): 165-170.
- Syuhada, P.L. Gareso, & E. Juarlin. 2014. "Pengaruh Doping Nitrogen (N) Terhadap Sifat Optik dan Struktur Kristal ZNO". Reporsitosy, Makassar: Universitas Hasanudin.
- Tayubi, Y., R. Suhandi, & Andi. 2014. "Sifat Optik Film Tipis GAN Yang Dideposisi Dengan Teknik Spincoating Di Atas Substrat Sapphire". *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 15(1). Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Timuda, G.E., & A. Maddu. 2010. "Pengaruh Ketebalan terhadap Sifat Optik Lapisan Semikonduktor Cu₂O yang Didepositikan dengan Metode Chemical Bath Deposition (CBD)". *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 28. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Travis, J. C., M.V. Smith, S.J. Choquette, & H.K. Liu. 2011. "Certified Transmittance Density Uncertainties for Standard Reference Materials using a Transfer Spectrophotometer". *National Institute of Standards and Technology Note*, 1715: 13.

- Tsai Y. C., P.J. Hsiu, K.W. Lin, & Y.Z. Hsieh. 2006. "Fabrication Of Microfluidic Devices Using Dry Film Photoresist For Microchip Capillary". *Journal Of Chromatography*, 1111(A): 267-271.
- Widodo, S., & N. Sudrajad. 2014. "Proses Photolithography Dalam Fabrikasi Divais Semikonduktor". *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
- Wood, T., V. Brissonneau, J.B. Brukneret, G. Berginc, F. Flory, J.L. Rouzo, & L. Escoubas. 2013. "Optical Measurement Of Exposure Depth And Refractive Index In Positive Photoresist". *Journal Optics Communications*, 291: 184-192.
- Xu, G. R., M.J. Xu, & Li, Bin. 2014. "Synthesis and Characterization Of a Novel Epoxy Resin Based On Cyclotriphosphazene and Its Thermal Degradation and Flammability Performance". *Polymer Degradation and Stability*, 109: 240-248.
- Yacobi, B. G. 2003. "Semiconductor Materials An Introduction to Basic Principles". New York: Kluwer Academic Publisher.
- Yandri, V.R. 2010. "Perbandingan Kinerja Keramik dan Resin Epoksi Sebagai Isolator Tegangan Menengah 20 KV Di Daerah Beriklim Tropis". ISSN: 2085-698. Padang: Politeknik Universitas Andalas.
- Yulianti, H & Akhadi, M. 2001. "Optimalisasi Proteksi Dalam Pemeriksaan Foto Thorax". *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir P3TM-BATAN*. Yogyakarta.
- Yulika, D., Kusumandari, & R. Suryana. 2014. "Pelapisan TiO₂ diatas FTO dengan Teknik Slip Casting dan Spin Coating Untuk Aplikasi DSSC".

- Jurnal Fisika Indonesia*, 8(53). ISSN : 1410-2994. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Yusria, H. O., & Astuti. 2013. “*Sifat listrik dan Optik Nanokomposit Epoxy Resin-TiO₂*”. *Jurnal Fisika Unand*, 2(2): 135-137. Padang: Universitas Andalas
- Yuzria, H.O., & Astuti. 2013. “*Sifat Listrik dan Optik Nanokomposit Epoxy Resin TiO₂*”. *Jurnal Fisika Unand*, 2(2). Padang: Universitas Andalas.
- Zhang, J., K.L. Tan, G.D. Hong, L.J Yang, & H.Q. Gong. 2001. "Polymerization Optimization of SU-8 Photore sist and its Application in Microfluidic Systems and MEMS". *Journal Of Micromechanics and Microengineering*, 11: 20-26.
- Zhu, J., L. Ti, X. Liu, Y. Jiang, & S. Ma. 2016. “*Progress on Bio Based Thermosetting Resins*”. *Iranian Polymer Journal*, 25:957–965.

