SINTESIS BAHAN RESIST DARI *EPOXY* UNTUK APLIKASI FOTOLITOGRAFI

skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

oleh

Eka Nurdiana
4211409030

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2013

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, 22 Agustus 2013

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Sutikno, S.T., M.T.	Dr. Sugianto, M.Si.
NIP. 19741120 199903 1 003	NIP. 19610219 199303 1 001

PERNYATAAN

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, 26 Agustus 2013

METERAI TEMPEL
EB342ABF594096137
ENAM RIBU RUPIAH
6000 DJP

Eka Nurdiana

4211409030

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul:

SINTESIS BAHAN RESIST DARI *EPOXY* UNTUK APLIKASI FOTOLITOGRAFI

disusun oleh

nama : Eka Nurdiana

NIM : 4211409030

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA Universitas Negeri Semarang pada tanggal 26 Agustus 2013.

Panitia:

Ketua

Prof. Dr. Wiyanto, M.Si.
NIP. 19631012 198803 1001

Sekretaris

Dr. Khumaedi, M.Si.
NIP. 19630610 198901 1002

Penguji Utama

Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si.
NIP. 19810815 200312 1003

Anggota Penguji/
Pembimbing Utama

Dr. Sutikno, S.T., M.T.
NIP. 19741120 199903 1003

Anggota Penguji/
Pembimbing Pendamping

Dr. Sugianto, M.Si.
NIP. 19610219 199303 1001

MOTTO DAN DEDIKASI

❖ MOTTO

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

يَٰٓأَيُّهَا ٱلَّذِينَ ءَامَنُوا۟ ٱسْتَعِينُوا۟ بِٱلصَّبْرِ وَٱلصَّلَوٰةِ ۚ إِنَّ ٱللَّهَ مَعَ ٱلصَّٰبِرِينَ ﴿١٥٣﴾

Artinya: Wahai orang-orang yang beriman! Mohonlah pertolongan dengan sabar dan shalat; sesungguhnya Allah adalah beserta orang-orang yang sabar (Al-Baqarah:153)

- Ngelmu iku kelakone kanthi laku
- Durung menang yen durung wani kalah, durung unggul yen durung wani asor, durung gedhe yen durung wani cilik.
- Malam yang gelap selalu diikuti pagi yang terang.
- Kebanggaan dan kesuksesan tidak dinilai dari hasil yang didapatkan, melainkan dari proses untuk mencapai hasil tersebut. (Penulis)
- Jangan lengah dengan prestasi yang telah diraih, karena kelengahan itu akan mendatangkan kemunduran. Karenanya, teruslah berjuang untuk meraih prestasi. (Penulis)

❖ DEDIKASI

Skripsi ini didesikasikan kepada:

1. Bapak dan Ibu tercinta
2. Adik, Nenek dan Pak Puh Soeran
3. Teman-teman Fisika angkatan 2009

KATA PENGANTAR

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 Bahan Resist dari *Epoxy* untuk Aplikasi UV Litografi" 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. Prof. Dr. Wiyanto, M.Si., Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin dan kesempatan untuk melaksanakan penelitian.
2. Dr. Khumaedi, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin dan kesempatan untuk melaksanakan penelitian sampai skripsi ini terselesaikan.
3. Sunarno, S.Si, M.Si., dosen wali penulis atas ijin dan arahan yang diberikan.
4. Dr. Sutikno, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama atas bimbingan, masukan dan arahan yang diberikan. Penelitian ini merupakan bagian penelitian payung tentang pengembangan Bahan Resist yang diprogramkan oleh Dr. Sutikno, S.T., M.T.
5. Dr. Sugianto, M.Si., selaku dosen pembimbing pendamping atas bimbingan, masukan dan arahan yang diberikan.

6. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si., yang telah menguji dan memberikan masukan kepada penulis.
7. Pak Wasi, Pak Muttaqin, Mbak Lia, Mbak Dian, Mbak Endah dan Mas Huda, sebagai laboran yang memberikan bantuan dalam penelitian ini.
8. Bapak Wakit dan Ibu Mariatun, yang sangat berperan pada perjuangan penulis, senantiasa memberikan doa, dukungan, semangat dan motivasi kepada penulis serta Adik Irma, Mbah Rame dan Pak Puh Soeran atas doa, dukungan dan bantuan yang diberikan.
9. Teman-teman komposit Bang Lukman, Sri, Azis, Ajeng, Ika, Nathiqoh, Noe dan Septian yang memberikan semangat dan motivasi.
10. Teman-teman Fisika 2009, Riza, Vita, Mbak Fitri, Kiki, Yanti, Mak Cik, dan lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan sat per satu.
11. Teman-teman kos An-Najma yang memberikan motivasi dan semangat kepada penulis.
12. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sampaikan satu per satu.

Semoga Allah SWT memberikan balasan kebaikan dan barokah kepada pihak-pihak tersebut.

Akhirnya diharapkan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan penelitian selanjutnya.

Semarang, Agustus 2013

Eka Nurdiana

ABSTRAK

Nurdiana, E. 2013. *Sintesis Bahan Resist dari Epoxy untuk Aplikasi UV Litografi*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Dr. Sutikno, S.T., M.T. dan Pembimbing Pendamping Dr. Sugianto, M.Si

Kata kunci: photoresist berbasis *epoxy*, polimer fotosensitif, litografi

Penggunaan polimer telah berkembang pesat dalam banyak bidang elektronik beberapa tahun ini. Salah satu aplikasi utama dari polimer dalam elektronik yaitu sebagai resist litografi. Photoresist yang banyak digunakan salah satunya photoresist *epoxy.* Penelitian ini mengarah pada pengembangan photoresist berbasis *epoxy,* yang bertujuan untuk mengetahui cara pembuatan photoresist dengan bahan resin *epoxy* serta mengkaji struktur permukaan, absorbansi, kerapatan dan viskositas photoresist yang dihasilkan.

Pembuatan photoresist pada penelitian ini menggunakan bahan resin *epoxy, sodium acetate trihydrate* dan toluena. Metode pembuatan photoresist dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap pembuatan sampel cairan photoresist dan sampel film tipis photoresist. Sampel cairan photoresist untuk pengukuran kerapatan dengan metode massa per volume dan viskositas menggunakan LV series viscometer spindle number. Sampel film tipis photoresist untuk karakterisasi struktur mikro menggunakan CCD Microscope MS-804 dan absorbansi menggunakan spektrometer *ocean optic* Vis-NIR USB4000. Pengukuran kerapatan dan viskositas masing-masing menggunakan enam sampel dan tiga sampel cairan photoresist. Karakterisasi struktur mikro dan absorbansi masing-masing menggunakan enam sampel dan lima sampel film tipis photoresist.

Photoresist *epoxy* yang dihasilkan memiliki absorbansi 0,1-1,5 pada panjang gelombang g-line, h-line dan i-line. Struktur mikro permukaan film tipis photoresist dengan pemanasan 70ºC menghasilkan permukaan lebih homogen daripada pemanasan 95ºC. Kerapatan photoresist meningkat dengan semakin banyaknya komposisi toluena dan viskositas cairan photoresist berkurang dengan meningkatnya komposisi toluena.

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 I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 8

1.3 Batasan Masalah 8

1.4 Tujuan Penelitian 8

1.5 Manfaat Penelitian 9

1.6 Sistematika Penulisan Skripsi 9

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Photoresist 11

2.1.1 Klasifikasi Photoresist 12

2.1.2 Aplikasi Photoresist 17

2.1.3 Komposisi Photoresist 19

2.1.4 Struktur Mikro Permukaan 25

2.1.5 Absorbansi 26

2.1.6 Kerapatan Photoresist 29

2.1.7 Viskositas Photoresist 29

2.2 *Epoxy* 31

2.2.1 Karakteristik Bahan *Epoxy* 33

2.2.2 Penggunaan *Epoxy* dalam Pembuatan Photoresist 35

2.3 *Sodium Acetate Trihydrate* 37

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Pelaksanaan Penelitian 41

3.2 Alat dan Bahan 41

3.2.1 Alat 41

3.2.2 Bahan 42

3.3 Langkah Kerja 42

3.3.1 Diagram Alir Penelitian 42

3.3.2 Penimbangan Bahan 43

3.3.3 Pencampuran Bahan 44

3.3.4 Penyaringan 45

3.3.5 Pembuatan Sampel Film Tipis 46

3.4 Karakterisasi Hasil..... 47

3.4.1 Karakterisasi Struktur Permukaan dengan CCD Microscope 47

3.4.2 Karakterisasi Absorbansi dengan Spektometer Vis-NIR 48

3.4.3 Pengukuran Kerapatan..... 50

3.4.4 Pengukuran Viskositas 51

3.5 Analisis data 51

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Sampel Photoresist..... 53

4.1.1 Pembuatan Sampel Cairan Photoresist..... 53

4.1.2 Pembuatan Sampel Film Tipis Photoresist 56

4.2 Karakterisasi Hasil..... 61

4.2.1 Struktur Mikro Film Resist 61

4.2.2 Nilai Absorbansi Film Tipis Resist pada Gelombang Vis-NIR 65

4.2.3 Hasil Pengukuran Kerapatan..... 73

4.2.4 Hasil Pengukuran Viskositas..... 75

BAB V PENUTUP

5.1 Simpulan..... 81

5.2 Saran 82

DAFTAR PUSTAKA 83

LAMPIRAN.... 90

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Sifat termal dan fisik campuran *sodium acetate trihydrate* dan air.... 40

Tabel 3.1 Komposisi komponen bahan photoresist.... 44

Tabel 4.1 Data pengukuran kerapatan cairan photoresist.... 73

Tabel 4.2 Kerapatan photoresist berbasis *epoxy* SU8.... 75

Tabel 4.3 Data pengukuran viskositas photoresist.... 76

Tabel 4.4 Viskositas kinematik sampel cairan photoresist.... 77

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Struktur kimia dari molekul SU8.... 15

Gambar 2.2 Struktur anion pada PAG ionik.... 23

Gambar 2.3 Spektrum transmisi dari SU8 jenis SU-8100 tanpa penyinaran dengan ketebalan 1 mm.... 27

Gambar 2.4 Intensitas transmisi dari film SU8 pada panjang gelombang yang berbeda setelah peningkatan waktu penyinaran.... 28

Gambar 2.5 Ikatan atom oksigen dan dua atom karbon pada *epoxy*.... 32

Gambar 2.6 Reaksi bisphenol A (BPA) dengan *epichlorohydrine* (ECH) (106-89-8).... 32

Gambar 2.7 Struktur dari beberapa tipe resin *epoxy* multifungsional..... 33

Gambar 2.8 Struktur *Sodium acetate trihydrate*.... 38

Gambar 2.9 Diagram fase *sodium acetate* dan air.... 39

Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.... 43

Gambar 3.2 Proses pembuatan film tipis photoresist..... 46

Gambar 3.3 CCD Microscope MS-804..... 47

Gambar 3.4 Spektrometer *ocean optic* Vis-NIR USB4000.... 49

Gambar 4.1 Magnet pengaduk yang digunakan dalam pembuatan cairan photoresist.... 54

Gambar 4.2 Sampel cairan photoresist..... 55

Gambar 4.3 Proses *spin coating* cairan photoresist.... 57

Gambar 4.4 Proses pemanasan awal sampel film tipis photoresist..... 58

Gambar 4.5 Sampel film tipis photoresist yang siap dikarakterisasi.... 59

Gambar 4.6 Struktur permukaan film tipis photoresist untuk enam sampel photoresist dengan komposisi yang berbeda.... 63

Gambar 4.7 Struktur permukaan film tipis photoresist dengan suhu *prebake* yang berbeda..... 65

Gambar 4.8 Spektrum absorbansi photoresist dari sampel B, C, D, E dan F.... 66

Gambar 4.9 Grafik spektrum absorbansi photoresist sampel B.... 67

Gambar 4.10 Grafik spektrum absorbansi photoresist sampel C.... 68

Gambar 4.11 Grafik spektrum absorbansi photoresist sampel D..... 68

Gambar 4.12 Grafik spektrum absorbansi photoresist sampel E.... 69

Gambar 4.13 Grafik spektrum absorbansi photoresist sampel F.... 70

Gambar 4.14 Grafik absorbansi photoresist pada g, h, dan i-line.... 71

Gambar 4.15 Grafik kerapatan sampel cairan photoresist.... 74

Gambar 4.16 Grafik viskositas kinematis dan viskositas dinamis sampel cairan photoresist.... 79

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1 Hasil pengamatan CCD Microscope MS-804 90

Lampiran 2 Grafik spektrum absorbansi dengan menggunakan Vis-NIR 102

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan polimer telah berkembang pesat dalam banyak bidang elektronik beberapa tahun ini. Selama dekade terakhir, pandu gelombang optik dan perangkat yang menggunakan bahan polimer telah menarik minat karena potensi aplikasinya dalam komunikasi optik, interkoneksi optik dan optik terpadu. Utamanya, penggunaan bahan polimer diharapkan dapat mengarah pada biaya yang lebih rendah dan peningkatan perbandingan harga-unjuk kerja. Polimer konvensional pandu gelombang optik difabrikasi menggunakan fotolitografi dan teknik *reactive ion etching* (RIE) (Fei *et al.*, 2009). Teknologi baru polimer *microelectromechanical systems* (MEMS) telah memungkinkan untuk fabrikasi sederhana dan murah untuk sistem mikrofluida *prototyping* yang cepat. Polimer ini menciptakan peluang baru bagi banyak aplikasi, seperti teknik jaringan dan obat regeneratif (Hirai *et al.*, 2011).

Salah satu aplikasi utama dari polimer dalam elektronik yaitu sebagai resist litografi pada fabrikasi *integrated circuit* (IC) (Chiang & Kuo, 2002). Resist litografi memanfaatkan sumber radiasi dan bahan polimer fotosensitif untuk melakukan transfer pola (Campo & Greiner, 2007). Resist atau photoresist secara umum terdiri dari empat komponen yaitu resin (polimer), *photoactive compound* (PAC), s*olvent* (pelarut) dan aditif (Schuster *et al.*, 2009). Umumnya, photoresist negatif terdiri dari pengikat, monomer fungsional fotosensitif, *photoinitiator*,

pelarut, dan pigmen (Lee *et al.*, 2008). Sedangkan, photoresists positif untuk produksi perangkat semikonduktor terdiri dari resin fenolik dan senyawa (*diazonaphtoquinone*) DNQ, dan larutan alkali kuat seperti cairan tetra-amonium hidroksida yang digunakan sebagai pengembang (Miyagawa *et al.*, 2001). Photoresist merupakan rumusan polimer fotosensitif yang dilapiskan pada lapisan silikon. Setelah photoresist dilapiskan pada lapisan silikon, maka akan mengering dan bereaksi apabila ada paparan cahaya ultraviolet melalui sebuah proses yang disebut litografi. Cahaya menyebabkan perubahan kimia dalam photoresist yang membuat materi lebih mudah larut sehingga daerah iradiasi dapat dihilangkan dengan mencuci menggunakan pelarut (Feiring *et al*., 2003).

Photoresist adalah bahan yang sangat penting untuk proses fotofabrikasi. Photoresist banyak digunakan untuk pembuatan mikroelektronika, papan sirkuit cetak, percetakan *silk screen* dan disk optik (Chae *et al.*, 2002). Penggunaan struktur mikromekanik polimer memungkinkan pembuatan MEMS dengan biaya yang murah. Hal ini sangat menarik untuk konsumen MEMS (Wouters, *et al.,* 2009). Selain itu, photoresist banyak digunakan untuk penyaringan resist warna dan sebagainya (Lee *et al.*, 2008). Resist yang secara kimia diperkuat menggunakan reaksi katalis asam telah banyak digunakan untuk produksi IC. Sebuah materi molekul resist berdasarkan *oligomer polyhedral silsesquioxane*, berhasil disintesis untuk *deep UV* litografi (Kim *et al.*, 2006). Photoresist digunakan pada industri alat-alat elektronik seperti *printed circuit board* (PCB) dan juga digunakan dalam pembuatan sel surya dan piranti elektronik lainnya (Feiring *et al*., 2003). Photoresist merupakan bahan kimia yang penting dalam

pengolahan bahan semikonduktor, pengolahan *liquid crystal display* (LCD), serta banyak proses pencetakan yang lain dan penggunaannya telah meningkat dalam beberapa tahun ini (Kim *et al.*, 2007).

Photoresist yang merupakan bagian dari aplikasi fotolitografi, sangat menarik untuk fabrikasi mikrostruktur. Bahan tersebut sangat efisien untuk menghasilkan pola yang tepat dan secara mekanik tahan terhadap struktur mikro dan nano (Benlarbi *et al.*, 2012). Radiasi UV diterima dengan baik sebagai teknologi yang mempunyai keuntungan jelas yang mewujudkan transformasi kuasi-instan dari cairan resin menjadi polimer padat selektif di bawah daerah tersinari (Li *et al.*, 2009). Fotolitografi yang membentuk teknik proses *lithography*, *galvanoforming*, *and abformung* (LIGA) mempunyai potensi yang besar untuk aplikasi MEMS. Saat ini, banyak diajukan resist baru seperti SU-8 (kopolimer berbasis *epoxy*) yang berpotensi untuk memenuhi profil tersebut (Cheng *et al.*, 2003).

Baru-baru ini, berbagai polimer sedang diselidiki sebagai photoresists baru, karena permintaan untuk resolusi dan citra yang tinggi (Kim *et al.*, 2007). Photoresist tebal, seperti SU-8 dan *polymethylmethacrylate* (PMMA) banyak digunakan untuk fabrikasi mikrostruktur perbandingan aspek tinggi dalam MEMS. Sebagai alternatif yang lebih murah untuk litografi X-ray dari PMMA, ultraviolet (UV) litografi, SU-8 telah banyak digunakan untuk aplikasi MEMS beberapa tahun ini (Yang *et al.*, 2007). Resist ultra tebal dengan perbandingan aspek tinggi penting untuk berbagai aplikasi MEMS, misalnya, sensor dan aktuator elektrostatik, saluran fluidik, dan robot mikro (Chuang *et al.*, 2002). Polimer organik memiliki sifat yang fleksibel dan memiliki aplikasi yang banyak

pada berbagai industri. (Lee *et al.*, 2008). Penggunaan film tipis photoresist untuk banyak sistem mekanik mikroelektronik telah menunjukkan aplikasi yang menjanjikan untuk komponen mikro dan mekanik. Karakterisasi sifat film tipis photoresist penting untuk aplikasi mesin. Pengukuran sifat mekanik dari mikrostruktur, tes nanoindentasi menjadi teknik yang populer karena akurat dan sederhana (Chang *et al.*, 2007). Hingga saat ini bahan photoresist masih diproduksi oleh beberapa negara maju. Indonesia belum memiliki industri yang memproduksi photoresist. Hal ini mengakibatkan pemenuhan kebutuhan photoresist di dalam negeri masih harus mengimpor dari luar negeri. Indonesia belum memproduksi photoresist karena minimnya penelitian dalam bidang photoresist.

Polimer berbasis *epoxy* merupakan kandidat yang baik untuk digunakan sebagai bagian struktural permanen, aktif atau pasif dari perangkat mekanik mikro elektro. Beberapa *epoxy* dapat dipola menggunakan alat UV litografi standar. Contoh photoresist berbasis *epoxy* yang populer adalah photoresist negatif SU-8 (Wouters *et al.*, 2009). SU-8 adalah jenis photoresist negatif *near*-UV seperti *epoxy* yang berdasarkan resin Epon SU-8. Photoresist ini dapat diperoleh dengan melarutkan resin Epon SU-8 di pelarut organik GBL (*Gamma-butyloractone*). Garam Triaryl Sulfonium ditambahkan (10% wt Epon SU-8) dan dicampur dengan resin sebagai fotoinisiator (Zhang *et al.*, 2001).

Beberapa tahun ini, tipe photoresist negatif, EPON SU-8 mendapat perhatian dalam bidang MEMS karena memiliki sifat litografi yang luar biasa (William & Wang, 2004). SU-8 banyak digunakan sebagai UV photoresist negatif untuk

fabrikasi mikro struktur dengan perbandingan aspek tinggi sebagai pengganti proses LIGA. Umumnya digunakan ketebalan resist SU-8 sekitar puluhan hingga ratusan mikrometer dengan aspek perbandingan kurang dari 10. Struktur SU-8 dapat mencapai ketebalan 2.1 mm dan aspek perbandingan lebih dari 18. SU-8 tidak hanya digunakan untuk fabrikasi struktur mikromekanik, tetapi juga cetakan perbandingan aspek tinggi untuk plating (Tseng & Yu, 2002). SU-8 telah terbukti sebagai bahan yang cocok untuk mikrofabrikasi dalam menggabungkan pengolahan lapisan photoresist ultra-tebal dan UV litografi (Liu *et al.*, 2005).

Bahan *epoxy* merupakan bahan alternatif jenis *epoxidized polymers* yang tersedia dalam bentuk padat maupun cair. Bahan ini umumnya memberikan sifat adhesi yang luar biasa terhadap permukaan semikonduktor, sensitivitas yang baik dan harga yang murah. Peningkatan kerumitan IC – *multi-layers printed circuits* dan fakta bahwa photoresist berbasis *epoxy* tidak dapat dilepas dengan mudah setelah *etching* sehingga memerlukan *dry film photopolymers* fotosensitif yang baru (Diby *et al.*, 2007). Gugus *epoxy*, bertanggung jawab terhadap kekuatan adhesi ke substrat, juga membentuk ikatan untuk permukaan substrat kedua selama langkah ikatan yang sebenarnya (Huesgen *et al.*, 2010). Berdasarkan uraian di atas, photoresist berbahan polimer *epoxy* mempunyai potensi yang sangat besar. Melihat sifat-sifatnya yang luar biasa, photoresist berbasis *epoxy* memiliki prospek yang baik untuk aplikasi mikrostruktur, salah satunya proses litografi. Berbagai penelitian dalam bidang photoresist berbasis *epoxy*, sangat diperlukan untuk mengembangkan unjuk kerja dan sifat photoresist berbasis *epoxy* yang lebih baik.

Penelitian tentang photoresist telah banyak dilakukan di beberapa negara luar Indonesia. Flack & Kulas (2000) telah mengkarakterisasi *photoresist stippable* ultra-tebal menggunakan *stepper broadband*. Feiring (2003) telah berhasil mendesain resist fluoropolimer transparan untuk pembentukan semikonduktor pada panjang gelombang 157 nm sedangkan Schuster (2009) telah mengembangkan resist dari *epoxy* untuk kombinasi litografi termal dan UV nanoimprint dibawah suhu 50˚C. Bahkan kini sudah dikembangkan pembuatan bahan resist dengan teknologi *reversible addition fragmentation chain transfer* (RAFT). Teknologi RAFT digunakan untuk memproduksi polimer dengan *polydispersity* (PD) yang rendah dan mengendalikan arsitektur polimer. Berbagai macam polimer telah disintesis untuk digunakan dalam perkembangan photoresist dengan menggunakan teknik ini. Teknologi polimerisasi RAFT juga digunakan untuk memproduksi kopolimer blok dengan memvariasi lebar monomer (Sheehan *et al*., 2008).

Penelitian-penelitian lain untuk pengembangan photoresist masih sangat perlu dilakukan untuk menghasilkan produk resist yang lebih baik. Kinerja photoresist secara umum telah dioptimalkan dalam beberapa tahun terakhir untuk mencapai geometri sekecil mungkin. Beberapa formulasi photoresist baru yang tersedia memiliki sifat lebih disesuaikan untuk membuat struktur perbandingan aspek tinggi yang diperlukan untuk cetakan elektroplating (Flack & Kulas, 2000). Hasil yang diharapkan pada penelitian ini adalah photoresist negatif. Sifat-sifat yang dimiliki photoresist negatif diantaranya memiliki adhesi yang baik dengan silikon, biaya relatif lebih murah, pengembang berbasis organik, fitur minimum yang

dicapai sebesar 2 μm dan memiliki tahanan kimia yang baik. Sedangkan sifat dari photoresist positif antara lain memiliki adhesi yang cukup dengan silikon, biaya relatif lebih mahal, pengembang berbasis cairan, fitur minimum yang dicapai sebesar 0,5 μm dan memiliki tahanan kimia yang cukup. Photoresist negatif saat ini cenderung menunjukkan adhesi yang lebih baik untuk berbagai substrat seperti Si, GaAs, InP dan kaca, serta logam, termasuk Au, Cu dan Al, dibandingkan dengan photoresist positif. Selain itu, generasi sekarang dari g, h dan i-line photoresist negatif menunjukkan ketahanan suhu yang lebih tinggi dari pada resist positif (Wikipedia.org).

Parameter yang sangat penting pada photoresist salah satunya adalah viskositas. Viskositas ditentukan oleh jumlah pelarut dan memungkinkan berbagai ketebalan resist (Zhang *et al.*, 2001). Photoresist viskositas tinggi memiliki kelemahan pada saat *spin coating* seperti gelembung, rata ketebalan, perataan tepi dan sulit mengendalikan ketebalan (US 20060263520A1). Larutan dengan viskositas rendah dapat membentuk lapisan halus tetapi dapat mengalir lebih mudah ke fitur aspek rasio tinggi dan karena itu dapat menyebabkan variasi ketebalan photoresist di bagian atas dan bawah rongga. Pelarut menguap dari permukaan resist selama *prebake,* sehingga kandungan pelarut sangat berpengaruh pada proses *prebake.* Berdasarkan hal tersebut, pemilihan komposisi photoresist, yaitu jumlah pelarut dan viskositas larutan merupakan hal yang sangat penting (Pham *et al.,* 2004).

Melihat luasnya kajian photoresist seperti yang diuraikan sebelumnya, maka penelitian ini menitikberatkan kajian pada jumlah pelarut dan viskositas. Sampel

yang dibuat menggunakan variasi jumlah toluena sebagai pelarut untuk menghasilkan cairan photoresist dengan viskositas yang berbeda-beda. Hal ini karena jumlah pelarut dan viskositas sangat berpengaruh pada proses *spin coating, prebake* dan berpengaruh pada struktur mikro permukaan film tipis yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

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

(1). Bagaimana cara mensintesis bahan photoresist dari bahan resin *epoxy*?

(2). Bagaimana struktur mikro permukaan, absorbansi, kerapatan dan viskositas photoresist yang dihasilkan?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini beberapa permasalahan dibatasi sebagai berikut.

(1). Membuat photoresist dari bahan polimer *epoxy* resin.

(2). Karakterisasi kerapatan, viskositas, absorbansi dan viskositas.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yang selanjutnya terangkum sebagai berikut.

(1). Membuat bahan photoresist dari resin *epoxy*.

(2). Mengetahui komposisi bahan photoresist yang dihasilkan.

(3). Mengetahui sifat-sifat photoresist yang dihasilkan yaitu struktur mikro permukaan, absorbansi, kerapatan dan viskositas.

(4). Mengembangkan penelitian dalam bidang photoresist.

1.5 Manfaat Penelitian

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

(1). Menghasilkan bahan photoresist dari resin *epoxy*.

(2). Mengetahui komposisi bahan photoresist yang dihasilkan.

(3). Mengetahui sifat-sifat photoresist yang dihasilkan.

(4). Mengembangkan penelitian dalam bidang photoresist.

1.6 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan skripsi tersusun dari tiga bagian utama dengan tujuan untuk menyajikan isi skripsi secara terstruktur. Penulisan skripsi ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian pendahuluan skripsi, bagian isi skripsi, dan bagian akhir skripsi. Bagian pendahuluan skripsi memuat halaman judul, abstrak, halaman pengesahan, motto, persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran. Bagian isi skripsi terdiri dari lima bab. Bab I adalah pendahuluan yang berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan skripsi. Bab II adalah landasan teori, berisi tentang teori-teori yang mendukung penelitian. Bab III metode penelitian yang berisi tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian. Bab

IV adalah hasil penelitian dan pembahasan. Bab ini mengkaji tentang hasil-hasil penelitian yang diperoleh. Bab V penutup yang berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian serta saran-saran yang membangun untuk penelitian selanjutnya. Bagian akhir skripsi berisi tentang daftar pustaka yang digunakan sebagai referensi pada penulisan skripsi serta lampiran-lampiran yang perlu disertakan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Photoresist

Resist adalah resin polimer fotosensitif yang digunakan untuk memproduksi perangkat mikroelektronik ke substrat semikonduktor seperti silikon melalui transfer pola ganda dan proses deposisi (Houlihan *et al.,* 2003). Photoresis adalah campuran organik dari polimer dan aditif dengan berat molekul rendah yang berfungsi sebagai bahan sensitif cahaya untuk manufaktur piranti semikonduktor, seperti *integrated circuit* (IC) (Diby *et al.*, 2007). Photoresist merupakan bahan kimia fotosensitif yang digunakan untuk meletakkan dan membentuk pola rangkaian perangkat elektronik. Dalam pembuatan IC, lapisan tipis photoresist diterapkan pada permukaan perangkat tersebut. Cahaya dalam pola rangkaian yang diinginkan, kemudian diterapkan pada resist dan dikenai bahan kimia polimerisasi untuk menciptakan pola rangkaian pada perangkat. Photoresist yang belum berkembang akan dihapus, dan setelah beberapa proses lebih lanjut, kemudian diterapkan lapisan tambahan sampai perangkat tersebut selesai.

Dalam beberapa tahun terakhir, meningkatnya kecanggihan teknik fotolitografik menggunakan radiasi pada panjang gelombang yang sebanding dengan ukuran fitur telah memungkinkan produksi massal rangkaian dengan dimensi kritis 0.25 μm. Dorongan untuk dimensi yang lebih kecil diperkirakan akan terus berlanjut di masa depan yang mengharuskan pergeseran radiasi pada panjang gelombang yang lebih pendek (Rothschild *et al.*, 1997). Migrasi

manufaktur semikonduktor untuk ukuran fitur yang lebih kecil mendorong batas-batas litografi optik dan meningkatkan kebutuhan bahan photoresist baru yang dapat memenuhi tuntutan banyak platform litografi sebelumnya (Lamanna *et al.,* 2002). Penemuan dan pengembangan resist yang diperkuat secara kimia didorong oleh permintaan untuk ukuran fitur yang lebih kecil dalam industri mikroelektronik yang mengharuskan beralih ke panjang gelombang cahaya yang lebih pendek dimana fluks foton yang tersedia mengharuskan desain resist yang sangat sensitif (Houlihan *et al.,* 2003). Oleh karena itu, pada saat ini pengembangan bahan resist difungsikan untuk menggabungkan nanopartikel ke dalam matriks photoresist untuk menambah sifat baru dan untuk mempertahankan kemampuan resist fotosensitif agar menjadi terstruktur dengan UV litografi (Ingrosso *et al.,* 2007).

Selama 10-15 tahun terakhir upaya penelitian telah dikhususkan di seluruh dunia, untuk memahami sifat resist film tipis dan efeknya pada kinerja litografi. Metode dibangun untuk karakterisasi film polimer, khususnya resist memberikan informasi yang terkait dengan sifat rata-rata yang kadang tidak berlaku pada film tipis. Oleh karena itu, perlu dikembangkan metodologi karakterisasi *in-situ* untuk film tipis yang memberikan informasi rinci (Kokkinis *et al.,* 2005).

2.1.1 Klasifikasi Photoresist

Menurut penerapannya, photoresist diklasifikasikan menjadi photoresist positif dan photoresist negatif. Photoresist positif merupakan photoresist yang ketika diterapkan, bagian yang terbuka terhadap cahaya dapat terlarut dalam larutan pengembang photoresist. Sedangkan bagian yang tidak terbuka

menyisakan bagian yang tidak dapat larut dalam pengembang photoresist. Photoresist positif sulit larut hingga tidak dapat larut sebelum *exposure* (pemaparan cahaya). Kemampuan larut meningkat selama paparan. Kelebihan photoresist positif yaitu memiliki resolusi tinggi karena daerah tak terpapar tidak ditembus oleh larutan pengembang.

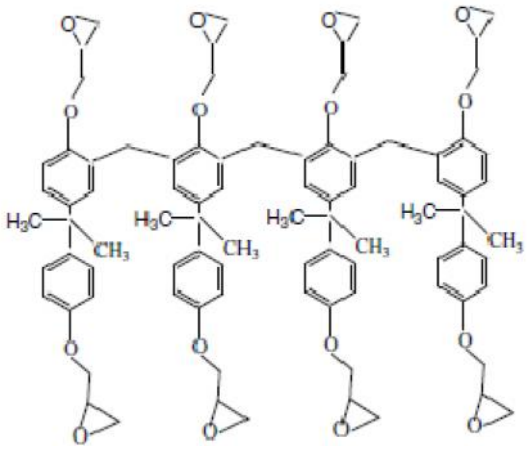
Photoresist positif untuk produksi perangkat semikonduktor yang terdiri dari resin fenolik, senyawa *o-naphthoquinone diazide* (NQD), dan larutan alkali kuat seperti cairan tetra-amonium hidroksida digunakan sebagai pengembang (Miyagawa *et al.,* 2001). Mekanisme dasar dalam photoresist positif dapat dipecah menjadi tahap inisiasi, deproteksi dan *quenching*. Pada tahap inisiasi, energi paparan cahaya menyebabkan *photo-acid generator* (PAG) dapat menghasilkan asam. Pada tahap deproteksi, ion H^+ memecah rantai samping polimer dan menghasilkan lebih banyak ion H^+, sehingga membuat resist menjadi lebih mudah larut. Hal ini terjadi pada kondisi panas. Pada tahap *quenching*, ion H^+ secara perlahan dilepaskan oleh sesuatu yang lebih mendasar daripada asam seperti aditif dan produk sampingan dari reaksi. Secara singkat dapat dikatakan bahwa, polimer mengalami *acidolysis* untuk menghasilkan gugus hidroksil yang larut dalam asam dan panas (Jakatdar *et al.,* 1998). Untuk komponen positif resist seperti DNQ, Φ (Sensitivitas intrinsik atau efisiensi kuantum fotokimia) berkisar 0.2-0.3, dibandingkan dengan 0.002 untuk PMMA. Karena resin novolak memiliki tingkat gelap *(opacity)* tinggi pada wilayah gelombang *deep UV* (200 sampai 300 nm), resist lain seperti PMMA digunakan untuk paparan dengan panjang gelombang yang lebih pendek (DUV, X-ray litografi) (Mishra, 2002).

Photoresist negatif adalah bahan yang tidak larut dalam larutan pengembang ketika terkena paparan radiasi (UV, excimer laser, dan lain-lain) (Lee *et al.,* 2002). Photoresist negatif merupakan kebalikan dari photoresist positif yaitu photoresist yang ketika diterapkan, bagian yang terbuka terhadap cahaya tidak dapat terlarut dalam larutan pengembang photoresist. Sedangkan bagian yang tidak terbuka dapat terlarut dalam larutan pengembang photoresist. Pada photoresist negatif, larutan pengembang menembus daerah film yang terpapar *(exposed film)* dan film yang tak terpapar *(unexposed film)*. Pada daerah tak terpapar, penembusan mengarah pada pemutusan film tetapi pada daerah terpapar dimana pemutusan sedikit terjadi, penembusan *solvent* (zat pelarut) menyebabkan daerah mengembang dan mengubah pola. Photoresist negatif memiliki sifat adhesi yang lebih baik untuk beberapa substrat dan laju cahaya lebih cepat yang memberikan paparan lebih besar secara menyeluruh.

Efisiensi kuantum dari *bis-aryl azide sensitizers* dalam sistem resist negatif berkisar 0.5-1.0 membuat resist negatif lebih sensitif daripada resist positif (Mishra, 2002). Tipe photoresist negatif adalah larutan dari resin polimer dan senyawa *photoactive compound* (PAC). PAC menyerap radiasi UV dan membentuk rantai kimia antara molekul resin. Hasilnya adalah gel berikatan silang tinggi dengan berat molekul yang sangat tinggi (Arun *et al.*, 2002). Umumnya, photoresist negatif terdiri dari pengikat, monomer fungsional fotosensitif, *photoinitiator*, pelarut, dan pigmen (Lee *et al.*, 2008). Kombinasi sifat polimer seperti fotosensitivitas tinggi, kelarutan yang baik, kemampuan untuk membentuk film, stabilitas termal yang baik, ketahanan terhadap pelarut setelah

reaksi silang, perlawanan terhadap plasma dan *etching agent* (zat pengetsa), sangat penting untuk penggunaan praktis sebagai bahan photoresist negatif (Diby *et al.*, 2007).

Jenis photoresist negatif cair, seperti SU8 telah digunakan untuk membuat saluran mikro dalam chip mikrofluida dan dapat memainkan peran penting sebagai komponen struktural dari perangkat mikrofluida (Thai *et al.*, 2006). Struktur kimia dari *epoxy* SU8 memiliki delapan kelompok *epoxy* pada masing-masing molekul dalam rata-rata sehingga disebut 'SU8' dan fungsionalitas dari molekul-molekul tersebut adalah delapan (Gambar 2.1) (Feng *et al.,* 2003). SU8 adalah resist berbasis *epoxy* yang pertama kali dikembangkan oleh IBM pada tahun 1989. Resist ini dirancang khusus untuk aplikasi lapisan ultra-tebal, perbandingan aspek tinggi untuk jenis aplikasi *microelectromechanical* (MEMS). Beberapa sifat penting dari SU8 membuatnya cocok untuk aplikasi tersebut.



Gambar 2.1 Struktur kimia dari molekul SU8 (Feng *et al.,* 2003).

Pertama, materi SU8 memiliki berat molekul rendah sehingga memungkinkan untuk dilarutkan dalam berbagai pelarut organik untuk membentuk larutan

terkonsentrasi tinggi (72% - 85% berat padatan). Pelapisan ultra-tebal dapat dibentuk dengan proses *multi-spinning*. Kedua, penyerapan untuk SU8 dalam spektrum UV sangat rendah, sehingga memungkinkan pola lapisan tebal. Telah diketahui bahwa jika penyerapan optik photoresist yang terlalu tinggi, bahkan dosis sinar UV tinggi akan gagal untuk menembus lapisan tebal resist untuk menghasilkan gambar yang tajam dan bersih. Ketiga, karena resist memiliki fungsionalitas tinggi, maka tingkat reaksi silang yang tinggi dapat diperoleh. Hal ini memungkinkan perbandingan aspek tinggi dan dinding samping lurus yang ingin dicapai dalam aplikasi litografik. Fungsionalitas yang tinggi juga menyebabkan resist memiliki ketahanan kimia dan ketahanan panas yang tinggi serta sifat mekanik yang baik. Suhu transisi kaca (Tg) yang dimiliki lebih dari 200 ºC dan suhu dekomposisi (Td) sekitar 380 ºC untuk penyinaran SU8 secara penuh. Sifat mekanik yang sangat baik dari bahan ini membuatnya mampu memberikan struktur dan dukungan untuk struktur mikro. Akhirnya, SU8 merupakan bahan non-konduktif dan dengan demikian dapat digunakan sebagai dielektrik dalam elektroplating. Banyak perangkat MEMS baru, termasuk cetakan mikro dan fabrikasi mikro 3D yang sebelumnya tidak mungkin untuk difabrikasi, sekarang dapat dibuat dengan menggunakan SU8. Struktur foto hingga ketebalan 1200 μm dengan perbandingan aspek lebih besar dari 18 diperoleh dengan proses pelapisan ganda. SU8 tidak hanya digunakan untuk *masking* (penopengan) dan transfer pola, tetapi juga langsung digunakan sebagai bahan polimer untuk membuat komponen mikro-mekanis (Feng *et al.,* 2003).

Sedangkan menurut bentuknya, photoresist dibedakan menjadi photoresist cair (*liquid photoresist*) dan photoresist film kering (*dry film photoresist*). Photoresists cair paling banyak digunakan dalam industri mikroelektronika. Resist terdiri dari tiga komponen: resin atau bahan dasar, senyawa foto aktif, dan pelarut yang mengontrol sifat mekanik seperti viskositas, yang merupakan parameter penting untuk aplikasi yang tahan terhadap wafer. Photoresist cair diterapkan pada wafer melalui teknik *spin coating* di mana wafer dan resist diputar dengan kecepatan tinggi untuk membentuk lapisan yang seragam. Resist cair diusulkan sebagai alternatif untuk photoresist film kering untuk mengurangi biaya bahan volume produksi lapisan dalam yang besar dan untuk mengotomatisasi pembuatan *in-line*. Photoresist film kering awalnya dikembangkan 30 tahun yang lalu untuk fabrikasi papan sirkuit cetak (PCB). Meskipun aplikasi untuk fabrikasi MEMS jarang, photoresist film kering telah dilaporkan berguna untuk pembuatan cetakan *electroplating* dan untuk memperkuat saluran fluidik (Kanikella, 2007). Photoresist cair cenderung memiliki adhesi yang lebih baik daripada photoresist film kering dan perawatan permukaan tembaga dapat digunakan untuk lebih meningkatkan adhesi (Liu *et al.,* 2000).

2.1.2 Aplikasi Photoresist

Photoresist digunakan dalam aplikasi litografi modern, seperti yang saat ini diperkenalkan dalam produksi untuk resolusi sub 150 nm dengan litografi 248 nm atau 193 nm, merupakan bahan cukup kompleks yang harus menggabungkan sejumlah sifat untuk memenuhi tuntutan pola lebih lanjut oleh industri semikonduktor (Gogolides & Argitis, 2003). Setelah kemajuan luar biasa dalam

fotolitografi, berbagai photoresist organik digunakan dalam aplikasi yang luas seperti pemrosesan semikonduktor, rangkaian optik, perangkat mikrofluida, dan sistem MEMS (Pham *et al.,* 2007). Photoresist digunakan pada industri alat-alat elektronik seperti papan rangkaian cetak (*printed circuit board,* PCB) dan juga digunakan dalam pembuatan sel surya dan piranti elektronik lainnya (Feiring *et al*., 2003). Photoresist banyak digunakan untuk pembuatan mikroelektronika, papan rangkaian cetak, *silk screen printing* (percetakan dengan menggunakan layar sutera) dan cakra optik (Chae *et al.*, 2002). Selain itu, photoresist juga banyak digunakan untuk penyaringan resist warna dan sebagainya (Lee *et al.*, 2008). Photoresist ultra-tebal dapat digunakan sebagai cetakan pada aplikasi permesinan skala mikro (MEMS). Photoresist ultra-tebal juga digunakan dalam aplikasi ikatan geser untuk menentukan ukuran dan lokasi dari ikatan (Flack *et al*., 2000). Resist yang secara kimia diperkuat menggunakan reaksi katalis asam telah banyak digunakan untuk produksi IC (Kim *et al.*, 2006).

Photoresist merupakan bahan kimia yang penting dalam pengolahan bahan semikonduktor, pengolahan papan kristal cair (*liquid crystal display*, LCD), serta banyak proses pencetakan yang lain dan penggunaannya telah meningkat dalam beberapa tahun ini (Kim *et al.*, 2007). Selama dekade terakhir, aplikasi resin fotosensitif dalam mikroelektronik, optoelektronik, papan sirkuit cetak, pelat cetak, foto-fabrikasi, pencitraan, stereo-litografi, perekat, dan tinta telah berkembang dengan pesat. Monomer akrilat telah banyak digunakan dalam aplikasi *photocuring* karena memiliki reaktivitas tinggi (Lin *et al,* 2006). Photoresist konduktif yang terdiri dari matriks *photopolymerizable*

memungkinkan bahan untuk membentuk pola pada logam dengan foton, elektron, ion atau sinar-X. Photoresist konduktif ini digunakan baik sebagai komponen beberapa sensor atau untuk pembuatan komponen mikro elektrik konduktif karena memiliki sifat kimia dan sifat mekanik yang sangat baik. Photoresist negatif SU8 secara luas digunakan untuk MOEMS, MEMS dan aplikasi LIGA (Hauptman *et al.*, 2009).

2.1.3 Komposisi Photoresist

Secara kimia, photoresist terdiri dari resin polimer, PAG dan agen reaksi silang, *dye* atau bahan aditif lainnya. Perbedaan bahan yang digunakan pada photoresist negatif dan photoresist positif terletak pada bahan senyawa fotoaktif, sedangkan bahan aditif yang digunakan sama. Komposisi photoresist secara umum terdiri dari empat komponen yaitu resin (polimer), senyawa fotoaktif (*photoactive compound,* PAC*)* atau *photoacid generator* (PAG) yang merupakan senyawa fotoaktif, pelarut dan aditif (Schuster *et al.*, 2008).

Matrik polimer merupakan komposisi utama photoresist. Sifat polimer yang penting untuk photoresist negatif adalah kombinasi sifat fotosensitivitas tinggi, daya larut baik, kemampuan untuk membentuk film, stabilitas termal baik, tahan terhadap larutan setelah ikatan, tahan terhadap plasma dan zat pengetsa (Diby *et al.*, 2007). Sifat photoresist secara langsung terkait dengan struktur monomer. Telah dilaporkan bahwa tingkat polimerisasi photoresist mampu membentuk ikatan hidrogen secara signifikan lebih tinggi daripada photoresist konvensional karena pra-organisasi melalui ikatan hidrogen untuk membawa ikatan reaktif yang dekat satu sama lain, sehingga meningkatkan tingkat fotopolimerisasi (Lin *et al.,*

2006). Sebuah photoresist modern mengandung beberapa komponen tetapi yang paling penting adalah pengikat polimer. Pengikat polimer harus memiliki sifat kritis diantaranya berfungsi untuk pembentukan gambar dan pemutusan ikatan yang dapat melepaskan lapisan polimer dari substrat; transparan terhadap panjang gelombang gambar sehingga cahaya cukup dapat menembus ketebalannya secara penuh; tahan terhadap goresan; memiliki kekontrasan yang tinggi; suhu transisi kaca (Tg) di atas suhu pemrosesan, sehingga tidak terjadi aliran; mudah larut dalam pelarut organik yang dipilih pada saat *spin coating*; berat molekul cukup tinggi untuk sifat mekanik tapi cukup rendah untuk pemutusan yang cepat dalam *developer* (larutan pengembang); memiliki kemampuan untuk menempel pada substrat silikon atau lainnya; memiliki kemurnian sangat tinggi, biasanya diukur dalam tingkatan *part per billion* (Feiring *et al*., 2003).

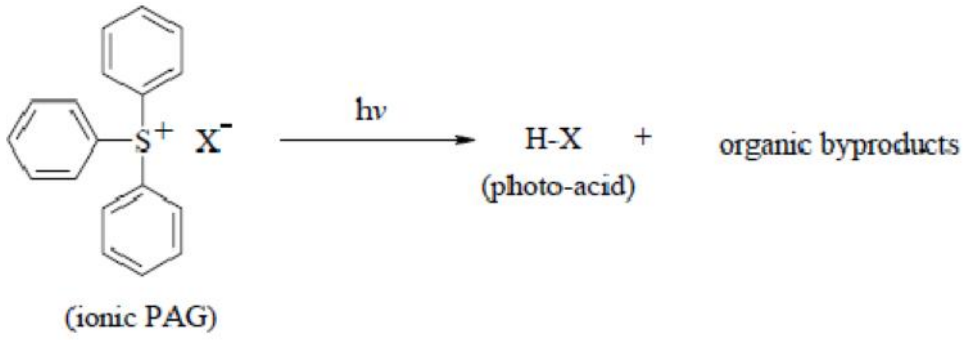
Sebuah komponen penting dari formulasi photoresist adalah *photo-acid generator* atau PAG. PAG adalah bahan fotoaktif dalam photoresist yang menghasilkan asam pada saat iradiasi. Asam ini selanjutnya berfungsi untuk mengkatalisis deproteksi dari polimer resist atau memulai polimerisasi kationik atau curing kelompok monomer, yang umumnya disebut sebagai amplifikasi kimia (Lamanna *et al.,* 2002). Sesuai dengan namanya, PAG membentuk asam kuat ketika dikenai paparan cahaya *deep-UV* (Mack, 1998). PAG ditambahkan untuk mengubah daya larut setelah terkena paparan cahaya DUV (Kesters *et al*., 2008). PAG sensitif terhadap ultra-violet (UV) (350-400 nm), maka pada paparan sinar UV, PAG menghasilkan asam, cincin *epoxy* terbuka dan reaksi silang dimulai (Lillemose *et al.,* 2008). Pembelahan dari jenis polimer menggunakan

PAG menghasilkan asam karboksilat yang menyebabkan kelarutan cairan basa. Kopolimerisasi ini dapat diterapkan untuk kontribusi fungsi kimia yang diminta untuk ketahanan etsa, adhesi atau sifat lainnya. Dengan demikian, resin resist sebagai polimer fungsional memainkan peran kunci dalam mikrolitografi dan telah menyediakan peluang penelitian menarik bagi para ilmuwan polimer (Ismailova *et al.,* 2007).

Sebagian besar PAG yang digunakan resist pada panjang gelombang 248 nm atau di bawah evaluasi untuk litografi 193 nm dan 157 nm adalah ion di alam, yang terdiri dari kation fotoaktif dan ion lawan bermuatan negatif. Tidak seperti banyak PAG netral yang memerlukan sensitisasi aditif atau matriks polimer menjadi fotoaktif, PAG ionik biasanya mampu menghasilkan asam dengan penyinaran langsung pada gelombang 248 nm atau di bawahnya. Ini adalah keuntungan tertentu untuk resist ArF yang merupakan resist *nonaromatic*. Kemampuan transfer sensitisasi energi diperlukan dalam rangka untuk mencapai transparansi yang cukup pada gelombang 193 nm. PAG ionik memiliki keuntungan lebih lanjut dari volatilitas yang rendah dan stabilitas termal yang tinggi, fitur yang penting selama *prebake* dan langkah-langkah proses *postbake*. Jadi, PAG ionik yang siap untuk menjadi komponen terkemuka dalam generasi platform resist berikutnya termasuk resist 193 nm, 248 nm sebelumnya dan 157 nm (Lamanna *et al.,* 2002).

Sebuah PAG kelas baru yang digunakan dalam formulasi photoresist telah dikembangkan dengan diperkuat secara kimia. Garam PAG baru terdiri dari kation fotoaktif dan *fluoroorganic sulfonylimide* atau anion *sulfonylmethide*. Ini sangat

terdelokalisasi, anion berpusat karbon dan nitrogen sangat tidak dasar dan koordinasi lemah. Sejalan dengan itu, asam konjugasinya adalah asam kuat. Asam *imide* dan *methide* yang dihasilkan oleh fotolisis dari PAG ionik yang sesuai sangat aktif dalam memulai polimerisasi kationik berbagai monomer organik (seperti dalam resist negatif) dan telah terbukti mengkatalisis deproteksi gugus asam-sensitif fungsional organik (seperti dalam energi aktivasi tinggi, resist positif) dengan laju cahaya baik. Keseimbangan reaktivitas yang unik dan sifat fisik dari anion *imide* dan *methide* menunjukkan bahwa mereka berguna untuk menjadi alternatif atau pengganti anion organik atau anorganik yang biasa digunakan dalam formulasi PAG ion yang ada (misalnya, anion *perfluoroalkanesulfonate* dan anion MF6, di mana M adalah Sb, As atau P) (Lamanna *et al.,* 2002). *Triflic acid* adalah salah satu asam nukleofilik paling kuat sementara asam *hexafluoroarcenic* terkenal asam super anorganik. Asam ini sebagai garam *photolabile* atau kovalen pelindung senyawa yang telah banyak digunakan untuk generasi katalis asam di bawah pengaruh cahaya. Bahan-bahan ini secara global dikenal sebagai *photoacid generator*. Awal penggunaan bahan-bahan ini adalah untuk fotopolimerisasi resin epoksida. Bahan awal seperti garam diazonium dari *hexafluoroarsenate* kemudian digantikan oleh garam sulfonium atau iodonium yang lebih memiliki kestabilan termal (Houlihan *et al.,* 2003).



Gambar 2.2 Struktur anion pada PAG ionik (Lamanna *et al.,* 2002)

Meskipun ion negatif (anion) dari PAG ionik umumnya tidak fotoaktif, tetapi tetap memainkan peran penting dalam fungsi dan kinerja PAG. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2, struktur anion menentukan identitas asam foto (*photo-acid*) yang dihasilkan setelah iradiasi PAG. Perbedaan dalam ukuran, bentuk dan susunan kimiawi anion X-, dapat menyebabkan perbedaan dramatis dalam keasaman, aktivitas katalitik, volatilitas, difusivitas, kelarutan, dan stabilitas dari asam foto HX. Hal ini suatu saat dapat secara langsung mempengaruhi berbagai parameter yang terkait untuk menahan kinerja, seperti efisiensi *deblocking* (*curing*), laju cahaya, sensitivitas PEB, stabilitas tunda pasca-paparan, resolusi, gelombang berdiri, kehilangan asam (*T-topping*), dan profil citra (Lamanna *et al.,* 2002).

Sedangkan pelarut merupakan bahan kimia yang digunakan untuk melarutkan resin agar resin berbentuk cairan. Memahami interaksi antara polimer dan pelarut adalah kunci untuk berbagai aplikasi nanosains. Misalnya, pilihan pelarut dapat mempengaruhi evolusi morfologi sel surya polimer. Isu-isu polimer-pelarut yang sangat relevan dalam nanolitografi dimana peneliti menginginkan pola dengan

fitur skala nano sistem polimer dalam rezim sub-10 nm untuk aplikasi di berbagai bidang seperti sistem nanoelektronik, nanoelektromekanik, dan nanobiologi. Untuk mendorong resolusi lebih jauh dan membuat polimer litografi sesuai dengan proses selanjutnya, memahami interaksi pelarut dan resist selama pengembangan dan langkah-langkah pengolahan basah lainnya merupakan hal yang penting, terutama untuk produksi fitur nano (Olynick *et al.,* 2009).

Zat aditif merupakan zat pendukung yang memberikan sifat photoresist yang lebih baik, misalnya resolusi, viskositas dan adhesi. Penggunaan oksida asli sebelum pelapisan etsa pada GaAs berfungsi untuk meningkatkan adhesi. Peningkatan adhesi yang paling signifikan yang diidentifikasi adalah penggabungan etsa oksida asli segera sebelum pelapisan photoresist (Grine *et al.,* 2010). Tiga senyawa alisiklik dengan bagian *adamantyl* dan dua senyawa aromatik dengan bagian *naphthyl* terpilih sebagai aditif dalam photoresist ArF CA (*chemical amplification*) berbasis *methacrylic*. Pengaruh aditif tersebut pada sifat photoresist antara lain: 1) Transparansi film resist pada 193-nm dapat dikendalikan oleh tingkat pembebanan dan jenis aditif., dimana aditif alisiklik membuat film resist lebih transparan; 2) laju cahaya dan kekontrasan film resist secara drastis dipengaruhi oleh aditif, sehingga peningkatan laju cahaya dicapai dengan mudah; 3) sifat termal dari film resist juga dapat dipengaruhi oleh aditif, tetapi efeknya pada umumnya sedang; 4) aditif bisa mengurangi pembentukan *T-top* dari profil resist karena kontrol dari laju disolusi yang melekat pada resist (Suwa *et al.,* 1996).

2.1.4 Struktur Mikro Permukaan

Meminimalkan tingkat kekasaran nano pada pola gambar telah menjadi prioritas bagi proses fotolitografi dalam produksi mikroprosesor. Untuk menyelidiki dasar molekuler kekasaran permukaan, pengembangan photoresist telah disimulasikan melalui penerapan model kritis-ionisasi ke representasi kisi molekul tiga dimensi matriks polimer. Keuntungan yang luar biasa dalam kecepatan komputasi dan kapasitas penyimpanan yang diberikan oleh miniaturisasi sirkuit terpadu mendorong industri semikonduktor maju dalam pencarian untuk fitur perangkat yang lebih kecil. Meminimalkan kekasaran terkait dengan permukaan dan tepi gambar photoresist sekarang berdiri sebagai salah satu tantangan kemajuan berkelanjutan dalam teknologi litografik (Flanagin *et al.,* 1999). Dalam program pirolisis tiga langkah, aliran gas memiliki dampak yang besar terhadap kebersihan dan kekasaran permukaan. Kekasaran memiliki implikasi ke arah modern dalam penginderaan dimana kontrol modifikasi tingkat molekuler merupakan hal yang penting. Oleh karena itu, jika keuntungan dieksploitasi untuk berbagai aplikasi potensial, maka perlu permukaan halus untuk kontrol tingkat molekuler dari modifikasi permukaan untuk pola resolusi tinggi (Fairman *et al.,* 2008).

Tegangan permukaan dinamik merupakan teknik baru pelapisan photoresist. Teknik ini sangat sesuai untuk permukaan dengan topografi yang sudah ada, yang sering terjadi dalam sistem MEMS dan kemasan sirkuit terpadu. Sebuah setup yang sederhana digunakan dan beberapa larutan resist telah diuji. Hasil menjanjikan yang diperoleh dengan menggunakan photoresist Shipley SPR 220-

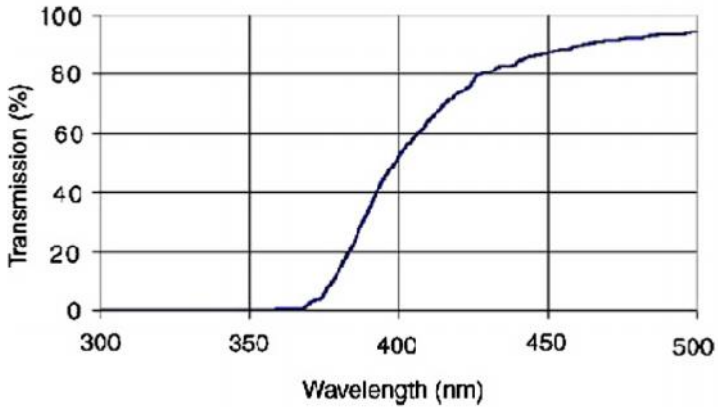
3.0 menunjukkan cakupan yang seragam pada permukaan mikromesin dengan topografi tinggi. Transfer pola berhasil di bagian bawah dan atas silikon sedalam 15 µm dengan lebar yang berbeda dari 1 µm sampai 100 µm dicapai dengan resolusi 1,5 µm (Zandi *et al.,* 2010).

2.1.5 Absorbansi

Sesuai dengan sifatnya, photoresist harus menyerap sebagian dari radiasi penyinaran untuk menjalani reaksi fotokimia. Dengan demikian, absorbansi cahaya merupakan bagian tak terpisahkan dari desain photoresist. Namun, absorbansi juga berarti bahwa cahaya yang berjalan melalui ketebalan resist akan melemah karena perjalanannya. Akibatnya, bagian bawah photoresist menerima dosis paparan yang lebih kecil daripada bagian atas, mengarah ke ukuran fitur yang berbeda dan proses kepekaan untuk bagian atas profil photoresist dibandingkan bagian bawah (Mack, 1999).

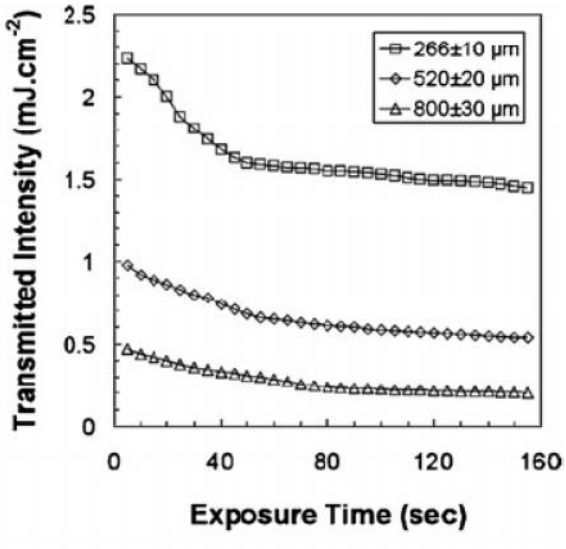
Cahaya *actinic* dari panjang gelombang optik saat ini dan sebelumnya yang digunakan oleh litografer selalu berinteraksi dengan kelompok fungsional kimia dalam bahan. Artinya, struktur molekul dari molekul dalam photoresist menentukan peran paling signifikan dalam penyerapan cahaya karena energi foton mirip dengan energi molekul elektron yang bergerak dari orbital satu ke orbital yang lain. Jadi, kromofor dalam photoresist dirancang untuk menyerap foton dan transisi ke daerah tereksitasi. Daerah tereksitasi kemudian akan bereaksi dan menghasilkan kelompok fungsional baru, sehingga mengubah kimia photoresist. Kromofor itu biasanya bagian dari kelompok fotoaktif tertentu yang terpisah dari polimer yang terdiri dari sebagian besar film resist tersebut. Photoresist dirancang

dengan kromofor yang menyerap cahaya dan polimer transparan untuk memaksimalkan efek kimia dari radiasi yang diserap (Neisser *et al.*, 2012).



Gambar 2.3 Spektrum transmisi dari SU8 jenis SU-8100 tanpa penyinaran dengan ketebalan 1 mm (Campo & Greiner, 2007).

Sebagai bahan organik fotosensitif, SU8 menyerap cahaya dalam kisaran UV (Gambar 2.3). Absorbansi meningkat secara progresif selama penyinaran karena perubahan kimia terinduksi selama fotoaktivasi (Gambar 2.4). Akibatnya, terjadi penurunan intensitas cahaya bertahap melewati ketebalan film ketika sinar UV menembus lapisan resist dari atas ke bawah, dan penurunan ini menjadi lebih jelas saat penyinaran. Spektrum penyerapan UV dari resist SU8 yang tidak tersinari menunjukkan penyerapan jauh lebih tinggi pada panjang gelombang lebih pendek daripada panjang gelombang yang lebih panjang. Selain itu, perubahan penyerapan selama penyinaran juga lebih nyata pada panjang gelombang pendek (Campo & Greiner, 2007).



Gambar 2.4 Intensitas transmisi dari film SU8 pada panjang gelombang yang berbeda setelah peningkatan waktu penyinaran (Campo & Greiner, 2007).

Perilaku absorbansi EUV dijelaskan oleh penampang atom yang bisa dihitung hanya dengan mengetahui komposisi atom bahan dan kerapatannya. Absorbansi foton mengionisasi atom dan menyemburkan elektron bebas. Energi dari elektron adalah energi asli foton dikurangi energi yang diperlukan untuk mengionisasi atom. Karena energi ionisasi atom jauh lebih rendah daripada energi EUV foton, elektron yang dipancarkan memiliki energi sisa yang tinggi dan akan berinteraksi lebih jauh dengan senyawa dalam resist yang biasanya menghasilkan lebih banyak elektron dan menyebabkan reaksi kimia. Karena semakin banyak elektron yang dihasilkan, energi rata-rata berkurang. Ketika energi cukup rendah, elektron kemudian dapat bereaksi dengan kelompok fungsional dalam bahan photoresist (Neisser *et al.*, 2012).

2.1.6 Kerapatan Photoresist

Kerapatan adalah sifat bahan yang penting dalam berbagai bidang, seperti dalam proses industri secara umum dan juga untuk penggunaan fiskal. Aplikasi berada dalam berbagai bidang seperti pengukuran aliran untuk konversi pengukuran aliran volumetrik dalam aliran massa, penelitian dasar, karakterisasi cairan, diagnosa biomedis (terutama pengukuran kepadatan tulang), kontrol proses di industri, pemantauan cairan dalam industri perminyakan dan kontrol kualitas dalam industri makanan dan minuman (Bjorndal, 2007).

Kerapatan merupakan karakteristik suatu zat yang dapat digunakan untuk memahami sifat fisik dan kimia lainnya, misalnya koefisien kompresibilitas isotermal atau koefisien ekspansi termal. Saat ini, penelitian tentang pengukuran kerapatan cairan difokuskan pada metode ultrasonik, tetapi perangkat pengukuran ultrasonik hanya bisa mencapai akurasi sebesar 0,1 %, yang masih jauh dari yang dicapai dengan instrumen pengukuran laboratorium yang bisa mencapai 0,01 % atau lebih baik (Zheng *et al.,* 2012). Kerapatan diukur karena tiga alasan utama : 1) konversi pengukuran aliran volumetrik dalam aliran massa, 2) pengukuran kualitas cairan, dan 3) deteksi cairan yang berbeda (Bjorndal, 2007).

2.1.7 Viskositas Photoresist

Resist merupakan bahan untuk litografi yang harus memenuhi beberapa persyaratan sifat. Kesesuaian viskositas merupakan hal yang penting dalam rangka untuk menyeimbangkan persyaratan yang terlibat dalam langkah proses yang berbeda. Viskositas rendah memudahkan pembuatan lapisan seragam, film

bebas cacat dan tegangan, serta penghapusan resin yang tidak mengalami pemadatan selama pengembangan. Sedangkan viskositas tinggi diperlukan untuk mengurangi aliran lateral dan mendapatkan film resist tebal stabil yang diperlukan dalam pembuatan pola *high-aspect-ratio* (HAR) (Campo & Greiner, 2007). Namun, viskositas rendah dari photoresist yang dikembangkan tidak sesuai untuk proses fotolitografi tipe ultraviolet (UV) karena masalah *stiction* dari topeng dalam kedekatan photoresist (Pham *et al.,* 2007).

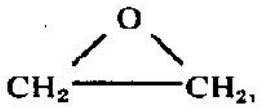
Proses UV LIGA lapisan photoresist film tebal dengan viskositas tinggi harus mampu memproduksi pola dengan lebar garis kecil, dan juga untuk memproduksi struktur photoresist dengan ketebalan hingga ratusan mikrometer. Oleh karena itu, photoresist yang digunakan dalam proses manufaktur biasanya photoresist viskositas tinggi, seperti SU8. Di samping itu, metode *spin coating* untuk photoresist viskositas tinggi memiliki kelemahan seperti gelembung, rata ketebalan, perataan tepi dan sulit mengendalikan ketebalan. Sebuah metode untuk meningkatkan viskositas tinggi lapisan film tebal photoresist pada UV LIGA telah dilakukan. Dua photoresist dengan bahan identik tetapi jumlah pelarut yang berbeda yang dilapisi pada wafer silikon dengan cara yang berbeda untuk meningkatkan ketebalan film dan kerataan. Photoresist film tebal SU8-2035 dan SU8-2100 dari MicroChem Corp. masing-masing memiliki viskositas 7000 cSt (centistokes, 1 cSt = 10^{-4} m^2/s) dan 45000 cSt. Pertama, SU8-2035 dilapiskan pada wafer pada kecepatan konstan, selanjutnya SU8-2100 dilapiskan dari tepi ke pusat wafer dengan cara spiral, sedangkan massanya diukur untuk mengontrol ketebalan photoresist. Pada langkah *soft baking*, photoresist dan wafer dipanaskan

di atas *hotplate*. Ketika suhu photoresist naik di atas suhu transisi kaca, photoresist menyebar pada wafer secara seragam karena viskositas rendah, kohesi dan tegangan permukaan, sementara wafer diputar untuk meningkatkan kerataan photoresist (US 20060263520A1).

Untuk mendapatkan tetesan distribusi ukuran yang tepat dari photoresist, diperlukan larutan photoresist dengan viskositas kurang dari 20 cSt. Beberapa photoresist tersedia tidak dapat digunakan secara langsung, karena memiliki viskositas terlalu tinggi untuk sistem EV101 atau hanya cocok untuk permukaan datar. Larutan dengan viskositas rendah dapat membentuk lapisan halus tetapi dapat mengalir lebih mudah ke fitur aspek rasio tinggi dan karena itu dapat menyebabkan variasi ketebalan photoresist di bagian atas dan bawah rongga. Pemilihan komposisi photoresist, yaitu jumlah pelarut dan viskositas larutan merupakan hal yang sangat penting (Pham *et al.,* 2004).

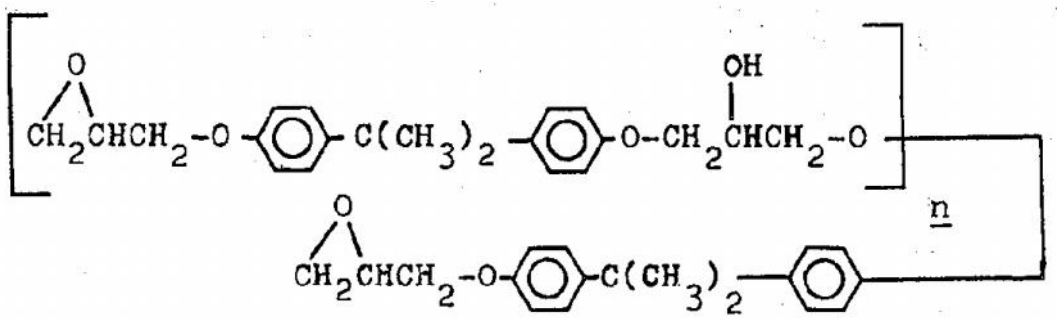
2.2 *Epoxy*

Resin *epoxy* dianggap sebagai salah satu kelas yang paling penting dari polimer termosetting dan digunakan secara luas karena sifatnya yang baik, seperti kekuatan dan kekakuan yang tinggi, memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap korosi kimia dan sifat isolasi elektrik (Lu *et al.,* 2010). Kelompok *epoxy* juga diketahui mengandung *oxirane*, sebuah ikatan atom oksigen dengan dua atom karbon (Gambar 2.5).

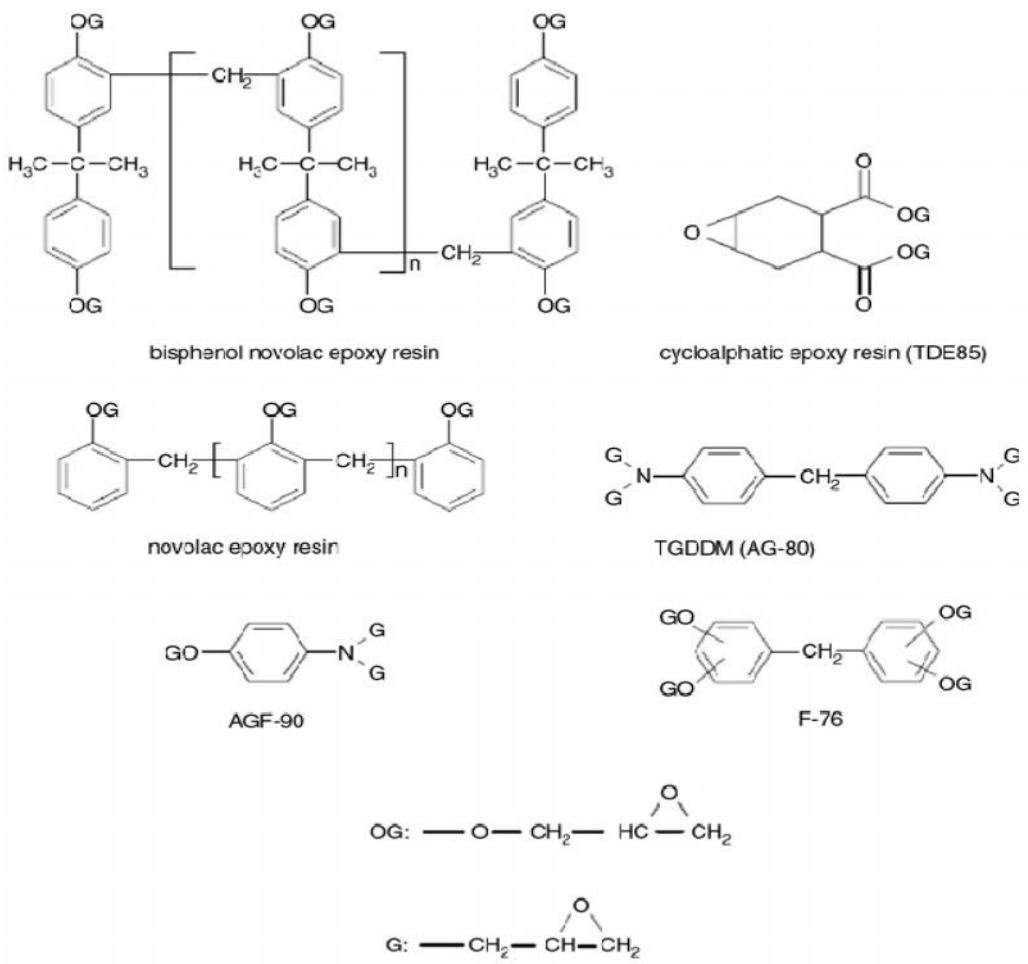


Gambar 2.5 Ikatan atom oksigen dan dua atom karbon pada *epoxy* (US3977878).

Epoxy yang paling sederhana dihasilkan dari reaksi bisphenol A (BPA) dengan *epichlorohydrine*. Struktur yang ditentukan untuk produk resin adalah resin *epoxy* cairan kental, berat molekul rata-rata sekitar 380, yang diperoleh dengan mereaksikan *epichlorohydrin* dengan proporsi relatif molekuler yang tinggi terhadap bisphenol A (n = 0), yang disebut *2,2-bis[p-(2,3-epoxy-propoxy)phenyl]propane,* dan proporsi yang lebih kecil dari polimer dimana n adalah bilangan bulat 1, 2, 3, dan seterusnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 (US3977878). Beberapa tipe struktur dari resin *epoxy* multifungsional (Gambar 2.7) utamanya digunakan sebagai matriks untuk unjuk kerja tinggi dari komposit serat diperkuat pada industri *aerospace* dan sebagai enkapsulan untuk komponen elektronik (Cheng *et al.,*2009).



Gambar 2.6 Reaksi bisphenol A (BPA) dengan *epichlorohydrine* (ECH) (106-89-8) (US3977878).



Gambar 2.7 Struktur dari beberapa tipe resin *epoxy* multifungsional (Cheng *et al.*, 2009).

2.2.1 Karakteristik Bahan *Epoxy*

Resin *epoxy*, juga dikenal sebagai resin epoksida, merupakan kelas polimer yang mengandung gugus reaktif yang dikonversi ke resin termoset melalui reaksi dengan senyawa yang dikenal sebagai *curing agent*. Bahan ini adalah bahan *curing agent* yang umumnya paling berpengaruh pada sifat akhir dari produk yang dihasilkan (Epigen Bulletin, 2011).

Resin *epoxy* telah diketahui memiliki sifat mekanik yang baik dan sifat perekat yang sangat baik, sehingga telah banyak digunakan dalam industri seperti

perekat, pelapis, laminasi, bahan enkapsulasi elektronik dan aplikasi komposit. Namun, *epoxy* resin konvensional tidak efisien untuk memenuhi sifat yang dibutuhkan oleh bahan canggih, seperti tahan panas tinggi. Saat ini telah diketahui beberapa cara yang dapat ditempuh untuk meningkatkan sifat termal senyawa *epoxy*. Pertama, memasukkan cincin aromatik ke *epoxy backbone* selama sintesis, misalnya cincin naftalena dan kelompok bifenil yang sering digunakan untuk meningkatkan ketahanan panas dari resin *epoxy*. Kedua, resin *epoxy* multifungsional adalah cara untuk meningkatkan sifat tahan panas karena memiliki kepadatan *curing* yang lebih tinggi. Baru-baru ini, resin *epoxy* multifungsional menarik minat yang luas dari para peneliti dan produsen, dan beberapa resin *epoxy* multifungsional telah dilaporkan dan bahkan digunakan dalam aplikasi industri, misalnya resin *epoxy* novolak, resin *epoxy cycloalphatic*, *tetraglycidyl diamin diphenol metana* (TGDDM), *Triglycidyl eter p-aminofenol* (AGF-90) dan resorsinol-formaldehida jenis resin *epoxy* (F-76). Beberapa struktur khas resin *epoxy* multifungsional yang tampak pada Gambar 2.8, yang terutama digunakan sebagai matriks untuk kinerja komposit yang diperkuat serat tinggi dalam industri kedirgantaraan dan sebagai enkapsulan untuk komponen elektronik (Cheng *et al.*, 2009).

Resin *epoxy* menunjukkan sejumlah sifat yang sangat diinginkan. Sifat ini bertanggung jawab untuk fleksibilitas dari *epoxy* dan untuk aplikasi yang beragam. Sifat-sifat resin *epoxy* secara umum adalah sebagai berikut: 1) ketahanan kimia yang luar biasa; 2) penyusutan rendah atau *curing;* 3) kekuatan adhesi yang

luar biasa untuk berbagai substrat; 4) kekuatan mekanik tinggi; dan 5) sifat isolasi listrik yang baik.

Sebuah *epoxy* atau sistem *curing agent* sederhana, setelah tujuh hari curing memiliki sifat-sifat khas berikut : 1) kekuatan lentur : 87.560 KPa; 2) kekuatan tekan : 85.500 KPa; 3) kekuatan tarik : 38.610 KPa; dan 4) perpanjangan break : 2,0 %. *Epoxy* merupakan bahan yang sangat serbaguna diantara bahan-bahan plastik. Fleksibilitas bahan *epoxy* dapat diilustrasikan dengan viskositas, waktu *cure*, tahanan suhu dan tahanan kimia. Kekentalan atau viskositas *epoxy* dapat disesuaikan untuk berada di antara viskositas yang sangat rendah dan kental. Waktu *cure* dari beberapa jam sampai 48 jam. *Epoxy* juga tersedia untuk *curing* dalam waktu 5 menit, tetapi waktu ini adalah nilai terbatas dalam aplikasi industri. Kinerja *epoxy* tahan terhadap suhu dalam kisaran 80 ºC - 250 ºC, tergantung pada sistem yang digunakan. Namun, sistem yang mampu menahan paparan berkesinambungan untuk suhu di atas 80 ºC, umumnya memerlukan beberapa derajat panas. Kebanyakan *epoxy* tahan terhadap berbagai bahan kimia dan produk dapat dikembangkan untuk tahan terhadap lingkungan kimia tertentu (Epigen Bulletin, 2011).

2.2.2 Penggunaan *Epoxy* dalam Pembuatan Photoresist

Photoresist berbasis *epoxy* merupakan kandidat yang luar biasa untuk bahan komposit baru yang memiliki sifat litografik yang tinggi dan dapat dipola dengan menggunakan litografi optik *near-UV*. Bahan kelas ini dapat memberikan homogenitas lapisan diatas lebar ketebalan kinerja *(range)*, menghasilkan struktur dengan perbandingan aspek tinggi. Penggabungan *nanocrystals* (NCS) pada

photoresist tipe *epoxy* memungkinkan untuk membawa sifat seperti peredaran foto-polimer terstruktur yang kurang melekat secara fungsional, tetapi memberikan kinerja litografi yang luar biasa bila dipola menggunakan UV litografi standar (Ingrosso *et al.,* 2009).

Sebuah photoresist negatif berbasis *epoxy*, yang dikenal sebagai bahan yang sesuai untuk aspek-perbandingan tinggi *micromachining* permukaan, yang difungsikan dengan memancarkan lampu merah CdSe@ZnS nanokristal (NCS). Pemilihan yang tepat dari pelarut umum untuk NCS dan resist menjadi penting untuk penggabungan efisien dari NCS dalam matriks *epoxy*. Resist termodifikasi-NC dapat dipola dengan standar UV litografi ke resolusi skala mikrometer dan struktur aspek-perbandingan tinggi telah berhasil dibuat pada wafer skala 100 mm. Photoresist berbasis *epoxy* merupakan bahan yang dapat memberikan lapisan atas homogen dengan berbagai ketebalan, sehingga struktur dengan aspek perbandingan tinggi dan dinding samping hampir vertikal. Bahan fotosensitif kelas ini telah merevolusi pembuatan mikrosistem, pada khususnya di bidang *micromolding*, dimana photoresist aspek perbandingan tinggi berfungsi sebagai cetakan untuk *electroplating* mikrostruktur logam dengan resolusi tinggi. Kemudian, photoresist berbasis *epoxy* digunakan untuk aplikasi *micromechanical* dan mikrosistem sebagai sistem mikofluida, kemasan, *scanning probe*, dan sifat optiknya yang baik untuk pandu gelombang optik (Ingrosso *et al.,* 2007).

Banyak fotopolimer berbasis *epoxy* telah dikembangkan untuk industri PCB sebagai *solder masks* dan baru-baru ini sebagai *photo–definable dielectrics*. Aplikasi lain photoresist berbasis *epoxy* adalah pembangunan mikrostruktur

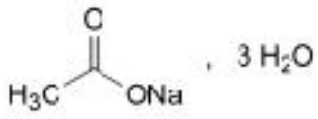
dengan perbandingan aspek tinggi yang digunakan sebagai cetakan *electroplating* untuk bagian MEMS dan aplikasi elektronik lainnya. Aplikasi photoresist yang terakhir ini dapat disusun dalam lapisan tebal sampai dengan satu milimeter. Photoresist yang paling sering digunakan dalam aplikasi ini adalah SU8 (Schwoerer *et al.,* 2004). SU8 adalah jenis photoresist negatif *near*-UV seperti *epoxy* yang berdasarkan resin epon SU8. Photoresist ini dapat diperoleh dengan melarutkan resin epon SU8 di pelarut organik GBL (*Gamma-butyrolactone*). Jumlah pelarut menentukan viskositas dan memungkinkan berbagai ketebalan resist. Garam triaryl sulfonium ditambahkan (10% berat epon SU8) dan dicampur dengan resin sebagai fotoinisiator (Zhang *et al.*, 2001).

Epoxy berbasis SU8 adalah photoresist negatif yang diperkuat secara kimia khusus dirancang untuk aplikasi photoresist tebal. SU8 mendapat kinerja tinggi dari kedua transparansi *near-UV* yang tinggi dan fungsi *epoxy* tinggi dari resin *epoxy* SU8. Transparansi tinggi memungkinkan iradiasi seragam melalui ketebalan photoresist dan fungsionalitas tinggi memberikan kontras litografi tinggi (Flack *et al*., 2000).

2.3 *Sodium acetate trihydrate*

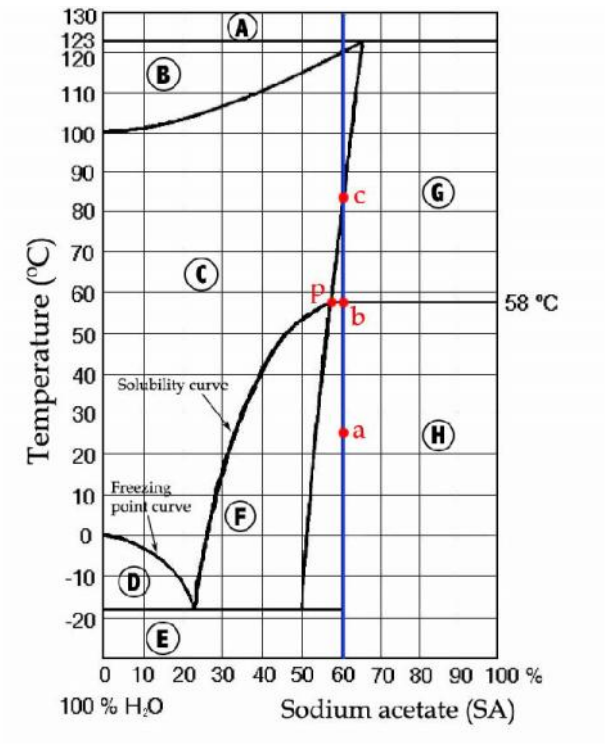
Sodium acetate (Natrium asetat) adalah basa konjugat dari asam asetat, yang merupakan asam lemah. *Sodium acetate* mengandung tiga molekul air (Gambar 2.8). Suatu larutan *sodium acetate* dan asam asetat bertindak sebagai buffer untuk menjaga pH relatif konstan. Penyangga berguna pada kisaran pH 3.6-5.6 (Himedia Technical Data). *Sodium acetate* merupakan kristal tak berwarna yang larut dalam

alkohol dan sangat larut dalam air (European Pharmacopoeia). *Sodium Acetate* tidak berwarna, berupa serbuk kristal transparan atau serbuk kristal putih. Ketika dikeringkan, *sodium acetate* mengandung tidak kurang dari 98 % *sodium acetate*.



Gambar 2.8 Struktur *Sodium acetate trihydrate* (European Pharmacopoeia)

Sodium acetate trihydrate (SAT) $CH_3COONa{\cdot}3H_2O$ memiliki kemampuan pendinginan yang cukup dan panas laten fusi yang tinggi. *Sodium acetate trihydrate* digunakan pada *pad* panas komersial di mana cairan dingin dikristalisasi dengan mengklik disk logam di dalam *pad*. Seketika, suhu *pad* naik menjadi sekitar 58 ºC. Satu-satunya *hydrat* yang stabil - SAT- *sodium acetate* mengandung 60.28 % berat *sodium acetate* (SA) dan 39.72 % berat air. Masalah dengan SAT dan hidrat garam lainnya adalah kecenderungannya mencair tak kongruen, korosivitas dan jumlah siklus dapat menahan tanpa degradasi dalam sifat termalnya (Keinänen, 2007).



Gambar 2.9 Diagram fase *sodium acetate* dan air. A: uap, B: anhidrat *sodium acetate* dan uap air, C: larutan *sodium acetate*, D: *sodium acetate* dalam keadaan cair dan air dalam keadaan padat, E: air dalam bentuk padat dan *sodium acetate trihydrate*, F: *sodium acetate trihydrate* padat dengan kelebihan air cair (tidak superdingin), F: *sodium acetate trihydrate* cair dan air (ketika superdingin), G: *anhydrous sodium acetate* dalam bentuk cair, fase jenis air garam, H: *sodium acetate trihydrate* padat dan *anhydrous sodium acetate* padat (tidak superdingin) , H: *sodium acetate trihydrate* cair dengan endapan *anhydrous sodium acetate* (ketika superdingin) (Keinänen, 2007).

Gambar 2.9 menyajikan diagram fase biner *sodium acetate* dan air. Ketika pemanasan SAT (garis biru) dari titik a ke titik b, pada titik b terjadi reaksi

peritektik (*peritectic reaction*), pencairan garam secara tidak kongruen. Hal ini menghasilkan *anhydrous sodium acetate* dan *sodium acetate* cair. Dengan pemanasan lebih lanjut, garam anhidrat mencair sepenuhnya pada titik c. Komposisi larutan trails garis dari p ke c. Fraksi massa garam dehidrasi dan larutan dapat diperoleh dari aturan tuas. Titik p disebut titik peritektik (*peritectic point*). Dengan menambahkan lebih dari 3.8% berat air ekstra untuk SAT, pembentukan garam anhidrat dapat dicegah. Namun, sifat penyimpanan termal larutan memburuk dengan meningkatnya kadar air, seperti dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Keinänen, 2007).

Tabel 2.1 Sifat termal dan sifat fisik campuran *sodium acetate trihydrate* dan air (Keinänen, 2007).

Komposisi (% berat)		Suhu leleh (ºC)	Kalor laten (kJ/kg)	Kalor jenis (kJ/kgK), 58 ºC		Kerapatan (kg/m^3), 58 ºC		Konduktivitas termal (W/mK), 58 ºC	
SAT	H_2O			Padat	Cair	Padat	Cair	Padat	Cair
100	-	57 - 58.5	260 ± 11	2.79	3.0	1450	1280	0.7	0.4
95	5	56.5	220 ± 9	-	-	-	-	-	0.41
90	10	54.5 - 56	190 ± 10	2.85	3.1	-	-	0.6	0.43
80	20	49 – 50	100	-	-	-	-	-	0.44

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian pembuatan bahan resist dengan menggunakan bahan resin *epoxy* ini dilakukan di beberapa tempat berbeda, yaitu: 1) pembuatan bahan resist menggunakan *magnetic stirrer* dan pembuatan sampel film tipis menggunakan *spin coater* dilakukan di Laboratorium Komposit Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang; 2) karakterisasi struktur permukaan dilakukan dengan menggunakan CCD Microscope MS-804 yang dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang; 3) karakterisasi absorbansi menggunakan spektrometer *ocean optic* Vis-NIR USB4000 dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang; 4) karakterisasi kerapatan bahan resist dilakukan di Laboratorium Kemagnetan Bahan Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang; dan 5) karakterisasi viskositas menggunakan LV series viscometer spindle number dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Semarang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi timbangan digital ACS AD-300i; *magnetic stirrer* (magnet pengaduk) disertai pemanas; termometer raksa 150ºC; gelas beker ukuran 50 ml dan 100 ml; layar penyaring *(screen filter)* ukuran T54 untuk menyaring cairan photoresist yang dihasilkan; kaca preparat

berukuran 25 mm x 25 mm dengan tebal 1 mm yang digunakan sebagai substrat film tipis; *spin coater* untuk membuat lapisan film tipis pada substrat kaca; oven untuk pemanasan awal (*prebake*) film tipis; CCD Microscope MS-804 untuk karakterisasi struktur permukaan film tipis; gelas ukur dan timbangan digital ACS AD-300i untuk mengukur kerapatan photoresist; *ocean optic* Vis-NIR USB4000 untuk karakterisasi absorbansi photoresist; dan LV series viscometer spindle number untuk pengukuran viskositas photoresist.

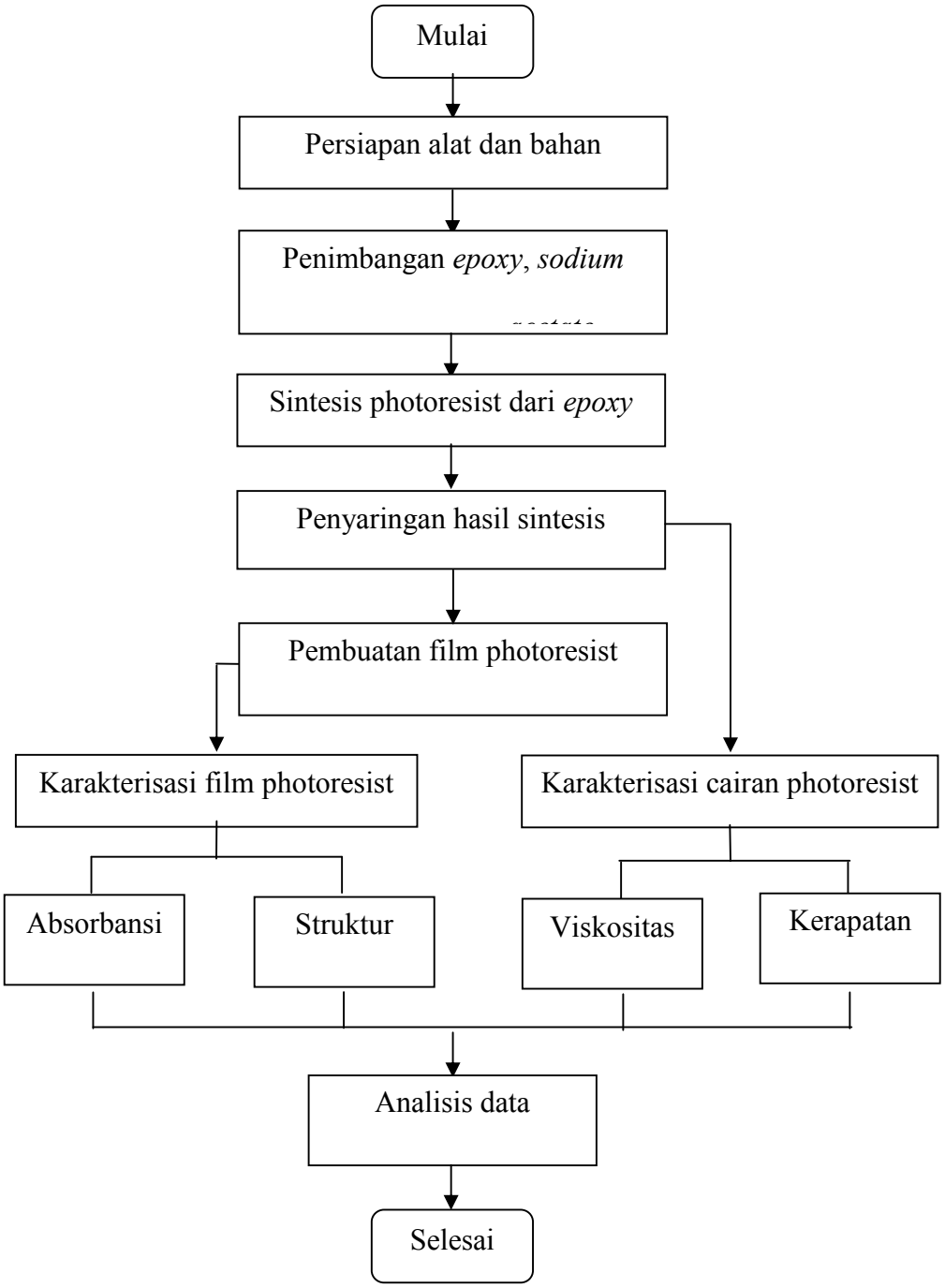
3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi resin *epoxy* sebagai matriks polimer*; sodium acetate trihydrate* sebagai senyawa peka cahaya; dan toluena sebagai pelarut (*solvent*).

3.3 Langkah Kerja

3.3.1 Diagram Alir Penelitian

Alur pelaksanaan penelitian ini terdiri dari beberapa tahap. Alur penelitian tersebut digambarkan pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3.2 Penimbangan Bahan

Penimbangan merupakan tahap mengukur massa bahan-bahan yang akan digunakan dalam pembuatan photoresist. Dalam penelitian ini, pembuatan

photoresist dibagi menjadi dua tahap yaitu tahap pembuatan sampel cairan photoresist dan tahap pembuatan sampel film tipis photoresist. Seelah pembuatan sampel, dilakukan pengukuran kerapatan dan viskositas cairan photoresist serta karakterisasi struktur mikro dan absorbansi film tipis photoresist. Tabel 3.1 merupakan komposisi photoresist yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3.1 Komposisi komponen bahan photoresist

Nama bahan	Kode sampel					
	A	B	C	D	E	F
Resin *epoxy*	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g
Sodium acetate trihydrate	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g	2,5 g
Toluena	4,5 g	5,0 g	5,5 g	6,0 g	6,5 g	7,0 g

Pembuatan sampel difokuskan pada variasi toluena sebagai pelarut. Hal ini karena kandungan pelarut dapat mempengaruhi viskositas cairan photoresist. Viskositas photoresist merupakan parameter yang sangat penting dalam *spin coating* dan *prebake* photoresist yang hasilnya akan berpengaruh pada struktur permukaan dan absorbansi.

3.3.3 Pencampuran Bahan

Gambar 3.2 menunjukkan proses manufaktur untuk mempersiapkan photoresist. Pembuatan photoresist dengan memadukan bahan kimia resin dan pelarut bersama-sama dengan campuran senyawa PAG yang diinginkan untuk membentuk photoresist. Selama proses pencampuran, kontaminan seperti partikel

gel lembut dan partikel keras yang terbentuk harus disaring sekali lagi sebelum pembotolan.

Dalam penelitian ini, resin *epoxy* sebagai matriks polimer, *sodium acetate trihydrate* sebagai senyawa peka cahaya dan toluena sebagai pelarut, dicampur dengan komposisi sesuai yang terteta pada Tabel 3.1. Pencampuran disertai pemanasan dengan suhu maksimum 75ºC. Saat suhu mencapai 75ºC, maka pemanasan dihentikan dan pengadukan tetap dilanjutkan hingga 15 menit.

3.3.4 Penyaringan

Kopolimer ester akrilat (10.3 g) (60% solid content), perbandingan berbeda dari TA and DPHA (*dipentaerythritholhexaacrylate*) sebagai photo monomers, 0.2 g PI-777 sebagai *photo initiator*, dan 0.2 g PI-788 sebagai *photo sensitizer* dicampur dalam CHN. Larutan resist disaring melalui sebuah membran penyaring Teflon 0.2 µm (Cheng *et al.*, 2003).

Setelah proses pencampuraan selesai, proses selanjutnya adalah penyaringan. Cairan hasil pencampuran disaring dengan menggunakan layar penyaring *(screen filter)* ukuran T54. Proses penyaringan dilakukan di ruangan dengan intensitas cahaya yang rendah. Kemudian, cairan yang sudah disaring dimasukkan pada botol yang gelap untuk selanjutnya diukur kerapatan dan viskositasnya.

3.3.5 Pembuatan Sampel Film Tipis

Larutan yang mengandung campuran polimer, TPS/PFBuS (4% massa) sebagai PAG dan 0,2% berat *tri-octyl amine* sebagai *quencher* dalam pelarut *cyclohexanone* (4-6% fraksi massa padat) dilapiskan pada wafer menggunakan *spin coating* dengan lapisan anti pantul (BARC). Setelah deposisi, film-film di-

prebake pada suhu 115 °C selama 90 detik menggunakan *hotplate* untuk menghapus sisa pelarut (Ismailova *et al.,* 2007).

a b c d

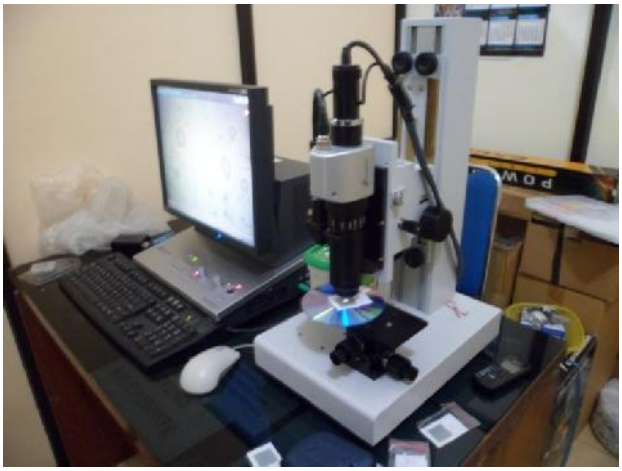
Gambar 3.2 Proses pembuatan film tipis photoresist, a) cairan photoresist, b) proses *spin coating,* c) *prebake,* d) film tipis photoresist.

Pada penelitian ini, sampel film tipis dibuat dengan menggunakan metode *spin coating.* Cairan resist yang dihasilkan pada proses sebelumnya diletakkan di atas substrat kaca berbentuk persegi (sisi 25 mm, tebal 1 mm). Substrat kaca tersebut diputar dengan menggunakan *spin coater* dengan arus 10 A selama 60 detik. Selanjutnya, film tipis pada substrat di-*prebake* menggunakan oven dengan suhu 90ºC selama 5 menit. Sampel film tipis ini digunakan untuk karakterisasi absorbansi dengan menggunakan spektrometer Vis-NIR USB4000 dan struktur mikro permukaan dengan menggunakan CCD Microscope MS-804. Sampel film tipis yang digunakan dalam karakterisasi absorbansi dan struktur mikro dibuat dengan parameter seperti yang tertera pada Tabel 3.2.

3.4 Karakterisasi Hasil

3.4.1 Karakterisasi Struktur Permukaan dengan CCD Microscope

Proses etsa kasar menunjukkan karakteristik perbandingan aspek tinggi dan orientasi kristal tergantung morfologi permukaan. Evolusi temporal kekasaran ini dipelajari dan pengamatan menunjukkan penumpukan bertahap kontaminasi permukaan (pelapisan kembali) berasal dari photoresist masker. Sebuah model digunakan untuk menganalisis profil etsa terhadap kondisi etsa internal. Profil etsa hampir isotropik yang diperoleh dalam proses etsa baik kasar dan halus, umumnya sangat tergantung radikal, tetapi kekasaran permukaan itu sendiri dapat dikurangi secara dramatis menggunakan energi ion di atas nilai ambang tertentu (Larsen *et al.,* 2006).



Gambar 3.3 CCD Microscope MS-804 (Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang)

Karakterisasi struktur permukaan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekasaran permukaan film photoresist. Karakerisasi ini dilakukan dengan menggunakan CCD Microscope MS-804 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. 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.

3.4.2 Karakterisasi Absorbansi dengan Spektometer Vis-NIR

Spektrometer adalah instrumen yang digunakan untuk menghasilkan spektrum panjang gelombang cahaya, baik spektrum emisi, spektrum absorpsi, spektrum transmisi dan spektrum reflektansi dari sebuah obyek. Secara umum spektrometer terdiri dari sumber cahaya, pemilih panjang gelombang (*wavelength selector*) dan detektor. Sumber radiasi dapat berupa lampu incandescent dan lampu tungsten halogen. Lampu incandescent dapat menghasilkan spektra yang kontinyu dari panjang gelombang 350 nm hingga daerah NIR 2.5 μm. Lampu incandescent memiliki kawat filamen berupa tungsten yang dipanaskan oleh arus listrik. Filamen dibungkus oleh tabung gelas yang berisi gas inert atau vakum. Sedangkan lampu tungsten halogen merupakan lampu incandescent dengan penambahan iodin.

Pada penelitian ini, karakterisasi serapan photoresist dilakukan dengan menggunakan spektrometer *ocean optic* Vis-NIR USB4000 (Gambar 3.4). *Ocean optic* Vis-NIR USB4000 telah dikonfigurasikan untuk aplikasi pada gelombang 350-1000 nm, memiliki 3648-elemen Toshiba linear CCD *array* untuk meningkatkan *signal-to-noise* dan meningkatkan elektronik untuk mengendalikan spektrometer dan aksesoris. Spektrometer Vis-NIR USB4000 telah dilengkapi dengan DET4-350-1000 detektor dan ketertiban pemilahan filter mencakup rentang panjang gelombang 350-1000 nm. Spektrometer ini dilengkapi dengan

multi-bandpass order-sorting filter dan celah masuk 25 μm untuk resolusi optik mencapai 1,5 nm (FWHM).

Sampel yang dikarakterisasi pada penelitian ini merupakan sampel film tipis photoresist. Sampel yang digunakan sebanyak lima film tipis yang dipilih yaitu sampel B, C, D, E dan F dengan variasi komposisi ketika masih berupa cairan. Dari data ini, akan dikaji sifat absorbansi photoresist pada tiga panjang gelombang yang sering digunakan sebagai aplikasi litografi. Panjang gelombang tersebut 365 nm (litografi i-line menggunakan lampu merkuri), 405 nm (litografi h-line menggunakan lampu merkuri) dan 436 nm (litografi g-line menggunakan lampu merkuri). Kemudian, data absorbansi pada kelima sampel photoresist tersebut disajikan dalam bentuk grafik untuk mengetahui perbandingan absorbansi pada masing-masing sampel photoresist.

Gambar 3.4 Spektrometer *ocean optic* Vis-NIR USB4000 (Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang)

3.4.3 Pengukuran Kerapatan

Kerapatan cairan merupakan besarnya massa setiap satuan volume. Banyak cara untuk pengukuran kerapatan cairan yang telah dikenal, antara lain tabung getaran, penimbangan, gaya apung (*buoyancy*), tekanan hidrostatik dan hamburan gamma (*gamma ray*). Peralatan dalam pengukuran berdasarkan semua prinsip sensor yang tersedia secara komersial dan digunakan untuk pengukuran kepadatan dalam aplikasi proses yang berbeda. Namun, kesesuaian dalam aplikasi yang diberikan dapat bervariasi sesuai dengan penggunaan khusus (Bjondal, 2007).

Penimbangan (atau piknometri) menggunakan volume yang dikenal V diisi dengan cairan untuk mendapatkan densitas cairan dengan menimbang massa m menurut persamaan:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Metode laboratorium untuk memperoleh kerapatan cairan didominasi oleh prinsip ini. Sebuah ketidakpastian relatif kurang dari 1.10^{-6} dapat diperoleh dan peralatan didasarkan pada prinsip ini berfungsi sebagai metode yang paling akurat. Selain menggunakan piknometer, prinsip pengukuran ini dapat diterapkan untuk setiap bejana, atau menjadi bagian dari sistem pipa yang ada fluida mengalir. Pengukuran ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing sampel photoresist. Hasil pengukuran yang diperoleh dari tiga kali pengukuran tersebut selanjutnya dihitung nilai rata-ratanya. Hasil rata-rata tersebut merupakan nilai kerapatan photoresist yang dicari.

3.4.4 Pengukuran Viskositas

Kesesuaian viskositas merupakan hal yang penting dalam rangka untuk menyeimbangkan persyaratan yang terlibat dalam langkah proses yang berbeda (Campo *et al.*, 2007). Pemilihan komposisi photoresist, yaitu jumlah pelarut dan viskositas larutan merupakan hal yang sangat penting (Pham *et al.,* 2004). Oleh karena itu, karakterisasi viskositas perlu dilakukan untuk mengetahui sifat kekentalan cairan photoresist.

Karakterisasi viskositas dilakukan dengan viskometer rotasional LV series viscometer spindle number. Pada viskometer rotasional, cairan diselidiki di ruang antara dua badan koaksial (silinder). Salah satu dari badan ini bergerak, dan lainnya tetap. Viskositas ditentukan oleh momen torsi dengan kecepatan sudut tertentu atau dengan kecepatan sudut pada saat torsi diberikan. Karakterisasi viskositas photoresist dilakukan pada tiga sampel photoresist dengan komposisi yang berbeda. Dari tiga sampel tersebut selanjutnya dianalisis hubungan nilai viskositas terhadap komposisi photoresist. Data yang dihasilkan disajikan dalam grafik hubungan.

3.5 Analisis Data

Penelitian ini menggunakan komposisi *epoxy* dan *sodium acetate trihydrate* sebagai variabel tetap dimana jumlah *epoxy* dan *sodium acetate trihydrate* masing-masing selalu sama. Komposisi toluena sebagai variabel bebas dengan komposisi yang berbeda-beda. Karakterisasi kerapatan menggunakan enam sampel dan karakterisasi viskositas menggunakan tiga sampel. Sedangkan

karakterisasi absorbansi dan struktur mikro permukaan menggunakan sampel film tipis dari photoresist yang dibuat sebelumnya. Karakterisasi absorbansi menggunakan lima sampel film tipis photoresist dan karakterisasi struktur mikro permukaan menggunakan enam variasi sampel film tipis photoresist.

Pada penelitian ini, akan dikaji sifat absorbansi pada panjang gelombang g-line (436 nm), h-line (405 nm) dan i-line (365 nm) yang akan dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Selain itu, sifat absorbansi juga akan dibandingkan untuk masing-masing sampel dengan disajikan dalam grafik. Pada karakterisasi struktur mikro permukaan, hasil pengamatan homogenitas permukaan film tipis akan dibandingkan untuk masing-masing sampel. Karakterisasi permukaan juga dilakukan pada sampel dengan suhu pemanasan yang berbeda. Karakterisasi kerapatan berfungsi untuk mengetahui dan membandingan besarnya kerapatan pada setiap sampel cairan photoresist dan selanjutnya dikaji hubungan antara komposisi toluena terhadap kerapatan cairan photoresist dimana data ini akan disajikan dalam bentuk grafik. Selanjutnya, karakterisasi viskositas dilakukan untuk mengetahui besarnya viskositas masing-masing sampel cairan photoresist dan untuk mengetahui hubungan antara komposisi toluena terhadap viskositas sampel cairan yang ditampilkan dalam grafik.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dipaparkan hasil dan analisis dari penelitian yang telah dilakukan. Bagian ini dibagi menjadi dua, yaitu pembuatan photoresist dan karakterisasi hasil. Pembuatan photoresist meliputi pembuatan sampel cairan photoresist dan pembuatan sampel film tipis photoresist dengan metode *spin coating*. Sampel cairan photoresist diukur kerapatan dan viskositasnya sedangkan sampel film tipis photoresist dikarakterisasi absorbansi dan struktur mikro permukaannya.

4.1 Pembuatan Sampel Photoresist

4.1.1 Pembuatan Sampel Cairan Photoresist

Komposisi photoresist secara umum terdiri dari empat komponen yaitu polimer, *photoacid generator* (PAG), pelarut dan aditif sebagai bahan tambahan. Pembuatan sampel cairan photoresist pada penelitian ini menggunakan bahan resin *epoxy* sebagai matriks polimer, *sodium acetate trihydrat* sebagai PAG dan toluena sebagai pelarut. Proses manufaktur photoresist diawali dengan melarutkan *sodium acetate trihydrat* pada toluena dengan pengadukan dan pemanasan menggunakan magnet pengaduk (*magnetic stirrer*). Magnet pengaduk didesain seperti yang tertera pada Gambar 4.1. Pemanasan dilakukan hingga suhu 75ºC. Larutan *sodium acetate trihydrat* dan toluena ini dimasukkan ke dalam resin *epoxy*. Campuran ketiga bahan ini diaduk dan dipanaskan hingga suhu 80ºC. Saat suhu mencapai 80ºC, pemanasan dihentikan dan pengadukan dilanjutkan hingga

waktu 15 menit. Setelah proses selesai, campuran didingankan pada suhu ruang dan selanjutnya disaring menggunakan layar penyaring (*screen filter*) berukuran T54. Penyaringan ini bertujuan untuk menghilangkan kontaminan yang terbentuk selama proses manufaktur photoresist. Setelah penyaringan, proses pembuatan cairan photoresist selesai dan dihasilkan cairan photoresist yang bersifat kental dan berwarna abu-abu. Cairan ini dimasukkan pada botol berwarna gelap untuk menghindari reaksi terhadap cahaya.

Gambar 4.1 Magnet pengaduk yang digunakan dalam pembuatan cairan photoresist

Pembuatan photoresist yang digunakan untuk mengukur kerapatan divariasi dalam enam komposisi yang berbeda. Keenam sampel tersebut adalah sampel A, B, C, D, E dan F yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2. Semua sampel menggunakan komposisi resin *epoxy* sebanyak 10g, *sodium acetate trihydrate*

sebanyak 2,5g dan komposisi toluena yang berbeda-beda. Sampel A menggunakan komposisi toluena sebanyak 4,5g, sampel B menggunakan toluena sebanyak 5,0g, sampel C menggunakan komposisi toluena sebanyak 5,5g, sampel D menggunakan toluena sebanyak 6.0g, sampel E menggunakan toluena sebanyak 6,5g dan sampel F menggunakan toluena sebanyak 7,0g. Cairan photoresist setelah mengalami proses penyaringan merupakan produk akhir photoresist *epoxy*. Pengukuran kerapatan menggunakan enam sampel cairan photoresist A, B, C, D, E dan F. Pengukuran viskositas menggunakan sampel cairan photoresist B, D dan F. Berdasarkan data yang diperoleh dari sampel-sampel tersebut, dilakukan analisis untuk mengetahui perbandingan dan hubungan masing-masing sampel.

Gambar 4.2 Sampel cairan photoresist

Pada pembuatan sampel A yang menggunakan komposisi pelarut toluena 4,5g, banyak terbentuk kontaminan pada proses pencampuran larutan *sodium acetate trihydrate* dan *epoxy* yang disertai pemanasan. Pada pembuatan sampel B yang menggunakan pelarut toluena sebanyak 5,0g, menghasilkan kontaminan yang lebih sedikit daripada kontaminan pada sampel A. Begitu juga selanjutnya pada sampel C, D, E dan F kontaminan yang dihasilkan semakin sedikit. Proses

ini menunjukkan bahwa banyaknya pelarut toluena mempengaruhi pembentukan kontaminan. Semakin banyak pelarut yang digunakan, semakin sedikit terbentuk kontaminan. Kontaminan-kontaminan tersebut terlihat jelas ketika suhu photoresist sama dengan suhu ruangan. Selanjutnya, photoresist disaring menggunakan layar penyaring berukuran T54 untuk menghilangkan kontaminan-kontaminan tersebut. Setelah proses penyaringan, ketiga cairan photoresist diukur nilai viskositasnya.

4.1.2 Pembuatan Sampel Film Tipis Photoresist

Sampel film tipis photoresist digunakan untuk karakterisasi absorbansi dan struktur mikro permukaan. Karakterisasi absorbansi menggunakan lima film tipis photoresist sampel B, C, D, E dan F. Sedangkan karakterisasi struktur mikro menggunakan enam film tipis photoresist dari sampel A, B, C, D, E dan F.

Pada penelitian ini, pelapisan film tipis photoresist menggunakan substrat berbentuk persegi. Pelapisan ini menggunakan teknik *spin coating* seperti yang ditunjukkan Gambar 4.3. Cairan photoresist dilapiskan pada substrat kaca berbentuk persegi dengan ukuran 25 mm x 25 mm dan tebal 1 mm. Proses pelapisan ini bertujuan untuk menghasilkan film tipis photoresist yang digunakan untuk karakterisasi absorbansi dan struktur mikro permukaan. Proses *spin coating* diawali dengan melapiskan photoresist pada substrat kaca. Selanjutnya, substrat kaca tersebut diputar menggunakan *spin coater* dengan arus sebesar 10 A selama 60 detik agar pelapisan dapat melingkupi permukaan substrat secara menyeluruh.

Gambar 4.3. Proses *spin coating* cairan photoresist

Proses *spin coating* memiliki keuntungan sesuai dengan teknologi rangkaian terpadu dan dapat digunakan pada semua tahap pengolahan pada semua jenis lapisan substrat. Hanya ada dua parameter, yaitu viskositas larutan photoresist dan laju putaran yang sangat mempengaruhi bentuk lapisan. Oleh karena itu, proses optimasi hanya berfokus pada dua parameter. Sedangkan kendala utama pada proses *spin coating* disebabkan oleh gaya sentrifugal ketika berputar. Fitur yang tergores secara dalam menyebabkan gangguan fisik untuk aliran larutan, pelapisan yang tidak menyeluruh dan sering menyebabkan ketebalan photoresist yang berbeda-beda. Ukuran dan bentuk dari substrat juga memiliki pengaruh pada keseragaman photoresist dan cacat pelapisan (Pham *et al.,* 2004).

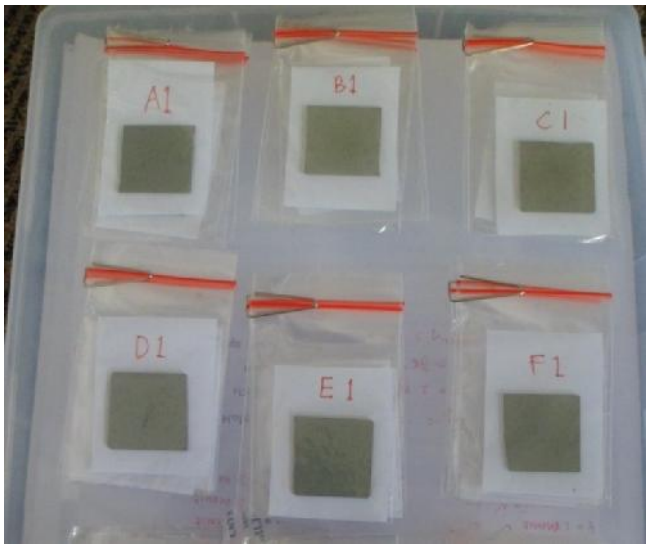
Setelah film tipis photoresist terbentuk pada substrat kaca, selanjutnya sampel di-*prebake* menggunakan oven pada suhu 95ºC selama 5 menit (Gambar 4.4). Proses *prebake* ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan pelarut yang ada

pada sampel film tipis, sehingga dihasilkan film tipis yang kering. Untuk karakterisasi struktur mikro film resist, selain *prebake* menggunakan suhu 95ºC, juga dilakukan *prebake* pada suhu 70ºC untuk membandingkan struktur permukaan yang dihasilkan. Sampel film tipis yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 4.5.

Gambar 4.4. Proses pemanasan awal sampel film tipis photoresist

Setelah proses pelapisan, substrat di-*prebake* untuk menghilangkan pelarut dan meningkatkan adhesi resist terhadap substrat. Proses ini disertai dengan penyusutan film. *Prebake* biasanya dilakukan dengan pemanasan film hingga 95ºC pada *hotplate* datar yang rata. Suhu *prebake* yang lebih tinggi (T>137ºC) dapat memulai lintas termal bahkan fotoaktivasi tidak terjadi. Suhu yang lebih rendah atau waktu yang singkat meninggalkan film resist dengan kandungan pelarut tinggi yang akan menguap. Penghapusan pelarut selama *prebake* disertai dengan penyusutan volume dan tegangan mekanik. Tegangan akumulasi

meningkat dengan meningkatnya ketebalan film dan memiliki dimensi lateral dan dapat menyebabkan pengikatan kembali pada lapisan resist dari substrat jika adhesi lemah. Penelitian terbaru telah menunjukkan bahwa waktu *prebake* adalah faktor utama yang berkontribusi terhadap keseluruhan tegangan internal film selama pemrosesan (hingga 50%). Waktu *prebake* menentukan kandungan akhir pelarut resist. Waktu *prebake* yang pendek meninggalkan film resist yang lebih lembut yang kurang rentan terhadap tegangan internal selama langkah proses selanjutnya. Namun, tingginya tingkat pelarut setelah *prebake* dapat mengakibatkan pembentukan gelembung selama pasca *prebake*; runtuhnya fitur akibat rendahnya stabilitas mekanik di bagian bawah substrat karena kandungan pelarut yang lebih tinggi; dan kekontrasan yang lebih rendah antara daerah yang bereaksi silang dan daerah tak bereaksi silang. Jika resist terlalu keras, reaksi silang di daerah iradiasi akan terhambat. Akibatnya, waktu optimum *prebake* harus dioptimalkan untuk setiap ketebalan dan aplikasi tertentu (Campo & Greiner, 2007).



Gambar 4.5. Sampel film tipis photoresist yang siap dikarakterisasi

Pelarut menguap dari permukaan resist selama *prebake*, dan jumlah penguapan tergantung pada suhu *prebake* dan waktu *prebake*. Ketika bagian belakang substrat dipanaskan dengan kedekatan *baking*, pelarut menguap dari permukaan atas resist, dan dengan demikian konsentrasi sisa pelarut diharapkan akan lebih tinggi di dekat permukaan atas resist. Jumlah perubahan pelarut tajam selama 5 menit *baking* pertama, perubahan hanya sedikit setelah itu. Konsentrasi sisa pelarut lebih tinggi di dekat permukaan resist dan sejumlah besar sisa pelarut tersisa pada suhu *prebake* yang rendah antara 80°C dan 95°C (Sensu & Sekiguchi, 2003). *Prebake* resist memiliki berbagai tujuan, dari menghapus pelarut hingga menyebabkan amplifikasi kimia. Selain hasil yang diharapkan, *baking* juga dapat menyebabkan banyak hasil yang tidak diinginkan. Misalnya, komponen peka cahaya dari resist dapat terurai pada suhu yang biasanya digunakan untuk menghilangkan pelarut.

Tujuan dari *prebake* photoresist adalah untuk mengeringkan resist setelah *spin coating* dengan menghapus pelarut dari film. Namun, seperti kebanyakan langkah pengolahan termal, *prebake* memiliki efek lain pada photoresist. Bila dipanaskan sampai suhu di atas sekitar 70ºC, senyawa fotoaktif (PAC) dari photoresist positif jenis diazo mulai terurai menjadi produk non-fotosensitif. Mekanisme reaksi awal identik dengan reaksi PAC selama paparan ultraviolet (Mack, 1998). Kandungan pelarut dan gradien pelarut juga dapat bervariasi, tergantung pada peralatan yang digunakan untuk *prebake*. *Hotplate* dan oven merupakan alat *baking* yang umum digunakan. Dalam oven, resist secara merata dipanaskan dengan konveksi dari semua sisi. Terjadinya pengelupasan pada

permukaan resist sering diamati, yang menyebabkan berkurangnya penguapan pelarut. Fenomena ini dapat dihindari dengan *prebake* menggunakan *hotplate*. Di sini, resist dipanaskan dari bawah oleh konduksi panas, dan gradien suhu berkembang di lapisan resist (suhu lebih tinggi di bagian bawah resist). Ini memiliki efek yang menguntungkan dalam lapisan tipis resist (konveksi, menghapus pelarut dengan cepat). Namun, untuk lapisan lebih tebal *baking* seragam tidak mungkin dilakukan (Campo & Greiner, 2007).

4.2 Karakterisasi Hasil

4.2.1 Struktur Mikro Film Resist

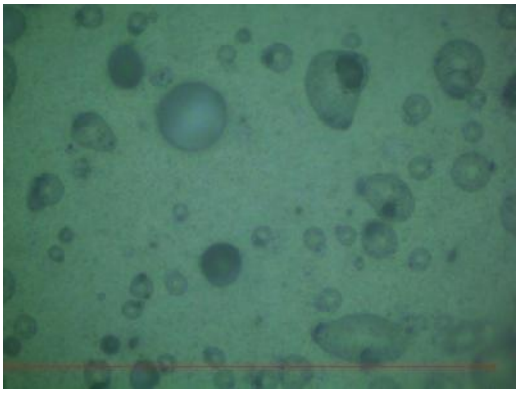
Karakterisasi struktur mikro film resist dilakukan dengan menggunakan CCD Microscope MS-804. Sampel cairan photoresist dilapiskan pada substrat kaca dengan metode *spin coating*. Proses *spin coating* dilakukan selama 60 detik. Proses selanjutnya, sampel film tipis di-*prebake* selama 5 menit menggunakan oven dengan suhu 95ºC. Kemudian sampel film tipis kering ini dikarakerisasi menggunakan CCD Microscope MS-804 untuk mengetahui struktur mikro film resist.

Struktur mikro keenam sampel film tipis photoresist dengan komposisi yang berbeda ditunjukkan oleh Gambar 4.6. Berdasarkan gambar tersebut, homogenitas permukaan sampel film tipis photoresist berbeda-beda. Pada sampel A terlihat banyak terbentuk gelembung dengan ukuran yang besar. Pada sampel B juga terbentuk banyak gelembung tetapi lebih homogen. Sampel C lebih homogen daripada sampel B meskipun ada beberapa gelembung berukuran besar. Pada

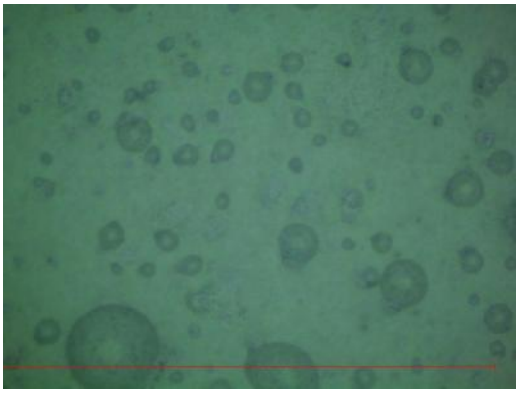
sampel D dan E terbentuk gelembung yang lebih sedikit dan sampel E lebih homogen daripada sampel D. Namun, pada sampel F terbentuk banyak gelembung dan berukuran besar. Meskipun demikian, struktur mikro film tipis cenderung semakin homogen dari sampel A sampai F sehingga semakin banyak komposisi toluena, struktur mikro film tipis cenderung semakin homogen. Kondisi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu proses *spin coating* dan proses *prebake*.

Dari gambar tersebut, terlihat bahwa pada permukaan film tipis photoresist banyak terbentuk gelembung-gelembung udara. Gelembung-gelembung ini muncul ketika photoresist dilapiskan pada substrat kaca menggunakan *spin coating.* Munculnya gelembung tersebut dipengaruhi oleh viskositas photoresist yang dilapiskan pada substrat. Metode *spin coating* untuk photoresist viskositas tinggi memiliki kelemahan seperti gelembung, rata ketebalan, perataan tepi dan sulit mengendalikan ketebalan (US 20060263520A1).

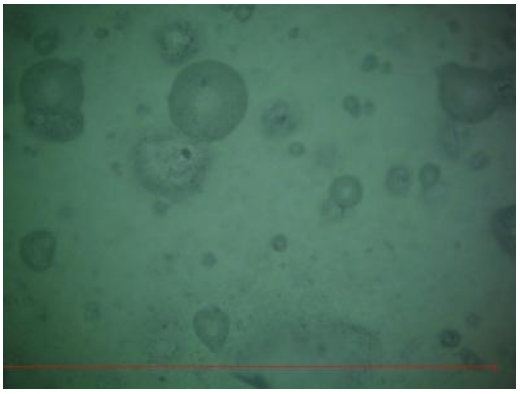
Pelapisan homogen dan resolusi photoresist yang terbatas adalah penyebab utama kekasaran permukaan yang ditumpangkan pada profil kisi itu. Penurunan kekasaran ditegaskan dengan dua cara. Pertama, hilangnya penyerapan dan *outcoupling* dari refleksi resonansi yang terekam saat memindai sekitar sudut resonansi yang diperkirakan. Kedua, ketika mode terkendali telah tereksitasi, pengurangan kekuatan hamburan berbentuk busur yang terkait dengan kekasaran permukaan (Rabady *et al.,* 2003).



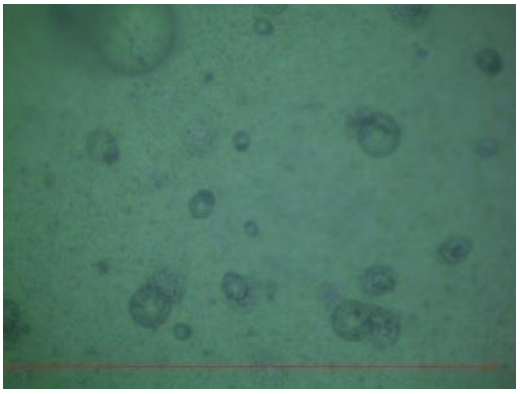
a)



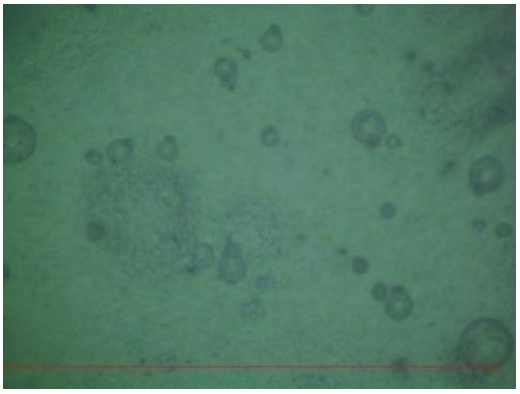
b)



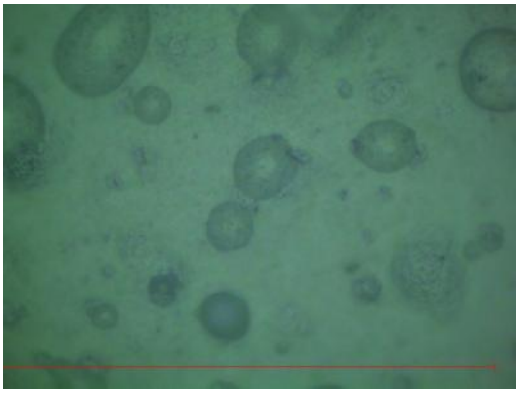
c)



d)



e)



f)

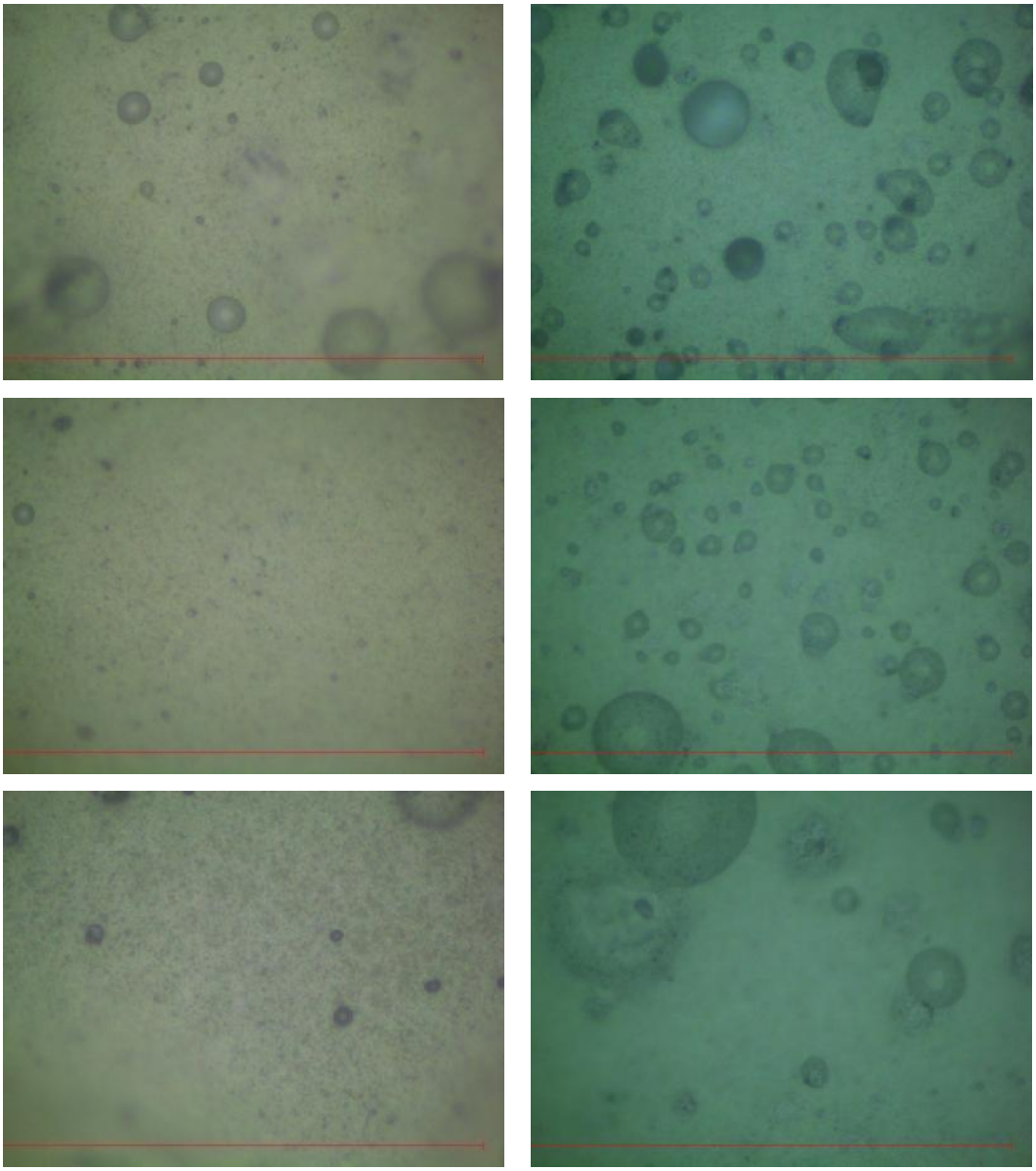
Gambar 4.6. Struktur permukaan film tipis photoresist untuk enam sampel photoresist dengan komposisi yang berbeda. a) sampel A; b) sampel B; c) sampel C; d) sampel D; e) sampel E.

Dalam sebagian besar aplikasi, morfologi yang halus dari permukaan etsa sangat penting. Hal ini terutama berlaku untuk permukaan pada optik dan

mikrosistem mekanik. Namun, dalam beberapa kasus permukaan etsa menunjukkan kekasaran parah yang dapat membuat permukaan tidak berguna dalam aplikasi ini. Permukaan masih kasar dapat digunakan secara konstruktif jika kekasaran dikendalikan dengan baik. Permukaan ini dapat digunakan, misalnya untuk penyerap cahaya, daerah yang sangat efektif untuk mendukung katalis, permukaan dengan energi permukaan tinggi, atau permukaan berstruktur nano fungsional. Dalam kasus apapun, diperlukan pemahaman tentang evolusi kekasaran dan alasan yang mendasari kekasaran yang dihasilkan (Larsen *et al.*, 2006).

Pada penelitian ini juga dilakukan perbedaan perlakuan ketika proses *prebake.* Proses ini menggunakan suhu *prebake* sebesar 70ºC. Lamanya waktu *prebake* sama dengan proses sebelumnya yaitu selama 5 menit. Hasil pengamatan struktur mikro pada proses ini dibandingkan dengan proses sebelumnya yang ditunjukkan pada Gambar 4.17.

Berdasarkan pengamatan pada gambar, struktur permukaan pada sampel dengan pemanasan 70ºC lebih halus dan gelembung udara serta lubang yang terbentuk lebih sedikit daripada sampel dengan pemanasan 95ºC. Selain itu, pada sampel dengan pemanasan 95ºC terbentuk gelembung dan lubang yang ukurannya lebih besar, sehingga permukaannya terlihat lebih kasar.



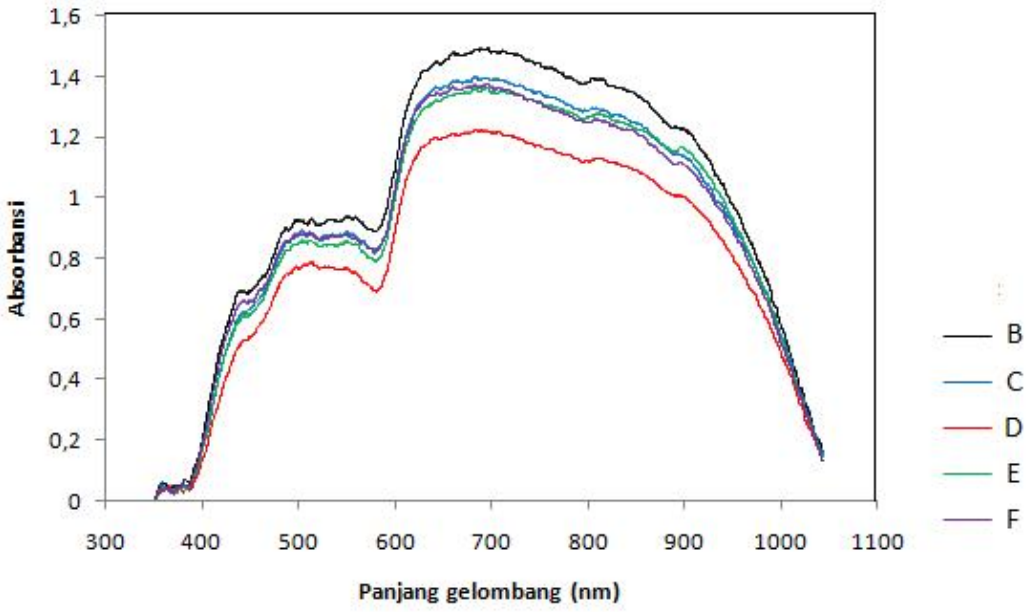
a) b)

Gambar 4.7. Struktur permukaan film tipis photoresist dengan suhu *prebake* yang berbeda. 4.7.a) Suhu *prebake* 70ºC dan 4.7.b) suhu *prebake* 95ºC.

4.2.2 Nilai Absorbansi Film Tipis Resist pada Gelombang Vis-NIR

Pada penelitian ini, absorbansi masing-masing sampel dikarakterisasi menggunakan spektrometer *ocean optic* Vis-NIR USB4000. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui sifat absorbansi photoresist pada panjang gelombang

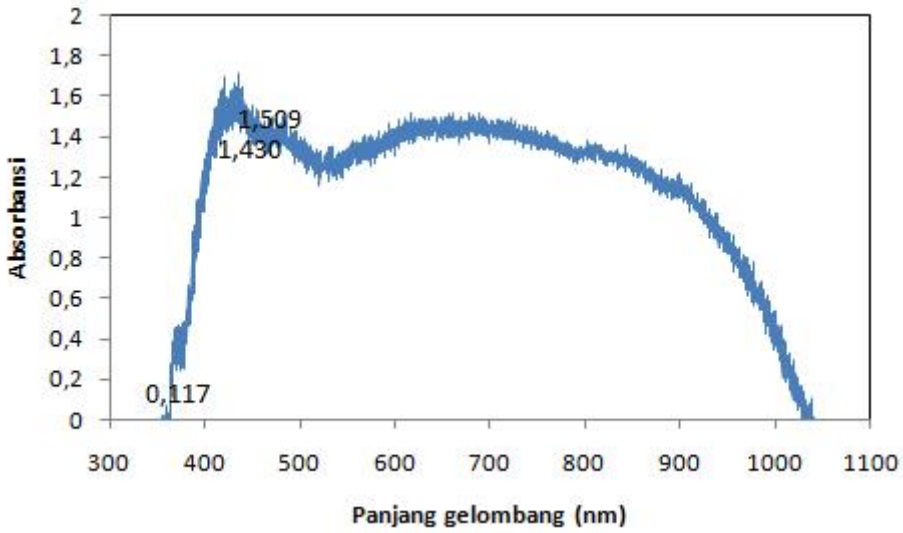
tampak hingga inframerah. Secara keseluruhan, kelima sampel memiliki absorbansi yang identik. Grafik pada Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan absorbansi dari kelima sampel tersebut. Berdasarkan grafik, kelima sampel photoresist memiliki sifat absorbansi yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan komposisi photoresist pada penelitian ini tidak berpengaruh pada absorbansi photoresist.



Gambar 4.8. Spektrum absorbansi photoresist dari sampel B, C, D, E dan F.

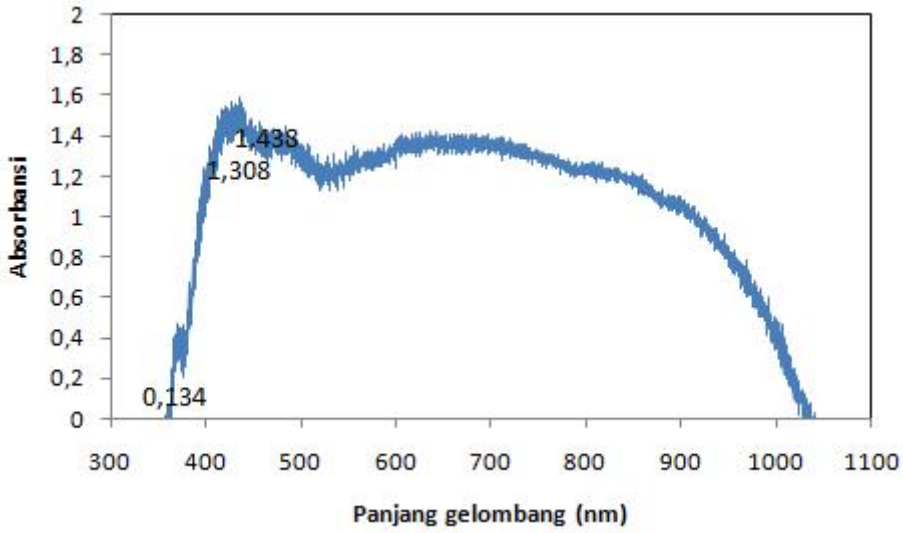
Berdasarkan spektrum absorbansi pada Gambar 4.8, terlihat bahwa absorbansi film tipis photoresist terjadi pada panjang gelombang 350-1050 nm. Aplikasi photoresist pada panjang gelombang tersebut antara lain untuk litografi menggunakan panjang gelombang 365 nm (litografi i-line menggunakan lampu merkuri), 405 nm (litografi h-line menggunakan lampu merkuri) dan 436 nm (litografi g-line menggunakan lampu merkuri). Oleh karena itu, bagian ini akan membahas absorbansi photoresist pada aplikasi tersebut.

Grafik pada Gambar 4.9 menunjukkan absorbansi photoresist sampel B. Pada grafik tersebut terlihat bahwa absorbansi pada panjang gelombang 365 nm sebesar 0,117, pada panjang gelombang 405 nm sebesar 1,430, dan pada panjang gelombang 436 nm sebesar 1,509.



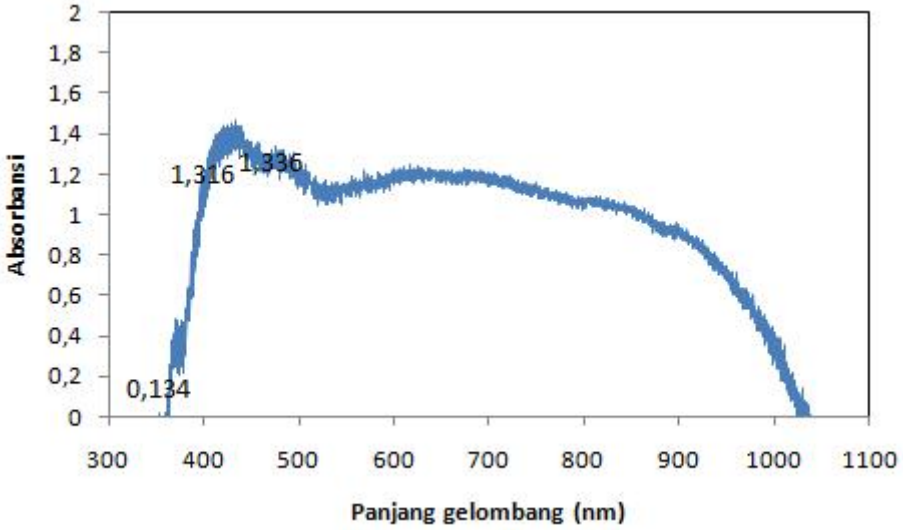
Gambar 4.9. Grafik spektrum absorbansi photoresist sampel B.

Absorbansi photoresist sampel C ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.10. Grafik tersebut menunjukkan bahwa absorbansi pada panjang gelombang 365 nm sebesar 0,134, pada panjang gelombang 405 nm sebesar 1,308, dan pada panjang gelombang 436 nm sebesar 1,438.



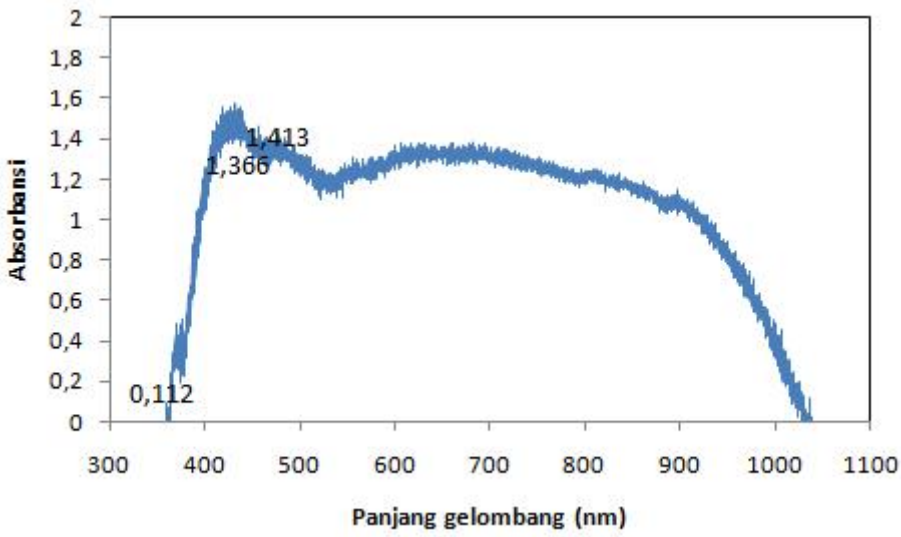
Gambar 4.10. Grafik spektrum absorbansi photoresist sampel C.

Sampel D memiliki sifat absorbansi seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.11. Grafik tersebut menunjukkan bahwa absorbansi pada panjang gelombang 365 nm sebesar 0,134, pada panjang gelombang 405 nm sebesar 1,316, dan pada panjang gelombang 436 nm sebesar 1,336.



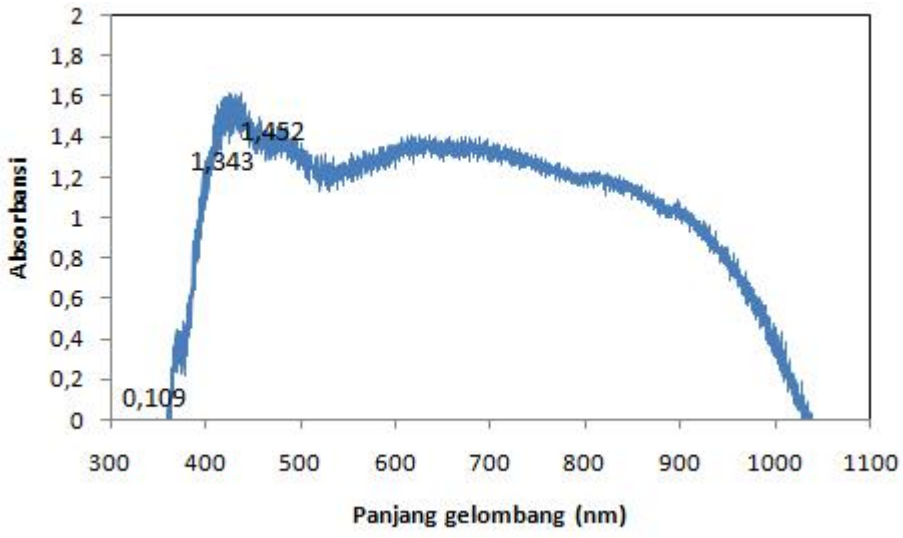
Gambar 4.11. Grafik spektrum absorbansi photoresist sampel D.

Gambar 4.12 merupakan grafik absorbansi photoresist sampel E. Berdasarkan grafik tersebut, absorbansi photoresist pada panjang gelombang 365 nm sebesar 0,112, pada panjang gelombang 405 nm sebesar 1,366, dan pada panjang gelombang 436 nm sebesar 1,413.



Gambar 4.12. Grafik spektrum absorbansi photoresist sampel E.

Selanjutnya, absorbansi photoresist sampel F ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.13. Berdasarkan grafik, absorbansi photoresist pada panjang gelombang 365 nm sebesar 0,109, pada panjang gelombang 405 nm sebesar 1,343, dan pada panjang gelombang 436 nm sebesar 1,452.



Gambar 4.13. Grafik spektrum absorbansi photoresist sampel F.

Jika diamati dari kelima grafik di atas, film tipis photoresist memiliki absorbansi berkisar 0,1-1,5. Nilai absorbansi ini sudah memenuhi syarat untuk absorbansi photoresist secara umum. Secara umum, kisaran absorbansi pada photoresist adalah 0,1-3 (Muntean & Planques, 2005).

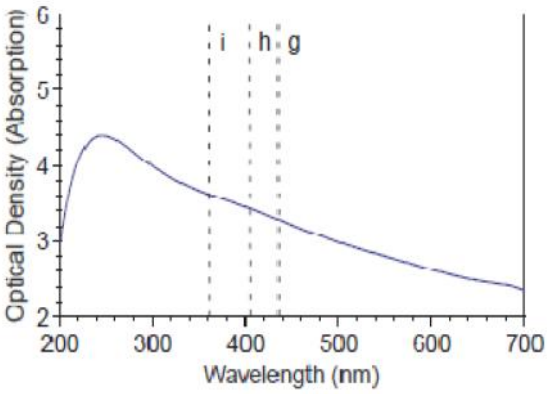
Absorbansi yang diukur dalam spektrofotometer ini setara dengan OD seperti yang ditunjukkan pada persamaan:

$$OD = \log (1 / T) = - \log (T) = A \qquad \text{(Schurz } et\ al.\text{, 2000)}$$

di mana OD adalah kerapatan optik, A adalah absorbansi dan T adalah transmitansi. Persamaan ini merupakan hukum Beer-Lambert tentang absorbansi cahaya.

Sejak diperkenalkan litografi proyeksi menggunakan photoresist negatif dalam pembuatan semikonduktor, *photomask* telah dilapisi dengan Cr Film 800 Å sampai 1000 Å untuk mencapai kerapatan optik 3,0 ± 0,2 pada panjang gelombang g, h dan i-line merkuri (Hg) seperti yang ditunjukkan pada Gambar

4.14. Kerapatan optik ini telah cukup untuk memblokir cahaya asing atas berbagai dosis paparan, termasuk dosis lebih besar dari 1000 mJ/cm^2 yang digunakan dalam pembuatan TFH (Schurz *et al.*, 2000). Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, penyerapan atau kerapatan optik pada penelitian ini menghasilkan nilai yang lebih rendah pada panjang gelombang g, h, dan i line.



Gambar 4.14. Grafik absorbansi photoresist pada g, h, dan i-line (Schuz *et al.,* 2000

Berdasarkan data dan uraian di atas, absorbansi photoresist pada panjang gelombang g, h dan i-line merkuri yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki nilai yang lebih kecil daripada absorbansi yang telah diperkenalkan pada penelitian sebelumnya. Secara umum, gambar untuk photoresist dengan penyerapan tinggi akan memiliki profil meruncing dan sudut dinding samping rendah. Profil dengan puncak persegi dan sudut dinding samping lurus akan diamati sebagai penurunan penyerapan. Dengan penyerapan yang sama (1,78 vs 1,82), sudut dinding samping untuk berbagai resist berbeda secara signifikan (80 vs 90 derajat). Ini mungkin menunjukkan bahwa sampel dapat disesuaikan untuk memiliki profil persegi dengan menyesuaikan PAG, *quencher* atau sifat pelarut (Yueh *et al.,* 2004).

Penyerapan hasil cahaya dari permukaan photoresist dapat turun ke substrat dengan teknik fotolitografi secara inheren (Witzgall *et al.,* 1998). Absorbansi optik oleh resin tidak menyebabkan reaksi fotokimia yang berguna (termasuk kemungkinan transfer energi dari resin *photoexcited* untuk PAG), sehingga berfungsi untuk mengurangi sensitivitas resist. Absorbansi cahaya oleh resin akan berkontribusi terhadap degradasi dinding tepi sudut (Crawford *et al.*, 2001). Absorbansi optik resist yang tinggi, terutama karena serapan tinggi dari resin polimer khusus yang digunakan dalam resist (misalnya, *polystyrenes* atau akrilat). Dengan demikian, kemajuan pengembangan photoresist 157 nm dengan absorbansi rendah telah diperlukan pengembangan baru, yaitu resin yang sangat transparan (Crawford *et al.*, 2003). Ketebalan film photoresist yang diperbolehkan berbanding terbalik dengan penyerapan optik photoresist, resin yang memiliki absorbansi sangat tinggi hanya dapat digunakan dalam pencitraan lapisan tipis. Pada saat yang sama, resist lapisan tebal diinginkan untuk ketahanan etsa.

Absorbsi target untuk film photoresist secara historis kurang dari 1,0 μm^{-1} dan untuk photoresist litografi 157 nm, banyak usaha yang dilakukan untuk mengurangi absorbansi di bawah 1,0 μm^{-1}. Namun untuk resist EUV, target absorbansi telah diterima dalam industri, karena umumnya diasumsikan bahwa menggunakan pencitraan film tipis (kurang dari 130 nm) akan mengatasi kebutuhan untuk absorbansi rendah resist EUV. Model resist dapat membantu memprediksi pengaruh parameter material, seperti absorbansi resist pada keseluruhan kinerja resist. (Yueh *et al.,* 2004). Untuk satu lapisan resist, persyaratan transparansi optik membatasi ketebalan film sesuai dengan absorbansi

optik bahan. Pemodelan optik telah menunjukkan lapisan dinding samping lebih vertikal sesuai dengan absorbansi optik di bawah 2,0 μm^{-1} (basis 10) untuk ketebalan film resist sebesar 200 nm (French *et al.,* 2001).

4.2.3 Hasil Pengukuran Kerapatan

Pengukuran kerapatan menggunakan metode massa tiap satuan volume. Volume yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 1 ml. pengukuran massa dilakukan sebanyak tiga kali dan diambil nilai rata-ratanya. Hasil pengukuran tersebut ditampilkan pada Tabel 4.1.

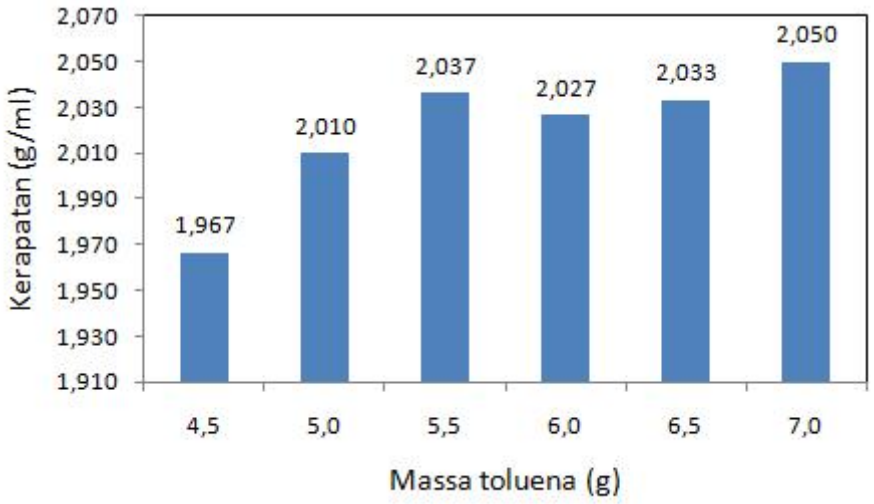
Tabel 4.1 Data pengukuran kerapatan cairan photoresist

Sampel	Volume (ml)	Massa (g)			Massa rata-rata (g)	Kerapatan (g/ml)
		I	II	III		
A	1	1,91	1,95	2,04	1,977	1,977
B	1	1,88	2,09	2,06	2,010	2,010
C	1	1,99	2,01	2,11	2,047	2,047
D	1	1,94	2,04	2,10	2,037	2,037
E	1	1,96	2,11	2,03	2,033	2,033
F	1	2,08	2,01	2,06	2,050	2,050

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.15, kerapatan cairan photoresist meningkat dari sampel A hingga F. Keenam sampel menggunakan komposisi resin *epoxy* sebanyak 10g, *sodium acetate trihydrate* sebanyak 2,5g, dan komposisi toluena yang berbeda-beda. Keenam sampel berturut-turut menggunakan komposisi toluena sebesar 4,5, 5,0, 5,5, 6,5, 6,5 dan 7,0g. Terlihat

bahwa komposisi dari sampel A hingga sampel F menggunakan pelarut toluena yang jumlahnya semakin banyak. Berdasarkan pengamatan pada grafik, dapat disimpulkan bahwa kerapatan cairan cenderung meningkat dengan semakin banyaknya jumlah pelarut toluena yang digunakan.

Sampel A dengan komposisi toluena 4,5g memiliki kerapatan 1,967 g/ml. Dengan meningkatnya komposisi toluena yaitu pada sampel B sebesar 5,0g dan sampel C sebesar 5,5g, menghasilkan kerapatan yang lebih tinggi masing-masing 2,010 g/ml dan 2,037 g/ml. Namun, kerapatan sampel D dengan komposisi toluena 6,0g dan sampel E komposisi toluena 6,5g secara berturut-turut turun menjadi 2,027 g/ml dan 2,033 g/ml meskipun komposisinya semakin banyak. Jika dilihat dari grafk pada Gambar 4.15, sampel C yang mengalami peningkatan signifikan dan menyimpang dari sampel lain. Hal ini karena faktor pemanasan yang menyebabkan pelarut yang menguap lebih banyak sehingga kerapatannya lebih besar. Kerapatan sampel F dengan komposisi toluena terbesar yaitu 7,0g memiliki kerapatan paling tinggi yaitu 2,050 g/ml.



Gambar 4.15. Grafik kerapatan sampel cairan photoresist

Kerapatan cairan photoresist yang dihasilkan dalam penelitian ini dibandingkan dengan kerapatan cairan photoresist berbasis *epoxy* SU8 yang sudah banyak digunakan dalam aplikasinya. Nilai kerapatan cairan tersebut tertera pada Tabel 4.2. Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa cairan photoresist pada penelitian ini memiliki kerapatan yang lebih besar daripada kerapatan photoresist SU8 yang beredar di pasaran.

Tabel 4.2 Kerapatan photoresist berbasis *epoxy* SU8

Jenis photoresist	Kerapatan (g/ml)
SU-8 2000.5	1,070
SU-8 2002	1,123
SU-8 2005	1,164
SU-8 2007	1,175
SU-8 2010	1,187
SU-8 2015	1,200

4.2.4 Hasil Pengukuran Viskositas

Pengukuran viskositas dilakukan dengan menggunakan LV series viscometer spindle number. Sampel yang digunakan untuk pengukuran sebanyak 50 ml. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data pengukuran viskositas photoresist

Sampel	Pengukuran			Rata-rata
	I	II	III	(cP)
B	76	68.5	74	72,83
D	67	67	69	67,67
F	52	58	55,5	55, 17

Berdasarkan tabel di atas, sampel B memiliki viskositas paling tinggi sebesar 72,83 cP, sampel D memiliki viskositas lebih kecil yaitu 67,67 cP dan sampel F memiliki viskositas paling rendah sebesar 55,17 cP. Sampel B menggunakan pelarut toluena yang paling sedikit, sehingga cairan photoresist yang dihasilkan bersifat kental atau memiliki viskositas yang tinggi. Sampel D menggunakan pelarut toluena yang lebih banyak daripada sampel B, sehingga cairan lebih encer atau memiliki viskositas yang lebih kecil daripada sampel D. Sedangkan sampel F menggunakan pelarut toluena yang paling banyak, sehingga cairan sampel F bersifat paling encer atau memiliki viskositas paling rendah. Keadaan ini digambarkan oleh grafik pada Gambar 4.16. Pada grafik tersebut terlihat bahwa grafik semakin turun dari sampel B, D dan F.

Pada penelitiannya, Flores & Flack menyebutkan viskositas photoresist dalam tiga kategori viskositas rendah, viskositas sedang dan viskositas tinggi. Viskositas rendah bernilai 8 cP, viskositas sedang bernilai 29 cP dan viskositas tinggi bernilai 50 cP. Berdasarkan kategori tersebut, maka photoresist yang dihasilkan pada penelitian ini tergolong viskositas tinggi yaitu sebesar 72.833 cP, 67.667 cP dan 55.167 cP. Photoresist viskositas tinggi memiliki kelemahan pada saat *spin*

coating seperti gelembung, rata ketebalan, perataan tepi dan sulit mengendalikan ketebalan (US 20060263520A1). Hal ini terlihat pada struktur mikro sampel film tipis yang diamati dengan CCD Microscope MS-804. Pada film tipis tersebut terlihat beberapa gelembung yang terbentuk pada permukaan film tipis. Dari hasil tersebut dapat terbukti bahwa viskositas yang tinggi menghasilkan film tipis yang banyak terbentuk gelembung ketika spin coating.

Viskositas yang tercantum pada Tabel 4.3 merupakan viskositas dinamis. Dari viskositas dinamis photoresist, dapat ditentukan viskositas kinematik photoresist. Hasil pengukuran viskositas kinematik ditunjukkan pada Tabel 4.4. Viskositas kinematis tersebut ditentukan dengan persamaan:

$$\text{Viskositas kinematis} = \frac{viskositas}{kerapatan} \qquad \text{(Hidayat, 2011)}$$

Tabel 4.4. Viskositas kinematik sampel cairan photoresist

Sampel	Viskositas (cP)	Kerapatan (g/cm^3)	Viskositas kinematik (cSt)
1	72,83	1,43	50,93
2	67,67	1,52	44,52
3	55, 17	1,81	30,48

Pada penelitian ini, viskositas kinematik cairan photoresist akan dibandingkan dengan viskositas kinematik photoresist berbasis *epoxy* SU8 yang sudah beredar. Nilai viskositas SU8 ditunjukkan oleh Tabel 4.5.

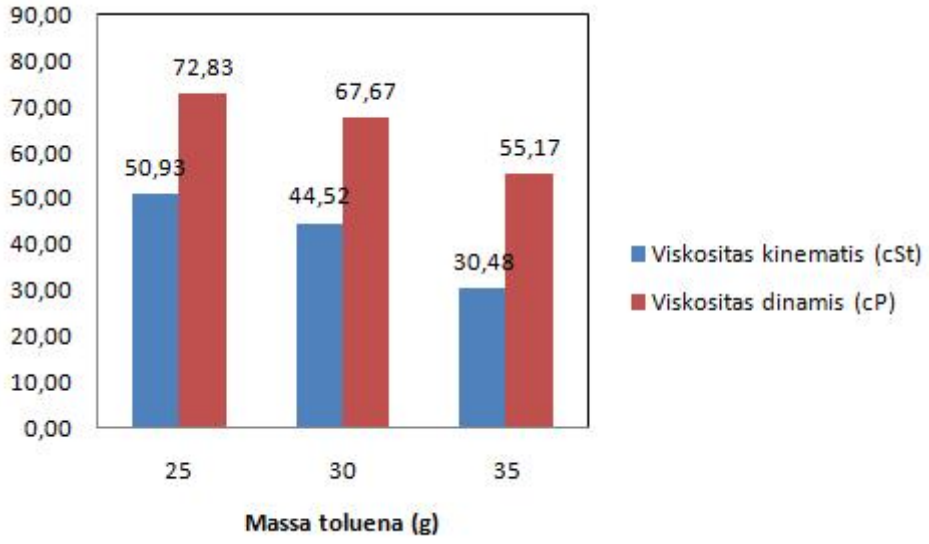
Tabel 4.5. Viskositas kinematik photoresist SU8 yang beredar di pasaran

Jenis photoresist	Viskositas (cSt)
SU-8 2000.5	2,49
SU-8 2002	7,5
SU-8 2005	45
SU-8 2007	140
SU-8 2010	380
SU-8 2015	1250

Berdasarkan Tabel 4.4, sampel B memiliki viskositas kinematik paling tinggi sebesar 50,93 cSt, sampel D memiliki viskositas kinematik sebesar 44,52 cSt dan sampel F memiliki viskositas kinematik paling rendah sebesar 30,48 cSt. Jika dibandingkan dengan viskositas kinematik SU8, viskositas kinematik photoresist yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki nilai di sekitar viskositas kinematik SU-8 2005. Viskositas kinematik sampel cairan photoresist juga ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.16.

Viskositas berbanding lurus dengan konsentrasi larutan. Suatu larutan dengan konsentrasi tinggi akan memiliki viskositas yang tinggi pula, karena konsentrasi larutan menyatakan banyaknya partikel zat yang terlarut tiap satuan volume. Semakin banyak partikel yang terlarut, gesekan antar partikel semakin tinggi dan viskositasnya semakin tinggi pula. Teori tersebut sesuai dengan hasil pengukuran pada penelitian ini. Sampel B menggunakan sedikit pelarut, sehingga menghasilkan konsentrasi dan viskositas tinggi. Sampel D menggunakan lebih banyak pelarut daripada sampel B, sehingga konsentrasi dan viskositas yang

dihasilkan lebih rendah daripada sampel B. Sedangkan sampel F menggunakan pelarut yang paling banyak, sehingga konsentrasi dan viskositasnya paling rendah.



Gambar 4.16. Grafik viskositas kinematis dan viskositas dinamis sampel cairan photoresist

Pada photoresist, ketika viskositas berkurang, ketergantungan ketebalan pada kecepatan berputar pada *spin coating* juga menurun. Pada keadaan viskositas rendah, fitur utama yang pertama adalah kurangnya sensitivitas terhadap posisi radial pada besarnya kesalahan keselarasan. Meskipun ada kesalahan penjajaran, permukaan respon tampaknya tetap konsisten untuk tiga posisi radial. Dari dua faktor, efek dominan adalah kecepatan spin. Karena tampaknya ada efek bersaing ketika kecepatan putaran meningkat, tidak ada kecepatan putaran lebih baik. Akhirnya, waktu putaran yang singkat dianjurkan untuk menghindari daerah permukaan respon yang curam. Berbeda dengan viskositas rendah, efek keselarasan radial yang signifikan pada viskositas tinggi yang dibuktikan dengan permukaan respon secara dramatis berbeda pada tiga lokasi radial. Dalam hal

variasi keselarasan dengan perubahan radial pada wafer, paling stabil adalah pada kecepatan putaran rendah dari 3000 rpm dengan lintang stabil untuk kecepatan putaran atas kisaran 20 sampai 60 detik. Kecepatan putaran yang lebih tinggi, terutama 6000 rpm yang sangat merugikan sehingga variasi radial signifikan. Ada juga indikasi efek bersaing waktu berputar berkaitan dengan posisi radial. Pada posisi radial pusat, kali berputar lebih lama lebih baik, sementara pada posisi radial dari 38 mm, waktu berputar pendek lebih baik. Mungkin kecepatan sudut yang lebih tinggi terkait dengan posisi radial yang lebih besar dalam hubungannya dengan kecepatan putaran tinggi mendorong berat asimetris melawan pelapis. Hasil ini menunjukkan bahwa kecepatan putaran tinggi dan kondisi viskositas tinggi harus dihindari untuk meningkatkan kontrol keselarasan (Flores & flack, 1993).

BAB V

PENUTUP

2.1 Simpulan

Pembuatan photoresist *epoxy* dapat dilakukan dengan melarutkan *sodium acetate trihydrat* pada toluena dengan pengadukan dan pemanasan menggunakan magnet pengaduk (*magnetic stirrer*). Pemanasan dilakukan hingga suhu 75ºC. Larutan *sodium acetate trihydrat* dan toluena ini dimasukkan ke dalam resin *epoxy.* Campuran ketiga bahan ini diaduk dan dipanaskan hingga suhu 80ºC. Saat suhu mencapai 80ºC, pemanasan dihentikan dan pengadukan dilanjutkan hingga waktu 15 menit. Setelah proses selesai, campuran didingankan pada suhu ruang dan selanjutnya disaring menggunakan layar penyaring.

Berdasarkan analisis dan pembahasan, photoresist *epoxy* yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki absorbansi yang berkisar antara 0,1-1,5 pada panjang gelombang g-line, h-line dan i-line. Absorbansi ini selalu identik pada semua sampel yang dikarakterisasi meskipun komposisi toluena berbeda.

Struktur mikro permukaan film tipis photoresist pada setiap sampel masih terbentuk banyak gelembung. Semakin banyak komposisi toluena, struktur mikro film tipis cenderung semakin homogen. Struktur mikro permukaan film tipis dengan perlakuan pemanasan yang berbeda menunjukkan bahwa pemanasan 70ºC menghasilkan permukaan yang lebih homogen daripada struktur permukaan dengan pemanasan 95ºC.

Kerapatan photoresist menunjukkan peningkatan dengan semakin banyaknya komposisi toluena. Dibandingkan dengan kerapatan photoresist SU-8, kerapatan photoresist yang dihasilkan pada penelitian ini bernilai lebih rendah. Viskositas dinamis maupun viskositas kinematik cairan photoresist yang dihasilkan semakin kecil dengan meningkatnya komposisi toluena.

2.2 Saran

Pada penelitian ini dihasilkan cairan photoresist yang masih banyak menghasilkan kontaminan ketika pencampuran. Cairan photoresist juga menghasilkan viskositas yang tinggi sehingga cairan membentuk banyak gelembung ketika proses *spin coating*. Selain itu, cairan photoresist memiliki absorbansi pada panjang gelombang tampak, sedangkan aplikasi yang berkembang saat ini merupakan photoresist yang memiliki absorbansi pada gelombang UV. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menghasilkan photoresist yang tidak menghasilkan banyak kontaminan dan memiliki viskositas lebih rendah. Selain itu, diharapkan pula dapat menghasilkan photoresist yang memiliki absorbansi pada gelombang UV.

DAFTAR PUSTAKA

Aronson, C.L., D. Beloskur, I.S. Frampton, J. McKie, & P. Montbriand. 2004. Electrophilic Aromatic Functionalization of Phenolic Photoresist Polymers. *Polymer Bulletin,* 52: 409-419.

Arun, G., V.K. Sharma, A. Kapoor, & K.N. Tripathi. 2002. Partially and fully cured thin film photoresist waveguides for integrated optics. *Optics & Laser Technology,* 34: 395-398.

Benlarbi, M., L.J. Blum, & C.A. Marquette. 2012. SU-8 carbon composite as conductive photoresist for biochip applications. *Biosensors and Bioelectronics*, 38: 220-225.

Bjorndal, E. 2007. *Acoustic measurement of liquid density with applications for mass measurement of oil*. Dissertation. Norway: University of Bergen.

Campo, A.D., & C. Greiner. 2007. SU8: a photoresist for high-aspect-ratio and 3D submicron lithography. *Journal of Micromechanics and Microengineering,* 17: R81-R95.

Chae, K.H., G.J. Sun, J.K. Kang, & T.H. Kim. 2002. A Water-Developable Negative Photoresist Based on the Photocrosslinking of *N*-Phenylamide Groups with Reduced Environmental Impact. *Journal of Applied Polymer Science,* 86: 1172-1180.

Chang, R.C., F.Y. Chen, & P.H. Yang. 2007. Dynamic mechanical properties of photo resist thin films. *Journal of Mechanical Science and Technology,* 21: 1739-1745.

Cheng, J., J. Li, & J.Y. Zhang. 2009. Curing behavior and thermal properties of trifunctional epoxy resin cured by 4, 4'-diaminodiphenyl sulfone. *eXPRESS Polymer Letters,* 3(8): 501-509.

Cheng, T.S., H.Y. Lee, C.T. Lee, H. Chen, & H.T. Lin. 2003. Preparing an Acrylic Ester Copolymer as an Ultrathick Negative Photo Resist. *Materials Letters,* 57: 4578-4582.

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.

Chuang, J.Y., F.G. Tseng, & W.K. Lin. 2002. Reduction of diffraction effect of UV exposure on SU-8 negative thick photoresist by air gap elimination. *Microsystem Technologies*, 8: 308-313.

Crawford, M.K., A.E. Feiring, J. Feldman, R.H. French, V.A. Petrov, F.L. Schadt III, R.J. Smalley, & F.C. Zumsteg. 2001. 157 nm Imaging Using Thick Single Layer Resists. *Advances in Resist Technology and Processing XVII, SPIE* Vol. 4345.

Crawford, M. K., W.B. Farnham, A.E. Feiring, J. Feldman, R.H. French, K.W. Leffew, V.A. Petrov, W. Qiu, F.L. Schadt III, H.V. Tran, R. C. Wheland, F. C. Zumsteg. 2003. Single Layer Fluoropolymer Resists for 157 nm Lithography. *Proc. of SPIE,* Vol. 5039: 80-92.

Diby, A.K., V.Y. Voytekunas, & M.J.M. Abadie. 2007. Kinetic Study of Negative Dry-film Photoresist. *eXPRESS Polymer Letters Vol.1,* 10: 673-680.

Epigen. 2011. *Epoxy Resin.* Technical Bulletin: Performance Resin & Composite systems.

Fairman, C., S.S.C. Yu, G. Liu, A.J. Downard, D.B. Hibbert & J.J. Gooding. 2008. Exploration of variables in the fabrication of pyrolysed photoresist. *J. Solid State Electrochem,* 12: 1357-1365.

Fei, X., Y. Wang, H. Zhang, Z. Cui, & D. Zhang. 2009. Synthesis of a Fluorinated Photoresist for Optical Waveguide Devices. *Appl Phys A*, 96: 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: 11-16.

Feng, R. & R.J. Farris. 2003. Influence of Processing conditions on the thermal and mechanical properties of SU8 negative photoresist coatings. *Journal of Micromechanics and Microengineering,* 13: 80-88.

Flack, W.W., & S. Kulas. 2000. Process Characterization of an Ultra-Thick Strippable Photoresist Using a Broadband Stepper. *SPIE,* 3999-47.

Flanagin, L.W., V.K. Singh, & C.G. Willson. 1999. Surface roughness development during photoresist dissolution. *J. Vac. Sci. Technol. B,* 17 (4): 1371-1379.

Flores, G.E., & Flack, W.W. 1993. Photoresist Thin Film Effects on Alignment Process Capability. *Proc. SPIE,* 1927.

French, R.H., J. Feldman, F.C. Zumsteg, M.K. Crawford, A.E. Feiring, V.A. Petrov, F.L. Schadt III, R.C. Wheland, J. Gordan, & E. Zhang. 2001. Progress in Materials Development for 157nm Photolithography: Photoresists and Pellicles. *Semiconductor Fabtech*, 14th edition.

Gogolides, E. & P. Argitis. 2003. Photoresist etch resistance enhancement using novel polycarbocyclic derivatives as additives. *J. Vac. Sci. Technol.,* B 21: 141-147.

Grine, A.J., J.B. Clevenger, M.J. Martinez, F.H. Austin, P.S. Vigil, K.L. Romero, R. Timon, G.A. Patrizi & C.T. Sullivan. 2010. Pre-photolithographic GaAs Surface Treatment for Improved Photoresist Adhesion During Wet Chemical Etching and Improved Wet Etch Profiles. *CS MANTECH Conference,*175-179.

Hidayat, A. 2011. *Mekanika Fluida dan Hirolika.* Modul kuliah. Jakarta: Fakultas Teknik Perencanaan dan Desain Universitas Mercu Buana.

Hirai, Y., A. Uesugi, Y. Makino, H. Yagyu, K. Sugano, T. Tsuchiya, & O. Tabata. 2011. Negative-Photoresist Mechanical Property for Nano-Filtration Membrane Embedded in Microfluidics. *Transducers'11, Beijing, China,* 978-1-4577-0156-6/11/$26.00.

Hauptman, N. M. Zveeglic, M. Macek, & M.K. Gunde. 2009. Carbon based conductive photoresist. *J. Mater Sci,* 44: 4625-4632.

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.

Huesgen, T., G. Lenk, B. Albrecht, P. Vulto, T. Lemke, & P. Woias. 2010. Optimization and characterization of wafer-level adhesive bonding with patterned dry-film photoresist for 3D MEMS integration. *Sensors and Actuators A*, 162: 137-144.

Ingrosso, C., C. Martin, A. Llobera, F.P. Murano, C. Innocenti, C. Sangregorio, A. Voigt, G. Gruetzner, J. Brugger, M. Striccoli, A. Agostiano, & M.L. Curri. 2009. Magnetic Nanocrystals Modified Epoxy Photoresist for Microfabrication of AFM probes. *Procedia Chemistry,* 1: 580-584.

Ingrosso, C., V. Fakhfouri, M. Striccoli, A. Agostiano, A. Voigt, G. Gruetzner, M.L. Curri, & J. Brugger. 2007. An Epoxy Photoresist Modified by Luminescent Nanocrystals for the Fabrication of 3D High-Aspect-Ratio Microstructures. *Adv. Funct. Mater.,* 17: 2009-2017.

Ismailova, E., R. Tiron, C. Chochos, P. Bandelier, D. Perret, C. Sourd, J. Foucher, C. Brault, C. Brochon, & G. Hadziioannou. 2009. Impact of The Physico-Chemical Properties of Polymer In 193 nm Resists Performance. *Microelectronic Engineering,* 86: 796-799.

Jakatdar, N., X. Niu, & C.J. Spanos. 1998. Characterization of a Positive Chemically Amplified Photoresist for Process Control. *SPIE*, 586-593.

Kang, D.R., C.C. Chan, K.J. Huang, S.L. Chen, & H.M. Wu. 2006. Method for Improving High-Viscosity Thick Film Photoresist Coating in UV LIGA Process. *United States Patent Application Publication,* US20060263520A1.

Kanikella, P.R. 2007. *Process Development and Applications of a Dry Film Photoresist.* Thesis. Missouri: Faculty of the Graduate School of the University of Missouri-Rolla.

Keinänen, M. 2007. *Latent Heat Recovery from Supercooled Sodium Acetate Trihydrate Using a Brush Heat Exchanger*. Thesis. Helsinki: Department of Mechanical Engineering, Helsinki University of Technology.

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: 3454-3459.

Kim, J. B., R. Ganesan, J.H. Choi, H.J. Yun, Y.G. Kwon, K.S. Kim, & T.H. Oh. 2006. Photobleachable silicon-containing molecular resist for deep UV lithography. *J. Mater. Chem.,* 16: 3448-3451.

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

Lamanna, W.M., C.R. Kessel, P.M. Savu, Y. Cheburkov, S. Brinduse, T.A. Kestner, G.J. Lillquist, M.J. Parent, K.S. Moorhouse, Y. Zhang, G. Birznieks, T. Kruger, & M.C. Pallazzotto. 2002. New ionic photo-acid generators (PAGs) incorporating novel perfluorinated anions. *Proceedings of SPIE*, Vol. 4690.

Larsen, K.P., D.H. Petersen, & O. Hansen. 2006. Study of the Roughness in a Photoresist Masked, Isotropic, SF6-Based ICP Silicon Etch. *Journal of The Electrochemical Society,* 153 (12): G1051-G1058.

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: 8399-8407.

Lee, J.S. & S.I. Hong. 2002. Synthesis of acrylic rosin derivatives and application as negative photoresist. *European Polymer Journal,* 38: 387-392.

Li, Y.H., X.D. Li, & D.P. Kim. 2009. Chemical development of preceramic polyvinylsilazane photoresist for ceramic patterning. *J Electroceram,* 23: 133-136.

Lillemose, M., L. Gammelgaard, J. Richter, E.V. Thomsen, A. Boisen. 2008. Epoxy based photoresist/carbon nanoparticle composites. *Composites Science and Technology,* 68: 1831-1836.

Lin, C.H., H.L. Chen, & L.A. Wang. 2001. A study on adhesion and footing issues of HMDSO films as bottom antireflective coating for deep UV lithographies. *Microelectronic Engineering,* 57-58: 555-561.

Lin, H.M., S.Y. Wu, P.Y. Huang, C.F. Huang, S.W. Kuo, & F.C. Chang. 2006. Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane Containing Copolymers for Negative-Type Photoresists. *Macromol. Rapid Commun.*, 27: 1550-1555.

Liu, F., V. Sundaram, G. White, & R.R. Tummalo. 2000. Ultra-Fine Photoresist Image Formation for Next Generation High-Density PWB Substrate. *The International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging,* 23(3): 339-345.

Liu, G., Y. Tian, & Y. Kan. 2005. Fabrication of high-aspect-ratio microstructures using SU8 photoresist. *Microsystem Technologies,* 11: 343-346.

Lu, S., J. Ban, C. Yu, & W. Deng. 2010. Properties of Epoxy Resins Modified with Liquid Crystalline Polyurethane. *Iranian Polymer Journal,* 19: 669-678.

Mack, C.A. 1998. *Modeling Solvent Effects in Optical Lithography*. Dissertation. Austin: Faculty of the Graduate School of the University of Texas.

Mack, C.A. 1999. *Absorption and Reflectivity: Designing the Right Photoresist.* Texas: FINLE Technologies.

Microchem. Processing Guidelines for: SU-8 2000.5, SU-8 2002, SU-8 2005, SU-8 2007, SU-8 2010 and SU-8 2015. www.microchem.com.

Mishra, R. 2002. *Photoresist Development on Sic And Its Use as an Etch Mask For Sic Plasma Etch*. Thesis. Mississippi: Electrical Engineering of the Mississippi State University.

Miyagawa, K., K. Naruse, S. Ohnishi, 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: 20-28.

Muntean, L. & R. Planques. 2005. Chemical mapping of polymer photoresists by scanning transmission x-ray microscopy. *J. Vac. Sci. Technol. B,* 23(4): 1630-1636.

Niedermann, P., H. Berthou, S. Zwickl, U. Schönholzer, K. Meier, C. Gantner, & D.K. Schwoerer. 2003. A novel thick photoresist for microsystem technology. *Microelectronic Engineering,* 67-68: 259-265.

Neisser, M., K. Cho, & K. Petrillo. 2012. The Physics of EUV Photoresist and How It Drives Strategies for Improvement. *Journal of Photopolymer Science and Technology,* Vol. 25, 1: 87-94.

Olynick, D.L., P.D. Ashby, M.D. Lewis, T. Jen, H. Lu, J.A. Liddle, & W. Chao. 2008. The Link Between Nanoscale Feature Development in a Negative Resist and the Hansen Solubility Sphere. *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics,* Vol. 47: 2091-2105.

Pham, N.P., E. Boellaard, J.N. Burghartz, & P.M. Sarro. 2004. Photoresist Coating Methods for the Integration of Novel 3-D RF Microstructures. *Journal of Microelectromechanical Systems,* Vol. 13, 3: 491-499.

Pham, T.A., P. Kim, M. Kwak, K.Y. Suh & D.P. Kim. 2007. Inorganic polymer photoresist for direct ceramic patterning by Photolithography. *Chem. Commun.,* 4021-4023.

Roteman, J., Solon, & Ohio. 1975. Epoxy Resin Photoresist with Iodoform and Bismuth Triphenyl. *United States Patent,* US3977878.

Rothschild, M., M.W. Horn, C.L. Keast, R.R. Kunz, V. Liberman, S.C. Palmater, S.P. Doran, A.R. Forte, R.B. Goodman, J.H.C. Sedlacek, R.S. Uttaro, D. Corliss, & A. Grenville. 1997. Photolithography at 193 nm. *The Lincoln Laboratory Journal,* Vol 10, 1: 19-34.

Schurz, D., W.W. Flack, & M. Nakamura. 2000. High Optical Density Photomasks For Large Exposure Applications. *BACUS*, #4186-96.

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: 722-725.

Sensu, Y. & A.Sekiguchi, 2003. Improved resolution of thick film resist (effect of pre-bake condition). *Proc. SPIE,* 4979.

Sheehan, M.T., W.B. Farnham, H. Okazaki, J.R. Sounik, & G. Clark. 2008. RAFT Technology for the Production of Advanced Photoresist Polymer. *Resist Materials and Processing Technology XXV*.

Suwa, M., T. Kajita, & S.I. Iwanaga. 1996. Effect of Additives in Single Layer Chemical Amplification Photoresist. *Journal of Photopolymer Science and Technology,* Vol. 9, 3: 489-496.

Thai, Y.C., H.P. Jen, K.W. Lin, & Y.Z. Hsieh. 2006. Fabrication of microfluidic devices using dry film photoresist for microchip capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A,* 1111: 267-271.

Tomicic, D. 2002. *Adhesion measurements of positive photoresist on sputtered aluminium surface.* Thesis. Sweden: Linkoping University.

Tseng, F.G. & C.S. Yu. 2002. High aspect ratio ultrathick micro-stencil by JSR THB-430N negative UV photoresist. *Sensors and Actuators A,* 97-98: 764-770.

Williams, J.D. & W. Wang. 2004. Study on the postbaking process and the effects on UV lithography of high aspect ratio SU-8 microstructures. *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers,* JM^3 3(4): 563-568.

Witzgall, G., R. Vrijen, & E. Yablonovitch. 2001. Single-shot two-photon exposure of commercial photoresist for the production of three-dimensional structures. *Optics Letters*, Vol. 23, 22: 1745-1747.

Wouters, K., H.D. Doncker, & R. Puers. 2009. Dynamic thermal mechanical characterization of Epoclad negative photoresist for micro mechanical structures. *Microelectronic Engineering,* 87: 1278-1280.

Yang, R., S.A. Soper, & W. Wang. 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*, 135: 625-636.

Yueh, W., H. Cao, M. Chandhok, S. Lee, M. Shumway, & J. Bokor. 2004. Patterning Capabilities of EUV Resists. *Proceedings of SPIE,* Vol. 5376: 434-442.

Zandi, K., Y. Zhao, J. Schneider, & Y.A. Peter. 2010. New Photoresist Coating Method for High Topography Surface. *IEEE,* 392-395.

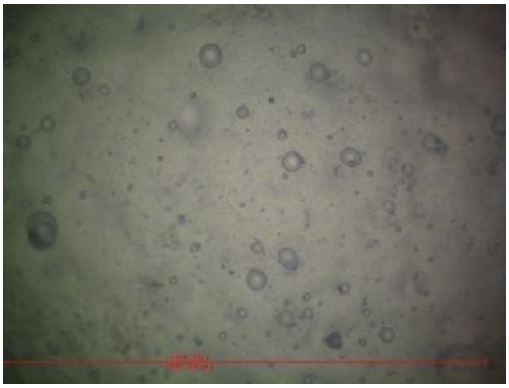
Zhang, J., K.L. Tan, & H.Q. Gong. 2001. Characterization of the polymerization of SU-8 photoresist and its applications in micro-electro-mechanical systems (MEMS). *Polymer Testing,* 20: 693-701.

Zheng, D., J. Shi, & S. Fan. 2012. Design and Theoretical Analysis of a Resonant Sensor for Liquid Density Measurement. *Sensor,* 12: 7905-7916.

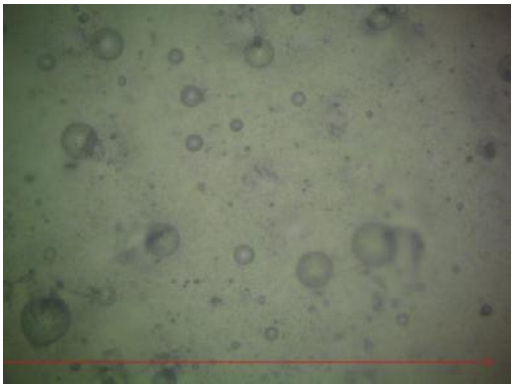
Lampiran L.1

Hasil pengamatan CCD Microscope MS-804 dengan prebake

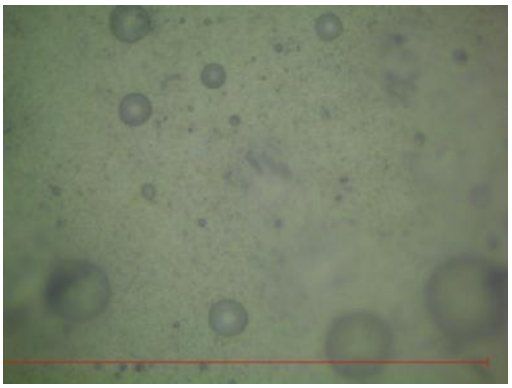
70ºC untuk sampel A



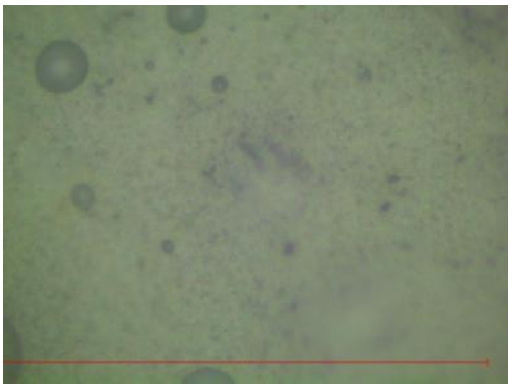
Perbesaran 400 kali



Perbesaran 800 kali



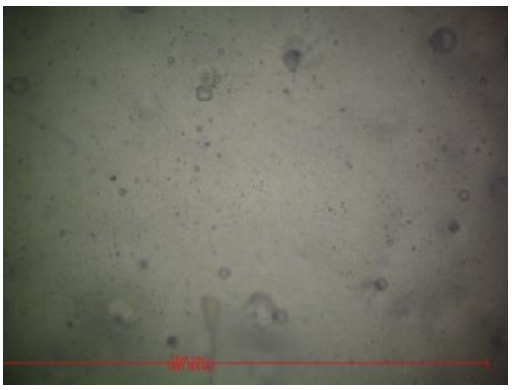
Perbesaran 1500 kali



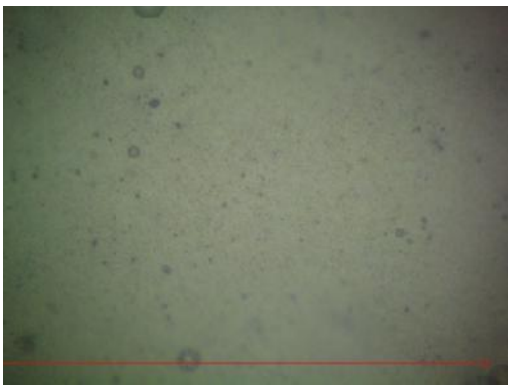
Perbesaran 2400 kali

Hasil pengamatan CCD Microscope MS-804 dengan prebake

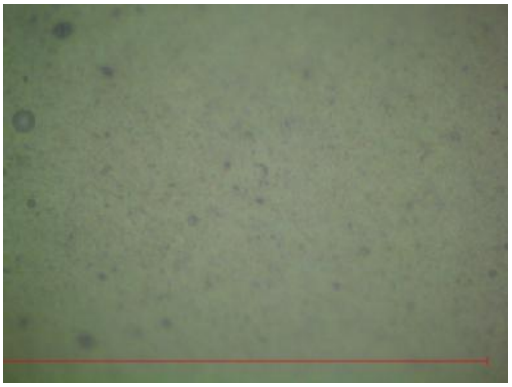
70ºC untuk sampel B



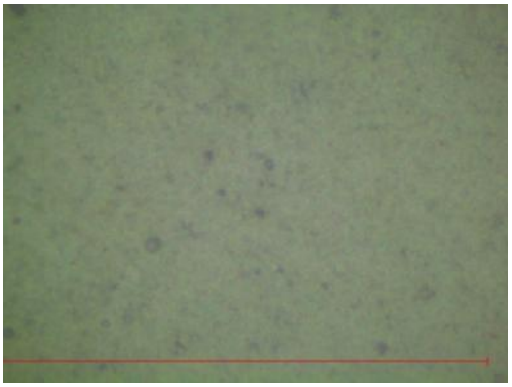
Perbesaran 400 kali



Perbesaran 800 kali



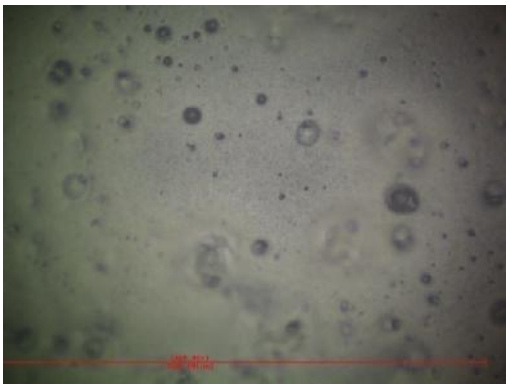
Perbesaran 1500 kali



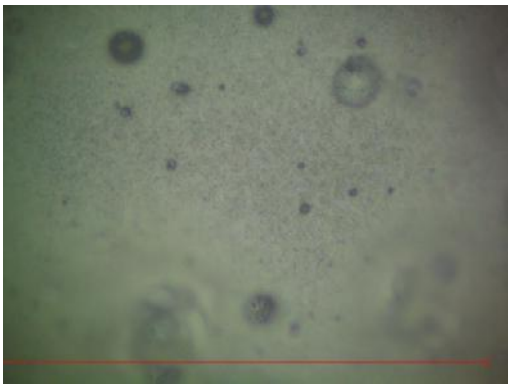
Perbesaran 2400 kali

Hasil pengamatan CCD Microscope MS-804 dengan prebake

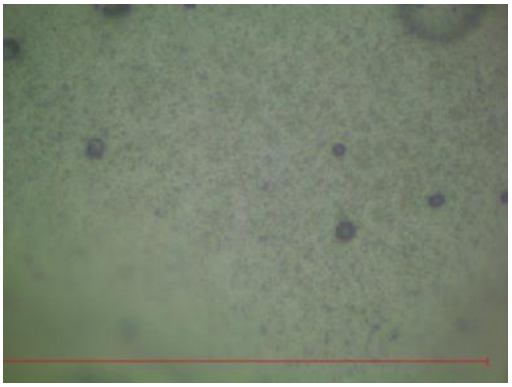
70ºC untuk sampel C



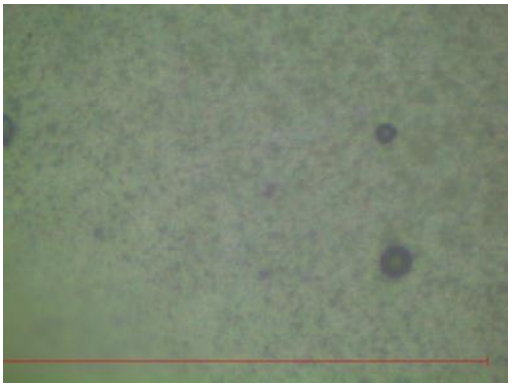
Perbesaran 400 kali



Perbesaran 800 kali



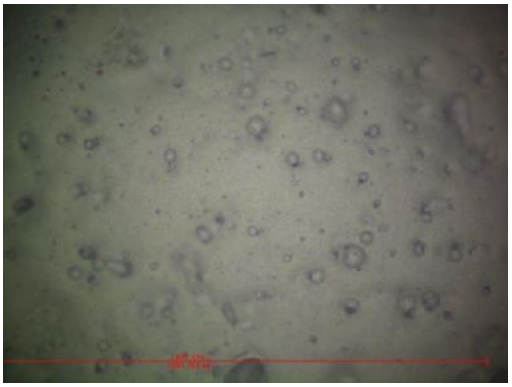
Perbesaran 1500 kali



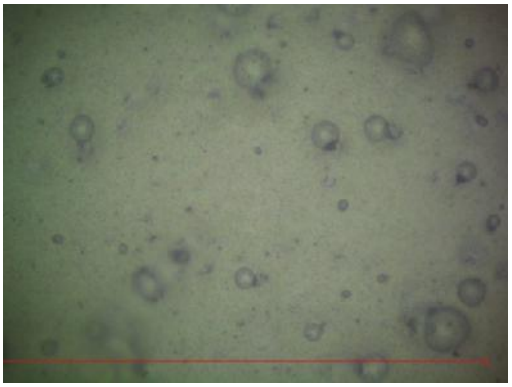
Perbesaran 2400 kali

Hasil pengamatan CCD Microscope MS-804 dengan prebake

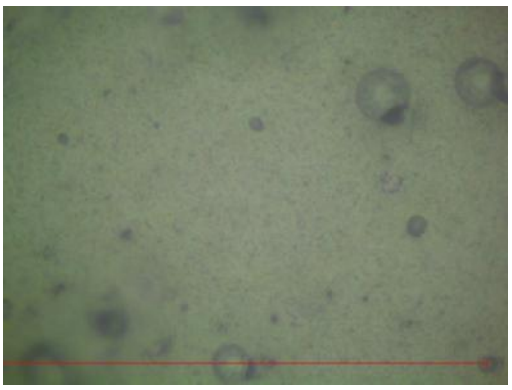
70ºC untuk sampel D



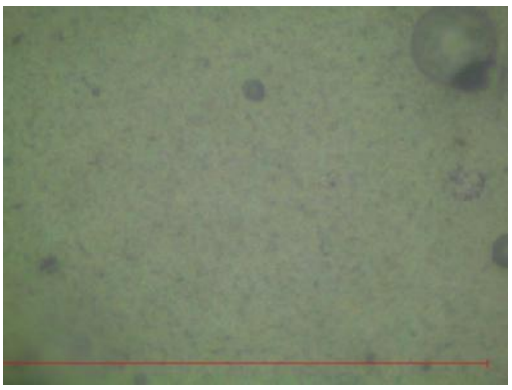
Perbesaran 400 kali



Perbesaran 800 kali



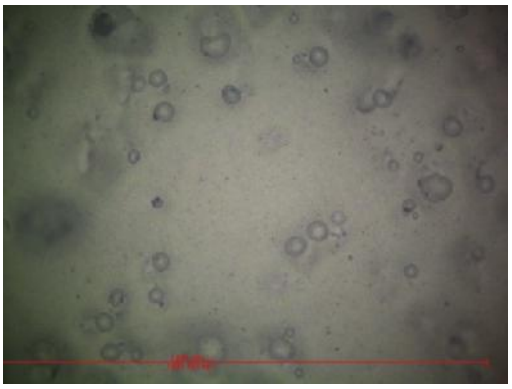
Perbesaran 1500 kali



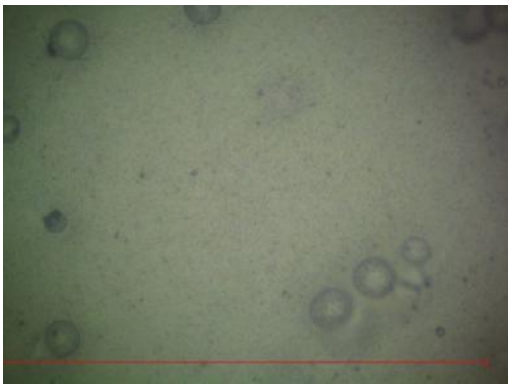
Perbesaran 2400 kali

Hasil pengamatan CCD Microscope MS-804 dengan prebake

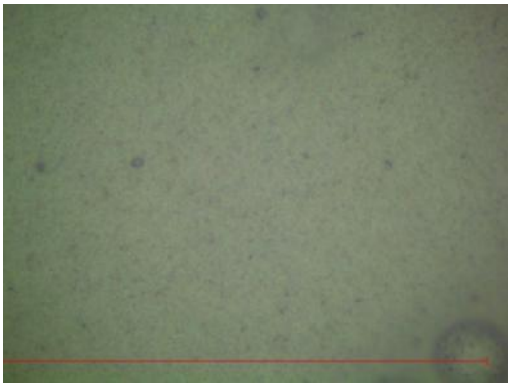
70ºC untuk sampel E



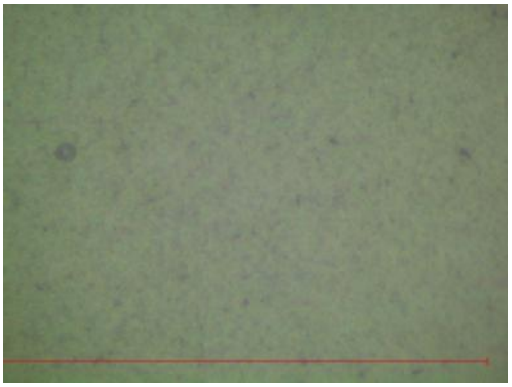
Perbesaran 400 kali



Perbesaran 800 kali



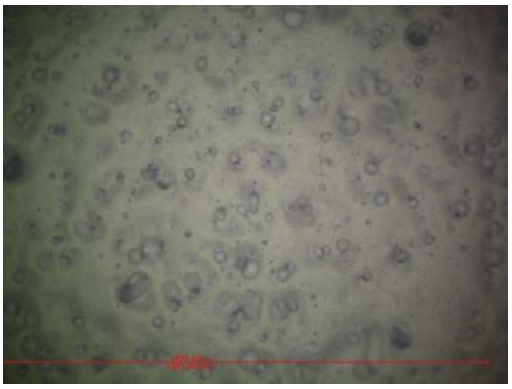
Perbesaran 1500 kali



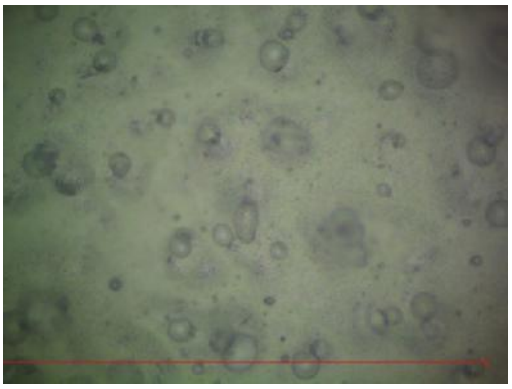
Perbesaran 2400 kali

Hasil pengamatan CCD Microscope MS-804 dengan prebake

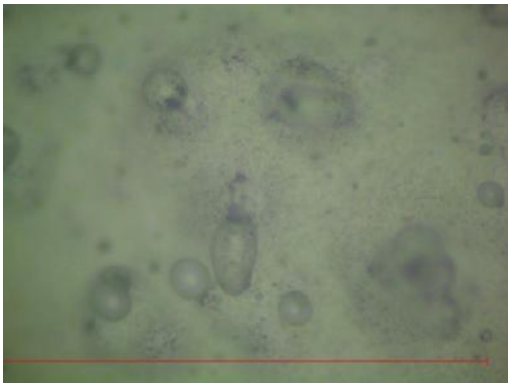
70ºC untuk sampel F



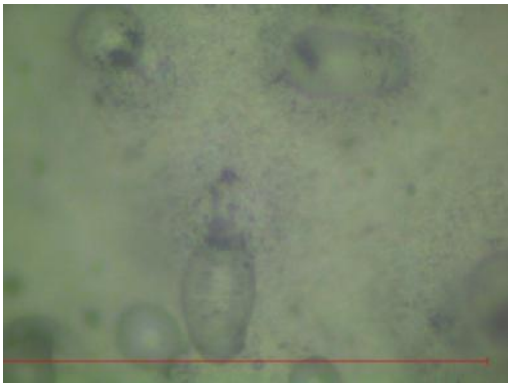
Perbesaran 400 kali



Perbesaran 800 kali



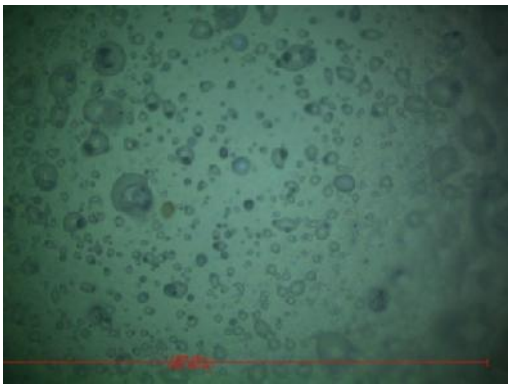
Perbesaran 400 kali



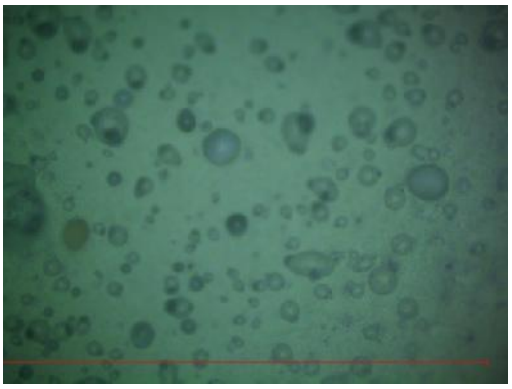
Perbesaran 800 kali

Hasil pengamatan CCD Microscope MS-804 dengan prebake

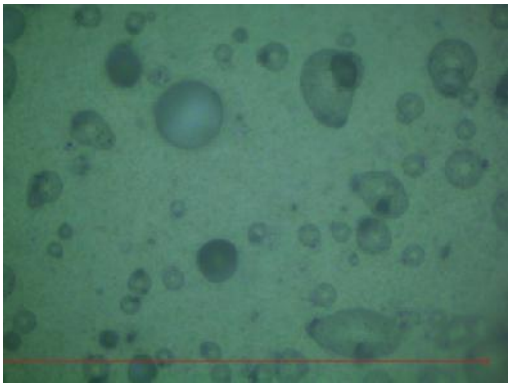
95ºC untuk sampel A



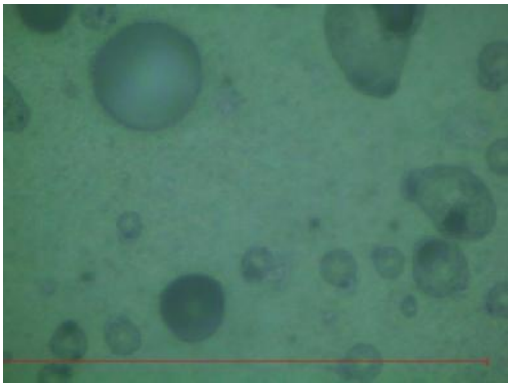
Perbesaran 400 kali



Perbesaran 800 kali



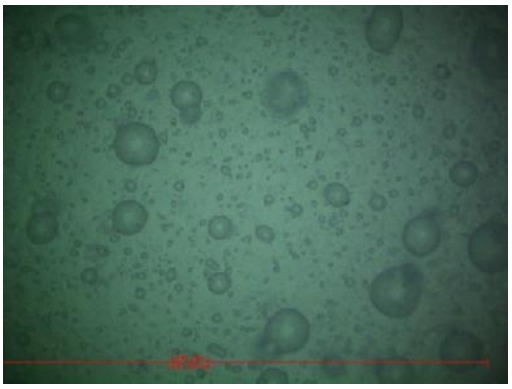
Perbesaran 1500 kali



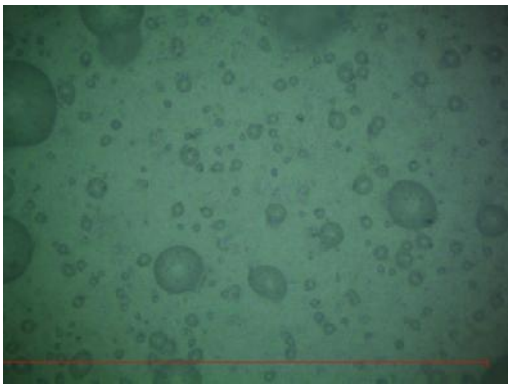
Perbesaran 2400 kali

Hasil pengamatan CCD Microscope MS-804 dengan prebake

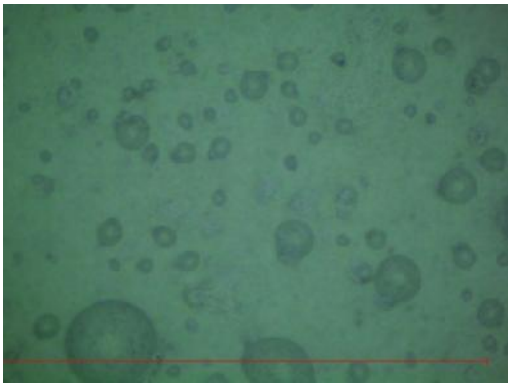
95ºC untuk sampel B



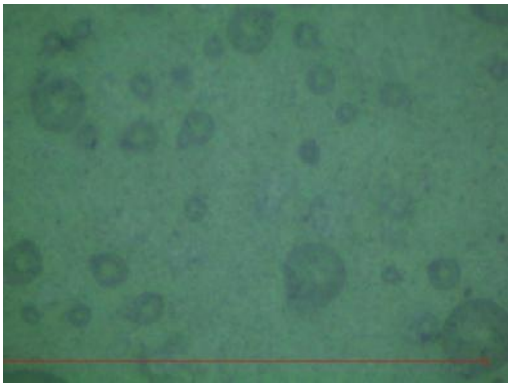
Perbesaran 400 kali



Perbesaran 800 kali



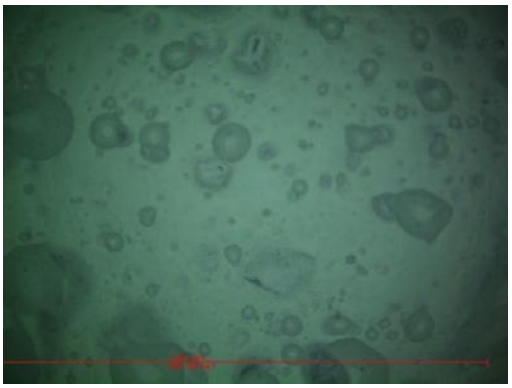
Perbesaran 1500 kali



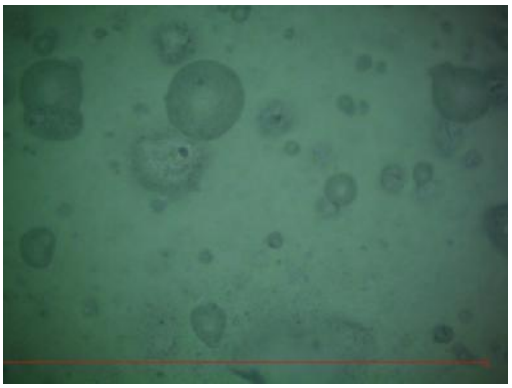
Perbesaran 2400 kali

Hasil pengamatan CCD Microscope MS-804 dengan prebake

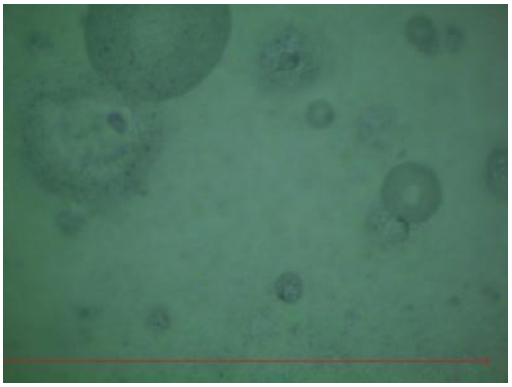
95ºC untuk sampel C



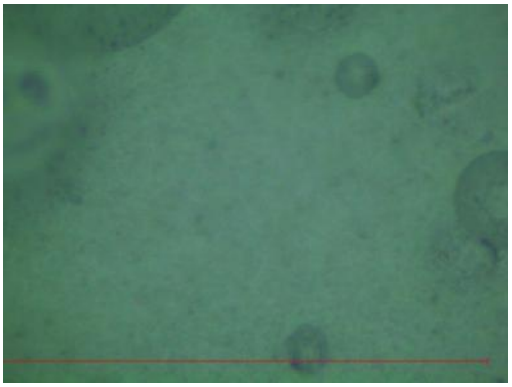
Perbesaran 400 kali



Perbesaran 800 kali



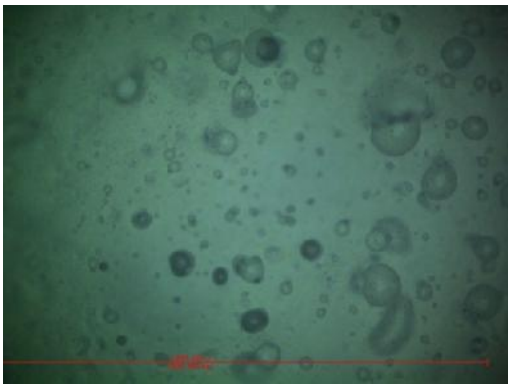
Perbesaran 1500 kali



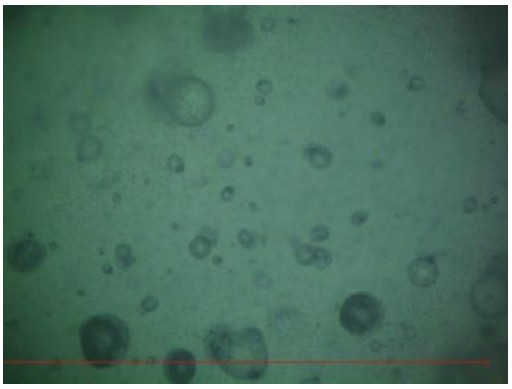
Perbesaran 2400 kali

Hasil pengamatan CCD Microscope MS-804 dengan prebake

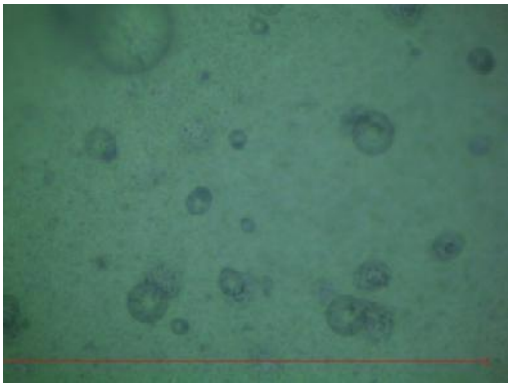
95ºC untuk sampel D



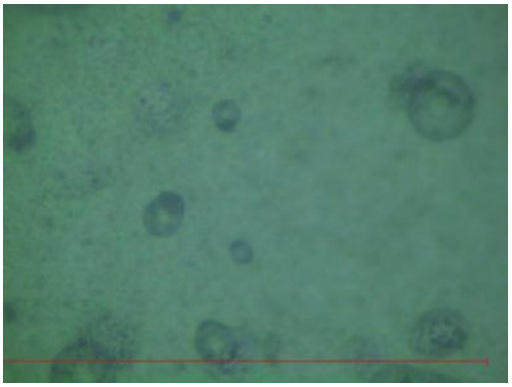
Perbesaran 400 kali



Perbesaran 800 kali



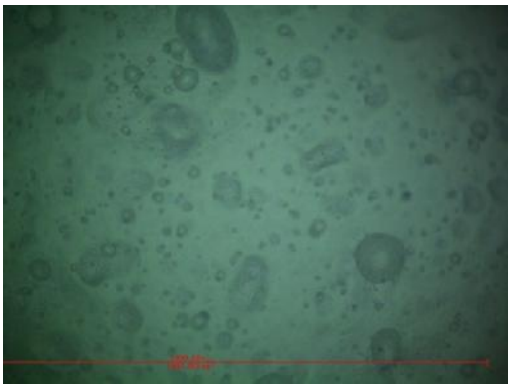
Perbesaran 1500 kali



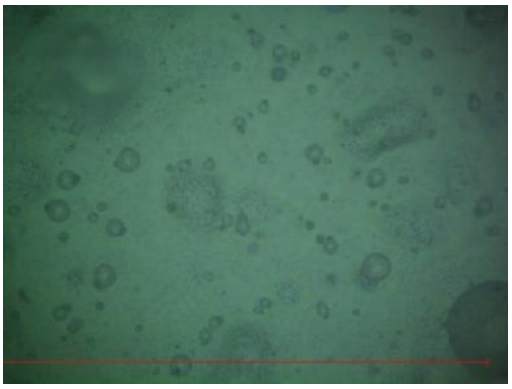
Perbesaran 2400 kali

Hasil pengamatan CCD Microscope MS-804 dengan prebake

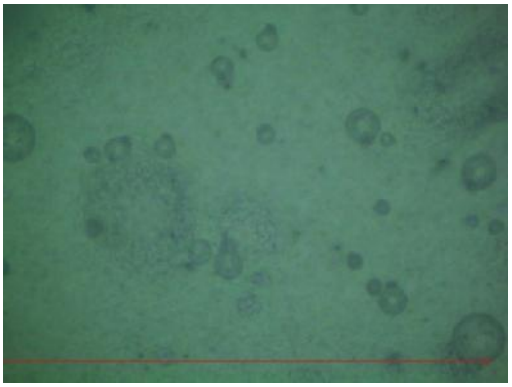
95ºC untuk sampel E



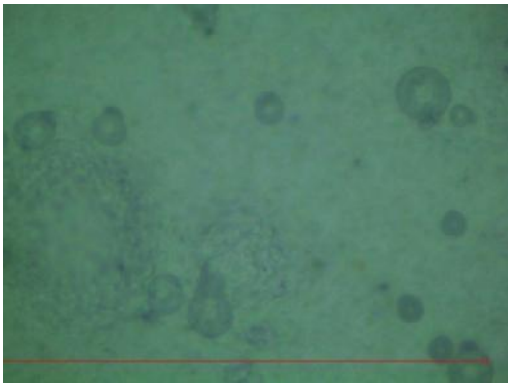
Perbesaran 400 kali



Perbesaran 800 kali



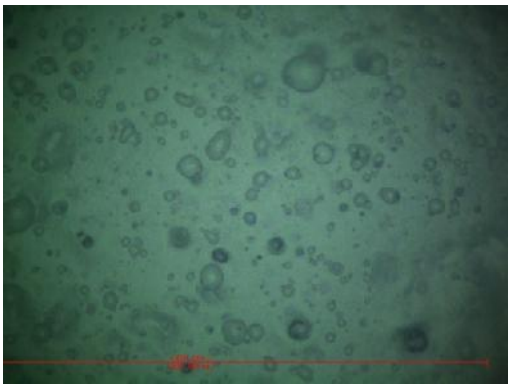
Perbesaran 1500 kali



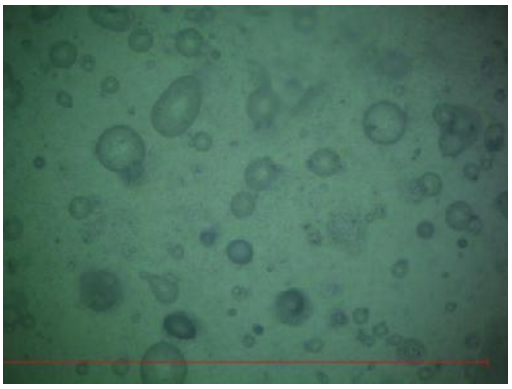
Perbesaran 2400 kali

Hasil pengamatan CCD Microscope MS-804 dengan prebake

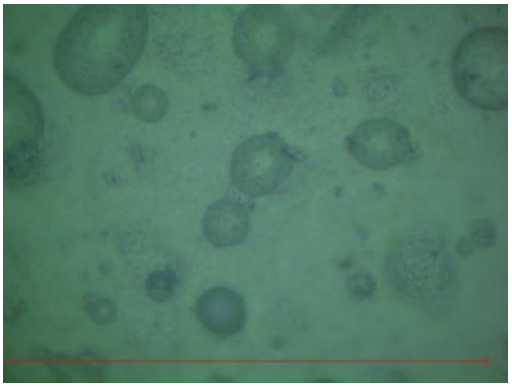
95ºC untuk sampel F



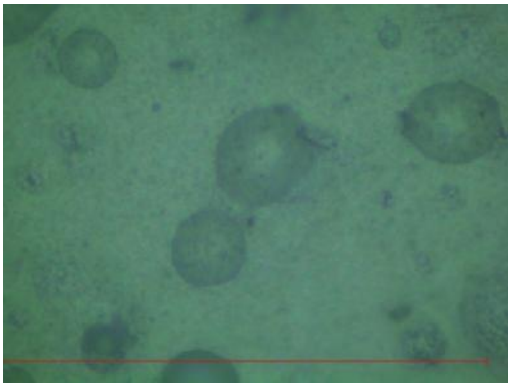
Perbesaran 400 kali



Perbesaran 800 kali

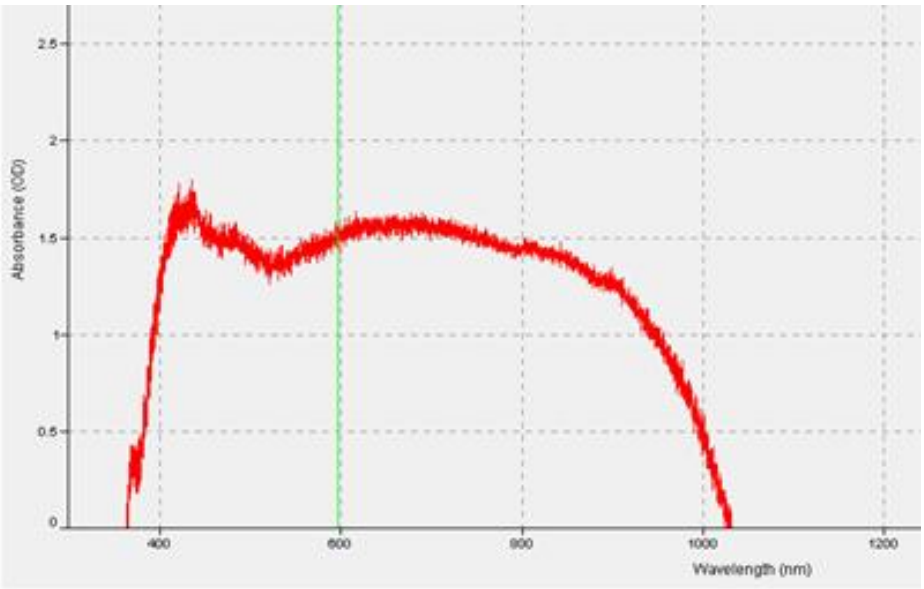


Perbesaran 1500 kali

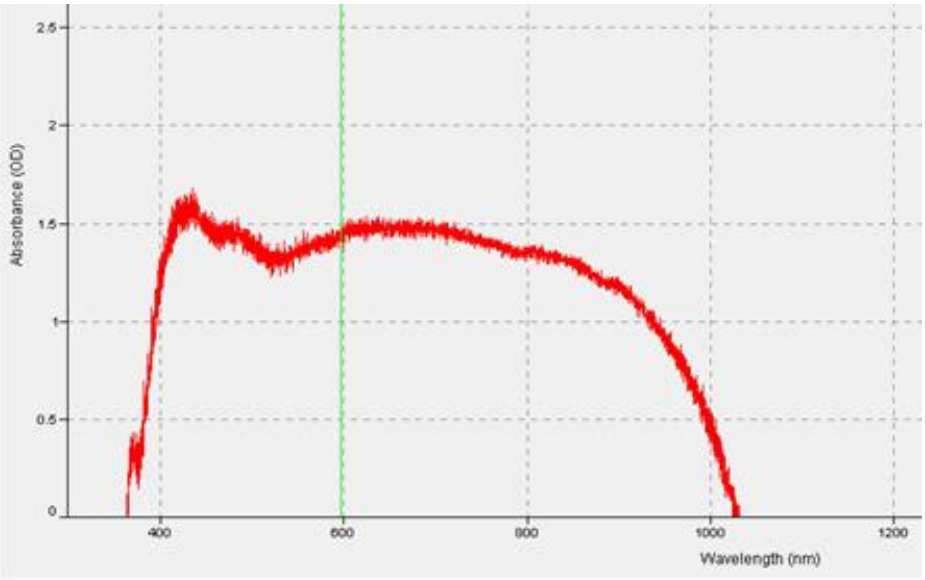


Perbesaran 2400 kali

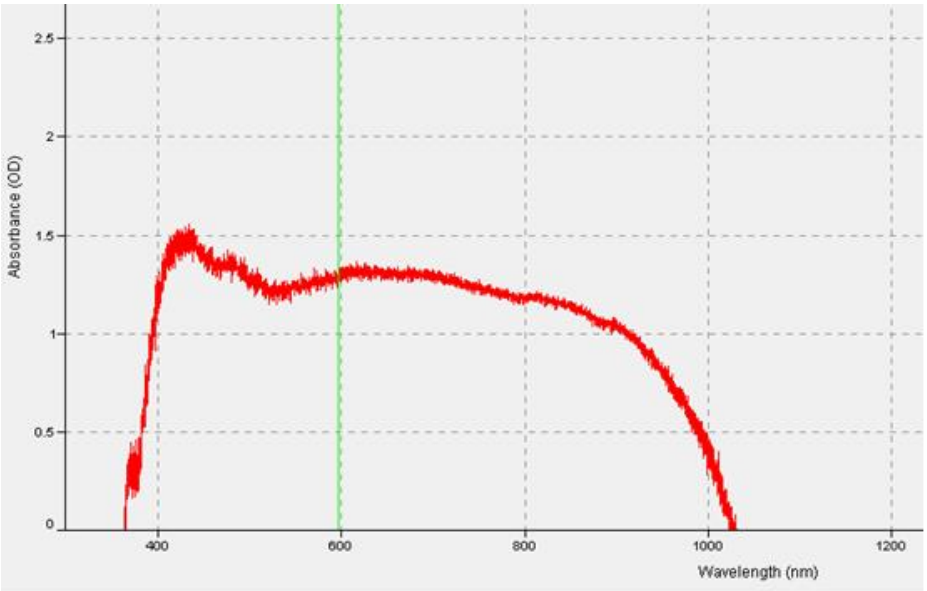
Lampiran L.2. Grafik spektrum absorbansi dengan menggunakan Vis-NIR



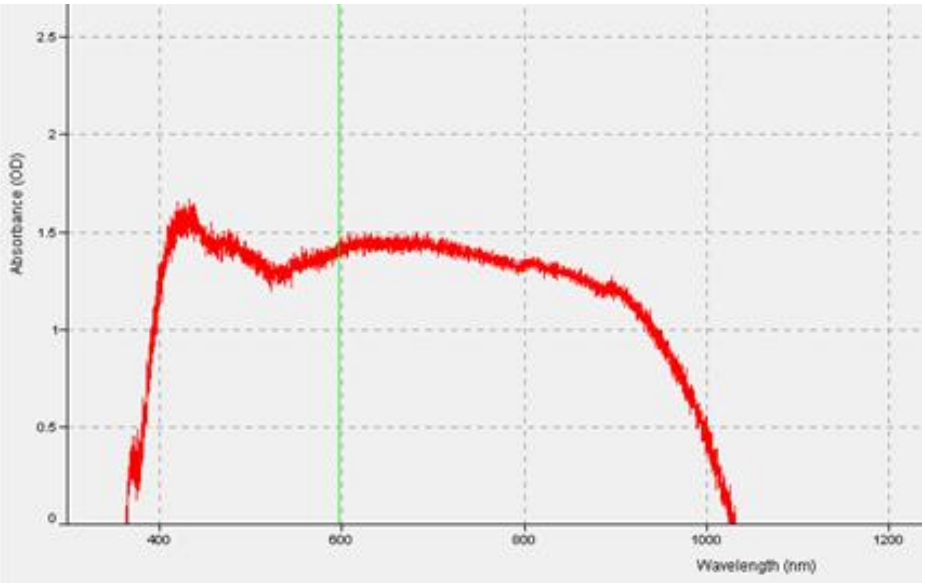
Gambar L.2.1 Grafik penyerapan sampel I



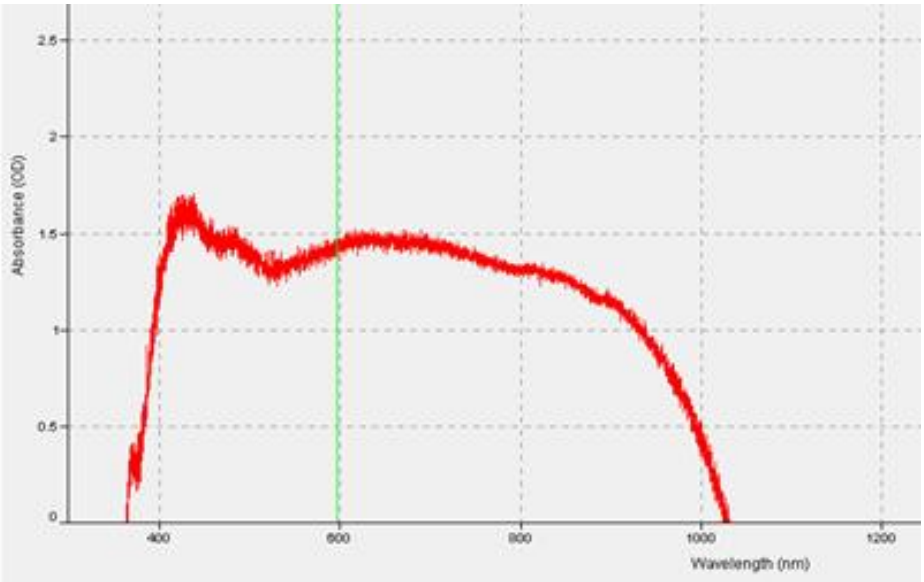
Gambar L.2.2 Grafik penyerapan sampel II



Gambar L.2.3 Grafik penyerapan sampel III



Gambar L.2.4 Grafik penyerapan sampel IV



Gambar L.2.5 Grafik penyerapan sampel V

KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Nomor : 859 / P / 2012

Tentang
PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2012/2013

Menimbang : Bahwa untuk memperlancar mahasiswa Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNNES untuk menjadi pembimbing.

Mengingat :
1. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;
2. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;
3. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)

Memperhatikan : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Tanggal 01 November 2012

MEMUTUSKAN

Menetapkan :

PERTAMA : Menunjuk dan menugaskan kepada :

1. Nama : Dr. Sutikno, S.T., M.T.
   NIP : 197411201999031003
   Pangkat/Golongan : III/c - Penata
   Jabatan Akademik : Lektor Kepala
   Sebagai Pembimbing I

2. Nama : Dr Sugianto, M.Si
   NIP : 196102191993031001
   Pangkat/Golongan : III/d - Penata Tk. I
   Jabatan Akademik : Lektor Kepala
   Sebagai Pembimbing II

Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :
Nama : EKA NURDIANA
NIM : 4211409030
Jurusan/Prodi : Fisika/Fisika
Topik : SYNTHESIS BAHAN RESIST DARI EPOXY UNTUK APLIKASI UV LITHOGRAPHY

KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

DITETAPKAN DI : SEMARANG
PADA TANGGAL : 5 - 11 - 12
DEKAN

Prof. Dr. Wiyanto, M.Si.
NIP. 196310121988031001

Tembusan
1. Pembantu Dekan Bidang Akademik
2. Ketua Jurusan
3. Dosen Pembimbing
4. Pertinggal

4211409030