

## Optimasi *UV-Photolithography Aligner* dan *Photomask* Menggunakan Produk Komersial untuk *Microfabrication*

Delfika Canra<sup>1</sup>, Dedi Suwandi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Departemen Teknik Mesin, Politeknik Negeri Indramayu  
<sup>1,2</sup>Jl. Lohbener Lama no. 8 Lohbener Indramayu Jawa Barat, 45252.  
 E-mail : delfika.canra@gmail.com<sup>1</sup>, dedi.suwandi@yahoo.com<sup>2</sup>.

### Abstrak

*Mahalnya harga sebuah UV-photolithography aligner di pasaran menjadi sebuah alasan untuk merancang dan meng-optimasi UV-photolithography aligner berbiaya murah. Proses photolithography yang sederhana tapi perlu ketelatenan, memungkinkan untuk memodifikasi photolithography aligner dengan cara menggunakan komponen-komponen komersial dan tentu saja harganya murah. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa kemampuan produk komersial dalam proses UV-photolithography, mencari waktu exposure dan resolusi optimum. Metoda proses photolithography yang digunakan adalah metoda kontak. Lampu UV komersial dan photomask yang murah merupakan komponen utama dalam penelitian ini. Dengan intensitas cahaya 0,2 mW/cm<sup>2</sup> memerlukan waktu exposure minimal 50 detik. Waktu exposure optimum tergantung dari pada bahan photomask. Resolusi terkecil yang dicapai tergantung resolusi photomask. Hasil resolusi terkecil adalah 165 μm dengan persentase penyimpangan 10 % terhadap desain awal.*

**Kata Kunci:** Photolithography aligner, photoresist, time exposure, photomask, UV lamp.

### Abstract

*The high price of a UV-photolithography aligner on the market is the reason for designing and characterize low cost UV-photolithography aligner. Photolithography process is simple but it needs patience, enable to modify photolithography aligner by using commercial components and certainly low price. The objective of this study is analyzing the ability of a commercial product in UV-photolithography process, search optimum exposure time and resolution. The method of photolithography process to be used is the method of contact alignment. Commercial UV lamps and cheap photomask are main component in this study. With a light intensity of 0.2 mW/cm<sup>2</sup> require the exposure time at least 50 seconds. The smallest achievable resolution depends on the resolution photomask. The Results of smallest resolution is 165 μm with a percentage error 10% of the original design.*

**Keywords:** Photolithography aligner, low-cost, time exposure, photomask, UV lamp.

## I. PENDAHULUAN

Populernya proses *Photolithography* dalam *microfabrication* yang sering dipakai di dunia industri pembuatan semi konduktor dan sektor lainnya, menjadikan *aligner photolithography* sangat dibutuhkan. Berbagai negara di Eropa dan Asia menawarkan bermacam-macam *photolithography aligner* dengan harga hingga ratusan ribu Euro. Dan fabrikasi juga pemeliharaan *photomask* terus meningkat [1]. Sehingga industri membutuhkan investasi yang sangat tinggi untuk memproduksi sebuah produk.

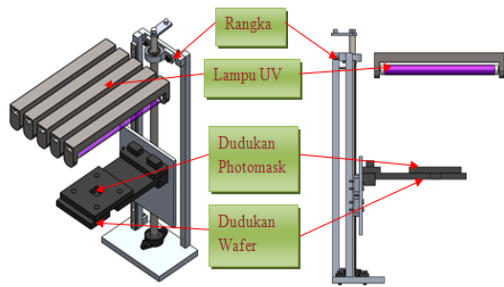
Mahalnya harga sebuah *aligner photolithography* di pasaran menjadi alasan kami untuk memodifikasi dan mengkarakterisasi *aligner photolithography* berbiaya murah. Dengan memodifikasi *aligner* diharapkan mampu menekan biaya produksi dan biaya perawatan. Proses *photolithography* yang sederhana tapi perlu ketelatenan, memungkinkan untuk memodifikasi *aligner*

*photolithography* dengan cara menggunakan komponen-komponen komersial dan tentu saja harganya murah. Dan dapat menurunkan biaya investasi sebuah industri dengan menggunakan alat ini.

Komponen utama *aligner* yang sangat berpengaruh dalam proses adalah sumber cahaya lampu UV dan *photomask* untuk metoda kontak dan celah, dan tambahan lensa untuk metoda proyeksi. Panjang gelombang ( $\lambda$ ) UV 100-400 nm dan daya lampu sebesar 350-500 W yang digunakan *aligner* pada umumnya biasanya memerlukan waktu *exposure* sekitar 1-20 detik. Jenis bahan *photomask* juga akan mempengaruhi waktu *exposure*. *Quartz* merupakan salah satu material *photomask* transparan yang mahal tetapi paling disukai karena *quartz* memiliki koefisien pemuaian yang rendah dibandingkan dengan material lainnya seperti *sodalime*, plastik, stiker dan lain-lain.

## II. MATERIAL DAN PERCOBAAN

### 1. Pembuatan aligner



Gambar 1. Rangka Aligner

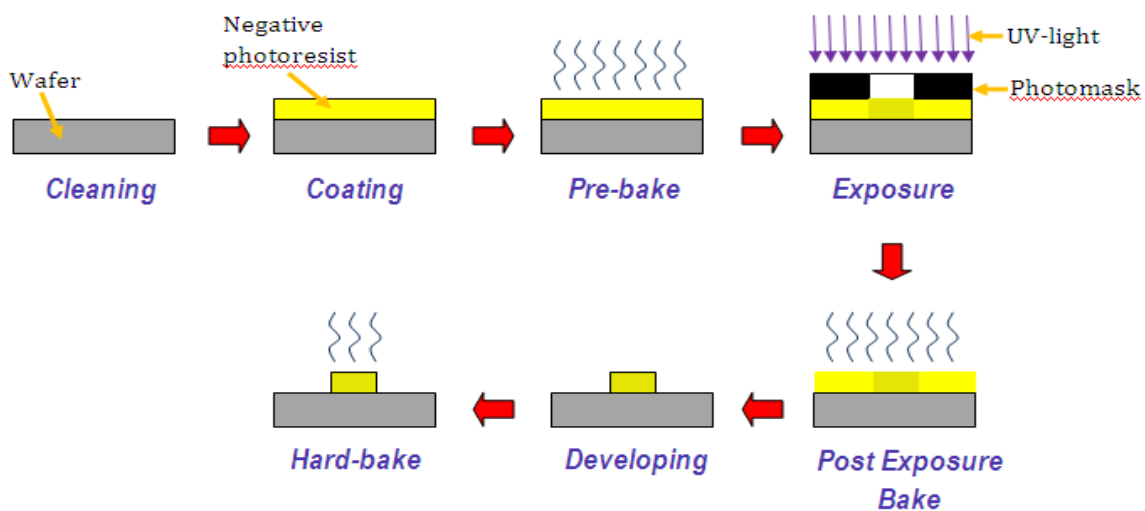
*Aligner photolithography* dirancang sederhana guna kepentingan penelitian tanpa mengurangi prinsip dari proses *photolithography* (Gambar 1). *Aligner* didesain untuk metoda kontak dan celah (*proximity*). Material yang digunakan memiliki harga yang murah dan banyak dijual di pasar. 5 buah lampu UV-C philips 11 W dipilih dan dipasang pada rangka *aligner* sebagai sumber cahaya *exposure*. Dudukan wafer didesain sesuai kebutuhan eksperimen untuk ukuran wafer maksimal 2x2 cm dengan material akrilik warna tanpa tembus cahaya. Dengan material yang sama dudukan *photomask* didesain untuk menjepit *photomask* yang memiliki luas area cahaya *exposure* 4 cm<sup>2</sup>. Dudukan wafer dapat digerakkan mendekati atau menjauhi sumber cahaya untuk mengatur jarak *exposure* dengan bantuan *ball screw* dan *linear guideway* sepanjang 350 mm.

plastik dan stiker transparan “DURATEX” dimana di atasnya dicetak berbagai variasi pola menggunakan mesin cetak Canon IR 6020i, dan Canon Image press C 7000 VP dengan resolusi masing-masing 300 , 600 dan 1200 dpi.

Material sampel yang di-coating oleh *photoresist* adalah wafer silikon berbentuk empat persegi panjang dengan ukuran 10x10x0,675 mm. Aldrich *negative photoresist I* dengan nomor produk 651796 digunakan untuk meng-coating sampel

### 3. Prosedur percobaan [4,5,7]

Percobaan dilakukan sesuai dengan proses *photolithography* pada umumnya (Gambar 2). Pertama, membersihkan permukaan sampel yang akan di-coating dengan cairan pembersih secara berturut-turut yakni methanol, thinner dan aquadest kira-kira selama 30 menit. Selanjutnya sampel dikeringkan dengan cara disemprotkan udara bertekanan dan dipanaskan hingga kering. Kemudian sampel di-coating dengan *photoresist* menggunakan *spin coater*. *Photoresist* diteteskan keatas sampel kurang lebih 1 cc dan diputar dengan kecepatan 1000 rpm selama 5 detik dan 2500 selama 5 detik. Ketebalan *photoresist* yang didapatkan berkisar 2 μm dengan kekentalan *photoresist* 0,89 g/mL. Tahap berikutnya *Pre-bake* (*soft bake*), sampel dipanaskan diatas *hot plate* dengan suhu 95°C selama 45 detik hingga 1 menit dan siap untuk di-*exposure* di dalam *aligner*. Metoda *exposure* yang digunakan adalah metoda kontak dengan intensitas cahaya 1358 lux atau 0,2 mW/cm<sup>2</sup> pada jarak radiasi *exposure* terhadap sampel 30 mm. Variasi waktu *exposure* dilakukan mulai dari 15 detik, 30 detik, 1 menit hingga 5 menit.



Gambar 2. Skema proses UV-Photolithography

### 2. Material photomask dan photoresist

*Photomask* merupakan film tipis yang berfungsi sebagai pola untuk mencetak pola pada *photoresist*. Bahan *photomask* transparan yang digunakan adalah

Sampel dipanaskan kembali setelah *exposure* (*Post Exposure Bake*) diatas *hot plate* dengan suhu 95°C-120°C selama 5 menit. Sebelum di-*develop*, sampel harus didinginkan secara perlahan. Kemudian sampel dicelup kedalam *developer* selama 3-7 menit. Kemudian sampel dikeringkan dengan meniupkan nitrogen atau udara bertekanan rendah hingga bagian ter-*develop* bersih dari sisa *photoresist*. Tahap *hard-bake* dilakukan guna mengerasakan *photoresist* yang sudah terbentuk. Perlu diperhatikan bahwa untuk mendapatkan hasil yang optimal maka diperlukannya waktu jeda dari *exposure* pertama ke *exposure* selanjutnya

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Kemampuan lampu UV komersial

Pengujian pertama adalah mengetahui kemampuan lampu UV melakukan proses *UV-photolithography*. Percobaan dilakukan dengan menutupi setengah sampel dengan wafer lainnya sedangkan setengah lagi langsung menerima radiasi UV. Hasilnya diamati menggunakan mikroskop perbesaran *eyepiece* 1,4x dan lensa 20x. Hasil yang diharapkan adalah garis lurus tetapi terdapat deviasi *photoresist* seperti terlihat pada gambar 3. Deviasi *photoresist* yang dimaksud disini adalah penyimpangan hasil pembentukan *photoresist* dari garis ideal.

Karakter *photoresist* yang diproduksi Aldrich beraksi dengan cahaya UV pada nilai intensitas minimal 10 mW/cm<sup>2</sup> dan waktu *exposure* selama 1 detik. Sedangkan intensitas cahaya menggunakan lampu UV komersial 5 x 11 W pada jarak *exposure* 30 mm adalah 0,2 mW/cm<sup>2</sup>. Intensitas cahaya UV percobaan 50x lebih kecil dari rekomendasi menyebabkan meningkatnya waktu *exposure* hingga 50 detik.

Dengan menggunakan rumus Energi (mJ/cm<sup>2</sup>) = Intensitas (mW/cm<sup>2</sup>) x waktu (detik), maka energi cahaya minimal yang diserap Aldrich negative photoresist I yang direkomendasikan adalah 10 mJ/cm<sup>2</sup>. Hal ini sebanding dengan menggunakan lampu UV komersial pada waktu *exposure* selama 50 detik.

Percobaan yang dilakukan mulai dari waktu *exposure* 30 detik hingga 5 menit. Ternyata percobaan dengan waktu *exposure* dibawah 50 detik tidak terbentuk. Sedangkan hasil percobaan dari 1 menit hingga 5 menit terbentuk mendekati sempurna. Energi cahaya yang diserap photoresist selama *exposure* dapat dilihat pada tabel 1.

Percobaan selanjutnya adalah mengoptimalkan waktu *exposure* dari proses *UV-photolithography* dengan menggunakan *photomask*.

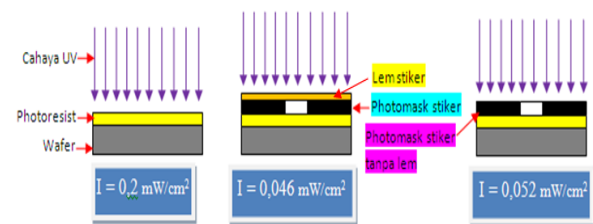
Tabel 1. Analisa perhitungan energi cahaya yang diserap *photoresist*

No	Waktu exposure (s)	Energi yang diserap photoresist (mJ/cm <sup>2</sup> )
1	30	6
2	60	12
3	120	24
4	180	36
5	240	48
6	300	60

#### 2. Optimasi waktu exposure

Pemakaian *photomask* dalam proses *UV-photolithography* tentu akan mengurangi intensitas cahaya atau dosis *exposure* yang diterima oleh *photoresist*, yang menyebabkan energy cahaya minimal yang diserap *photoresist* membutuhkan waktu yang lebih lama.

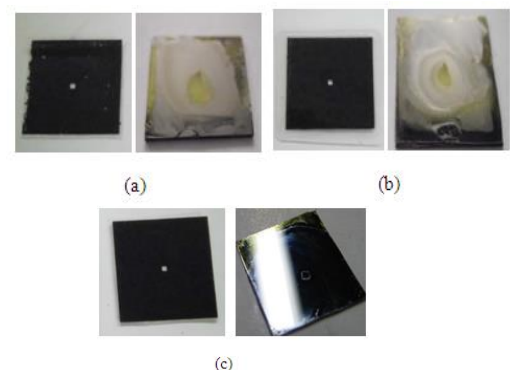
Setelah diperiksa ternyata intensitas cahaya UV pada *photomask* yang telah dicetak jauh dari nilai intensitas cahaya UV tanpa *photomask*. Intensitas cahaya *photomask* stiker dan stiker tanpa lem adalah 320 dan 362 lux atau setara 0,046 dan 0,052 mW/cm<sup>2</sup> (lih. Gambar 3).



Gambar 3. Perbandingan intensitas cahaya UV menggunakan photomask

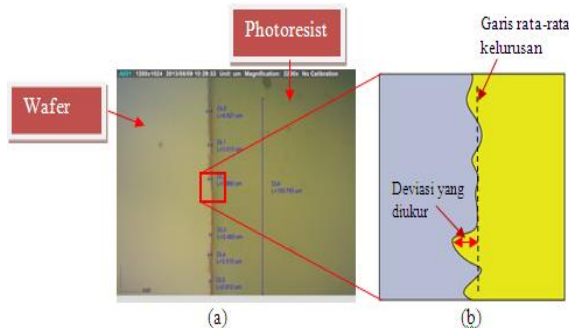
*Photomask* dicetak dengan *printer* beresolusi 300, 600 dan 1200 dpi, akan tetapi hasil setelah proses tidak sesuai keinginan. Setelah diperiksa dengan menggunakan profil proyektor, ternyata *photomask* tersebut belum bisa melindungi bagian yang tidak di-*eksposure* dari cahaya. Sehingga semua *photoresist* sangat sulit di-*develop* (Gambar.4). Kemudian dicoba untuk membuat *photomask* dengan *printer* beresolusi 1200 dpi tetapi 2 kali cetak (ditimpa). Dan hasilnya *photoresist* terbentuk sesuai keinginan. Pembuatan *photomask* ini memerlukan sedikit kesabaran karena melakukan penimpaan cetakan secara manual.

Percobaan menggunakan *photomask* stiker dilakukan dengan variasi waktu mulai dari 3 menit dan diakhiri pada 9 menit dengan interval 1 menit. Kemudian percobaan dilanjutkan dengan *photomask* stiker tanpa lem dengan variasi waktu *exposure* yang sama.



Gambar 4. *Photomask* dan hasil *post exposure* 3 menit (a) resolusi 600 dpi (b) 1200 dpi (c) 2 x 1200 dpi

Menggunakan *photomask* stiker untuk mencetak pola pada *photoresist* telah menambah waktu *exposure*. Hal ini dikarenakan pemakaian *photomask* mengurangi intensitas cahaya UV sehingga energy cahaya UV yang diterima *photoresist* berkurang. Dan waktu *exposure*



Gambar 5. Hasil percobaan (a) pengamatan mikroskop

optimum dilihat dari deviasi *photoresist* yang terkecil setiap *photomask* (Gambar.6).

Radiasi langsung (tanpa *photomask*) memiliki deviasi terkecil dan waktu *exposure* yang cepat dibandingkan dengan *photomask* stiker dan stiker tanpa lem. Masing-masing memiliki waktu *exposure* optimal berturut-turut 2-3, 6-7 dan 8 menit untuk tanpa *photomask*, stiker tanpa lem dan stiker. Hal ini membuktikan bahwasanya *photomask* sangat mempengaruhi waktu *exposure*.

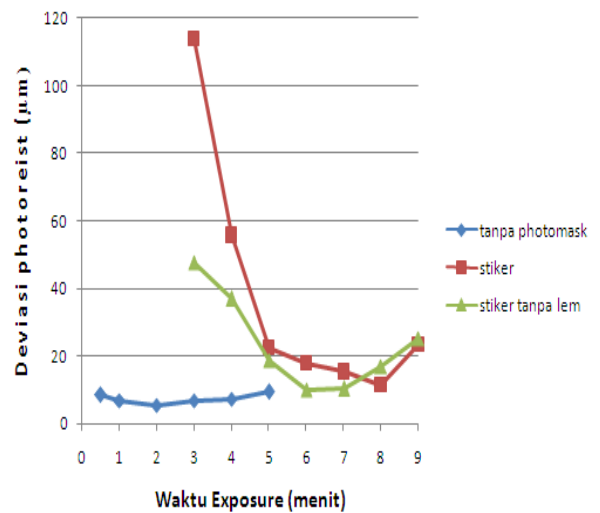
### 3. Optimasi resolusi

Untuk mendapatkan resolusi optimum. Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan *photomask* stiker dan waktu *exposure* 8 menit. Ada dua model pola yang di uji, yakni pola bujur sangkar dan pola jalur PCB (*printed circuit board*) untuk *microcontroller*.

Pada percobaan ini sangat tergantung dengan resolusi *photomask*. Hal ini dibuktikan dari 3 ukuran pola PCB yakni 30x23, 20x15 dan 10x8 mm dengan fitur garis terkecil masing-masing 300, 150 dan 75  $\mu\text{m}$  dan lebar celah terkecil 100, 50 dan 25  $\mu\text{m}$ , hanya pola PCB 10x8 mm yang tidak berhasil terbentuk.

Tabel 2. Dimensi *photoresist* pola bujur sangkar

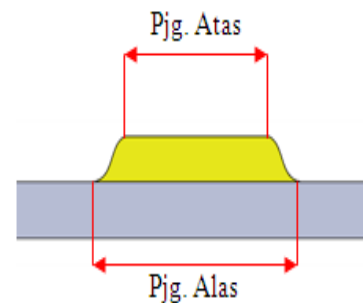
Sampe l	Rata-rata Dimensi PR/ sampel (mm)					
	Pola 2x2			Pola 1x1		
	Pjg. Alas	Pjg. Atas	Tinggi	Pjg. Alas	Pjg. Atas	Tinggi
1	2.167	1.832	0.0025	1.218	0.882	0.0022
2	2.295	1.805	0.0023	1.211	0.795	0.0021
3	2.167	1.756	0.0028	1.194	0.857	0.0021
Rata-rata	2.209	1.798	0.0025	1.208	0.845	0.0021



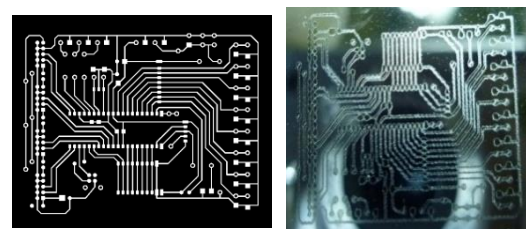
Gambar 6. Grafik Deviasi photorsist vs Waktu

Dimensi *photoresist* yang terbentuk mengalami penyimpangan dari desain. Pada pola bujur sangkar yang memiliki ukuran desain 2x2 mm dan 1x1 mm, ternyata hasil *photoresist* pada panjang alas melebihi dari ukuran desain, sedangkan panjang atas kurang dari ukuran desain (tabel 2 dan gambar 7).

Pengukuran dilakukan juga pada *photomask* pola PCB 20x15 mm karena memiliki fitur yang kecil (gambar 8).



Gambar 7. Pengukuran *photoresist*



Gambar 8. Photomask dan hasil *post exposure*

Hasilnya juga mengalami penyimpangan. Ukuran original fitur terkecil dari desain adalah 150  $\mu\text{m}$  menjadi 165  $\mu\text{m}$  pada hasil *photoresist* atau ada penyimpangan sebesar 10 %.

Setelah diperiksa menggunakan profil proyektor, ternyata pada pola *photomask* yang dicetak terdapat sisi

yang tidak hitam dan disinyalir dapat menembus cahaya (gambar 9). Sehingga mempengaruhi hasil dari pola yang sudah didesain. Penyimpangan *photoresist* dihitung dan dibandingkan terhadap desain dan *photomask* seperti yang terlihat pada tabel 3.

Dari hasil pengukuran dihitung presentase penyimpangan ukuran *photomask* terhadap desain, *photoresist* (sampel) terhadap desain, dan *photoresist* terhadap *photomask* yang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut ;

$$\% M - D = \frac{\Delta(M-D)}{D} \times 100 \% \quad (1)$$

$$\% PR - D = \frac{\Delta(PR-D)}{D} \times 100 \% \quad (2)$$

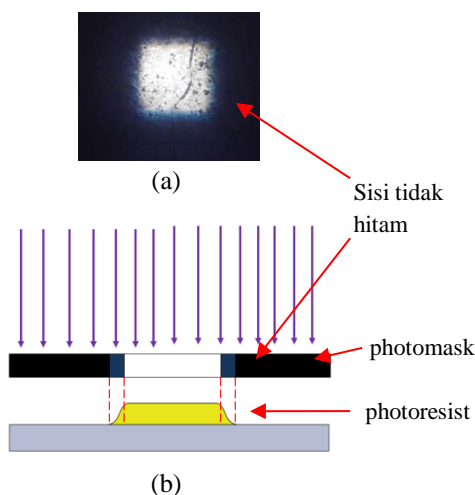
$$\% PR - M = \frac{\Delta(PR-M)}{D} \times 100 \% \quad (3)$$

dimana M-D adalah dimensi *photomask* terhadap desain, D adalah dimensi desain, PR-D adalah dimensi *photoresist* terhadap desain dan PR-M adalah dimensi *photoresist* terhadap *photomask*.

Tabel 3. Persentase penyimpangan

Pola		Persentase penyimpangan (%)		
		M-D	PR-D	PR-M
Bujur sangkar	2x2	5.8	10.47	4.64
	1x1	5	20.77	15.77
PCB	20x15	11	10	21

Ket : M-D : *Photomask* terhadap desain  
 PR-D : *Photoresist* terhadap desain  
 PR-M : *Photoresist* terhadap *Photomask*



Gambar 9. Analisa Kesalahan *photomask*  
 (a) hasil pengamatan profil proyektor (b) ilustrasi

#### IV. PENUTUP

##### Kesimpulan

Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa UV-*photolithography aligner* dapat dimodifikasi menggunakan produk komersial yaitu pada komponen sumber cahaya UV dan *photomask*.. Optimasi UV-

*photolithography aligner* menunjukkan kemampuan *aligner* tersebut. *Exposure* langsung cukup dilakukan selama 1-5 menit, waktu *exposure* optimal yang di dapat adalah 2 – 3 menit. Waktu *exposure* optimum tergantung dari bahan *photomask* yang digunakan. *Photomask* stiker 2 x 1200 dpi memiliki waktu *exposure* optimal 8 menit. Sedangkan waktu *exposure* optimal *Photomask* stiker 2 x 1200 dpi tanpa lem adalah 6 – 7 menit.

Resolusi pola *photomask* sangat mempengaruhi pencapaian resolusi terkecil, resolusi yang berhasil dicapai adalah 165 μm dengan persentase penyimpangan terhadap desain awal 10 %.

##### Saran

Untuk meningkatkan intensitas cahaya, UV-*photolithography aligner* ini perlu menambahkan reflektor pada sumber cahaya. Dan untuk menghindari difraksi, *aligner* ini perlu penambahan lensa kondensor yang berfungsi mengumpulkan cahaya dan meneruskan cahaya tegak lurus terhadap *photomask*. Kemudian untuk optimasi resolusi, metoda proyeksi lebih tepat karena sangat sulit untuk meningkatkan resolusi *photomask*.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hoonchul Ryoo, Dong Won Kang, Jae W. Hahn, "Analysis of the line pattern width and exposure efficiency in maskless lithography using a digital micromirror device," *Microelectronic Engineering* 88 (2011) 3145–3149
- [2] Sugeng Supriadi, "Study on Micro Metal Injection Molding (μMIM) of STS 316 nanopowders", A Thesis submitted to the Departement of Material Science and Engineering Yeungnam University. June 2007
- [3] W. Hartati & Suprijadi, "Pengembangan Model Pengukuran Intensitas Cahaya dalam Fotometri", *J.Oto.Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst)* Vol 2 (2), 2010 ISSN : 2085-2517
- [4] Jos Istiyanto, Agung-Shamsuddin Saragih, Tae Jo Ko, "Metal based micro-feature fabrication using biomachining process," *Microelectronic Engineering* 98 (2012) 561–565
- [5] Hong Hocheng, Jei-heui Chang, Umesh U. Jadhav, "Micromachining of various metals by using *Acidithiobacillus ferrooxidans* 13820 culture supernatant experiments," *Journal of Cleaner Production* 20 (2012) 180e185
- [6] R. B. Darling, "EE-527: MicroFabrication Photolithography", <http://www.ee.washington.edu/research/microtech/cam/PROCESSES/photolithographypdf.html> diakses tgl 15 maret 2013.
- [7] <http://www.sigmaaldrich.com> diakses tanggl 15 maret 2013
- [8] Stephen A. Campbell, "The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication", Second Edition, Oxford University Press 2001.

- [9] Dhanesh Kattippambal Rajan, Jukka-Pekka Raunio, Markus Tapani Karjalainen, Tomi Ryynänen, Jukka Leikkala, "Novel method for intensity correction using a simple maskless lithography device," *Sensors and Actuators A* 194 (2013) 40– 46
- [10] Woojin Lee, Dongkil Choi, Yeol Lee, Dae-Nyun Kim, Jinwon Park, Won-Gun Koh, "Preparation of micropatterned hydrogel substrate via surface graft polymerization combined with photolithography for biosensor application" *Sensors and Actuators B* 129 (2008) 841–849
- [11] G.T.A. Kovacs, N.I. Maluf, K.E. Petersen, Bulk micromachining of silicon, *Proc. IEEE* 86 (8) (1998)
- [12] A. Bertsch, H. Lorenz, P. Renaud, 1998, 3D microfabrication by combining microstereolithography and thick resist UV lithography, *International Journal of Sensors and Actuators* 73\_1999. 14–23
- [13] Zhang, D. and Li, Y., "Possibility of Biological Micromachining Used for Metal Removal," *Science in China*, Vol. 41, No. 2, pp. 151-156, 1998
- [14] G.Kopitkovas, T.Lippert, C.David, A.W okaun, J.Gobrecht, 2003, "Surface micromachining of UV transparent materials", *International Journal of Thin Solid Films* 453 –454 (2004) 31–35
- [15] J.D.Williams, W.Wang., "Using megasonic development of SU-8 to yield ultra-high aspect ratio microstructures with UV Lithography", *Microsystem Technologies* 10 (2004), 694-698, Springer-Verlag (2004)
- [16] Silvia Marchesan, Christopher.D.E, Katie E.S, Patrick Leech, Thomas R.G, John S.F, Patrick G.H, "SU-8 photolithography on reactive plasma thin-film : coated microwells for peptide display.