

Mikrofabrikasi Jalur PCB Menggunakan Metode *Visible Ligth Maskless Photolithography*

Dedi Suwandi¹, Badruzzaman², Jos Istiyanto³

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Indramayu

³Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin
Universitas Indonesia

E-mail : dedi@polindra.ac.id¹, bagus_200409@yahoo.com², josist@eng.iu.ac.id³

Abstrak

Pada tulisan ini akan dibahas metode modifikasi dari *Photolithography* yaitu *Visible Ligth Maskless Photolithography*, perbedaannya menggunakan sinar tampak (*visible light*) dan tanpa *mask* (cetakan) selanjutnya diaplikasikan pada fabrikasi jalur listrik PCB (*printed circuit board*). Modifikasi metode ini dilakukan karena metode yang sudah ada membutuhkan alat dan mesin yang mahal kemudian dirancang untuk produksi masal. Padahal dibutuhkan juga metode yang tepat untuk membuat jalur listrik PCB sendiri dengan jumlah satuan. Untuk menjawab persoalan tadi maka dibuat sebuah metode dengan kelebihan mudah dalam proses pembuatan, peralatan lebih murah dibandingkan mesin industri tetapi mampu membuat profil jalur PCB yang rapih dan rumit kemudian aman untuk lingkungan. Cara kerjanya model/ profil dibuat di komputer/ laptop kemudian dipancarkan melalui *DLP projector*. Pada bagian bawah *projector* dipasang PCB yang sudah dilapisi *Negative Photoresist* sehingga terjadi proses *exposure*. Selanjutnya dilakukan proses *developing* dan *eching* sehingga terbentuk profil sesuai desain. Pada jenis *projector* Infocus IN114A ditemukan parameter terbaik: posisi lensa pemfokus pembesaran 3X berjarak 3 cm di bawah *DLP projektor* dan 14 cm di atas material uji PCB, menggunakan kombinasi warna hitam (R:0 G:0 B:0) dan biru terang (R=0, G=176, B=240) dengan waktu *prebake* 2 menit, *spin* 2.000 rpm, *exposure* 3 menit, *developing* 5 menit, *Postbake* 5 menit dan *Eching* 5 menit. Profil jalur PCB yang berhasil dibuat di antaranya: garis, huruf, alur listrik, dan bentuk *microcontroller*. Hasil pengukuran *Scanning Electron Microscope (SEM)* profil garis terkecil yang dapat dibuat yaitu $132 \mu\text{m}$ dan memiliki kekasaran tepi (*deviasi*) $6,6 \mu\text{m}$.

Kata Kunci: Mikrofabrikasi PCB, Maskless Photholithography, Visible Ligth Maskless Photolithography.

I. PENDAHULUAN

PCB (*printed circuit board*) merupakan tempat menaruh rangkaian komponen listrik tanpa kabel, dalam perkembangannya papan ini sangat membantu revolusi bentuk alat elektronik dari segi desain dan ukuran. Proses fabrikasi papan PCB terus mengalami perbaikan, selain mengembangkan metode yang sudah ada, dilakukan juga pencarian metode baru untuk meningkatkan kualitas produk, waktu pengerjaan dan biaya produksi.

Selama ini terdapat beberapa cara membuat profil di PCB mulai dari cara manual yang menggunakan alat sederhana yang ada disekitar kita hingga menggunakan mesin-mesin canggih dan otomatis untuk skala produksi. Semua cara tadi memiliki kelebihan dan kekurangan di antaranya: Proses manual (menggambar dengan spidol langsung di PCB dilanjutkan dengan proses *eching*), kelebihanannya mudah dan murah, kekurangannya profil yang mampu dibuat sangat sederhana dengan ukuran besar dan kasar kemudian tidak mampu menghasilkan jalur dengan kualitas sama; Pemindahan cetakan (menggunakan *printer* dan strika), kelebihanannya mampu membuat profil lebih rumit dari metode manual, kekurangannya hasil profil kasar dan kualitas profil tidak

sama; PCB *laserprinter* (mengikis PCB dengan sinar laser) (Triano, A, 2013:1), (Aos Alwaidh, 2014:109), kelebihanannya mampu menghasilkan profil rumit dan halus, kekurangannya waktu pengerjaan lama, mesin dan alat yang digunakan mahal kemudian menggunakan sinar laser yang berbahaya; PCB *miling* (mengikis secara mekanis) (Arturo Moreno, 2012:240), kelebihanannya mampu membuat profil rumit, kekurangannya hasil profil kasar, waktu pengerjaan lama, alat dan mesin mahal kemudian pahat/*tool* gampang patah dan susah diperbaiki; *lithography* (menggunakan sinar dan cairan *photoresist*), metode ini yang banyak digunakan di industri.

Proses *lithography* sendiri memiliki beberapa metode yang dibedakan berdasarkan penggunaan sinar sumber prosesnya, diantaranya: *UV lithography* (Y. Hirai, 2007: 545) (A. Bertsch, 1998:14), yang menggunakan sinar *Ultra Violet* metode ini mampu menghasilkan profil berskala mikro dan *X-Ray lithography* (S.M.P. Kalaiselvi, 2014:1) (W. Ehrfeld, 1998:81) yang menggunakan sinar *X-ray* yang mampu menghasilkan profil berskala nano. Kedua metode *lithography* ini yang banyak digunakan di industri semikonduktor walaupun memiliki kekurangan dari segi alat dan mesin yang mahal

serta bahaya karena menggunakan sumber sinar yang tidak aman. Bagi pihak industri kekurangan tadi dapat ditutupi oleh jumlah dan waktu pengerjaan yang dibutuhkan sangat singkat dengan kualitas yang sama.

Dari beberapa metode yang sudah ada tadi masih terdapat masalah yang perlu diselesaikan dalam pembuatan jalur PCB, yaitu tidak ada metode yang mampu membuat jalur yang rumit kemudian menghasilkan profil yang halus dan dengan biaya yang murah serta aman.

Dengan keterbatasan tersebut maka dicarilah metode baru oleh peneliti (Dhanesh K.R dkk, 2013:194) mengganti sumber sinar yang umumnya menggunakan sinar UV atau sinar X-Ray diganti dengan sinar tampak yang berasal dari DLP (Digital Micromirror Device) projector dan tanpa cetakan (maskless). Tetapi penelitian tersebut belum berhasil diaplikasikan karena terdapat masalah pada saat penyinaran yaitu sinar putih yang digunakan tidak dapat difokuskan sehingga bentuk yang diinginkan tidak dapat dimunculkan.

Selanjutnya akan dilakukan perbaikan proses fabrikasi jalur listrik pada PCB dengan metode yang hampir sama yaitu menggunakan sinar tampak (visiblelight), kemudian tanpa menggunakan cetakan (maskless) karena sumber sinar yang digunakan berasal dari DLP projector sehingga metode ini disebut visible light maskless photolithography. Perbedaan metode ini pada pencarian kombinasi warna terbaik exposure yang dikeluarkan DLP projector, yang tidak dilakukan pada penelitian sebelumnya yaitu hanya menggunakan kombinasi warna hitam dan putih saja. Prinsip kerjanya PCB yang sudah diproses lithography akan di kikis (etching) menggunakan cairan Ferri Chloride (FeCl₃). Tujuannya adalah mencari parameter terbaik proses visible light maskless photolithography.

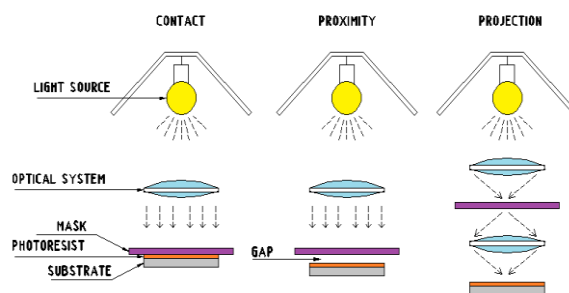
Harapannya adalah menemukan metode modifikasi photolithography pembuatan jalur listrik pada PCB dengan kelebihan mudah dalam pembuatannya karena peralatan untuk metode ini mudah ditemukan seperti Laptop/ PC, DLP projector, kaca pembesar, cairan photoresist dan ferric chloride. Kemudian mampu membuat jalur PCB yang rumit dengan memiliki variasi bentuk garis, ukuran garis yang mampu membuat dalam skala ratusan mikron sehingga lebih rapih dibandingkan dengan cara manual menggunakan spidol atau pemindahan cetakan (printer dan strika). Selanjutnya dengan metode ini dapat menekan biaya, karena jika membuat desain jalur PCB sendiri ke industri maka ada batasan jumlah pesanan padahal kita hanya butuh satu atau dua buah saja. Harapan selanjutnya dengan metode ini lebih aman karena sinar sumber exposure yang digunakan adalah sinar tampak bukan sinar UV atau X-Ray (dibawah 400 nm) seperti di industri yang membahayakan manusia dan lingkungan.

II. METODE

Photo-litho-graphy, menurut bahasa latin berarti cahaya-batu-tulisan, sedangkan pengertiannya adalah proses mikrofabrikasi yang memindahkan bentuk geometris dari mask (pola cetakan) ke permukaan

substrate (landasan) yang biasanya berupa silicon, silicon dioxide, aluminum oxide, copper dan lain-lain (Wolfwikis, 2015). Proses pemindahan umumnya menggunakan sinar UV yang dipancarkan kearah mask (cetakan), sinar yang tertahan oleh mask tidak akan diteruskan, sedangkan sinar yang tidak tertahan pola mask akan diteruskan mengenai substrate yang sudah dilapisi cairan photoresist (negative/positive). Cairan photoresist, pada bagian yang terkena sinar dengan yang tidak terkena sinar akan bereaksi berbeda sesuai jenisnya. Perbedaan reaksi pada cairan photoresist yaitu satu bagian akan mengeras dan yang satu bagian lagi tidak mengeras masih berbentuk cair sehingga dapat dihilangkan pada saat proses develop (pelarutan resist). Bagian yang mengeras akan melindungi substrate sehingga tidak terkikis pada saat dilakukan proses etching. Contoh aplikasi produk yang menggunakan proses ini seperti IC (integrated circuits) dan CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor). Langkah-langkah dalam proses Photolithography (Sigmaaldrich , 2015) meliputi:

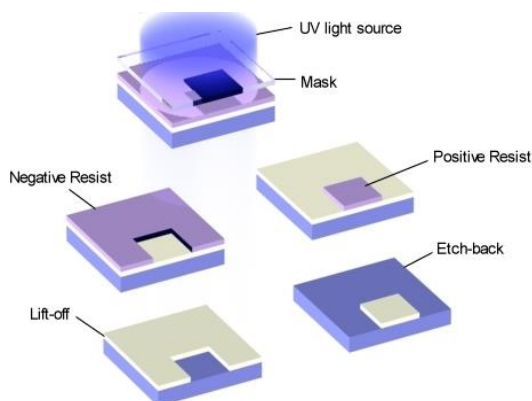
- *Substrate preparation*
Proses ini bertujuan untuk membersihkan substrate dari debu, partikel abrasive, benang/kertas penyeka, photoresist residu bakteri, minyak dan benda lain. Setelah wafer/ substrate dipotong kemudian direndam pada cairan acetone, methanol, De-Ionized water (DI H₂O) selama 2-5 menit dan dikeringkan menggunakan uap udara kering atau dari hairdryer 120-200⁰C.
- *Photoresist spin coating*
Proses ini bertujuan untuk meratakan cairan photoresist pada permukaan substrate dengan cara diputar pada 2000-5000 rpm untuk bentuk lingkaran dan 500-1000 rpm untuk bentuk persegi.
- *Pre-Bake (Soft Bake)*
Bertujuan untuk menguapkan cairan pembersih dengan cara dipanaskan pada hotplate bersuhu 82⁰C selama 20 menit pada oven bersuhu 90-100⁰C selama 20 menit.
- *Alignment and Exposure*
Bertujuan untuk memindahkan pola dari mask ke substrate ada 3 jenis metode yang digunakan contact, proximity dan projection: Perbedaannya ada jarak (gap) pada metode proximity dan menggunakan 2 lensa pada metode projection seperti pada gambar 1. Waktu exposure sekitar 1-10 detik dengan intensitas cahaya 100 mW/cm².



Gambar 1. Metoda exposure

- **Development**
Proses ini bertujuan mengangkat profil *photoresist* yang tidak diinginkan, menggunakan cairan *developer*. Proses ini dilakukan selama 1-60 detik.
- **Post-Bake (Hard Bake)**
Proses ini dilakukan untuk mengeraskan *photoresist* yang sudah di *develope*. Waktu yang diperlukan 10-20 menit pada 120°C.

Cairan *photoresist* adalah bahan yang mudah bereaksi jika terkena cahaya. Dengan sifat inilah cairan *photoresist* dipilih dalam proses *photolithography*. Ada dua jenis cairan *photoresist* yaitu *Positive* dan *Negative*. *Positive photoresist* akan tertinggal di *substrate* jika tidak tersinari dan akan hilang (*terdevelope*) jika tersinari, sebaliknya *Negative photoresist* akan tertinggal di *substrate* jika tersinari dan akan *terdevelope* pada bagian yang tidak tersinari. Sinar yang digunakan biasanya *UV* atau *X-Ray* yang dipancarkan melewati cetakan (*mask*) yang memiliki pola sehingga bayangan pola akan terbentuk pada cairan *photoresist* diatas *substrate*. Perbedaan reaksi jenis *resist* dapat dilihat pada gambar 2.

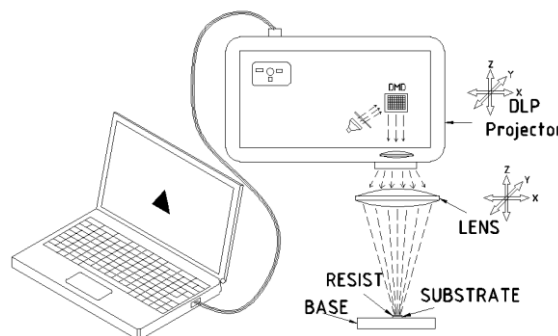


Gambar 2. Perbedaan positive dan negative resist [9].

Maskless Photolithography adalah salah satu modifikasi dari *Photolithography* umum, metode ini tidak menggunakan cetakan (*mask*). Dengan tidak dibuatkan cetakan (*mask*) menambah kemudahan proses ini, karena pada metode *Photolithography* umum biasanya ada proses pembuatan masking dengan mesin yang sangat rumit dan mahal selanjutnya satu cetakan hanya untuk satu benda. Cetakan (*mask*) digantikan dengan sumber sinar dari *DLP (Digital Micromirror Device) projector* yang mampu menghasilkan warna hitam yang berfungsi menggantikan cetakan (*mask*) dengan bentuk dan ukuran yang dapat dirubah sesuai keinginan. Pada metode *Photolithography* umum biasanya cahaya yang digunakan adalah *Ultra Violet* atau *X-Ray* yang berbahaya untuk lingkungan dan manusia. Dengan menggunakan sumber cahaya dari *DLP Projector* maka sinar yang keluar lebih aman.

Cara kerja proses **Maskless Photolithography** yaitu membentuk profil atau model dibuat di laptop atau komputer, kemudian laptop tadi dihubungkan dengan *DLP projector* untuk menyinarikan profil yang sudah dibuat dari laptop. Sinar yang keluar dari *projector* akan diatur menggunakan kaca pemfokus supaya tepat

mengenai cairan *resist* yang sudah dioleskan diatas landasan (*substrate*). Posisi *projector* dapat diatur dengan pergerakan 3 sumbu untuk menentukan jarak dan titik fokus penyinaran (*exposure*), seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Skema *Maskless Photolithography*

Peralatan dan bahan utama yang digunakan dalam percobaan di antaranya:

1. Kontak Inkubator, sebagai tempat melakukan pengambilan data yang terisolir. Kotak berukuran 2X1X1,5 meter.
2. *Projector Stand*, tempat pemegang dan pengatur posisi *projector*.
3. *DLP projector*, sebagai sumber sinar *exposure* dengan jenis Toshiba TDP-SC25 [11] dengan spesifikasi: 1.800 lumens, resolution: SVGA - SVGA (800 x 600), Contrast Ratio : 2000:1; kemudian Infocus IN114A [12] dengan spesifikasi: 2700 lumens, resolution: XGA (1024 x 768), Contrast ratio: 4000:1.
4. *Spin coater*, sebagai alat meratakan cairan *resist* pada permukaan *substrate/ PCB* dengan cara diputar.
5. *Hot plate*, sebagai alat pengering *substrate*.
6. *Negative Photoresist*, berfungsi membentuk lapisan pelindung bagian profil yang ingin dimunculkan. Jenis yang dipakai *Aldrich negative photoresist kit*. [10]

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Supaya mendapatkan hasil yang maksimal, pengambilan data menggunakan berdasarkan dari penelitian yang sama atau dari produsen alat yang digunakan. Karena data penelitian tentang *visible light maskless photolithography* tidak ditemukan maka sebagai data awal diambil dari produsen *photoresist*. Cairan resist yang digunakan adalah *negative photoresist* dari Aldrich, terdapat keterangan: *Substrate Preparation*, 20-30 menit pada 120-130°C; *Photoresist Application*, menggunakan sistem *spin-coating*(diputar) 500-1000 rpm; *Prebake*, 20 menit pada 82°C; *Photoresist Exposure*, 1-10 detik *minimum light source* 10mW/cm²; *Photoresist Develop*, 10-60 detik; *Postbake*, 10 menit pada 120°C. Setelah dilakukan beberapa percobaan menggunakan langkah dan parameter sesuai keterangan produsen *resist*, ternyata tidak berhasil. Analisa awal karena perbedaan sumber sinar *exposure*. Terdapat juga parameter yang tidak cocok seperti waktu *prebake* yang terlalu lama padahal *substrate* yang diproses berukuran kecil, sehingga kita pilih

mempersingkat waktu prebake menjadi 2 menit, dan dilakukan setelah proses *preparation* (persiapan/pembersihan) dan sebelum proses *spin coating* (pelapisan cairan *resist* dengan cara diputar). Alasan memindahkan proses prebake karena jika dilakukan setelah *spin coating* maka *resist* akan mengeras sebelum *diexposure*. Selanjutnya proses post bake juga kita percepat menjadi 3 menit dengan alasan jika dilakukan selama 10 menit terlalu lama karena *substrate* berukuran kecil cepat kering. Tetapi ada juga parameter yang dipakai seperti kecepatan *spin coating* yang digunakan yaitu pada kecepatan 2.000 rpm. Selanjutnya untuk mendapatkan hasil yang terbaik dilakukan beberapa variasi pengambilan data diantaranya:

1. Waktu *Exposure*

Pengambilan data pertama yaitu mencari waktu *exposure* terbaik dengan menggunakan proyektor *DLP* Toshiba TDP-SC25 yang akan menyinari *negative photoresist* dibawahnya. Karena proyektor memiliki titik fokus terdekat 2,5 meter maka dibutuhkan lensa pemfokus untuk mendekatkan jarak fokusnya. Dengan lensa pembesaran 3X didapat setingan jarak antara projector dan lensa 13cm dan jarak lensa ke landasan (*substrate*) 14 cm. Untuk lebih mudah melakukan pengamatan dan pengukuran dipilih *substrate wafer silicon* kemudian dilapisi *negative photoresist*. Warna yang digunakan Hitam (R:0 G:0 B:0) dan Putih (R:255 G:255 B:255), Waktu *exposure* diambil menurun mulai dari 60, 30, 15 dan 10 menit kemudian *didevelop*. Pada waktu *exposure* 60, 30 dan 15 menit bentuk profil tidak terlihat karena cairan *resist* sudah mengeras semua baik yang warna hitam maupun warna putih sehingga setelah *didevelop resist* tidak bisa hilang, kemudian pada 10 menit profil sudah terbentuk tapi pada bagian tepi profil masih kasar.

Dilanjutkan dengan pengambilan data *exposure* dari 1 menit sampai 10 menit, dengan waktu *developing* 5 menit. Dari hasil yang didapat waktu *exposure* 1, 2, 3 dan 4 menit *resis* yang sudah *diexposure* setelah *didevelop* hilang tidak membekas. Kemudian pada waktu *exposure* 5, 6 dan 7 menit *resist* membentuk profil sesuai model. Sedangkan waktu *exposure* 8, 9 dan 10 menit profil hasil terbentuk tetapi pada bagian tepi *resis* yang seharusnya hilang masih membekas karena waktu *exposure* yang berlebih.

Sehingga diambil keputusan waktu terbaik *exposure* menggunakan *DLP projector* Toshiba TDP-SC25 yaitu 5, 6 atau 7 menit.

2. Variasi waktu *Developing*

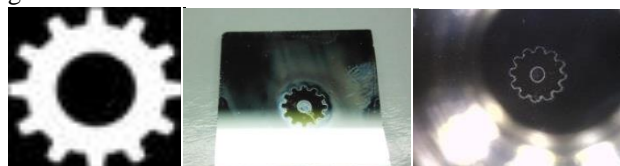
Developing adalah proses menghilangkan cairan *resis* yang tidak dibutuhkan setelah *diexposure*. Proses ini sangat penting karena berpengaruh terhadap kualitas profil yang dihasilkan. Untuk membandingkan hasil *developing* maka dipilih waktu *exposure* yang sama yaitu 5 menit. Variasi waktu dimulai dari 1 menit sampai 10 menit. Dari percobaan didapat waktu *developing* 1 dan 2 menit semua *resist* belum *terdevelop*, waktu 3 dan 4 profil sudah terbentuk tetapi pada bagian tepi menyisakan *resist* yang seharusnya hilang. Pada waktu *develop* 5 dan

6 menit bentuk profil sesuai model. Sedangkan pada waktu 7 sampai 10 menit seluruh *resist terdevelop* atau hilang.

Sehingga diambil waktu terbaik proses *developing* yaitu 5 atau 6 menit.

3. Variasi Profil

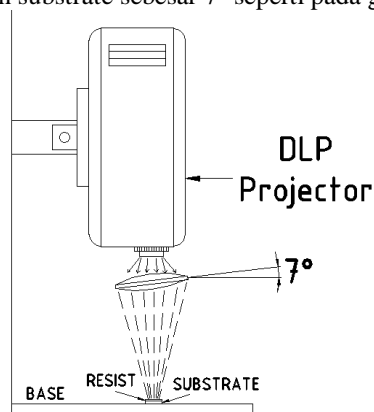
Variasi profil dibutuhkan untuk melihat hasil *exposure* apakah sesuai dengan model atau tidak. Setelah bentuk profil segi tiga dan persegi sudah dibuat selanjutnya dilakukan percobaan bentuk profil yang lebih rumit. Dipilih bentuk profil roda gigi berjumlah 12 buah dan *resist* hasil proses *develop* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Profil model roda gigi dan hasil *developing*

Setelah dilakukan pengamatan menggunakan *microscope* digital ternyata bentuk lingkaran hasil *exposure* tidak simetrik, bentuk lingkaran pada bagian tengah roda gigi menjadi oval.

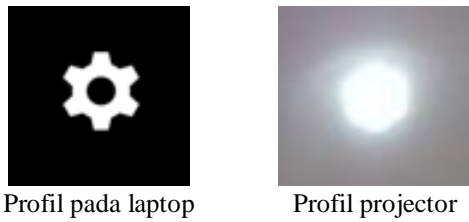
Perbaikan yang dilakukan adalah dengan memiringkan lensa pemfokus yang berada di antara *DLP projector* dan *substrate* sebesar 7° seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Sudut lensa pemfokus

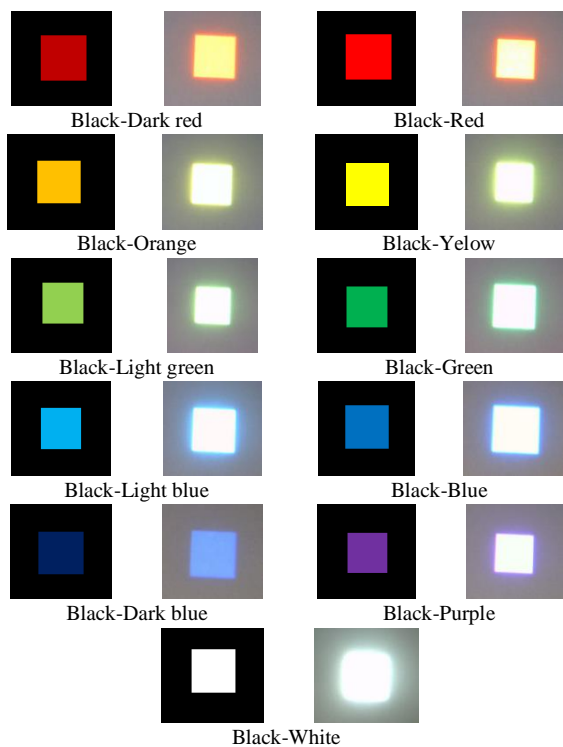
4. Variasi Kombinasi Warna

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan Dhanesh K.R dan kawan-kawan ada masalah pada proses *maskless photolithography* menggunakan *DLP projector*, yaitu pada bentuk profil model persegi pada sisi-sisinya tidak tajam. Setelah dilakukan percobaan ternyata benar masalah tersebut muncul pada saat membuat profil roda gigi kecil. Pada profil roda gigi yang dipancarkan melalui *DLP projector* berubah menjadi profil mirip lingkaran karena puncak roda gigi menjadi tidak jelas atau disebut "blur" seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Blur

Perbaikan dilakukan dengan mengatur posisi dan jarak antara projector lensa dan substrate dengan tujuan memperbaiki titik fokus tetapi tetap tidak berhasil. Pergantian bentuk profil juga dilakukan dengan merubah bentuk roda gigi menjadi bentuk persegi supaya lebih sederhana, tetapi pada profil persegi juga tetap terdapat blur. Selanjutnya dilakukan percobaan dengan mengganti kombinasi warna yang dipancarkan projector. Warna Hitam-Putih akan dirubah dengan warna tetap Hitam dikombinasikan dengan warna lain seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Kombinasi warna dan profil dari projector

Dari profil yang keluar dapat dilihat dengan jelas warna kombinasi hitam dan putih paling tidak direkomendasikan karena bentuk persegi tidak memiliki sudut yang tajam.

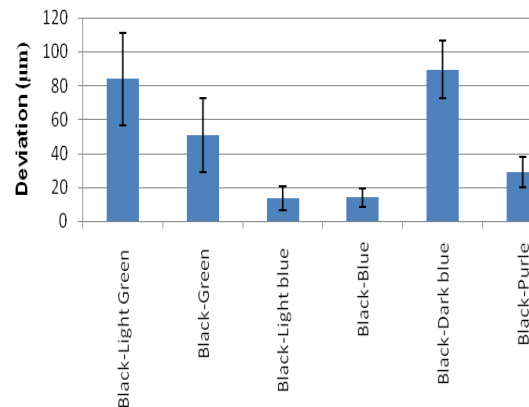
Kemudian untuk meyakinkan dilakukan pengambilan data kombinasi warna diantaranya: Hitam-merah tua ($R=192, G=0, B=0$); Hitam-Merah ($R=255, G=0, B=0$); Hitam-Orange ($R=255, G=192, B=0$); Hitam-Kuning ($R=255, G=255, B=0$); Hitam- hijau terang ($R=106, G=208, B=80$); Hitam-hijau ($R=0, G=176, B=80$); Hitam-biru terang ($R=0, G=176, B=240$); Hitam-Biru ($R=0, G=112, B=192$); Hitam-biru tua ($R=0, G=32, B=96$); Hitam-Ungu ($R=112, G=48, B=160$). Kombinasi warna tadi akan dilakukan dengan pengaturan waktu

exposure 5 menit dan waktu *developing* 5 menit. Hasil dari kombinasi warna tadi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran kombinasi warna

TEST	KOMBINASI HITAM DAN	DEF. (μm)	STD.Err (μm)	Ra (μm)
1	Merah tua	gagal	gagal	Gagal
2	Merah	gagal	gagal	Gagal
3	Orange	gagal	gagal	Gagal
4	Kuning	gagal	gagal	Gagal
5	Hijau Terang	83,9	27,2	0,45
6	Hijau	50,8	21,8	1,14
7	Biru Terang	13,7	6,9	0,02
8	Biru	14,0	5,5	0,05
9	Biru Tua	89,8	23,5	0,11
10	Ungu	17,4	26,2	0,23

Profil yang dihasilkan ternyata kombinasi Hitam-Merah tua, Hitam-Merah, Hitam-Orange dan Hitam-Kuning dinyatakan gagal karena resis hasil *exposure* terdevelop atau hilang. Selanjutnya grafik perbandingan kombinasi warna yang berhasil dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil kombinasi warna

Dari hasil data kombinasi warna maka diperoleh hasil terbaik pada kombinasi warna Hitam dan Biru terang (*Black-Light Blue*) dengan deviasi atau kekasaran tepi 13,7 μm .

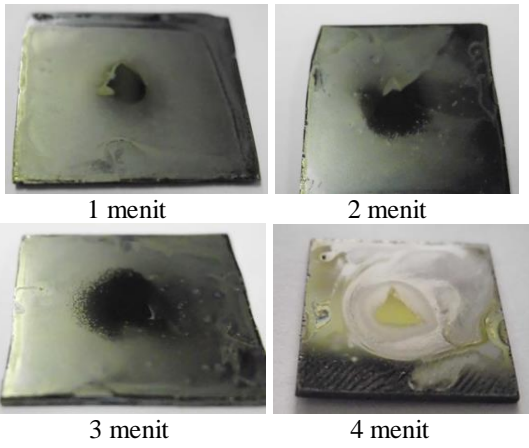
5. Variasi Jenis Projector

Variasi jenis *DLP projector* dilakukan untuk memastikan bahwa proses *maskless photolithography* dapat dilakukan pada semua jenis *DLP projector*. *DLP projector* kedua dipilih Infocus IN114A [12].

Karena sudah didapat data hasil percobaan pada projector pertama sehingga pada percobaan *projector* kedua tidak akan dilakukan variasi kombinasi warna dipilih kombinasi warna Hitam dan Biru terang (*Black-Light Blue*), kecepatan *spin coating* 2.000 rpm, *prebake* 2 menit dan *postbake* 3 menit, tetapi variasi lainnya tetap dilakukan diantaranya:

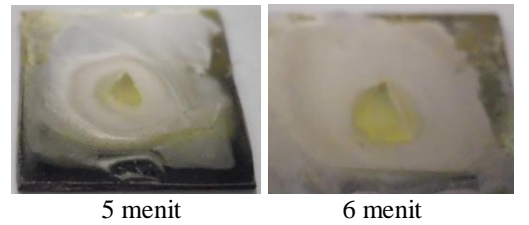
a. Waktu Exposure

Waktu *exposure* (penyinaran) dilakukan kembali karena *DLP projector* pertama dan kedua memiliki spesifikasi berbeda. Pada *projector* pertama *DLP Toshiba TDP-SC25* dihasilkan data *exposure* seperti pada gambar 9, 10, 11 dan 12.



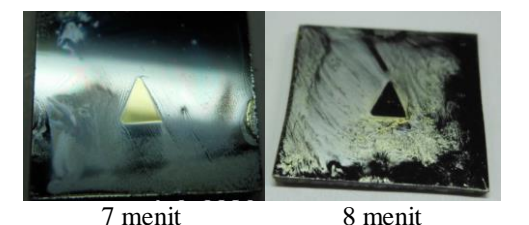
Gambar 9. Hasil *exposure DLP toshiba* 1 - 4 menit

Gambar 9 adalah hasil profil segitiga yang di *exposure* diatas *silicon* dengan waktu penginaran 1 sampai 4 menit kemudian di *develop*. Dari gambar terlihat waktu 1 sampai 3 menit profil segitiga terkelupas oleh *developer*, pada waktu *exposure* 4 menit profil mulai terlihat tapi belum sempurna.



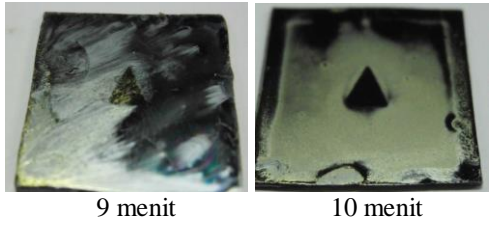
Gambar 10. Hasil *exposure DLP toshiba* 5 - 6 menit

Pada gambar 10 adalah hasil *exposure* dengan waktu 5 dan 6 menit, terlihat bentuk profil segitiga tetapi masih ada *resist* yang *terdevelop*.



Gambar 11. Hasil *exposure DLP toshiba* 7 - 8 menit

Gambar 11 adalah hasil *exposure* dengan waktu 7 dan 8 menit, terlihat bentuk profil sudah sesuai dengan model pada waktu 7 menit. Kemudian pada waktu 8 menit profil terbentuk tetapi *resist* bagian diluar profil tersisa.



Gambar 12. Hasil *exposure DLP toshiba* 9 - 10 menit

Gambar 12 adalah hasil *exposure* dengan waktu 9 dan 10 menit, pada kedua gambar terlihat profil terbentuk tetapi *resist* bagian luar ikut mengeras dan tidak hilang oleh proses *developing*.

Dari hasil pengambilan data disimpulkan waktu terbaik untuk proses *exposure DLP projector Toshiba TDP-SC25* adalah 7 menit. Setelah dapat waktu terbaik selanjutnya dilakukan di atas *PCB* dan sesuai dengan profil.

Kemudian dilakukan pengambilan data waktu *exposure* pada *DLP projector* kedua yaitu *Infocus IN114A*. Pada *projector* ini ditemukan data seperti pada gambar 13, 14, 15 dan 16.



Gambar 13. Hasil *exposure DLP Infocus* 2 menit

Pengambilan data pada *DLP projector* kedua dimulai dari 2 menit karena mengacu data percobaan pertama 4 menit waktu *exposure* profil baru terbentuk. Percobaan kedua tidak lagi diatas *silicon* tetapi dilakukan di papan *PCB* selanjutnya lakukan proses *developing* dan *eching* untuk melihat hasilnya. Ternyata pada *projector* kedua dengan waktu 2 menit profil sudah terbentuk seperti pada gambar 13, tetapi beberapa profil huruf belum terbentuk karena *resist* yang *terexposure* belum mengeras sehingga pada waktu *developing resist* tersebut terkelupas.



Gambar 14. Hasil *exposure DLP Infocus* 3 menit

Pada gambar 14 adalah hasil *exposure* 3 menit, terlihat profil huruf sudah terbentuk sesuai dengan model.



Gambar 15. Hasil *exposure* DLP Infocus 4 menit

Gambar 15 adalah hasil *exposure* 4 menit, profil huruf terbentuk semua tetapi pada bagian sisi huruf tidak halus. Kemudian pada sisi lain juga terdapat bercak ini disebabkan karena *resist* selain pada profil huruf sudah mengeras sehingga pada waktu dilakukan proses *etching* lapisan tembaga yang seharusnya terkikis terlindungi oleh *resist* yang tidak diinginkan tadi.



Gambar 16. Hasil *exposure* DLP Infocus 5 menit

Selanjutnya dilakukan proses *exposure* dengan waktu 5 menit dengan *projector* kedua. Pada gambar 16 profil huruf terbentuk tetapi *resist* yang tertinggal setelah proses *developing* semakin banyak. Kejadian ini juga dialami pada saat percobaan dengan *projector* pertama ketika waktu *exposure* melewati waktu terbaik.

Dari pengambilan data waktu terbaik *exposure* untuk DLP *projector* Infocus IN114A adalah 3 menit. Selanjutnya *projector* ini yang akan digunakan pada proses selanjutnya karena lebih cepat dalam pengambilan data.

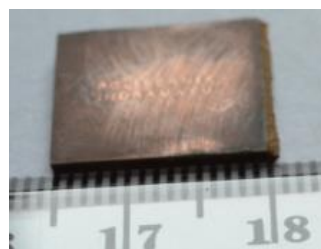
b. Waktu Developing

Pencarian waktu *developing* terbaik juga dilakukan karena akan mempengaruhi terkelupasnya cairan *resist* pada PCB. Tetapi hasil proses *developing* tidak dapat dilihat perbedaannya karena warna cairan *resist* dan tembaga hampir sama seperti pada gambar 17.



Gambar 17. Hasil proses *developing*

Sehingga untuk melihat perbedaan hasil proses *developing* terhadap waktu dilakukan proses *etching* pada masing-masing waktu seperti gambar 18, 19, 20 dan 21.



Gambar 18. Hasil *developing* 2 menit

Hasil *developing* 1 menit tidak terbentuk karena waktu yang sangat singkat, pada waktu *developing* 2 menit profil sudah terlihat tetapi karena *resist* masih banyak yang belum terkelupas oleh *developer* maka menutupi sebagian profil seperti pada gambar 18.



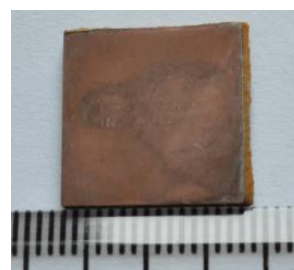
Gambar 19. Hasil *developing* 3 menit

Pada gambar 19 adalah hasil *developing* dengan waktu 3 menit, terlihat bentuk profil sudah sesuai model. Kemudian pada waktu 4 menit juga menghasilkan bentuk hasil yang hampir sama jika dilihat dengan mata.



Gambar 20. Hasil *developing* 5 menit

Pada gambar 20 adalah hasil proses *developing* dengan waktu 5 menit, terlihat profil mulai terkikis karena *resist* yang seharusnya tertinggal terangkat karena lamanya waktu *developing*. Hasil yang hampir sama juga pada waktu *developing* 6 menit.



Gambar 21. Hasil *developing* 7 menit

Ketika waktu *developing* ditambah menjadi 7 menit seperti gambar 21 hampir semua profil huruf tidak terbentuk karena *resist* sudah terangkat oleh cairan *developer* semua.

Sehingga dari pengambilan data variasi waktu *developing* terbaik adalah 3 – 4 menit.

Dengan data hasil percobaan kedua *projector* maka perbandingan parameter terbaik kedua jenis *DLP projector* dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Parameter *maskless photolithography DLP projector*

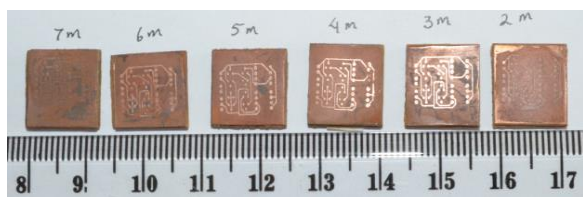
Jenis <i>DLP Projector</i>	Toshiba TDP-SC25	Infocus IN114A
<i>Prebake</i>	2 menit	2 menit
<i>Spin coating</i>	2.000 rpm	2.000 rpm
<i>Exposure</i>	5 menit	3 menit
<i>Developing</i>	5 menit	5 menit
<i>Postbake</i>	3 menit	3 menit
<i>Eching</i>	3 menit	3 menit

Dari tabel 2 diketahui jenis *DLP projector* Infocus IN114A lebih baik dari jenis Toshiba TDP-SC25, dilihat dari waktu *exposure* lebih cepat. Sehingga untuk proses selanjutnya dipilih *projector* jenis Infocus IN114A untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

6. Variasi Waktu Proses *Eching*

Proses *eching* dilakukan setelah proses *maskless photolithography* selesai tujuannya adalah untuk mengikis bahan yang tidak dibutuhkan. Karena tujuan awal penelitian ini adalah menemukan metode baru fabrikasi membentuk jalur listrik pada *PCB*, maka parameter terbaik proses *maskless photolithography* yang sudah didapat akan diaplikasikan pada *PCB*. Karena *PCB* memiliki lapisan tembaga pada salah satu bagian permukaannya sehingga cairan *echant* yang dapat mengikis salah satunya *Ferri Chloride* ($FeCl_3$).

Selanjutnya *PCB* hasil proses *visible light maskless photolithography* kedua jenis *DLP* disiapkan untuk proses *eching*, waktu *eching* dipilih dari 1 sampai 10 menit dengan hasil sebagai berikut: 1 sampai 2 menit tembaga belum terkikis; 3 sampai 4 menit tembaga sudah terkikis sebagian; 5 sampai 6 menit tembaga terkikis dan bagian yang terlindungi *resist* masih terbentuk; 7 sampai 10 menit tembaga yang tidak terlindungi *resist* terkikis tetapi bagian yang terlindungi *resist* juga ikut terkikis. Hasil proses *eching* dapat dilihat pada gambar 22.



Gambar 22. Hasil proses *eching*

Sehingga waktu terbaik proses *eching PCB* produk hasil *maskless photolithography* yaitu 5 atau 6 menit.

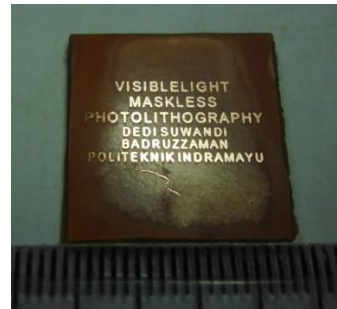
7. Aplikasi Pada *PCB*

Setelah mendapatkan hasil parameter terbaik tahapan *maskless photolithography* selanjutnya diaplikasikan ke *PCB* untuk mengetahui produk akhir dari proses tersebut. Dari profil yang berhasil dibuat dengan metode *Visible Light Maskless Photolithography* dengan cairan *echant ferric chloride* diantaranya, huruf dan alur sirkuit listrik.

a. Huruf



Gambar 23. Profil model huruf

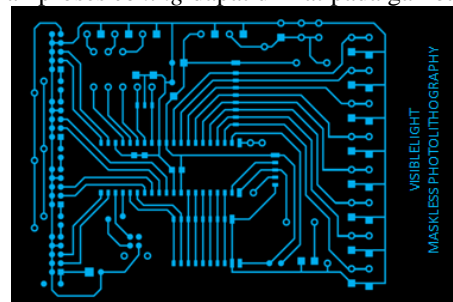


Gambar 24. Hasil *eching* model huruf

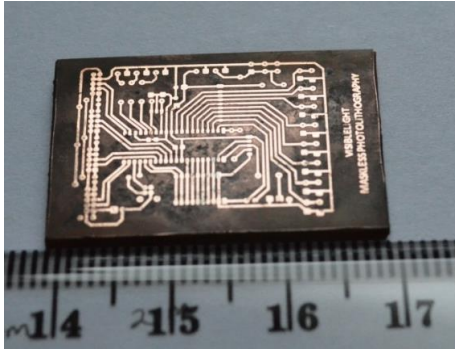
Pada pembuatan profil huruf model awal dapat dilihat pada gambar 23 dengan menggunakan jenis font Arial size 14 untuk 3 baris pertama dan size 11 pada 3 baris terakhir. Profil dibuat pada M.S. PowerPoint dengan latar belakang hitam dan huruf biru terang, kemudian hasil produk setelah dilakukan proses *eching* dapat dilihat pada gambar 24.

b. Alur Microcontroller

Pada percobaan kedua dipilih profil yang rumit yaitu profil model *microcontroller* seperti gambar 25, profil ini dibuat menggunakan software AutoCAD supaya dapat membuat profil garis, kotak dan lingkaran yang sesuai keinginan. Pada profil ini juga dilakukan kombinasi warna latar hitam dan profil biru terang, selanjutnya profil dimasukan ke M.S. PowerPoint untuk dipancarkan melalui *DLP projector*. Profil dibuat dengan panjang 9 cm dan tinggi 7 cm, kemudian hasil produk setelah dilakukan proses *eching* dapat dilihat pada gambar 26.



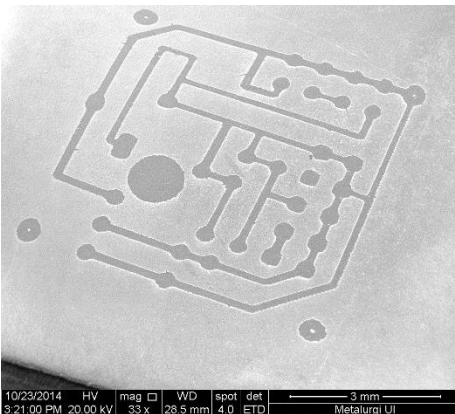
Gambar 25. Profil Model *microcontroller*



Gambar 26. Hasil *etching* model *microcontroller*

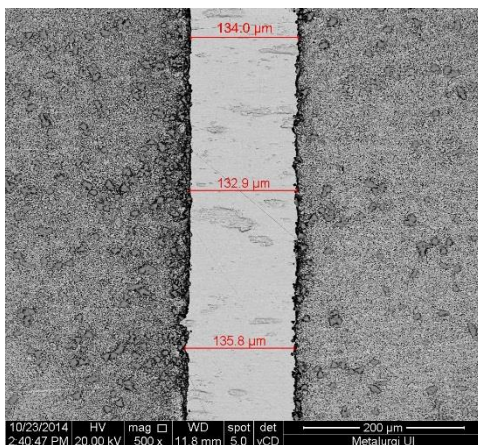
8. Pengukuran Hasil Produk PCB

Setelah kedua produk proses *visible light maskless photolithography* berhasil dibuat selanjutnya dilakukan pengukuran menggunakan *Scanning electron Microscope (SEM)* untuk melihat ukuran yang lebih teliti. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 27, 28 dan 29.



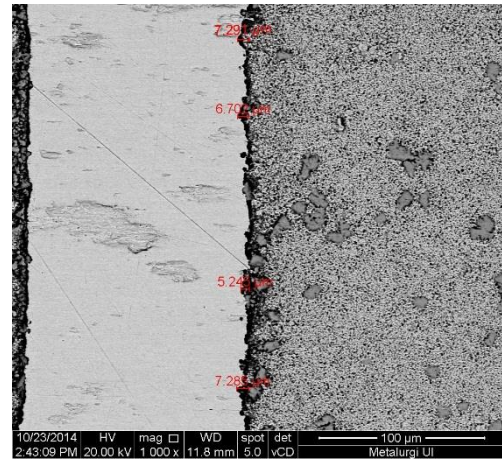
Gambar 27. Hasil SEM 33X

Pada gambar 27 dilakukan pembesaran 33 kali, terlihat seluruh jalur listrik pada PCB.



Gambar 28. Hasil SEM 500X

Gambar 28 adalah hasil pengukuran dengan pembesaran 500 kali, lebar jalur listrik yang dibuat adalah 132 μm.



Gambar 29. Hasil SEM 1.000X

Seperti terlihat pada gambar 29 pengukuran dilakukan dengan pembesaran 1.000 kali tujuannya adalah mengukur deviasi atau kerataan tepi jalur listrik pada PCB. Dari pengukuran dihasilkan deviasi dengan jarak rata-rata 6,6 μm.

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan tentang proses fabrikasi PCB menggunakan metode *Visiblelight Maskless Photolithography*, diambil kesimpulan diantaranya:

1. Metode *visible light maskless photolithography* menggunakan *DLP Projector* berhasil dilakukan dengan jenis Toshiba TDP-SC25 (1800 lumens, Contrast ratio = 2000:1) dan Infocus IN114A (2700 lumens, Contrast ratio = 4000:1).
2. Parameter terbaik *visible light maskless photolithography* didapatkan dari *DLP Projector* jenis Infocus IN114A dengan parameter posisi lensa pemfokus pembesaran 3X berjarak 3 cm dibawah *DLP proyektor* dan 14 cm diatas material uji papan PCB, menggunakan kombinasi warna hitam dan biru terang ($R=0, G=176, B=240$) dengan waktu *prebake* 2 menit, *spin* 2000 rpm, *exposure* 3 menit, *Develop* 5 menit, *Postbake* 5 menit dan *Eching* 5 menit.
3. Profil yang berhasil dibuat diantaranya: garis, huruf, alur listrik, dan bentuk *microcontroller*. Profil garis terkecil yang dapat dibuat yaitu 132 μm dan memiliki kekasaran tepi (*deviasi*) 6,6 μm.

Saran

Beberapa saran bagi pihak yang ingin menggunakan metode *Visiblelight Maskless Photolithography*, diantaranya:

1. Gunakan selalu alat pelindung diri terutama kaca mata anti UV dan sarung tangan pada saat pengambilan data.
2. Jika jenis *DLP Pjojector* yang digunakan berbeda dari kedua jenis projector yang sudah diuji, maka perlu mencari parameter terbaik projector tersebut seperti mencari waktu *exposure*, waktu *developing* dan waktu *eching*.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Triano, A., Collins, S., "Development of a PCB printer using an ultraviolet laser diode", Systems, Applications and Technology Conference (LISAT), IEEE Long Island, 2013, pp:1-6.
- [2] Aos Alwaidh, Laser processing of rigid andflexible PCBs, Optics and Lasers in Engineering (58), 2014, pp 109–113.
- [3] Arturo Moreno-Baez, Processing Gerber files for manufacturing printed circuit boards, Procedia Engineering, Volume 35, 2012, Pages 240–244.
- [4] Y. Hirai, Y. Inamoto, K. Sugano, T. Tsuchiya, O. Tabata, "Moving-mask UV Lithography for 3-dimensional Positive-And Negative-Tone Thick Photoresist Micromanufacturing", Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference Transducers International, Lyon,2007 pp: 545 - 548.
- [5] A. Bertsch, H. Lorenz, P. Renaud, 3D microfabrication by combining microstereolithography and thick resist UV lithography, International Journal of Sensors and Actuators 73, 1998, p: 14–23.
- [6] S.M.P. Kalaiselvi, Tan, T.L. ; Talebitaher, A. ; Lee, P, "Neon Soft X-Ray Lithography source Base On Low Energy Fast Miniature Plama Focus Device" Plasma Sciences (ICOPS) held with IEEE International Conference on High-Power Particle Beams (BEAMS), Washington DC, 2014, pp:1-6
- [7] W. Ehrfeld, A. Schmidt, 1998, Recent developments in deep X-ray lithography, J. Vac. Sci. Technol. B 16 Mechanical Systems, Oiso, Japan, pp. 81–85.
- [8] Dhanesh Kattippambil Rajan, Jukka-Pekka Raunio, Markus Tapani Karjalainen, Tomi Rynänen, Jukka Lekkala, 2013 "Novel method for intensity correction using a simple maskless lithography device, Sensors and Actuators A 194, 2013, p:40– 46.
- [9] Wolfwikis(2015,Sep,16)http://wikis.lib.ncsu.edu/index.php/Soft_Lithography
- [10] Sigmaaldrich (2015, Sep, 16) <http://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/protocols/materials-science/negative-photoresist.html>
- [11] Toshiba (2015, Sep, 10) <http://www.cnet.com/products/toshiba-tdp-sc25-dlp-projector-series/specs/>
- [12]] Infocus (2015, Sep, 10) <http://www.infocus.com/projectors/IN114#specs>