



**STUDI PEMBUATAN POLA PADA KUARSA QCM  
(QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE)  
DENGAN TEKNIK WET ETCHING**

**SKRIPSI**

oleh :  
**IRNA NOVA LASTRIA**  
**125090300111032**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG**

**2016**



**STUDI PEMBUATAN POLA PADA KUARSA QCM  
(QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE)  
DENGAN TEKNIK WET ETCHING**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika

oleh :  
**IRNA NOVA LASTRIA**  
**125090300111032**



**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**MALANG**

**2016**



**LEMBAR PENGESAHAN**

**STUDI PEMBUATAN POLA PADA KUARSA QCM  
(QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE)  
DENGAN TEKNIK WET ETCHING**

oleh :  
**IRNA NOVA LASTRIA**  
**125090300111032**

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal .....  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Dr. Eng. Masruroh, S.Si., M.Si**  
**NIP. 19751231 200212 2002**

**Ir. D.J. Djoko H.S, M.Phil., Ph.D**  
**NIP. 19660131 199002 1001**

**Mengetahui,**  
**Ketua jurusan fisika**  
**FMIPA Universitas Brawijaya**

**Sukir Maryanto, Ph. D**  
**NIP. 19710621 199802 1001**

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

**Nama** : Irna Nova Lastria  
**NIM** : 125090300111032  
**Jurusan** : Fisika, Universitas Brawijaya  
**Penulis Skripsi Berjudul** : Studi Pembuatan Pola pada Kuarsa QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) dengan Teknik *Wet Etching*

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaksud di isi dan tertulis didaftar pustaka dalam Skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 23 Agustus 2016  
Yang Menyatakan,

Irna Nova Lastria  
NIM. 125090300111032

# STUDI PEMBUATAN POLA PADA KUARSA QCM (QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE) DENGAN TEKNIK WET ETCHING

## ABSTRAK

Etsa adalah proses pengikisan permukaan dengan secara kimia untuk membentuk pola pada permukaan material. Pada penelitian ini, teknik etsa (*wet etching*) digunakan untuk membentuk pola di atas permukaan Kristal kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ). Untuk proses etsa ini digunakan masking dari AuPd yang dideposisi dengan teknik *sputtering*. Proses etsa dilakukan dengan menggunakan larutan *potassium hidroksida* (KOH) dan larutan *hydrogen peroksida* (HF) dengan variasi konsentrasi sebesar 25%, 30%, dan 35%. Untuk melihat Permukaan yang dietsa dan laju etsa diobservasi dengan menggunakan *white profilometer* TMS 1200 $\mu$ lab. Hasil pengukuran laju etsa diperoleh untuk larutan KOH sebesar 0,11  $\mu\text{m}/\text{jam}$  dan larutan HF sebesar 0,25  $\mu\text{m}/\text{jam}$  untuk masing-masing konsentrasi 35%. Sedangkan pembentukan profil pada permukaan kristal kuarsa yang paling baik diperoleh pada larutan KOH dengan konsentrasi sebesar 30%.

Kata kunci : laju etsa, Profil, HF, KOH

# STUDY OF THE FABRICATION OF PATTERN ON THE QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE (QCM) BY USING WET ETCHING PROCESS.

## ABSTRACT

Etching is the process of removal material by chemicals process to create patterned holes on the surfaces. In this study, the wet etching process was used to create pattern formation on SiO<sub>2</sub> quartz crystal. For the etching process, an AuPd mas was used to cover the un-etched surfaces. The AuPd mask was deposited by sputtering technique. The etching process was carried out using Hydrogen fluoride (HF) and potassium hydroxide (KOH) solution with varying of each concentration are 25%, 30% and 35% at temperature of 80°C for two hours. The etched surfaces were observed by using white profilometer TMS 1200. The results showed that maximum of the etching rate was 0.11 μm/hour with 35% KOH. On the other hand, the maximum etching rate using HF solution was 0.25 μm/hour. The best anisotropic pattern formation was found in 30% wt KOH solution with homogeneity etched surface.

Keywords : Etching Rate, Profile, Hydrogen Fluoride,  
Potassium Hydroxide



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan yang Maha Esa karena berkat limpahan rahmat, hidayah dan anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Pembuatan Pola pada Kuarsa QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) dengan Teknik *Wet Etching*.”

Secara umum tulisan ini berisi teknik pembentukan pola yang pada kristal *Quartz Crystal Microbalance*, pola yang terbentuk akibat larutan *etchant* yang digunakan dari sisi laju *etching* dan kehomogen profil.

Selama penelitian hingga penulisan laporan tugas akhir, tidak sedikit kesulitan yang dialami penulis. Oleh itu, penulis ingin berterimakasih kepada :

1. Tuhan yang Maha Esa karena atas berkah-Nya yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran dalam pelaksanaan penelitian hingga penulisan naskah tugas akhir.
2. Kedua Orang Tua yang telah memberikan dukungan baik moral maupun materiil dari awal sampai akhir perkuliahan hingga pelaksanaan skripsi
3. Keluarga besar Jurusan Fisika dimulai dari Ketua Jurusan, Dosen-dosen, Staff Tata Usaha, Ketua Laboratorium dan para Laboran, yang telah memfasilitasi semua yang penulis butuhkan selama pelaksanaan skripsi.
4. Ibu Dr. Eng. Masruroh, S.Si., M.Si serta Bapak Ir. D.J. Djoko H.Santjojo, M.Phil., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, dan waktu.
5. TIM Penelitian ASMAT (Advanced System and Material Technology) yang telah membiayai penelitian untuk penulis.
6. Bapak Hari Arief Dharmawan, M.Eng. Ph. D, selaku penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan yang sangat berguna untuk menjadikan laporan skripsi ini menjadi lebih baik.
7. Teman-teman seperjuangan angkatan 2012, untuk semua pertemanan yang telah diberikan selama perkuliahan dan pelaksanaan skripsi



REPOSITORY.UB.AC.ID

UNIVERSITAS  
BRAWIJAYA



REPOSITORY.UB.AC.ID

UNIVERSITAS  
BRAWIJAYA



8. PMK Philadelphia FMIPA-UB, JDPPM Kota Malang, Pinopar Op.Joni, dan Pinopar Op Sogar yang selalu memberikan doa, dukungan dan semangat yang luar biasa untuk penulis

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir yang telah disusun ini jauh dari kata sempurna. Saran dan kritik dari pembaca sangat penulis harapkan untuk hasil yang lebih baik di kemudian hari.

Malang, 23 Agustus 2016

**Penulis**



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PERNYATAAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTARLAMPIRAN.....	xii
BABI PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Quartz Crystal Microbalance</i> (QCM).....	5
2.2 <i>Etching</i> .....	7
2.3 <i>Wet Etching</i> .....	10
2.4 Larutan <i>Etching</i> .....	13
2.5 TMS.....	15
BAB III METODOLOGI.....	19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	19
3.3 Tahap Penelitian.....	19
3.3.1 Diagram Alir.....	20



3.4	Prosedur Penelitian.....	21
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>29</b>
4.1	Pengaruh Larutan HF Terhadap Pola.....	29
4.2	Pengaruh Larutan KOH Terhadap Pola.....	33
4.3	Pengaruh <i>Etching</i> Terhadap QCM.....	48
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>51</b>
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran.....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>53</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>55</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	AT-cut Kristal Kuarsa .....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Resonator Kristal Kuarsa .....	6
<b>Gambar 2.3</b>	Ilustrasi Menentukan <i>Etch Rate</i> .....	8
<b>Gambar 2.4</b>	Sifat Profil <i>Etching</i> .....	9
<b>Gambar 2.5</b>	Kekasaran Permukaan Bahan .....	10
<b>Gambar 2.6</b>	Ilustrasi Selektivitas .....	11
<b>Gambar 2.7</b>	Tahap <i>Wet Etching</i> .....	11
<b>Gambar 2.8</b>	Ilustrasi Profil <i>Wet Etching</i> pada <i>Etching</i> .....	13
<b>Gambar 2.9</b>	Ilustrasi Profil <i>Wet Etching</i> pada <i>Masking</i> .....	13
<b>Gambar 2.10</b>	Struktur KOH .....	15
<b>Gambar 2.11</b>	Komponen TMS .....	16
<b>Gambar 2.12</b>	Jalan Sinar untuk Mendapatkan Pengamatan .....	17
<b>Gambar 2.13</b>	: Proses <i>Scanning</i> TMS .....	17
<b>Gambar 2.14</b>	: Penyimpanan Informasi Intensitas Oleh CCD .....	17
<b>Gambar 2.15</b>	: Penyimpanan Informasi Intensitas Oleh Menyatakan Hasil Pengukuran Dalam Bentuk Diagram Korelasi .....	18
<b>Gambar 3.1</b>	Alur Penelitian .....	20
<b>Gambar 3.2</b>	<i>Sampel</i> .....	21
<b>Gambar 3.3</b>	Bahan yang digunakan .....	22
<b>Gambar 3.4</b>	Proses <i>Sputtering</i> .....	22
<b>Gambar 3.5</b>	Proses <i>Etching</i> .....	24
<b>Gambar 3.6</b>	Penghapusan <i>Masking</i> .....	24
<b>Gambar 3.7</b>	Pengamatan Pola .....	25
<b>Gambar 3.8</b>	Pelapisan Elektroda .....	26
<b>Gambar 3.9</b>	Ilustrasi <i>Etch</i> .....	26
<b>Gambar 3.10</b>	Frekuensi yang Bersifat Rigid .....	27
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik Hubungan Laju <i>Etching</i> dengan Konsentrasi HF selama 1 Jam Perendaman .....	29
<b>Gambar 4.2</b>	Morfologi Hasil <i>Etching</i> HF 35% selama 1 jam dengan menggunakan Mikroskop Optik .....	30
<b>Gambar 4.3</b>	Morfologi Hasil <i>Etching</i> HF 35% selama 1 jam dengan menggunakan TMS .....	30
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Hubungan Laju <i>Etching</i> dengan Konsentrasi HF selama 2 Jam Perendaman .....	31

<b>Gambar 4.5</b> Morfologi Hasil <i>Etching</i> HF 25% selama 1 jam dengan menggunakan Mikroskop Optik .....	32
<b>Gambar 4.6</b> Morfologi Hasil <i>Etching</i> KOH 35% selama 1 jam dengan menggunakan Mikroskop Optik .....	33
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Hubungan Laju <i>Etching</i> dengan Konsentrasi KOH selama 2 Jam Perendaman .....	34
<b>Gambar 4.8</b> Morfologi Hasil <i>Etching</i> KOH 25% perlakuan ke-1 dengan menggunakan TMS .....	35
<b>Gambar 4.9</b> Morfologi Hasil <i>Etching</i> KOH 25% perlakuan ke-2 dengan menggunakan TMS .....	36
<b>Gambar 4.10</b> Morfologi Hasil <i>Etching</i> KOH 25% perlakuan ke-3 dengan menggunakan TMS .....	37
<b>Gambar 4.11</b> Morfologi Hasil <i>Etching</i> KOH 30% perlakuan ke-1 dengan menggunakan TMS .....	39
<b>Gambar 4.12</b> Morfologi Hasil <i>Etching</i> KOH 30% perlakuan ke-2 dengan menggunakan TMS .....	40
<b>Gambar 4.13</b> Morfologi Hasil <i>Etching</i> KOH 35% perlakuan ke-1 dengan menggunakan TMS .....	41
<b>Gambar 4.14</b> Morfologi Hasil <i>Etching</i> KOH 35% perlakuan ke-2 dengan menggunakan TMS .....	42
<b>Gambar 4.15</b> Morfologi Hasil <i>Etching</i> KOH 35% perlakuan ke-3 dengan menggunakan TMS .....	43
<b>Gambar 4.16</b> Struktur Kristal SiO <sub>2</sub> .....	45
<b>Gambar 4.17</b> Morfologi Hasil <i>Etching</i> KOH 25% mempertahankan <i>masking</i> dengan menggunakan TMS .....	45
<b>Gambar 4.18</b> Morfologi Hasil <i>Etching</i> KOH 35% mempertahankan <i>masking</i> dengan menggunakan TMS .....	46
<b>Gambar 4.19</b> Grafik Hubungan Kekasaran dengan Konsentrasi KOH selama 2 Jam Perendaman .....	31
<b>Gambar 4.20</b> Morfologi Hasil <i>Etching</i> selama 2 jam KOH konsentrasi 25%, 30%, 30% dengan menggunakan Mikroskop Optik .....	47
<b>Gambar 4.21</b> Morfologi Lapisan Ag sebagai elektroda .....	48

DAFTAR TABEL

TABEL 4. 1 Besar Nilai Kekasaran *Etching* HF .....32

TABEL 4. 2 Hubungan Tebal QCM Terhadap Nilai Frekuensi .....48





## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b>	Tabel Hubungan Konsentrasi <i>Etchant</i> KOH Dengan Laju Etching.....	55
<b>Lampiran 2</b>	Tabel Tebal lapisan <i>masking</i> yang terkikis (KOH + SiO <sub>2</sub> ).....	56
<b>Lampiran 3</b>	Tabel Kekasaran pada Daerah Etching Hasil KOH.....	57
<b>Lampiran 4</b>	Tabel Kekasaran pada Daerah <i>Masking</i> Hasil KOH.....	58
<b>Lampiran 5</b>	Tabel Hubungan Konsentrasi <i>Etchant</i> HF dengan Laju <i>Etching</i> .....	59
<b>Lampiran 6</b>	Tabel Kekasaran Permukaan Akibat HF.....	60



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Biosensor adalah perangkat uji pendeteksi zat dengan memanfaatkan biomolekul yang dihubungkan dengan transduser. Biosensor sangat dipengaruhi oleh proses interfasial antara lapisan permukaan sensor dan analit (Kröger et al., 1998). Sensor QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) sering dimanfaatkan sebagai biosensor. Kelebihan yang dimiliki oleh QCM sebagai biosensor adalah tingkat sensitivitas dan selektivitas yang tinggi secara *real time* dalam monitoring terjadinya perubahan massa (Jie, 2006), dan properti *piezoelektrik*. Properti *piezoelektrik* terjadi ketika sebuah material diberi tekanan akan timbul listrik. Dalam pemanfaatan QCM sebagai biosensor pendeteksi biomolekul, maka perlu dilakukan pelapisan bahan polimer di atas permukaannya. Pelapisan tersebut dapat terjadi immobilisasi antigen dan antibodi pada permukaan sensor QCM.

Biosensor merupakan salah satu sensor yang sedang berkembang di jurusan Fisika Universitas Brawijaya. Penelitian mengenai QCM sebagai biosensor dilakukan oleh HS and Masruroh (2014) yaitu pelapisan ZnPc di atas polistiren dengan teknik evaporasi. Hasil dari penelitian tersebut adalah ketebalan lapisan ZnPc yang dipengaruhi oleh konsentrasi larutan dan viskositas dari masing-masing larutan polistiren. Semakin tebal lapisan yang terbentuk, maka semakin besar nilai dari perubahan frekuensi, akan tetapi nilai frekuensi akhir QCM setelah dilapisi turun dibandingkan dengan frekuensi awal QCM. Penurunan nilai frekuensi terjadi karena efek redaman gelombang yang merambat pada permukaan QCM.

Menurut Sauerbrey (1959) Kecepatan respon sensor, jumlah molekul yang terikat di atas permukaan, dan ketebalan wafer QCM berpengaruh terhadap nilai frekuensi. Nilai frekuensi QCM berasal pada daerah resonator QCM atau daerah pusat QCM yang biasa disebut dengan elektroda. Nilai frekuensi pada sensor QCM dapat ditingkatkan dengan cara ketebalan pada

daerah pusat getar dikikis dan ketebalan pada daerah lain dari kristal kuarsa dipertahankan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Seidel et al., (1990), proses *patterning* dilakukan dengan cara QCM dilapisi Au/Cr dengan cara *sputtering* sebagai lapisan dasar dan dilapisi photoresist S 1350 dengan cara *pattern* sebagai lapisan kedua. Kemudian dilakukan *wet etching* pada suhu 85°C dengan larutan larutan *ammonium bifluoride*. Hasil dari penelitian tersebut adalah daerah resonator terjadi pengikisan, sehingga didapat nilai laju *etching*.

Dengan demikian munculah ide untuk melakukan sebuah penelitian mengenai Studi Pembuatan Pola Pada Kuarsa QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) dengan Teknik *Wet Etching*. Pembuatan pola (*patternig*) merupakan cara yang digunakan untuk mengikis ketebalan, *patterning* dibagi menjadi dua teknik yaitu *wet etching* dan *dry etching*. *Patterning* dilakukan pada QCM merupakan kristal SiO<sub>2</sub> dengan bagian elektroda yang sudah dihilangkan terlebih dahulu. AuPd digunakan sebagai *masking* dengan teknik pelapisan *sputtering*. Pemilihan *masking* AuPd memiliki sifat tahan terhadap panas sehingga tidak mudah korosif, dan AuPd hanya dapat bereaksi dengan klor, flor, dan aquaregia sehingga memudahkan dalam pemilihan larutan *etchant*. Larutan *etchant* yang digunakan adalah larutan KOH dan HF, dikarenakan KOH dan HF bereaksi reaktif terhadap SiO<sub>2</sub>. Teknik dalam pembuatan pola yang dipilih adalah *wet etching*. Kelebihan dari *wet etching* dibandingkan *dry etching* adalah laju *etching* tinggi, dan bersifat selektif terhadap sebagian bahan. Laju *etching* dapat dikontrol berdasarkan konsentrasi larutan *etchant*, suhu cairan, durasi perendaman, dan luas substrat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dipecahkan pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pola yang terbentuk pada kristal QCM dengan teknik *wet etching* ?
2. Bagaimana pengaruh larutan *etchant* terhadap pola yang terbentuk ?



3. Bagaimana pengaruh *etching* terhadap QCM ?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diterapkan pada penelitian ini diantaranya

1. Larutan *etchant* yang digunakan berupa KOH dan HF
2. Konsentrasi larutan *etchant* yang digunakan 25%, 30%, dan 35 %
3. Proses *wet etching* dilakukan pada suhu 80°C selama 2 jam
4. *Masking* yang digunakan AuPd
5. Kecepatan *stirrer* diabaikan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas adapun tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mempelajari pembuatan pola pada kristal QCM dengan teknik *wet etching*.
2. Mempelajari pengaruh larutan *etchant* terhadap pola yang terbentuk pada QCM
3. Mempelajari pengaruh *etching* terhadap QCM

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini memberikan informasi mengenai dampak dari modifikasi permukaan pada QCM sebagai sensor dengan teknik *wet etching*.

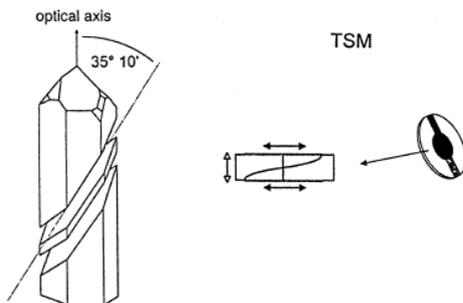


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Quartz Crystal Microbalance (QCM)*

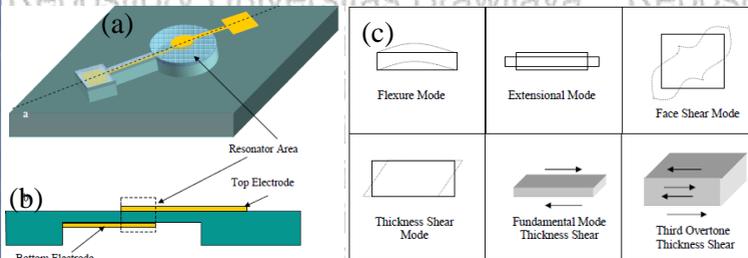
*Quartz Crystal Microbalance (QCM)* merupakan suatu device untuk sensor massa dengan kemampuan untuk mengukur perubahan massa yang sangat kecil pada resonator *quartz crystal* pada suatu *real-time*. QCM terbuat dari bahan kristal silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ). Kristal kuarsa dapat dipotong dengan sudut yang berbeda yang dapat menghasilkan tipe kristal dengan *property* spesifik. Kristal kuarsa ini mempunyai sifat material unik yaitu mampu menghasilkan tegangan listrik ketika diberi tekanan mekanikal dan juga sebaliknya, dimana sifat ini dikenal dengan nama efek piezoelektrik. Sifat inilah yang dimanfaatkan untuk menghasilkan resonansi listrik-mekanik, sehingga kristal akan bergetar pada frekuensi alami tertentu jika diberi tegangan listrik bolak-balik. Frekuensi alami ini ditentukan oleh potongan dan dimensi keping kristal, yang ditetapkan pada saat pembuatan.

Biasanya potongan kristal kuarsa yang sering dilakukan disebut AT-cut. AT-cut merupakan salah satu resonator kristal kuarsa yang memiliki koefisien refleksi energi akustiknya paling besar, sehingga ketika digunakan dalam cairan maka kristal tersebut dapat tetap bervibrasi. Umumnya pada frekuensi 5-20 MHz, kristal kuarsa dipotong sebesar persepuluh mm dari ketebalan pada sudut  $35^\circ$  dari axis Z sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Marx, 2003).



Gambar 2. 1 AT-cut Kristal kuarsa  
(Marx, 2003)

Potongan kristal kuarsa diapit diantara dua elektroda. Dimana elektroda yang biasanya digunakan logam Ag atau pun Au yang diendapkan pada kristal kuarsa. Ketika energi listrik diaplikasikan pada sepasang elektroda yang ada di antara kristal kuarsa maka gaya mekanik akan dihasilkan oleh efek piezoelektrik atau disebut juga mengalami deformasi geser (Goyal, 2006). Selama deformasi, kedua permukaan bergerak secara paralel tetapi arahnya berlawanan Gambar 2.2, dengan demikian menghasilkan gelombang akustik yang merambat pada kristal yang arahnya tegak lurus dengan permukaan Kristal (Thickness Shear Mode).



Gambar 2. 2 (a) resonator 3D pada kristal kuarsa,  
(b) resonator 2D pada kristal kuarsa,  
(c) macam getaran kristal kuarsa  
(Goyal, 2006)

Penggunaan kristal kuarsa sebagai sensor massa adalah berdasarkan persamaan Saurebrey yang menunjukkan hubungan antara frekuensi resonansi kristal dan deposisi massa di atas elektrodanya (Sharma, et.al, 2011). Persamaan tersebut menghubungkan perubahan frekuensi kristal dengan perubahan massa yang melekat di atasnya. Akan tetapi persamaan tersebut tidak berlaku pada massa yang terdeposisi tidak tepat diatas elektroda. Sehingga dengan mengetahui perubahan frekuensi yang terukur maka perubahan massa pun dapat diketahui.

$$\Delta f = \frac{-2f_0^2 \Delta m}{A\sqrt{\rho\mu}} \quad (2.1)$$

dimana  $\Delta f$  merupakan perubahan frekuensi (Hz),  $f_0$  adalah frekuensi awal (Hz),  $\Delta m$  adalah perubahan massa (g),  $A$  adalah daerah piezoelektrik kristal ( $m^2$ ),  $\rho$  adalah densitas kristal ( $2,684 \text{ g/cm}^3$ ),  $\mu$  adalah modulus kuarsa ( $2,947 \times 10^{11} \text{ g/cm.s}^2$ ).

Sensitivitas QCM dalam mengukur massa ditentukan oleh rasio massa terukur dan massa keseluruhan bagian yang bervibrasi pada daerah aktifnya. Yang dimaksud dengan daerah aktif vibrasi pada QCM adalah daerah resonator Gambar 2.2a. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk mengurangi ketebalan dari resonator kristal. Frekuensi dasar resonator TSM tergantung pada ketebalan ( $t$ ) sebagai berikut (Sauerbrey, 1959):

$$f_0 = \frac{1}{2t} \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$

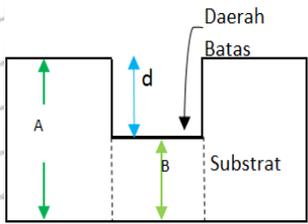
berdasarkan persamaan (2.2), dimana ketebalan QCM akan memberikan pengaruh terhadap frekuensi yang dihasilkan yang berarti memberikan pengaruh juga terhadap sifat viscoelastic, mechanical, and dielectric pada QCM. Dengan demikian, daerah getaran tipis harus diproduksi sekecil mungkin, karena daerah yang tipis memiliki kekuatan lentur yang relatif tinggi. Pengikisan dapat dilakukan dengan *etching*.

## 2.2 Etching

*Etching* merupakan salah satu teknik modifikasi permukaan dengan cara mengikis atau penghapusan permukaan pada skala nm hingga  $\mu\text{m}$ . Proses *etching* terjadi dimana bahan ditransfer melalui batas fase. Karakteristik umum dari *etching* adalah penghapusan atom atau molekul. Penghapusan tersebut disebabkan oleh gerakan transfer momentum (proses dalam ruang hampa *etching*) atau dengan gerakan brown dalam gradien konsentrasi (difusi). Dengan transfer momentum oleh energi, proses laju partikel *etching* independen dari kecepatan gerakan partikel tunggal permukaan. Tingkat *etching* ditentukan dengan dampak dari jumlah partikel terpisah per partikel padat. Laju *etching* semakin tinggi maka semakin besar molekul mobilitas partikel yang akan diangkut (Köhler, 2008).

$$v = \frac{d}{t} \quad (2.3)$$

dimana  $d$  merupakan selisih antara tebal permukaan asli (A) dengan tebal permukaan yang sudah ter-*etching* (B) atau yang disebut sebagai daerah batas,  $t$  adalah waktu yang digunakan dalam proses *etching* (sekon), sehingga  $v$  adalah laju *etching* ( $\mu\text{m/s}$ ) (Frühauf, 2005).



Gambar 2. 3 Ilustrasi Menentukan *Etch Rate* pada Daerah *Etching*

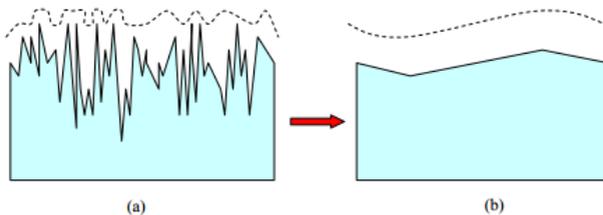
Ketika substrat diserang oleh *etchant* cair atau uap, bagian substrat yang terkikis dengan substrat asli akan membentuk pola. Pola yang dihasilkan bersifat anisotrop dan isotrop. Sifat tersebut dibedakan berdasarkan aliran peng*etching*nya seperti pada *etching* basa maka berupa aliran cairan terhadap bahan, sedangkan pada *dry etching* maka berupa aliran gas yang digunakan terhadap bahan. *Etching* bersifat isotropik berarti arah aliran kesegala arah, sedangkan *etching* bersifat anisotropik aliran yang terjadi hanya dalam bidang vertikal yang searah. Pada sifat isotropik dapat dikendalikan oleh suhu, konsentrasi, dan waktu *etching*.

	Wet etch	Plasma (dry) etch
Isotropic		
Anisotropic		

Gambar 2. 4 Ilustrasi Sifat Profil *Etching* (Maluf and Williams, 2004)



Morfologi permukaan *etching* akan tergantung dari materi yang akan di-*etching*. Pada umumnya *etching* yang bersifat anisotropik lebih menghasilkan kekasaran tinggi dibandingkan dengan *etching* yang bersifat isotropik. Ketika suatu bahan memiliki kekerasan awal yang tinggi maka kemungkinan besar pada saat proses *etching* kekasaran bahan mendekati nol atau sebaliknya, hal tersebut terjadi pada saat difusi. Seperti Gambar 2.5 (a) adalah kekasaran awal dari bahan yang akan di-*etching* maka ketika sebagian bahan dilindungi oleh bahan lain, maka daerah yang ter-*etching* kekasarannya akan lebih menurun dibandingkan daerah yang dilindungi. Hal tersebut dikarenakan molekul etchant (larutan/uap) akan lebih banyak menyebar pada bagian atas bukit dibandingkan pada bagian bawah lembah, sehingga bukit akan membentuk ukiran lebih cepat dibandingkan lembah dan permukaan menjadi halus. Kekasaran permukaan dapat diukur dengan stylus profilometry, AFM, TMS. Berdasarkan pengontrolan *etching*, rata-rata kekasaran permukaan kristal yang terbaik lebih besar dari 100nm. Rata-rata kekasaran pada daerah resonator akan membuat quartz kristal akan lebih sensitif karena luas permukaan meningkat menjadi volume (Goyal, 2006).



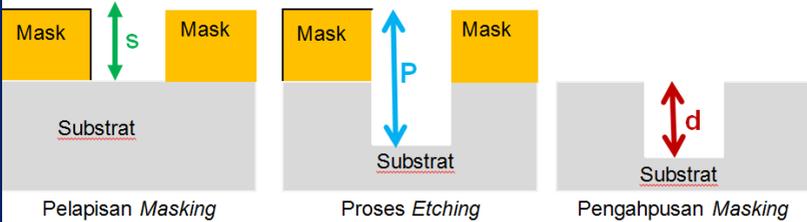
Gambar 2. 5 Kekasaran Permukaan Bahan

a) Kekasaran Awal, (b) Kekasaran setelah proses *etching* (Goyal, 2006).

Pada proses *etching* ada bagian wafer yang tidak ingin ter-*etching*, oleh karena itu bagian tersebut harus dimasking. Masking merupakan bahan pelindung daerah substrat yang tidak ingin di-*etching*, masking yang biasa digunakan berupa photoresist, logam, oksida, nitrida, atau bahan lainnya yang

bersifat tidak bereaksi terhadap *etchant* (berupa uap pada *dry etching*, dan berupa larutan pada *wet etching*). Persentasi masking yang tidak bereaksi terhadap *etchant* kemungkinan kecil. Oleh karena itu dibutuhkan yang disebut dengan *selectiv etching*. Parameter "selektivitas" adalah rasio tingkat etch dari bagian terkena wafer dengan tingkat etch dari lapisan *masking*. parameter ini sangat penting untuk proses MEMS sejak cetak *etching* biasanya dalam diperlukan untuk fabrikasi perangkat MEMS. Selektivitas dapat dihitung dengan cara beda ketinggian setiap proses yang dilakukan seperti pelapisan *masking*, *etching*, dan penghapusan *masking*.

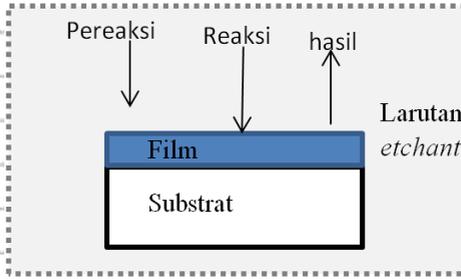
Selektiv *etching* dapat diilustrasikan pada Gambar 2.6, dimana S merupakan tebal masking awal sebelum dilakukan treatment *etching*, P merupakan tebal substrat-*masking* setelah proses *etching*, dan d merupakan tebal substrat yang ter-*etching*. Dimana selisih dari p dengan d merupakan tebal *masking* yang mampu bertahan selama proses *etching*.



Gambar 2. 6 Ilustrasi Selektivitas

### 2.3 Wet Etching

*Wet etching*, merupakan proses penghapusan material dari permukaan suatu bahan dengan cara merendamkan substrat dalam cairan kimia seperti Gamba2.7. *Wet Etching* dibagi menjadi tiga bagian antara lain *etching* luar-currentless, elektrokimia, fotokimia dan fotoelektrokimia. Tiga tahap yang terjadi pada *wet etching* adalah larutan *etching* berdifusi pada bagian yang akan dihilangkan, terjadinya reaksi redoks maka cairan yang terkena bahan yang tidak terlindungi akan hilang oleh gas disekitarnya, dan akibat difusi muncul unsur baru yang dapat bereaksi dengan permukaan atau bahan bahan yang terlindungi (Richard, 2002).

Gambar 2. 7 Tahap *wet etching*

*Wet etching* bekerja sebagai proses kimia dan bukan proses fisik. Pengikisan substrat terjadi akibat besarnya kecepatan reaksi yang dihasilkan oleh konsentrasi larutan *etchant*. Laju reaksi dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya adalah luas permukaan, konsentrasi pereaksi, tekan, diantaranya adalah luas permukaan, konsentrasi pereaksi, tekan, temperatur dan katalis. Pada umumnya reaksi akan lebih cepat ketika suhu dinaikan, hal ini terjadi karena terdapat kesetimangan reaksi antara reaktan yang mengikat (Nayak et al., 2012). Oleh karena itu menaikkan suhu reaksi akan membuat energi kinetik molekul-molekul dalam suatu reaksi akan bergerak lebih cepat sehingga memiliki energi yang lebih besar dalam difusi. Energi kinetik minimum dibutuhkan partikel yang mengikat untuk mendorong reaktan menghasilkan reaksi disebut energi aktivasi dimana nilainya berdasarkan persamaan :

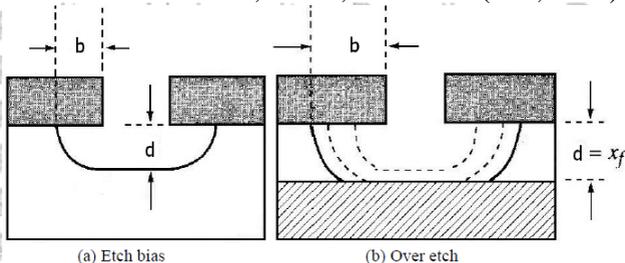
$$\log k = \log A - \frac{E_{act}}{2.303RT} \quad (2.4)$$

dimana semakin rendah energi aktivasi maka semakin cepat laju reaksinya karena molekul-molekul semakin mudah untuk melakukan reaksi (Upadhyay, 2006).

Teknik *wet etching* menghasilkan sudut selektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknik *dry etching* serta memiliki waktu etch rate yang lebih cepat dibandingkan dengan yaitu sekitar 6  $\mu\text{m}/\text{menit}$  sedangkan *dry etching* sekitar 1  $\mu\text{m}/\text{menit}$ . Ada dua tipe *wet etching*, isotropic etching dan anisotropic etching (Alvi, 2012).

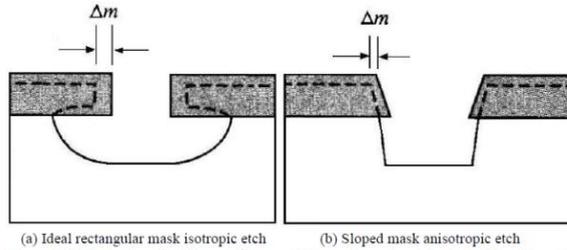


Dalam proses *wet etching* hal yang penting diperhatikan adalah lapisan pelindung, lapisan pelindung yang biasa digunakan berupa photoresist atau film lainnya. Kebanyakan profil yang terbentuk oleh *wet etching* adalah isotropically. Gambar 2.8 mengasumsikan bahwa selektivitas dari *etching* berkaitan dengan masking dan substrat (ketebalan etch atau kedalaman  $d$  dan bias  $b$ ). Untuk menghasilkan isotropik yang sempurna maka *etching*  $b$  sama dengan  $d$ , *etching* dihentikan sebelum mencapai bagian bawah. Daerah *etching* dapat menjadi sangat dalam ketika ketebalan film tidak seragam sehingga menyebabkan daerah yang seharusnya terlindungi tetapi ikut ter-*etching*. Untuk menghasilkan keseragaman *etching* maka hal yang diperhatikan adalah ketebalan masking yang seragam, *masking* yang tidak akan bereaksi terhadap larutan *etchant*, memvariasikan konsentrasi, waktu, serta suhu (Soo, 2012).



Gambar 2. 8 Ilustrasi Profil *Wet Etching* pada *Etching* (Soo, 2012)

Untuk *wet etching* laju *etching* selain dilihat berdasarkan daerah yang mengalami pengikisan juga laju *etching* dilihat dari sisi film pelindung seperti photoresist. Gambar 2.9 (a) menunjukkan *etching* isotropik dengan masking berbentuk persegi panjang.  $\Delta m$  adalah jumlah mask terukir dalam segala arah atau disebut masking yang mengalami pengikisan. Untuk kasus (b), masking yang terkikis hanya terjadi pada satu arah sehingga menyebabkan *etching* anisotropik. Dari gambar terlihat bahwa semakin kecil daerah masking yang mengalami pengikisan ( $\Delta m$ ) profil yang akan terbentuk pada substrat bersifat anisotropik.



Gambar 2. 9 Ilustrasi Profil *Wet Etching* pada Masking (Soo, 2012)

Derajat anisotropi film  $A_f$  didefinisikan sebagai (Soo, 2012):

$$A_f \equiv 1 - \frac{r_{lat}}{r_{ver}} \quad (2.5)$$

dimana  $r_{lat}$  dan  $r_{ver}$  adalah laju *etching* lateral dan laju *etching* vertikal. Dimana derajat anisotropik film  $A_f$  juga dapat didefinisikan berdasarkan kedalaman *etching* dan ketebalan masking setelah melakukan *etching*, yaitu (Soo, 2012):

$$A_f = 1 - \frac{b}{a} \quad (2.6)$$

profil *etching* isotropik, menghasilkan nilai  $b$  sama dengan sehingga derajat anisotropik film akan sama dengan nol.

## 2.4 Larutan *Etchant*

Larutan *Etchant* menjadi peranan dalam proses *wet etching*. Larutan *etchant* dipilih sesuai dengan kebutuhan, disesuaikan dengan bahan yang akan di-*etching*. Larutan asam dan basah kuat yang biasa digunakan untuk meng-*etching*  $\text{SiO}_2$ , hal ini dikarenakan larutan tersebut dapat diatur dengan mengendalikan komposisi kimia serta temperatur larutan. Pemilihan larutan *etchant* bertujuan untuk menghasilkan profil yang baik atau pengikisan yang seragam (Asmoro, 2015)

Dalam larutan berair, asam fluoride (HF) adalah asam kuat, karena ikatan hidrogen antara HF dan molekul air, yang



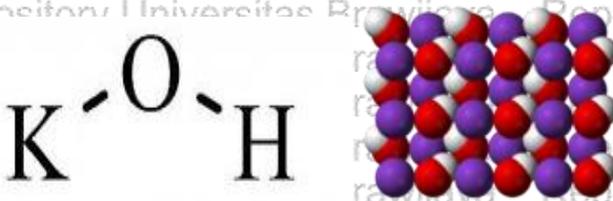
membatasi tingkat disosiasi menjadi ion. Ikatan hidrogen antara molekul HF menyumbang titik didih yang relatif tinggi hidrogen fluorida jika dibandingkan dengan hidrogen halida lainnya. Asam bereaksi dengan banyak logam, biasanya membentuk gas hidrogen dan fluoride logam. HF dalam industri semikonduktor untuk menghilangkan oksida dari silikon, dalam ekstraksi uranium dari bijih oksida, dalam kaca etsa.

Persamaan reaksi HF terhadap Silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ )



Hasil sampingan  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  adalah kompleks larut dalam air yang dapat dihapus oleh pembersihan. asam fluorida biasanya diencerkan dengan air atau ammonium fluoride untuk mengontrol nilai pH dan untuk memperlambat proses etsa oksida oleh mengendalikan jumlah fluoride. A 6: 1 solusi buffered dari HF atau 10: 1, dan 100: 1 dalam air yang umum digunakan.

KOH merupakan senyawa anorganik bersifat sangat eksotermik atau melepaskan panas yang sangat signifikan ketika diuraikan dengan air. Pada temperatur yang tinggi padatan KOH mengkristal dalam bentuk struktur kristal NaCl. Pada temperatur ruang akan terpecah menjadi  $\text{K}^+$  dan  $\text{OH}^-$  (Wells, 1984). Potasium ( $\text{K}^+$ ) merupakan ion metal alkali dan seperti sodium ( $\text{Na}^+$ ) memiliki sifat difusi yang sangat cepat, sehingga larutan KOH seharusnya segera dibersihkan dari permukaan silikon setelah proses etching selesai biasanya menggunakan larutan  $\text{SC1}$  yang merupakan pembersih tahap pertama yang terdiri dari  $\text{DI:NH}_4\text{OH:H}_2\text{O}_2$



Gambar 2. 10 struktur KOH dan Space-filling model of part of the crystal structure of potassium hydroxide, KOH (Ibers et al., 1960).

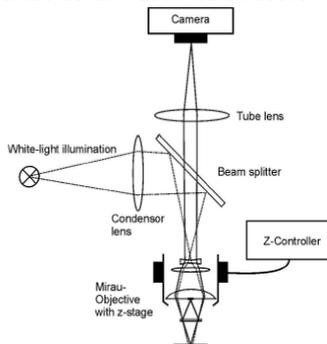


## 2.5 TMS

TMS (*Topography Measurement Systems*) adalah suatu mikroskop yang cara kerjanya berdasarkan pada konsep topografi non kontak dan pengukuran parameter permukaan material. Hasil pengukuran yang didapat adalah suatu peta topografi dengan tingkat resolusi tinggi dari suatu permukaan fungsional dan mikrostruktur. Selain itu juga dihasilkan suatu parameter pengukuran seperti *flatness*, *ripple*, dan *roughness*.

TMS-1200 digunakan mengamati permukaan suatu material berukuran kecil (daerah pengukuran  $3,5 \times 2,5 \text{ mm}^2$ ). Teknik pengukuran yang digunakan berdasar pada prinsip dari interferometer Michelson. TMS-1200 adalah suatu *white light interferometers* dengan menggunakan suatu susunan optik yang menggunakan efek interferensi pada saat terjadi interaksi antara permukaan sampel dengan sinar tampak. Sumber cahaya yang digunakan bersifat koheren dengan panjang gelombang tertentu pada skala  $\mu\text{m}$ .

Bagian utama peralatan pada TMS-1200 adalah *white light illumination* (sumber cahaya), *condensor lens* (lensa untuk menghasilkan berkas koheren), *Michelson objective* (interferometer), *Mirau-Objective with z-stage* (lensa objektif dengan pengontrol ketinggian), *tube lens* (lensa untuk memfokuskan berkas hasil interferensi), *CCD camera* (kamera untuk menghasilkan citra digital dari topografi permukaan). Bagan dari susunan komponen-komponen TMS-1200 dapat dilihat pada gambar berikut

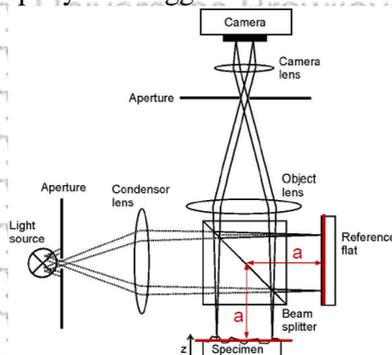


Gambar 2. 11 Komponen-lomponen TMS



Untuk mendapatkan hasil pengamatan, alur jalannya sinar pada yang melalui komponen-komponen TMS-1200. Sinar dari suatu sumber cahaya melewati aperture (diafragma) mengarah ke suatu *condensor lens* sehingga dihasilkan berkas cahaya yang koheren. Kemudian berkas ini menumbuk *beam splitter* yang menyebabkan berkas cahaya terbagi dua, dimana sinar yang dipantulkan oleh *beam splitter* akan mengarah ke objek/specimen sedangkan sinar yang diteruskan akan mengarah ke suatu cermin pemantul yang disebut *reference flat*. Cahaya yang menuju ke objek dan *reference flat* akan dipantulkan kembali dan menumbuk *beam splitter*, menghasilkan dua berkas cahaya yang akan saling berinterferensi. Berkas yang berinterferensi ini akan difokuskan oleh *object lens* dan diarahkan ke *camera lens* melalui suatu *aperture*. Hasil akhirnya adalah suatu citra gambar yang dihasilkan oleh *CCD camera*.

Jika berkas cahaya pantul yang berasal dari titik objek pada lengan pengukur (*measurement arm*) sefase dengan berkas cahaya yang berasal dari cermin pemantul (*reference arm*) maka untuk semua panjang gelombang dari spektrum cahaya tampak yang berasal dari sumber cahaya akan terjadi interferensi konstruktif, dan kamera akan mendapatkan suatu piksel dari titik objek yang memiliki intensitas tinggi. Untuk suatu titik objek yang tidak memenuhi kriteria di atas, maka kamera akan menghasilkan piksel dengan intensitas yang sangat rendah. Pada akhirnya, bagian *frame output* dari *CCD camera* dapat memproses titik demi titik untuk menentukan bagian dari titik objek yang mempunyai ketinggian sama.



Gambar 2. 12 Jalannya Sinar untuk Mendapatkan Hasil Pengamatan

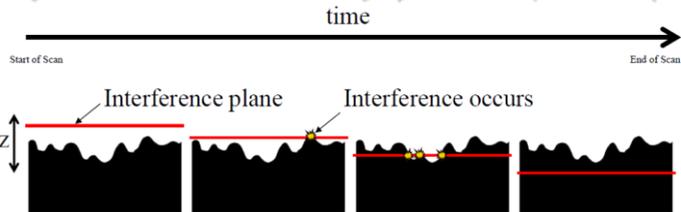


Pada bagian interferometer, hanya *reference arm* atau objek yang bergerak relatif terhadap *beam splitter*, sehingga pola interferensi akan terbentuk titik demi titik ketika ketinggian objek di scan. Setelah pengukuran dijalankan maka *camera frames* akan menganalisis dan akan dihasilkan struktur topografi secara digital.

Proses scanning dan pembentukan peta topografi pada peralatan TMS-1200 dapat diamati lebih jelas dari beberapa bagan berikut. Ada tiga proses utama yang terjadi yaitu:

➤ Proses *Scanning*

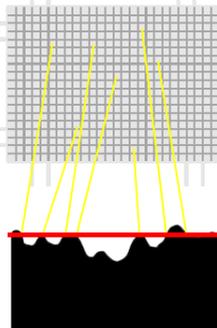
Permukaan di-scan dengan menggerakkan bidang interferensi melewati daerah yang diukur



Gambar 2. 13 Proses *Scanning* TMS

➤ Penyimpanan informasi intensitas oleh CCD

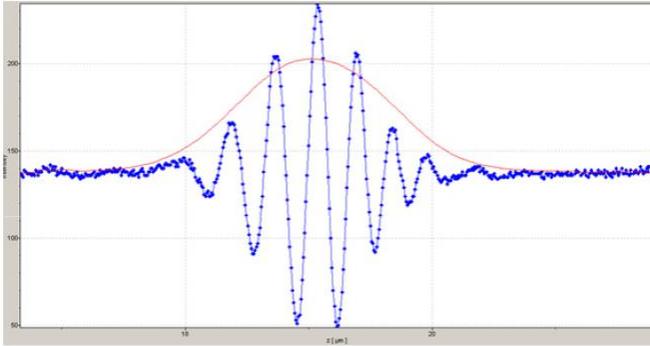
Chip CCD menyimpan tingkat intensitas dari tiap-tiap piksel. Software menguji variasi intensitas dari tiap piksel dan mengkombinasi nilainya menghasilkan diagram korelasi (correlation diagram).



Gambar 2. 14 Penyimpanan informasi intensitas oleh CCD

- Menyatakan hasil pengukuran dalam bentuk diagram korelasi.

Hasil scan dari setiap titik pada specimen yang diukur dinyatakan dalam diagram korelasi. Ketinggian ( $z$ ) dari tiap titik sesuai dengan nilai maksimum dari diagram. Tingkat akurasi pada arah  $z$ , tidak bergantung pada daerah yang diamati.



Gambar 2.15 Penyimpanan informasi intensitas oleh  
Menyatakan hasil pengukuran dalam bentuk diagram  
korelasi



## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai bulan November 2015 sampai dengan bulan Mei 2016. Penelitian ini dilaksanakan di beberapa laboratorium antara lain Laboratorium Sentral Hayati Universitas Brawijaya, Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Universitas Brawijaya, Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Universitas Brawijaya, Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika Universitas Brawijaya, dan Laboratorium Fisika Atom Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Malang.

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain frekuensi conter, *Impedance analyzer* bode 100, *ultrasound bath branson* 2510, katenbat, capton tape, sputter coater - high vacum Q150T, timbangan digital, cawan petri, gelas kimia, pinset, termometer, pipet tetes, magnetic stirrer cole parmer, penyangga statif, oven, mikroskop optik olympus bX-51, TMS 1200 $\mu$ Lab, dan evaporator emitech E6500 MhvE.

#### 3.2.2 Bahan Penelitian

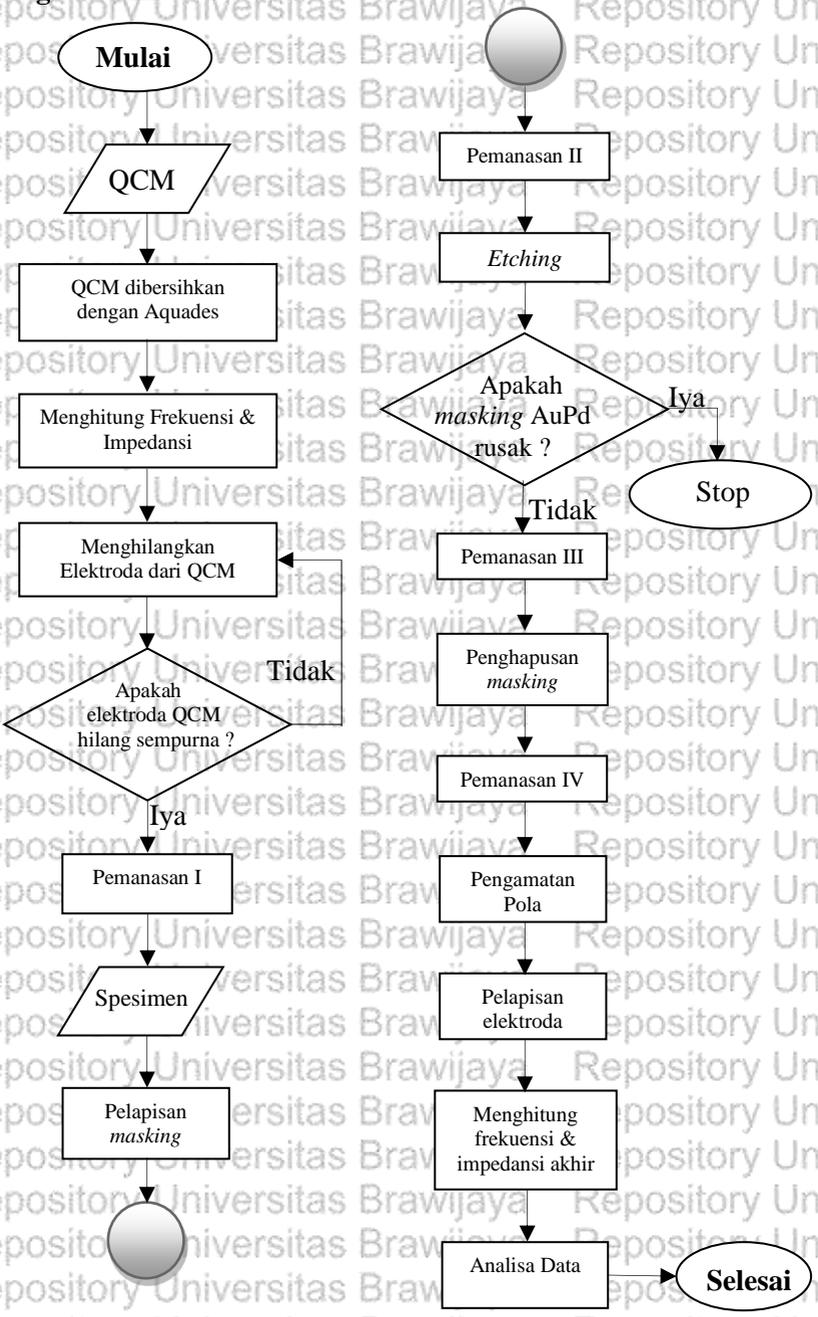
Bahan yang digunakan pada penelitian antara lain QCM, *Aurum Palladium* (AuPd) 24 karat, *Potassium hydroxide* (KOH) Merck Tbk analisis 85%, *Hydrochloric acid* (HCL) Merck Tbk teknis, *Nitric acid* (HNO<sub>3</sub>) SAP Chemical analisis 80%, *Hydrogen fluoride* (HF) Merck Tbk teknis, padatan Ag, dan Aquades.

### 3.3 Tahap Penelitian

Secara umum tahap penelitian yang dilakukan adalah Pelapisan *masking* pada QCM, *Etching* pada QCM, dan Karakteristik profil dengan mikroskop optik dan TMS.



3.3.1 Diagram Alir



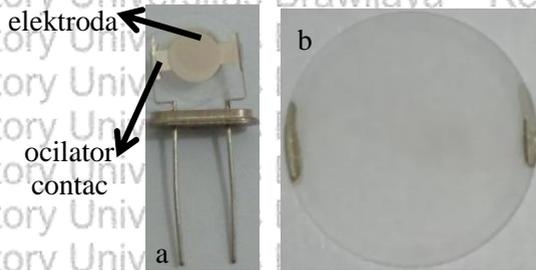
Gambar 3. 1 Alur Penelitian



### 3.4. Prosedur Penelitian

#### 3.4.1. Persiapan Spesimen

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini berupa QCM tanpa elektroda. Spesimen dipersiapkan terlebih dahulu dengan cara QCM dibersihkan dengan alat *ultrasound bath branson 2510*, hal tersebut dilakukan agar pengotor pada kuarsa hilang. Setelah QCM bersih, frekuensi dan impedansi diukur dengan alat frekuensi conter dan *Impedance analyzer bode 100*, sebagai data frekuensi dan impedansi awal QCM. Frekuensi dan impedansi awal yang diperoleh dapat memberikan penjelasan bahwa spesimen bersifat rigid atau tidak. Tahap selanjutnya adalah *ocilator contac* dilepas kemudian elektroda QCM dihapus dengan larutan  $\text{HNO}_3$  dan spesimen dibilas bersih dengan aquades agar tidak ada bekas  $\text{HNO}_3$  yang dapat bereaksi dikemudian..



Gambar 3. 2 a) QCM, b) spesimen

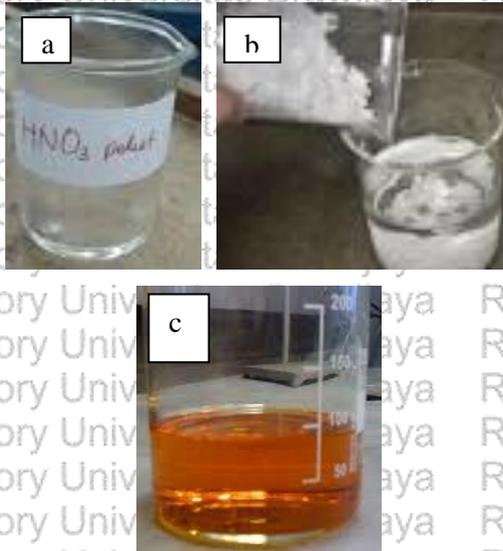
#### 3.4.2. Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian adalah  $\text{HNO}_3$  murni sebagai bahan untuk penghapus elektroda QCM, larutan Aquaregia (1ml  $\text{HNO}_3$ +3ml HCL) sebagai bahan untuk penghapus *masking*, dan larutan *etchant* dengan variasi konsentrasi. Dimana variasi konsentrasi larutan tersebut didapat dari persamaan (3.1) :

$$\%etchant = \frac{\text{masa zat terlarut (gr)}}{\text{masa zat terlarut (gr)} + \text{masa zat pelarut (gr)}} \times 100\% \quad (3.1)$$



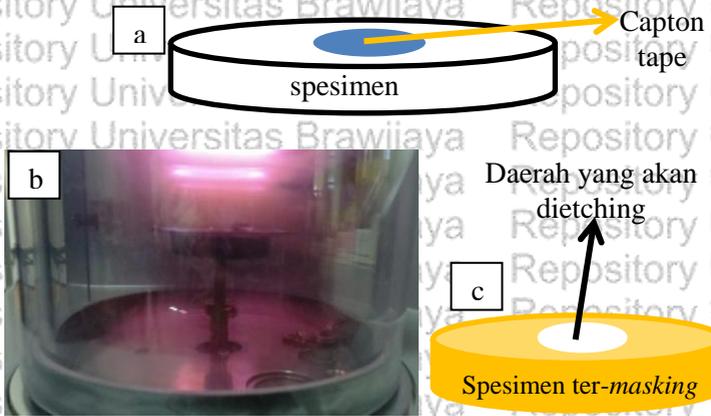
dimana zat terlarut berupa KOH atau HF, dan zat pelarutnya adalah Aquades. Untuk mendapatkan besar konsentrasi tersebut menggunakan neraca digital.



Gambar 3. 3 Bahan yang digunakan a) larutan  $HNO_3$ ,  
b) larutan *Etchant*, c) larutan *Aquaregia*

### 3.4.3 Pembuatan *Masking*

Spesimen yang sudah siap bagian tengah dilindungi oleh capton tape, agar bagian pinggir terlapisi *masking*. Pada tahap ini pelapisan *masking* dilakukan di atas spesimen dengan alat sputter coater – high vacuum Q150T. Pelapisan *masking* dilakukan teknik *sputtering* dengan kecepatan rotasi  $8 \times 10^{-3} mBar$ , arus 20 mA, dan waktu *sputtering* selama 6 menit.. Bahan yang digunakan sebagai *masking* adalah AuPd. Lama pelapisan dilakukan untuk mendapatkan hasil *masking* yang maksimal. Bahan yang layak digunakan sebagai *masking* adalah bahan pelindung spesimen yang tidak dapat bereaksi dengan larutan *etchant*.



Gambar 3. 4 a) spesimen sebelum di-*masking*,  
b) Proses *sputtering*, c) Spesimen yang sudah ter-*masking*

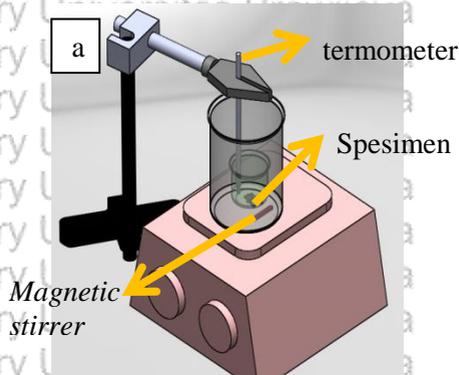
### 3.4.4 Pemanasan

Pemanasan dilakukan sebanyak lima kali pemanasan. Pemanasan pertama dilakukan pada suhu 80°C selama 10 menit, pemanasan tersebut dilakukan setelah penghilangan elektroda yang bertujuan untuk mengeringkan spesimen. Pemanasan kedua dilakukan pada suhu 100°C-150°C selama 1 jam, pemanasan tersebut dilakukan setelah pelapisan AuPd sebagai *masking* yang bertujuan untuk merekatkan lapisan AuPd pada spesimen. Ketika lapisan AuPd sebagai *masking* masih terlihat belum merekat maka pemanasan ditambah 30 menit hingga *masking* merekat sempurna dengan spesimen tanpa merusak sifat material dari spesimen tersebut. Pemanasan ketiga dilakukan pada suhu 70°C selama 15menit, pemanasan tersebut dilakukan setelah tahap etching yang bertujuan untuk mengeringkan spesimen agar tidak ada lagi sisa larutan *etchant* yang bereaksi. Pemanasan keempat dilakukan pada suhu 80°C selama 10 menit, pemanasan tersebut dilakukan setelah tahapan penghilangan *mask* (*stripping mask*) yang bertujuan untuk mengeringkan spesimen. Pemanasan kelima dilakukan pada suhu 100°C-150°C selama 1 jam, pemanasan tersebut dilakukan setelah pelapisan elektroda yang bertujuan untuk merekatkan lapisan

Au atau Ag sehingga lapisan tersebut mereka pada substrat dan dan berfungsi sebagai elektoda.

### 3.4.5 Proses *Etching*

Proses *etching* dilakukan dengan merendamkan spesimen yang sudah ter-*masking* kedalam sebuah larutan kimia sehingga menghasilkan penipisan pada daerah yang tidak terlindungi. Proses ini dilakukan dengan menggunakan dua varian larutan *etchant* yaitu larutan HF dan larutan KOH rentan konsentrasi 25% -35%. Dimana durasi perendaman dilakukan selama 2 jam dengan suhu 80°C. Untuk memvariasikan konsentrasi larutan *etchant* menggunakan pers (3.1). Proses *etching* yang menggunakan larutan *etchant* KOH dilakukan dengan *magnetic stirrer cole parmer*, dan proses *etching* yang menggunakan larutan *etchant* HF dilakukan didalam lemari asam.



Gambar 3. 5 a) Proses *etching* dengan KOH  
b) Spesimen hasil proses *etching*



### 3.4.6 Penghapusan *Masking*

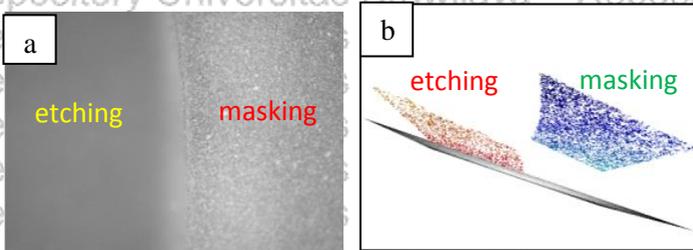
Pada tahap penghapusan *masking* dilakukan dengan mencelupkan spesimen pada larutan Aquaregia (1ml  $\text{HNO}_3$ +3ml HCl). Untuk penghapusan *masking* spesimen satu dengan spesimen lainnya tidak dapat ditentukan waktu yang sama, hal ini terjadi karena kekuatan *masking* antara spesimen satu dengan lainnya tidak sama dikarenakan sisa *masking* setelah proses *etching*. Tujuan tahap ini adalah menghilangkan sisa *masking* tanpa mengikis bagian lain



Gambar 3. 6 Spesimen setelah *masking* dihapus

### 3.4.7 Pengamatan Pola

Dari proses *etching* diharapkan adanya beda ketinggian antara daerah yang terkikis dengan daerah yang terlindungi atau yang disebut dengan pola *etching*. Hasil dari spesimen yang sudah melalui proses *etching* diamati dengan mikroskop optik dan TMS. Dimana pada kedua alat tersebut memberikan penjelasan bahwa jika dilihat dengan mikroskop optik maka yang terlihat berupa morfologi spesimen secara 2D, sedangkan menggunakan TMS maka yang terlihat berupa morfologi secara 2D dan 3D, serta dapat menghitung beda ketinggian dan kekasaran antara daerah *mask* dan daerah *etch*.



Gambar 3. 7 a) Hasil Pengamatan Morfologi dengan Mikroskop Optik, b) Hasil Pengamatan Morfologi dengan TMS

### 3.4.8 Analisa Data Pola Etching

Hasil pengamatan pola pada spesimen menggunakan mikroskop optik hanya melihat perbedaan morfologi antara daerah *masking* dan daerah *etching*. Setelah ada perbedaan maka pengamatan spesimen dilakukan dengan menggunakan TMS. Hasil dari TMS dapat menjelaskan perbedaan tersebut berdasarkan nilai  $Z$  yang diperoleh dari beda warna yang dihasilkan. Pola yang terbentuk berdasarkan pengamatan menggunakan TMS pada daerah batas dapat dianalisa berdasarkan nilai  $Z$ . Hal yang perlu dilakukan adalah menentukan nilai  $Z$  di beberapa daerah *masking* ( $\bar{Z}_{mask}$ ) dan beberapa daerah *etching* ( $\bar{Z}_{etch}$ ). Kemudian selisih  $\bar{Z}_{mask}$  dengan  $\bar{Z}_{etch}$  merupakan beda ketinggian di daerah batas ( $\Delta\bar{Z}$ ). Beda ketinggian di daerah batas dibagi dengan waktu *etching* disebut *etching rate*.

Selain nilai  $\Delta\bar{Z}$  dapat dilihat berdasarkan nilai  $R_a$ , dimana  $R_a$  merupakan nilai rata-rata dari ketinggian permukaan spesimen, tanpa memperhitungkan perbedaan antara puncak dan lembah (*peak and valleys*).

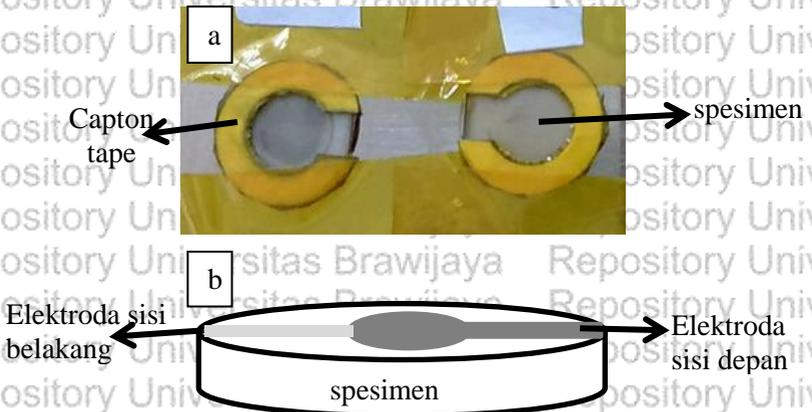
$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |Z(x)| dx \quad (3.2)$$

dimana  $Z(x)$  adalah fungsi yang menyatakan profil permukaan yang dianalisis dalam variabel ketinggian ( $Z$ ) dan

posisi (x) dari sampel untuk pengamatan sepanjang L. Ra dapat menjelaskan kekasaran permukaan yang diamati.

### 3.4.9 Pembuatan Elektroda

Spesimen yang sudah melalui tahap *etching* dan mendapatkan nilai *etch rate* maka dilakukan pembuatan elektroda berbahan Ag dengan teknik evaporasi. Spesimen yang telah di-*etching* bagian pinggir ditutup capton tape agar saat pelapisan dilakukan pola akan berbentuk seperti elektroda semula. Pelapisan dilakukan pada tekanan  $2 \times 10^{-2}$  mBar/Pa dan arus elektroda 2-8 A hingga bahan habis menggunakan evaporator emitech E6500 MhV. Pembuatan elektroda bertujuan agar spesimen dapat berosilasi seperti QCM awal. Osilasi tersebut akan menghasilkan nilai frekuensi dan impedansi.

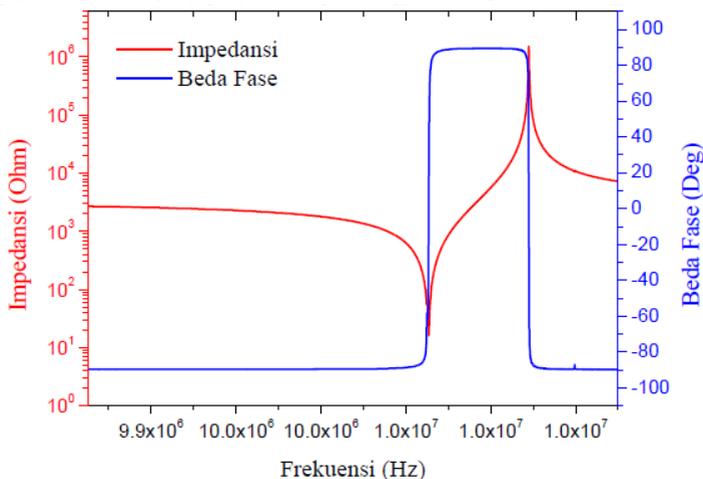


Gambar 3. 8 a) Spesimen yang akan dilakukan pelapisan, b) Spesimen dengan lapisan elektroda AG

### 3.5 Analisa Nilai Frekuensi & Impedansi Setelah *Etching*

Spesimen yang telah dilakukan pembuatan elektroda yang baru, kemudian dipasang kembali *ocilator contant* dengan menggunakan pasta timah. Setelah spesimen terpasang seperti QCM awal maka selanjutnya dilakukan pengukuran frekuensi dan impedansi menggunakan frekuensi counter dan *impedance*

analyzer bode 100. Pengukuran yang didapat merupakan nilai frekuensi dan impedansi akhir, dimana pada penelitian diharapkan nilai yang didapat meningkat dibandingkan nilai awal. Setelah data akhir didapat maka dilakukan suatu analisa mengenai pembuatan elektroda. Analisa dapat dilakukan dengan cara membandingkan grafik hubungan antara frekuensi dengan impedansi dan beda fase antara QCM sebelum dilakukan proses *etching* dengan QCM yang sudah di-*etching*. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui QCM bersifat rigid atau tidak. Jika tidak bersifat rigid maka dapat dilihat morfologi bagian elektroda yang baru.

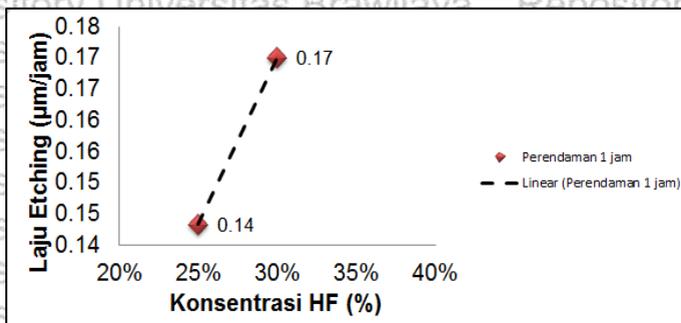


Gambar 3. 9 Frekuensi yang bersifat rigid

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengaruh Larutan HF Terhadap Pola

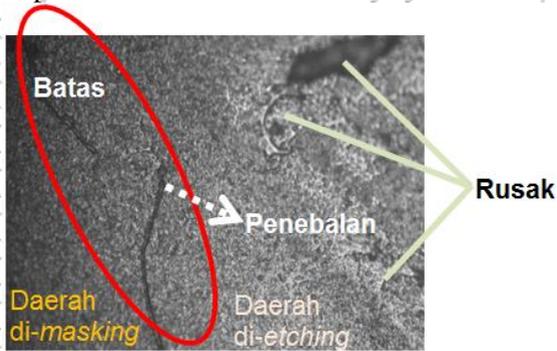
Pada proses pembentukan pola pada  $\text{SiO}_2$  menggunakan metode *wet etching*, variasi konsentrasi larutan *etchant* dapat berpengaruh terhadap ketebalan lapisan  $\text{SiO}_2$  yang akan dikikis. Tebal permukaan  $\text{SiO}_2$  yang terkikis dapat dihitung berdasarkan nilai Z dari TMS, dimana nilai Z merupakan koordinat yang menyatakan kedalaman dari spesimen yang akan diuji. Dengan menempatkan nilai Z pada daerah terkikis sebagai nilai  $Z_{\text{etching}}$ , dan daerah terlindungi sebagai nilai  $Z_{\text{masking}}$ . Berdasarkan hasil perhitungan (lampiran 1.5) dapat diperoleh sebuah grafik hubungan antara konsentrasi *etchant* dan laju *etching* yang ditunjukkan oleh gambar 4.1. Pada grafik tersebut konsentrasi *etchant* sebagai sumbu x dan laju *etching* sebagai sumbu y.



Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Laju *Etching* dengan Konsentrasi HF Selama 1 Jam Perendaman

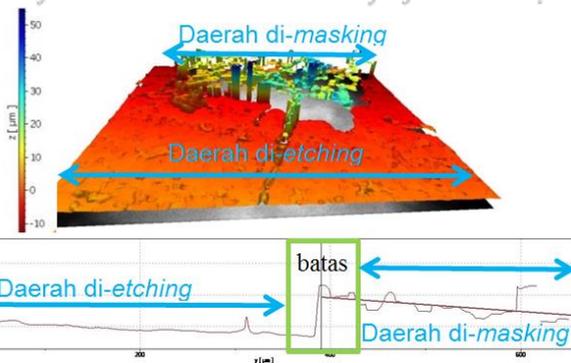
Nilai laju *etching* (*etch rate*) pada Gambar 4.1 diperoleh berdasarkan persamaan (2.3) yaitu selisih ketinggian daerah yang terlindungi dengan daerah yang terkikis ( $\Delta Z$ ) dibagi dengan waktu perendaman ( $t$ ). Dimana nilai Z merupakan koordinat yang menyatakan kedalaman dari spesimen yang akan diuji. Gambar 4.1 menjelaskan bahwa HF mampu mengikis  $\text{SiO}_2$  dengan konsentrasi larutan 25% dan 30% selama 1 jam, akan tetapi untuk konsentrasi larutan HF 35% laju *etching* melonjak

terlalu besar hal ini bukan lagi mengalami pengikisan melainkan adanya suatu material baru yang terlapis di atas permukaan QCM seperti terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Morfologi Hasil Etching HF 35% Selama 1 Jam Menggunakan Mikroskop Optik Perbesaran 20x

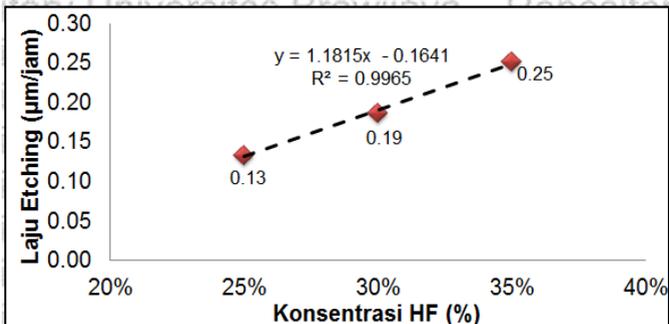
Morfologi *etching* 1 jam dengan larutan HF 35% didapatkan nilai Z menggunakan TMS yaitu  $Z_{mask}$  sebesar  $9,79\mu m$ ,  $Z_{etch}$  sebesar  $-0,87\mu m$ , sehingga beda ketinggian antara daerah yang terlindungi dan daerah yang terkikis ( $\Delta Z$ ) sebesar  $10,68\mu m$ .



Gambar 4. 3 Morfologi Hasil Etching HF 35% Selama 1Jam Menggunakan TMS

Selain dari konsentrasi larutan maka lama perendaman selama proses *etching* juga memberikan dampak. Hal ini dapat

dinyatakan dalam grafik hubungan beda konsentrasi dengan laju *etching* selama perendaman 2 jam.



Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Laju *Etching* dengan Konsentrasi HF Selama 2 Jam Perendaman

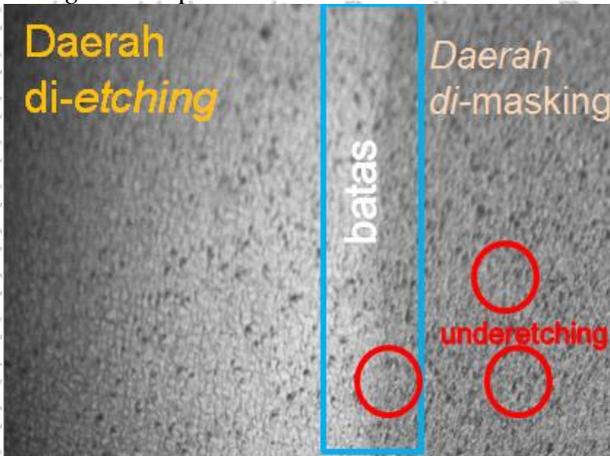
Berdasarkan Gambar 4.1 dan Gambar 4.4 dapat diasumsikan bahwa perubahan laju *etching* dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi larutan *etchant*, hal tersebut terjadi karena semakin banyak konsentrasi yang digunakan maka semakin besar energi ikat dari HF yang terbentuk yang mampu mengangkat  $\text{SiO}_2$ .  $\text{SiO}_2$  di-*etching* menggunakan larutan HF sebagai larutan *etchant* menghasilkan reaksi :



silika relatif tidak reaktif terhadap asam kecuali terhadap asam hidrofluorida dan asam fosfat (Svehla, 1985). Dari persamaan (4.1) ketika HF mengenai  $\text{SiO}_2$  maka HF akan berdifusi yang menghasilkan  $\text{SiF}_4$  kemudian  $\text{SiF}_4$  bersifat seperti gas yang akan hilang dan tidak menjadi produk baru yang dapat bereaksi ke substrat.

Pada umumnya proses *etching* HF tidak akan menyebabkan suatu pendeposisian material baru, tetapi berbeda halnya dengan penelitian yang dilakukan seperti pada Gambar 4.2 bahwa pendeposisian ini terjadi dikarenakan lemahnya daya adhesi *masking* selama proses *etching* berlangsung. Daya adhesi

masking yang lemah menyebabkan terjadinya proses *underetching* terlihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Morfologi Hasil Etching HF 25% Selama 1Jam Menggunakan Mikroskop Optik Perbesaran 20x

*Underetching* dapat mempengaruhi sifat profil *etching* yang terbentuk. Untuk meminimalkan terjadinya peristiwa *underetching* dibutuhkan fungsi kontrol yaitu dengan menambahkan sebuah zat penyangga seperti amonium fluorida ( $\text{NH}_4\text{F}$ ). Penambahan zat penyangga tersebut dapat mempertahankan keberadaan *masking* sehingga sifat dapat lengkungan atau patahan atau batas *etching* dapat terlihat.

Tabel 4. 1 Besar Nilai Kekasaran *Etching* HF

Konsentrasi HF \ Durasi <i>Etching</i>	Ra (nm)	
	1 jam	2 jam
25%	207,59	307,37
30%	328,01	247,91
35%	5010	400,87

Laju *etching* berpengaruh terhadap variasi konsentrasi larutan *etchant*, tetapi jika meninjau dari nilai kekasaran *etching* HF semakin lama waktu *etching* serta semakin besar konsentrasi larutan yang digunakan maka semakin besar kekasaran yang diperoleh.

#### 4.2 Pengaruh Larutan KOH Terhadap Pola

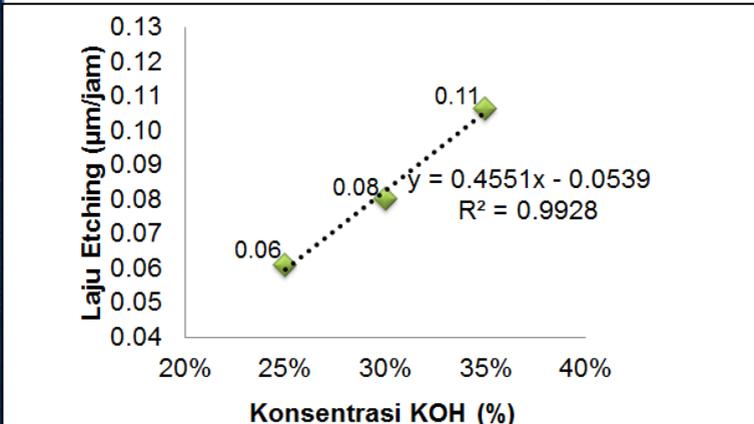
Pada proses pembentukan pola pada  $\text{SiO}_2$  yang menggunakan metode *wet etching* selain konsentrasi dan lama perendaman ternyata jenis larutan *etchant* dapat mempengaruhi ketebalan lapisan  $\text{SiO}_2$  yang akan dikikis. Pada proses *wet etching* selanjutnya dilakukan dengan menggunakan larutan *etchant* KOH pada konsentrasi 25%, 30% dan 35% dengan *masking* AuPd. Proses *etching* dilakukan pada 1 jam dan ternyata larutan KOH belum berfungsi sebagai larutan *etchant*, seperti Gambar 4.6



Gambar 4. 6 Morfologi Hasil *Etching* KOH Konsentrasi 35% Selama 1 Jam Menggunakan Mikroskop Optik Perbesaran 20x

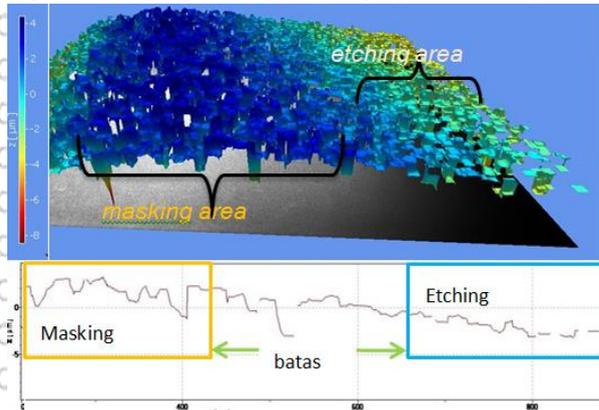
Proses *etching* selama 1 jam tidak memberikan dampak sehingga waktu perendaman selama *etching* dinaikkan menjadi 2 jam. Berdasarkan hasil perhitungan (lampiran 1.1) dapat diperoleh sebuah grafik hubungan antara konsentrasi *etchant* dan laju *etching* yang ditunjukkan oleh Gambar 4.7. Pada grafik

tersebut konsentrasi *etchant* sebagai sumbu x dan laju *etching* sebagai sumbu y.



Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Laju *Etching* dengan Konsentrasi KOH selama 2 Jam Perendaman

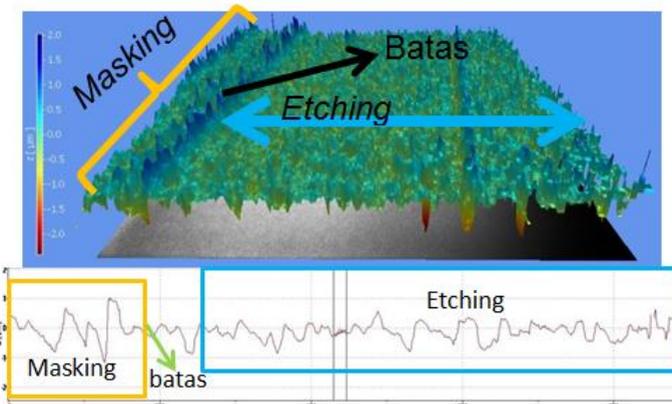
Proses *etching* dengan satu jenis konsentrasi larutan *etchant* dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan dengan parameter sama, seperti lama waktu perendaman dan suhu. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah sifat *etching* yang dihasilkan sama antara perlakuan pertama hingga pengulangan ketiga. Gambar 4.8 adalah morfologi QCM yang sudah di-*etching*, jika dilihat morfologinya menggunakan TMS maka terlihat perbedaan antara daerah yang terkikis dengan daerah yang terlindungi. Dengan menempatkan nilai Z pada tiga daerah yang berbeda, didapatkan  $\bar{Z}_{mask}$  sebesar  $2,05\mu m$ ,  $\bar{Z}_{etch}$  sebesar  $-0,67\mu m$ , sehingga beda ketinggian antara daerah yang terlindungi dan daerah yang terkikis ( $\Delta Z$ ) sebesar  $2,72\mu m$ .  $\bar{Z}_{etch}$  bernilai negatif dapat diasumsikan sebagai nilai nol koordinat yang berarti daerah/titik terendah dari spesimen yang diuji.



Gambar 4. 8 Morfologi Hasil Etching KOH Konsentrasi 25%  
Perlakuan Ke-1 dengan Menggunakan TMS

Jika melihat grafik pada Gambar 4.8 daerah batas terlihat dengan bentuk grafik yang terputus, akan tetapi grafik tersebut menjelaskan bahwa proses *etching* dengan konsentrasi 25% perlakuan pertama tidak homogen. Hal ini terlihat pada grafik *etching* setelah batas yang seharusnya lebih rendah tetapi masih tinggi (menyerupai tinggi grafik *masking*). Secara 3D tidak terlihat daerah perbatasan antara *masking* dan *etching* berbeda halnya dengan HF 25% perlakuan ke-2 dan ke-3 batas terlihat.

Pada perlakuan kedua untuk konsentrasi yang sama didapatkan hasil  $\bar{Z}_{mask}$  sebesar  $0,23\mu m$ ,  $\bar{Z}_{etch}$  sebesar  $-0,06\mu m$ , sehingga beda ketinggian antara daerah yang terlindungi dan daerah yang terkikis ( $\Delta\bar{Z}$ ) sebesar  $0,17\mu m$ . Perlakuan tersebut terlihat pada Gambar 4.9, dimana beda ketinggian pada grafik tidak terlihat dibandingkan dengan perlakuan pertama.



Gambar 4. 9 Morfologi Hasil Etching KOH Konsentrasi 25%  
Perlakuan Ke-2 dengan Menggunakan TMS

Morfologi 3D pada Gambar 4.10 hasil etching KOH 25% perlakuan ke-3 terlihat daerah yang terkikis dan daerah yang terlindungi. Daerah yang terlindungi lebih homogen sehingga mendapatkan nilai  $Z_{\text{mask}}$  sebesar  $0,145\mu\text{m}$ , sedangkan daerah terkikis tidak homogen menghasilkan dua wilayah etching yaitu etching1 ( $Z_{\text{etch1}}$ ) didekat masking sebesar  $0,23\mu\text{m}$  dan etching2 ( $Z_{\text{etch2}}$ ) diujung sebesar  $0,16\mu\text{m}$ . Beda ketinggian antara daerah yang terlindungi dan daerah yang terkikis ( $(\Delta Z)_{\text{mask}}$ ), maka menggunakan selisih antara daerah terlindungi dengan daerah etching2 sehingga  $(\Delta Z)_{\text{etch2}}$  didapat sebesar  $0,07\mu\text{m}$ . Jika menghitung beda ketinggian menggunakan selisih antara daerah terlindungi dengan daerah etching1 maka  $(\Delta Z)_{\text{etch1}}$  akan bernilai negatif yang berarti daerah etching1 lebih tinggi dari daerah masking, hal ini disebabkan daerah etching1 mengalami pendeposisian bisa berupa pengotor atau proses tersebut mengalami over etching.

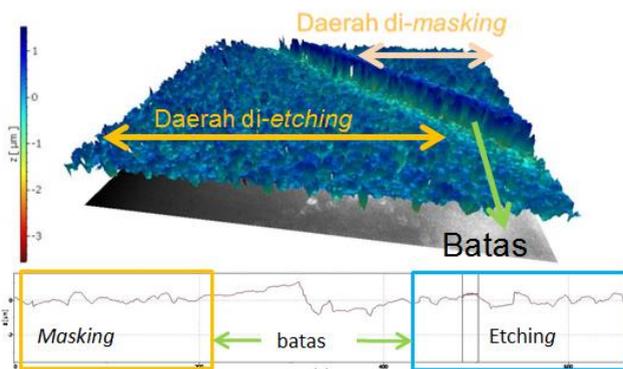


Berdasarkan Gambar 4.8 hingga Gambar 4.10 merupakan proses *etching* pada satu variasi konsentrasi yang sama hanya berupa pengulangan akan tetapi memberikan hasil yang tidak homogen antara perlakuan ke-1 hingga perlakuan ke-3. Ketidak homogenan tersebut memberikan arti bahwa kedalaman di masing-masing daerah  $\bar{Z}_x$  tidak sama antara perlakuan ke-1 hingga perlakuan ke-3 yang mengakibatkan nilai  $\Delta\bar{Z}$  pun tidak sama. Laju *etching* dihitung dengan rata-rata nilai dari perlakuan 2 dan 3. Ketidak homogen tersebut dapat dianalisa berdasarkan prinsip *wet etching* salah satunya adalah sifat reaktan.

*Etching* terjadi ketika reaktan dalam cairan kimia bereaksi di permukaan yang akan dikikis, dimana produk yang dihasilkan dapat mencair lagi sebagai *etchant* atau dilepaskan sebagai gas. Laju *etching* dipengaruhi oleh konsentrasi reaktan dalam larutan *etchant*, transportasi lokal reaktan tersebut ke permukaan yang akan dikikis, laju reaksi pada antar muka antara larutan *etchant* dan bahan yang dikikis, tingkat penghapusan produk reaksi dari permukaan, & konsentrasi produk reaksi dalam perendamannya. Proses *wet etching* memungkinkan melibatkan reaksi reduksi-oksidasi komposit yang menghasilkan oksida dari  $\text{SiO}_2$ . Efek sekunder dapat terjadi dan kadang-kadang mendominasi, seperti hambatan uap yang tinggi pada antar muka dari fitur-aspek-rasio bahan *masking*.

Pada parameter pertama KOH yang digunakan sebesar 25%, jika melihat konsentrasinya maka jumlah KOH sedikit dibandingkan dengan pelarut yang berarti energy ikat KOH untuk mengikis  $\text{SiO}_2$  lebih kecil sehingga tebal  $\text{SiO}_2$  pada daerah terlindungi mampu dipertahankan. Oleh karena itu dalam proses *etching* memerlukan waktu perendaman yang lebih panjang atau suhu perendaman yang lebih tinggi, konsentrasi yang lebih tinggi. Akan tetapi semua harus diseimbangkan dengan sifat *masking* (pelindung) yang digunakan karena proses yang dipilih menggunakan *wet etching* (arah *etching* kesegala arah) sehingga kekuatan dari *masking* berperan.

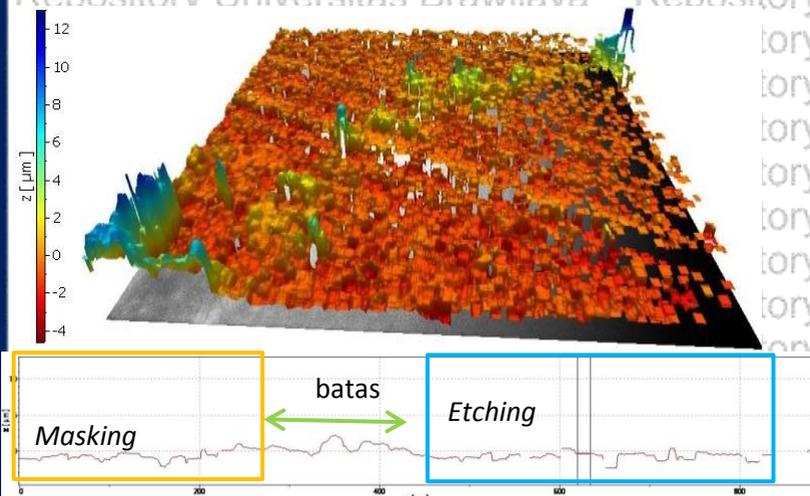
Proses *etching* dilakukan dengan menaikkan konsentrasi larutan *etchant* yaitu sebesar 30%



Gambar 4. 11 Morfologi Hasil *Etching* KOH 30% perlakuan ke-1 dengan menggunakan TMS

Gambar 4.11 menggambarkan morfologi QCM yang sudah di-*etching* pada konsentrasi 30% perlakuan pertama, jika dilihat morfologinya menggunakan TMS maka terlihat perbedaan antara daerah yang terkikis dengan daerah yang terlindungi. Dengan menempatkan Z pada tiga daerah yang berbeda, didapatkan  $\bar{Z}_{mask}$  sebesar  $0,175\mu\text{m}$ ,  $\bar{Z}_{etch}$  sebesar  $-0,07\mu\text{m}$ , sehingga beda ketinggian antara daerah yang terlindungi dan daerah yang terkikis ( $\Delta\bar{Z}$ ) sebesar  $0,245\mu\text{m}$ . Pada daerah ini perlakuan tersebut terlihat bahwa di daerah *masking* ataupun *etching* permukaan yang terhitung bersifat homogen. Untuk memastikan apakah larutan *etchant* pada konsentrasi 30% menghasilkan laju *etching* yang lebih homogen dibandingkan dengan konsentrasi 25%, sehingga perlunya dilakukan pengulangan pada konsentrasi 30% perlakuan ke-2. Gambar 4.12 menggambarkan morfologi QCM yang sudah di-*etching* pada konsentrasi 30% perlakuan kedua, jika dilihat morfologinya menggunakan TMS maka tidak terlihat perbedaan antara daerah yang terkikis dengan daerah yang terlindungi. Didapatkan  $\bar{Z}_{mask}$  sebesar  $-0,544\mu\text{m}$ ,  $\bar{Z}_{etch}$  sebesar  $-0,373\mu\text{m}$ , sehingga beda ketinggian antara daerah yang terlindungi dan daerah yang terkikis ( $\Delta\bar{Z}$ ) sebesar  $-0,171\mu\text{m}$ . Pada daerah ini perlakuan tersebut beda ketinggian ( $\Delta\bar{Z}$ ) bernilai negatif, hal ini terjadi ketika proses perendaman *masking* tidak mampu bertahan

sehingga  $\text{SiO}_2$  yang seharusnya tetap bertahan tapi ikut terkikis seiring dengan perendaman. Sedangkan pada daerah batas lebih tinggi karena ada sebuah pengotor yaitu sisa lapisan yang menggumpal dan membentuk seperti lapisan. Untuk morfologi QCM yang sudah di-*etching* pada konsentrasi 30% perlakuan ketiga didapatkan  $\bar{Z}_{mask}$  sebesar  $0,066\mu\text{m}$ ,  $\bar{Z}_{etch}$  sebesar  $-0,009\mu\text{m}$ , sehingga beda ketinggian antara daerah yang terlindungi dan daerah yang terkikis ( $\Delta\bar{Z}$ ) sebesar  $0,075\mu\text{m}$ . Sama seperti pada konsentrasi 25% maka pada konsentrasi 30% dilihat sifat reaktan terhadap *masking* AuPd yaitu dengan mengetahui seberapa besar *masking* dapat bertahan terhadap konsentrasi larutan *etchant*.



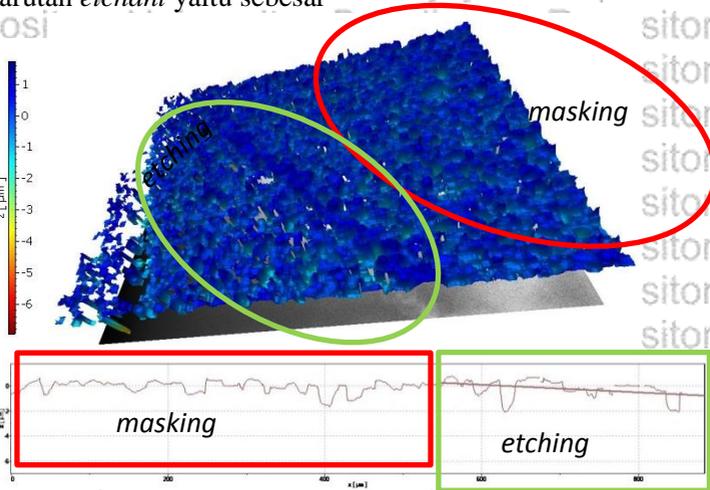
Gambar 4. 12 Morfologi Hasil *Etching* KOH 30% perlakuan ke-2 dengan menggunakan TMS

Perlakuan *etching* ke-3 pada konsentrasi KOH 30% morfologi menjelaskan bahwa KOH konsentrasi 30% dapat mengikis daerah *masking* sebesar  $0,101\mu\text{m}$  selama 2 jam perendaman (lampiran 1.2) dengan mempertahankan tebal  $\text{SiO}_2$  sebesar  $0,16\mu\text{m}$ . Pada parameter kedua KOH yang digunakan sebesar 30%, maka jumlah KOH lebih banyak dibandingkan dengan KOH pada konsentrasi 25% hal ini membuat Au tidak mampu bertahan sebagai *masking* jika perendaman yang dilakukan selama 2 jam. Oleh karena itu semakin besar



konsentrasi yang digunakan maka semakin besar juga wilayah *masking* yang akan rusak. Jika berdasarkan kedua parameter yang sudah dilakukan agar *masking* dapat berfungsi sesuai maka tebal *masking* harus ditambah. Untuk membuktikannya maka dilakukan penambahan konsentrasi yaitu penambahan konsentrasi menjadi 35%.

Proses *etching* dilakukan dengan menaikkan konsentrasi larutan *etchant* yaitu sebesar

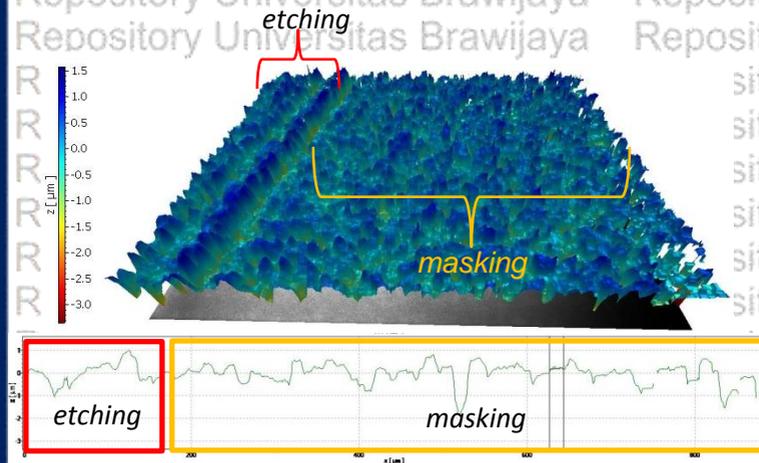


Gambar 4. 13 Morfologi Hasil *Etching* KOH Konsentrasi 35% Perlakuan Ke-1 dengan Menggunakan TMS

Gambar 4.13 menggambarkan morfologi QCM yang sudah di-*etching* pada konsentrasi 35% perlakuan pertama, jika dilihat morfologinya menggunakan TMS maka tidak terlihat perbedaan antara daerah yang terkikis dengan daerah yang terlindungi dibandingkan dengan menggunakan konsentrasi 25% dan 30%. Dengan menempatkan Z pada tiga daerah yang berbeda, didapatkan  $\bar{Z}_{mask}$  sebesar  $0,275\mu m$ ,  $\bar{Z}_{etch}$  sebesar  $0,204\mu m$ , sehingga beda ketinggian antara daerah yang terlindungi dan daerah yang terkikis ( $\Delta\bar{Z}$ ) sebesar  $0,071\mu m$ . Pada perlakuan ini fokus tidak lagi pada beda ketinggian akan tetapi mengarah pada reaksi antara reaktan (KOH) terhadap  $SiO_2$ , dimana daerah yang mengalami peng-*etching* morfologinya terlihat lebih rengang sedangkan daerah yang terlindungi morfologinya lebih rapat.

KOH merupakan reaktan yang berasal dari  $K^+ + OH^-$  jadi lebih banyak konsentrasi KOH yang digunakan maka OH banyak juga sehingga mampu mengikis permukaan  $SiO_2$  lebih besar yang menyebabkan atom di  $SiO_2$  semakin sedikit, membuat morfologinya terlihat lebih rengangan hal ini berkaitan dengan kekasaran permukaan.

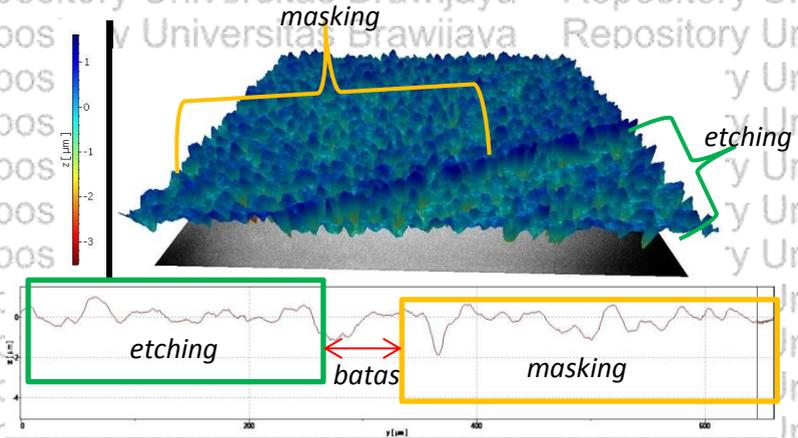
Proses *etching* KOH konsentrasi 35% perlakuan ke-1 dan perlakuan ke-2 menghasilkan beda ketinggian yang tidak terlihat tetapi kecendrungan lebih pada tingkat kekasaran permukaan. Gambar 4.14 menggambarkan morfologi QCM yang sudah di *etching* pada konsentrasi 35% perlakuan ke-2, didapatkan  $\bar{Z}_{mask}$  sebesar  $0,024\mu m$ ,  $\bar{Z}_{etch}$  sebesar  $0,055\mu m$ , sehingga beda ketinggian antara daerah yang terlindungi dan daerah yang terkikis ( $\Delta\bar{Z}$ ) sebesar  $-0,03\mu m$ .



Gambar 4. 14 Morfologi Hasil *Etching* KOH Konsentrasi 35% Perlakuan Ke-2 dengan Menggunakan TMS

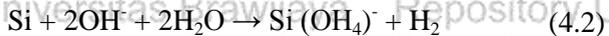
Pada proses *etching* KOH konsentrasi 35% perlakuan ke-3 menghasilkan beda ketinggian berbeda dengan perlakuan ke-1 dan ke-2 kecendrungan lebih pada tingkat kekasaran permukaan. Gambar 4.15 menggambarkan morfologi QCM yang sudah di *etching* dengan konsentrasi 35% perlakuan ke-3, didapatkan  $\bar{Z}_{mask}$  sebesar  $0,3\mu m$ ,  $\bar{Z}_{etch}$  sebesar  $-0,054\mu m$ , sehingga beda

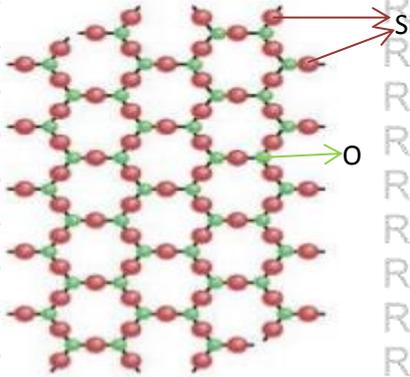
ketinggian antara daerah yang terlindungi dan daerah yang terkikis ( $\Delta Z$ ) sebesar  $0,354\mu\text{m}$ .



Gambar 4. 15 Morfologi Hasil *Etching* KOH Konsentrasi 35% Perlakuan Ke-3 dengan Menggunakan TMS

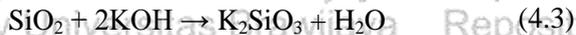
Proses *wet etching* secara umum dibagi menjadi tiga bagian yaitu transportasi reaktan ke permukaan, reaksi kimia di permukaan, dan transportasi produk dari permukaan. Transportasi reaktan ke permukaan berarti transportasi KOH ke  $\text{SiO}_2$ . Gambar 4.16 struktur kristal  $\text{SiO}_2$ , dapat menjelaskan bahwa atom  $\text{Si}^{2+}$  menggabungkan dengan OH (dibentuk oleh disosiasi  $\text{H}_2\text{O}$ ) untuk membentuk  $\text{Si}(\text{OH})_2$  yang kemudian membebaskan  $\text{H}_2$  untuk membentuk  $\text{SiO}_2$ .  $\text{SiO}_2$  yang akan di-*etching* menggunakan larutan KOH. Secara umum KOH akan menyerang lebih banyak lapisan Si, hal tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan (4.2) :





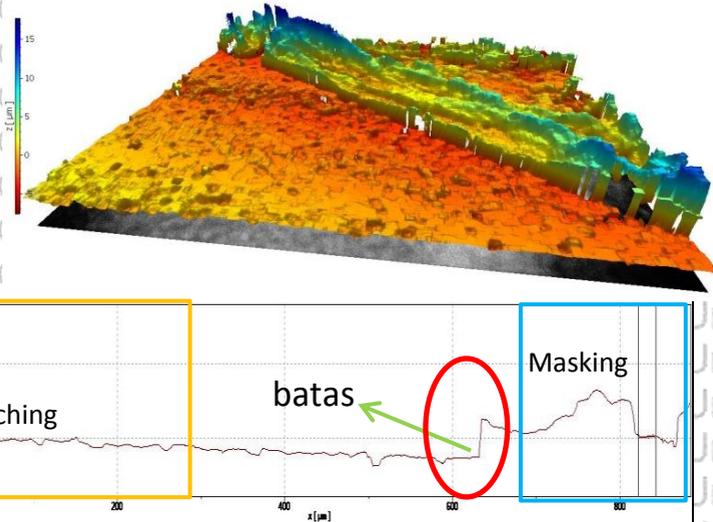
Gambar 4. 16 Struktur Kristal  $\text{SiO}_2$

Proses *etching*  $\text{SiO}_2$  dengan  $\text{KOH}$  dapat direaksikan berdasarkan pers (4.3) yaitu:



sehingga membentuk produk  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Produk  $\text{H}_2\text{O}$  dapat menjadi fase gas ketika dilakukan pemanasan pada suhu  $t^\circ\text{C}$ , sedangkan produk  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  pada fase liquid ketika dilakukan pemanasan pada suhu  $t^\circ\text{C}$  maka dapat bereaksi dengan permukaan yang membentuk suatu reaksi atau lapisan baru di atas permukaan. Untuk menghilangkan penumbuhan lapisan tersebut maka proses *etching* dilakukan dengan pembuatan panas yang konstan salah satunya adalah dengan proses pengadukan, dan dapat ditambah larutan  $\text{HCl} \leq 1\%$  proses dilakukan pada suhu  $40^\circ\text{C}$  hingga  $60^\circ\text{C}$  kemudian dikeringkan pada suhu  $110^\circ\text{C}$  agar tidak membentuk silika gel. Hal ini menyebabkan laju *etching* yang dihasilkan dari  $\text{KOH}$  lebih rendah dibandingkan dengan laju *etching* yang dihasilkan dari larutan  $\text{HF}$ .  $\text{KOH}$  tidak reaktif dalam  $\text{SiO}_2$  melainkan  $\text{KOH}$  reaktif terhadap  $\text{Si}$ . Ketika  $\text{KOH}$  bereaksi dengan  $\text{Si}$ , maka  $\text{Si}(\text{OH})_4^-$  dengan  $\text{H}_2$  akan membentuk gelembung hidrogen.

Dilakukan selektivitas *etching* pada larutan *etchant*  $\text{KOH}$  untuk mengetahui pengaruh sifat reaktan terhadap *masking*  $\text{AuPd}$ .

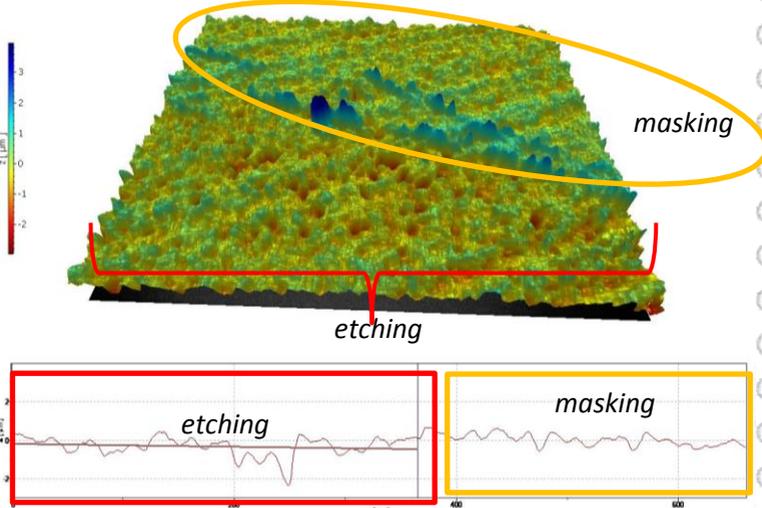


Gambar 4. 17 Morfologi Hasil *Etching* KOH Konsentrasi 25% dengan Mempertahankan *Masking* Au dengan Menggunakan TMS

Gambar 4.17 dapat menjelaskan bahwa KOH konsentrasi 25% dapat mendapatkan beda ketinggian sebesar  $3,062 \mu\text{m}$  selama 2 jam perendaman (lampiran 1.2) dengan mempertahankan lapisan *masking* AuPd. Kemudian setelah *masking* AuPd dihapus maka diperoleh beda ketinggian rata-rata sebesar  $0,987 \mu\text{m}$  selama 2 jam perendaman (lampiran 1.2). Berdasarkan hasil yang diperoleh terdapat tebal sebesar  $2,074 \mu\text{m}$  yang hilang disebabkan oleh larutan aquaregia. Tetapi tebal tersebut bukan tebal pelindung yang sebenarnya, karena tebal *masking* AuPd yang dilakukan *sputtering* selama 6 menit hanya menghasilkan tebal *masking* sebesar  $0,175 \mu\text{m}$  berarti ada sekitar  $1,89 \mu\text{m}$  yang hilang disebabkan oleh larutan aquaregia. Dimana bagian yang seharusnya bertahan tetapi ikut terkikis dan membentuk suatu lapisan baru diatas seluruh permukaan. Gambar 4.18 dapat menjelaskan bahwa KOH konsentrasi 35% dapat mengikis daerah *masking* sebesar  $0,185 \mu\text{m}$  selama 2 jam perendaman (lampiran 1.2) dengan mempertahankan tebal  $\text{SiO}_2$  sebesar  $0,213 \mu\text{m}$ . Dari hasil *etching* KOH konsentrasi 35% dengan

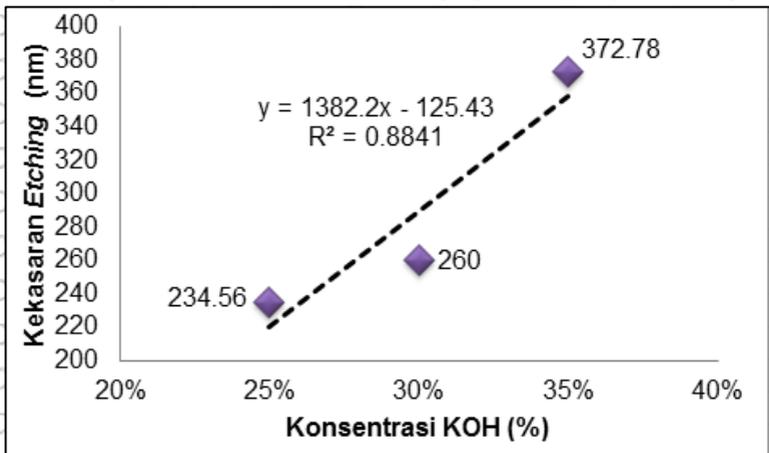


mempertahankan *masking Au*, dapat terlihat bahwa *masking* tidak dapat bertahan dengan baik ketika konsentrasi *etchant* yang digunakan tinggi.

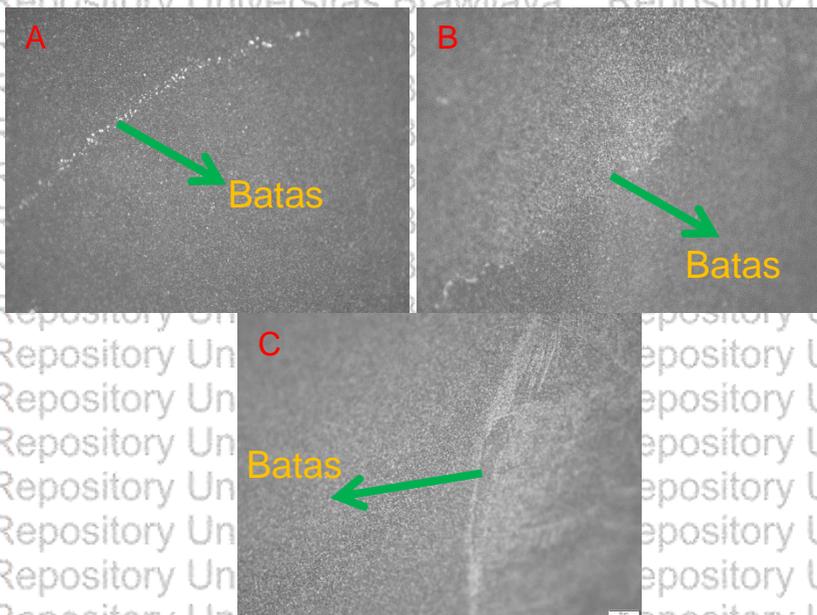


Gambar 4. 18 Morfologi Hasil *Etching* KOH Konsentrasi 35% dengan Mempertahankan *Masking Au* dengan Menggunakan TMS

Reaksi kimia dipermukaan salah satunya adalah membentuk gelembung dipermukaan. Peningkatan konsentrasi KOH menghasilkan peningkatan kepadatan gelembung tetapi ukuran gelembung menurun. Peningkatan kepadatan gelembung pada KOH tidak sebesar peningkatan gelembung pada HF. Gelembung tersebut akan membentuk seperti lapisan yang tidak teratur sehingga menyebabkan permukaan kasar. Berdasarkan Gambar 4.19 daerah yang akan di-*etching* besar kekasaran berbanding lurus dengan konsentrasi larutan *etchant* yang digunakan. Semakin besar konsentrasi KOH maka akan semakin banyak pulau-pulau yang terbentuk diatas permukaan membuat permukaan tersebut menjadi lebih kasar, hal ini dikarenakan padapatan gelembung yang terbentuk akan menutupi daerah *etching* sehingga beda ketinggian antara dua bagian tersebut tidak terlihat seperti Gambar 4.20.



Gambar 4. 19 Grafik Hubungan Kekasaran dengan Konsentrasi KOH



Gambar 4. 20 Morfologi Hasil *Etching* KOH dengan Konsentrasi A)25%, B)30%, C) 35% Menggunakan Mikroskop Optik



### 4.3 Pengaruh *Etching* Terhadap QCM

Pengurangan ketebalan yang dilakukan dengan proses *wet etching*, dari proses tersebut didapatkan sebuah beda ketinggian ( $\Delta Z$ ) dimana  $\Delta Z$  yang diperoleh merupakan tebal QCM setelah melalui proses *etching*. Menurut Sauerbrey (1959) bahwa ketebalan QCM berpengaruh terhadap frekuensi dasar resonator. frekuensi resonansi osilasi juga bergantung pada kecepatan gelombang akustik dan ketebalan dari substrat kristal, dan dapat diekspresikan sebagai :

$$f = n \times \frac{v}{2t} \quad (n=1,2,3, \dots) \quad (4.4)$$

dimana,  $v$  adalah kecepatan gelombang akustik dan ketebalan kristal. Besarnya kecepatan gelombang akustik bergantung pada properti material.

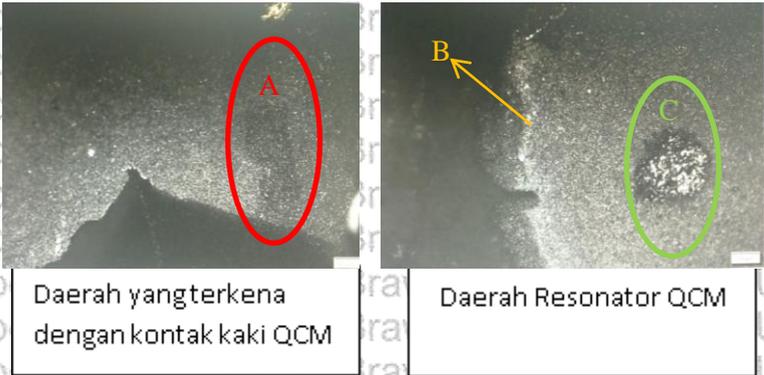
QCM yang sudah di-*etching*, dilapisi sebuah elektroda Ag dengan teknik evaporasi, dan hanya didapat dua QCM yang frekuensinya dapat diukur seperti pada tabel 4.2

Tabel 4. 2 Hubungan tebal QCM terhadap nilai frekuensi QCM

QC M Ke	Sebelum di- <i>etching</i>		Setelah di- <i>etching</i>	
	Tebal QCM ( $\mu\text{m}$ )	f (MHz)	Tebal QCM ( $\mu\text{m}$ )	f(MH z)
Ke- 1	0,16	10	0,072	7,95
Ke- 2	0,259	8	0,071	7,93

Tabel 4.2 menjelaskan bahwa pengikisan tebal QCM berakibat nilai frekuensi turun, hal ini disebabkan lapisan Ag sebagai elektroda tidak terhubung pada bagian kontak sehingga quartz kristal tersebut menghasilkan gelombang akustik yang lemah. Seperti Gambar 4.21 merupakan penyebab gelombang akustik yang merambat melemah yaitu lapisan Ag tidak homogen terlihat ada daerah yang kosong atau tidak terlapsi (bagian A)

dan ada daerah yang terlapis Ag menumpuk (bagian B) serta daerah resonator antara muka depan belakang tidak sama (bagian C).



Gambar 4. 21 Morfologi Lapisan Ag dengan Menggunakan Mikroskop Optik Perbesaran 20x





## BAB IV PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Teknik pembuatan pola pada kristal QCM dapat dilakukan salah satunya dengan teknik *wet etching*. Larutan HF dan KOH digunakan sebagai larutan *etchant* dalam proses *wet etching*.
2. Jenis larutan *etchant* memberikan pengaruh terhadap pola yang dihasilkan. Pengaruh tersebut dapat dilihat berdasarkan laju *etching* dan homogenitas profil yang dihasilkan. Dimana dari dua jenis larutan *etchant* yang digunakan Laju *etching* dan kekasaran maximum terjadi pada larutan HF 35% dibandingkan dengan larutan KOH, tetapi kehomogen profil terjadi pada KOH 30%.
3. Pengaruh pembuatan pola dengan teknik *wet etching* salah satunya adalah frekuensi resonator QCM.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya dari sisi teknik *wet etching* melakukan variasi lama perendaman, dan suhu yang digunakan dalam proses *etching* serta dalam penghapusan *masking* dapat dilakukan dengan cara mengalirkan cairan sehingga tidak terjadi pendeposisian. Sedangkan untuk pembuatan elektroda disarankan sebelum QCM dilakukan *etching* maka membuat osilator contat secara manual sehingga frekuensi yang terukur menjadi parameter frekuensi awal QCM.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Alvi, Pavrej Ahmad. 2012. *MEMS Pressure Sensor: Fabrication and Process Optimization*. Intenatonal Frequency Sensor Publishing
- ASMORO, S., 2015. *Pengembangan Proses Deep Etching Untuk Aplikasi Micromaching Material Kuningan*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Frühauf, J., 2005. *Shape and Functional Elements of The Bulk Silicon Microtechnique*. Springer.
- Goyal, A., 2006. *Ultrasensitive Quartz Crystal Microbalance Integrated With Carbon Nanotubes*. The Pennsylvania State University.
- HS, D., Masruroh, M., 2014. *Pengaruh Konsentrasi dan Viskositas Larutan Polistiren Terhadap Morfologi Permukaan dan Ketebalan Lapisan Znpc pada Permukaan QCM*. Phys. Stud. J. 2, pp-61.
- Ibers, J.A., Kumamoto, J., Snyder, R.G., 1960. *Structure of Potassium Hydroxide: An X-Ray and Infrared Study*. J. Chem. Phys. 33, 1164-1170.
- Jie, H., 2006. *Technical Background, Applications and Implementation of Quartz Crystal Microbalance Systems*.
- Köhler, M., 2008. *Etching in Microsystem Technology*. John Wiley & Sons.
- Kröger, D., Katerkamp, A., Renneberg, R., Cammann, K., 1998. *Surface Investigations on The Development of A Direct Optical Immunosensor*. Biosens. Bioelectron.13, 1141-1147.



- Maluf, N., Williams, K., 2004. *Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering*. Artech House.
- Marx, K.A., 2003. *Quartz Crystal Microbalance: A Useful Tool For Studying Thin Polymer Films And Complex Biomolecular Systems At The Solution-Surface Interface*. *Biomacromolecules* 4, 1099–1120.
- Nayak, A.P., Islam, M.S., Logeeswaran, V.J., 2012. *Wet Etching*, in: *Encyclopedia of Nanotechnology*. Springer, pp. 2829–2830.
- R. C. Jaeger, 2002 *Introduction to Microelectronic Fabrication*, 2 ed. Auburn, Upper Saddle River -Prentice Hall
- Sharma, M.K., Rao, V.K., Merwyn, S., Agarwal, G.S., Upadhyay, S., Vijayaraghavan, R., 2011. *A Novel Piezoelectric Immunosensor for The Detection of Malarial Plasmodium Falciparum Histidine Rich Protein-2 Antigen*. *Talanta* 85, 1812–1817.
- Svehla, G., 1985. *Vogel. Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semi Mikro*. PT Kalman Media Pustaka Jkt.
- Upadhyay, S.K., 2007. *Chemical Kinetics and Reaction Dynamics*. Springer Science & Business Media.



## LAMPIRAN

1. Tabel Hubungan Konsentrasi *Etchant* KOH Dengan Laju *Etching*

Nilai $Z$	QCM Setelah di-stripping				QCM Setelah di-stripping			QCM Setelah di-stripping		
	25%				30%			35%		
	Ke-1	Ke-2	Ke-3	Ke-3	Ke-1	Ke-2	Ke-3	Ke-1	Ke-2	Ke-3
$Z_{\text{masking}}$	2,05	0,23	0,23	0,23	0,18	-0,54	0,07	0,28	0,02	0,30
$Z_{\text{etching}}$	-0,67	0,06	0,24	0,16	-0,07	-0,37	-0,01	0,20	0,06	-0,05
$\Delta Z$	2,72	0,17	-0,01	0,07	0,25	-0,17	0,08	0,07	-0,03	0,35
$Z$	0,12 $\mu\text{m}$				0,16 $\mu\text{m}$			0,21 $\mu\text{m}$		
Etch rate	0,06 $\mu\text{m}/\text{jam}$				0,08 $\mu\text{m}/\text{jam}$			0,065 $\mu\text{m}/\text{jam}$		



## 2. Tabel Tebal lapisan *masking* yang terkikis ( $\text{KOH} + \text{SiO}_2$ )

	25%	30%	35%
<b>Beda Ketinggian setelah di-<i>masking</i></b>	0,1751 $\mu\text{m}$	0,1751 $\mu\text{m}$	0,1751 $\mu\text{m}$
<b>Beda Ketinggian setelah di-<i>etching</i></b>	3,0622 $\mu\text{m}$	0,2767 $\mu\text{m}$	0,3603 $\mu\text{m}$
<b>Beda Ketinggian setelah di-<i>stripping</i></b>	2,0742 $\mu\text{m}$	0,116 $\mu\text{m}$	0,1473 $\mu\text{m}$
<b>Lapisan <i>masking</i> yang hilang awal ke etch</b>	2,8871 $\mu\text{m}$	0,1016 $\mu\text{m}$	0,1852 $\mu\text{m}$
<b>Lapisan <i>masking</i> yang hilang etch ke stripping</b>	0,988 $\mu\text{m}$	0,1607 $\mu\text{m}$	0,213 $\mu\text{m}$



### 3. Tabel Kekasaran pada Daerah *Etching* Hasil KOH

Kondisi QCM	Daerah yang di- <i>etching</i>				
	Konsentrasi (KOH)	Ra (nm)			$\bar{R}_a$ (nm)
		1	2	3	
Baru dengan elektroda	-	803,69	-	-	803,69
Setelah dilapisi Au	-	161,01	348,21	-	254,61
Setelah <i>etching</i> dengan Au masih menempel	25%	309,57	-	-	309,57
	30%	322,93	-	-	322,93
	35%	309,06	-	-	309,06
Setelah <i>etching</i> dengan Au sudah dihapus	25%	686,46	179,46	289,67	234,565
	30%	239,45	364,93	176,66	260,3467
	35%	391,5	411,71	354,07	385,76



#### 4. Tabel Kekasaran pada Daerah *Masking* Hasil KOH

Kondisi QCM	Daerah yang di- <i>masking</i>				
	Konsentrasi (KOH)	Ra (nm)			$\overline{R_a}$ (nm)
		1	2	3	
Baru dengan elektroda	-	199,84	-	-	199,84
Setelah dilapisi Au	-	218,55	296,22	-	257,385
Setelah <i>etching</i> dengan Au masih menempel	25%	1860	-	-	1860
	30%	234,975	-	-	234,975
	35%	232,88	-	-	232,88
Setelah <i>etching</i> dengan Au sudah dihapus	25%	604,71	308,89	308,15	308,52
	30%	217,18	349,45	179,48	248,7033
	35%	321,91	294,63	275,45	297,33

**5. Tabel Hubungan Konsentrasi Etchant HF dengan Laju Etching**

Durasi Etching (Jam)	Konsentrasi HF (%)	$Z_{mask}$ ( $\mu m$ )	$Z_{etch}$ ( $\mu m$ )	$\Delta Z$ ( $\mu m$ )	Etch Rate ( $\mu m/jam$ )
1 Jam	25%	0.07	-0.07	0.14	0.14
	30%	0.57	0.4	0.17	0.17
	35%	9.80	-0.89	10.69	10.69
2 Jam	25%	0.07	-0.19	0.27	0.13
	30%	0.19	-0.18	0.37	0.19
	35%	0.23	-0.28	0.50	0.25

**6. Tabel Kekasaran Permukaan Akibat HF**

<b>Durasi Etching (Jam)</b>	<b>Konsentrasi HF (%)</b>	<b>Ra<sub>mask</sub> (nm)</b>	<b>Ra<sub>etch</sub> (nm)</b>
<b>1 Jam</b>	<b>25%</b>	207,59	240,5
	<b>30%</b>	328,01	317,58
	<b>35%</b>	5010	1400
<b>2 Jam</b>	<b>25%</b>	307,37	359,52
	<b>30%</b>	247,91	270,13
	<b>35%</b>	400,87	408,39