

**MODIFIKASI LAPISAN MASKING POLISTIRENA DENGAN
TEKNIK LASER PADA QUARTZ CRYSTAL
MICROBALANCE**

SKRIPSI

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

Oleh :

**BINTANG DESKA ALFIAN CESAR
(135090307111007)**

PROGRAM STUDI : S1 FISIKA



**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Brawijaya
Malang
2018**



LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**MODIFIKASI LAPISAN MASKING POLISTIRENA DENGAN
TEKNIK LASER PADA QUARTZ CRYSTAL
MICROBALANCE**

Oleh:

BINTANG DESKA ALFIAN CESAR
135090307111007

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

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr.Eng Masruroh, S.Si, M.Si.
NIP.197512312002122002

Prof.Dr.Ing. Setyawan P. Sakti, M.Eng.
NIP.19650825199021001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika FMIPA UB

Prof.Dr.rer.nat Muhammad Nurhuda
NIP.19640910199021001



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Bintang Deska Alfian Cesar

NIM : 135090307111007

Jurusan : Fisika

Penulis tugas akhir dengan judul :

MODIFIKASI LAPISAN MASKING POLISTIRENA DENGAN TEKNIK LASER PADA QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari tugas akhir yang saya buat merupakan karya saya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Nama - nama dan karya – karya yang terdapat pada daftar pustaka digunakan hanya semata – mata untuk acuan.
2. Apabila dikemudian hari tugas akhir ini terbukti menjiplak karya orang lain, maka saya akan mengganggu segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan keadaan sadar dan tidak dalam tekanan

Malang, 15 Juli 2018
Yang menyatakan,

Bintang Deska Alfian Cesar
NIM. 135090307111007



MODIFIKASI LAPISAN MASKING POLISTIRENA DENGAN TEKNIK LASER PADA QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE

ABSTRAK

Performa *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) sebagai sensor dapat ditingkatkan dengan melakukan modifikasi pada permukaannya dengan cara mengurangi ketebalan QCM. Tujuan dari modifikasi permukaan QCM adalah untuk meningkatkan sensitivitas QCM. Teknik laser adalah salah satu teknik untuk mengurangi ketebalan QCM dengan menggunakan laser CO₂. Pada penelitian ini, fungsi laser CO₂ dan variasi arus laser terhadap penghilangan masking polistirena akan diteliti. Polistirena digunakan sebagai masking pada permukaan QCM. Elektroda pada QCM dihilangkan dengan menggunakan larutan HNO₃. Masking polistirena dideposisikan pada permukaan QCM menggunakan alat *spin coater* dengan teknik *spin coating*. Variasi arus laser dapat mempengaruhi nilai kedalaman etsa. Proses teknik laser pada QCM dilakukan dengan menggunakan variasi arus laser sebesar 13,6A; 13,7A; 13,8A; 13,9A; dan 14A dengan kecepatan etsa 10mm/s serta ketebalan garis laser 0,01mm. Permukaan QCM yang ter-etsa diamati menggunakan mikroskop optik dan TMS. Morfologi pada mikroskop optik menunjukkan adanya daerah profil rendah pada daerah yang telah dietsa. Topografi pada TMS menunjukkan adanya nilai kedalaman(z) antara daerah masking dengan daerah etsa. Arus laser yang paling efektif untuk pembentukan pola masking polistirena pada QCM yaitu 14A. Daerah etsa memiliki nilai kekasaran yang lebih besar dibandingkan daerah masking.

Kata Kunci : QCM, Polistirena, Teknik Laser, Masking



MODIFICATION OF POLYSTYRENE MASKING LAYER BY LASER TECHNIQUES ON QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE

ABSTRACT

The performance of QCM as sensor can be upgraded by surface modification by reducing the QCM thickness. The purpose of surface modification the QCM thickness is the improvement of QCM sensitivity. Laser technique is one of the technique to reducing QCM thickness using CO₂ laser. In this experiment, the function of CO₂ laser and variations of current on polystyrene masking removal was investigated. Polystyrene was used as masking on QCM surface. The electrode on QCM surface was removed using HNO₃ solution. The polystyrene mask was deposited on QCM surface using spin coater with spin coating technique. Variations in laser current could affect the depth value of etching. The laser technique process was carried out using variations of current of 13,6A; 13,7A; 13,8A; 13,9A; and 14A with speed etching 10mm/s and the thickness of laser line 0,01mm. The etched area on QCM was observed using optical microscope and TMS. Morphology in optical microscopy show the presence of low profil area in the etched area. Topography of the TMS show the value of the depth(z) between the masking area and the etching area. The most effective laser current to remove the masking layer on QCM was 14 A. The etching area has a greater roughness value compared to the masking area.

Keywords: QCM, Polystyrene, Laser Technique, Masking



Kata Pengantar

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat, karunia, hidayah dan anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul “Modifikasi Lapisan Masking Polistirena dengan Teknik Laser pada Quartz Crystal Microbalance” dengan hanya sebatas kemampuan dan pengetahuan yang penulis miliki.

Secara umum tulisan ini berisi teknik pembentukan pola pada kristal *quartz crystal microbalance* (QCM) dengan teknik laser yang sebelumnya telah dihilangkan elektrodanya dan dideposisi lapisan tipis polistirena pada permukaan QCM.

Selama penulisan naskah proposal tugas akhir ini, tidak sedikit kesulitan yang dialami penulis. Oleh itu, penulis ingin berterima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkah-Nya yang memberikan kemudahan serta kelancaran dalam penulisan naskah proposal tugas akhir.
2. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan moral maupun materiil dari awal perkuliahan hingga pelaksanaan penelitian tugas akhir.
3. Keluarga besar jurusan fisika universitas brawijaya dimulai dari ketua jurusan, dosen-dosen, ketua laboratorium, staff tata usaha, serta para laboran, yang telah memfasilitasi semua kebutuhan penulis selama pelaksanaan skripsi.
4. Ibu Dr. Eng. Masruroh, S.Si,M.Si serta bapak Prof.Dr.Ing.Setyawan Purnomo Sakti,M.Eng. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, dan waktu.
5. Hibah PUPT UB 2017 melalui Ristek Dikti yang telah mendanai penelitian ini.
6. Tim penelitian ASMAT (Advanced System and Material Technology) yang telah membiayai penelitian untuk penulis.
7. Teman-teman seperjuangan angkatan 2013, untuk semua pertemanan yang telah diberikan selama perkuliahan dan pelaksanaan tugas akhir.

Penulis berharap naskah tugas akhir ini dapat bermanfaat dalam rangka menambah wawasan serta pengetahuan kita mengenai

repository.ub.ac.id

teknik baru pada pembentukan pola lapisan pada QCM dengan teknik laser yang sebelumnya telah dihilangkan elektrodanya dan dideposisi lapisan polistirena pada permukaan QCM. Penulis juga menyadari sepenuhnya bahwa didalam naskah ini masih banyak terdapat kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Untuk itu penulis berharap adanya kritik, saran dan usulan yang membangun demi perbaikan dimasa yang akan datang.

Semoga naskah tugas akhir yang sederhana ini dapat dipahami bagi siapapun yang membacanya. Sekiranya proposal yang telah penulis susun ini dapat berguna bagi diri penulis sendiri maupun bagi orang lain yang membacanya. Penulis mohon maaf apabila terdapat kesalahan kata pada naskah ini.

Malang, 15 Juli 2018

Penulis

A large, faint watermark of the Universitas Brawijaya logo is centered on the page. The logo is a shield-shaped emblem with a central figure and the text 'UNIVERSITAS BRAWIJAYA' arched over it.

Daftar Isi

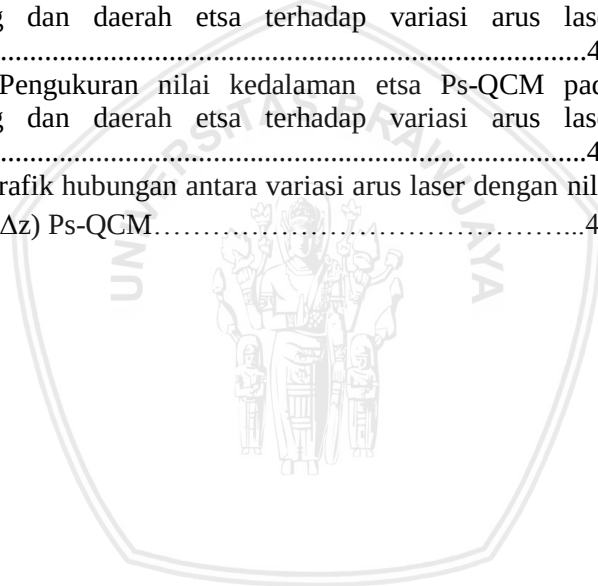
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PERNYATAAN	v
ABSTRAK.....	vii
Kata Pengantar.....	xi
Daftar Isi	xiii
Daftar Gambar	xv
Daftar Lampiran	xvii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Quartz Crystal Microbalance (QCM).....	5
2.2 Masking Polistirena	6
2.3 Metode Spin Coating pada QCM	7
2.4 Laser	8
2.5 Laser CO ₂	9
2.6 Prinsip Kerja Laser	9
2.7 Respons Laser	11
2.8 Kecepatan Evaporasi dari Pelarut saat <i>Spin Coating</i>	12
2.9 Polisterina.....	13
2.10 Mikroskop Optik	14
2.11 <i>Topography Measurement Systems (TMS)</i>	15
BAB III.....	17
METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan	17
3.2.1 Alat Penelitian	17
3.2.2 Bahan Penelitian.....	17
3.3 Metode Penelitian.....	17
3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan.....	17
3.3.2 Persiapan Sampel	18

3.3.3 Persiapan Larutan Polistirena	19
3.3.4 Proses Deposisi Larutan Polistirena pada Permukaan QCM	19
3.3.5 Karakterisasi Morfologi Permukaan Polistirena QCM dengan Mikroskop Optik	19
3.3.6 Desain Pola Etsa Laser	20
3.3.7 Proses Etsa Laser	20
3.3.8 Karakterisasi Morfologi Permukaan Polistirena QCM yang telah Dietsa dengan Mikroskop Optik	21
3.3.9 Karakterisasi Tingkat Kedalaman dan Kekasaran Permukaan Polistirena QCM yang telah Dietsa dengan TMS ..	21
3.4 Diagram Alir.....	23
BAB IV	25
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Pengaruh Laser CO ₂ terhadap Morfologi Ps-QCM	25
4.2 Pengaruh Variasi Arus Laser (CO ₂) terhadap Kekasaran pada Ps-QCM.....	29
4.3 Pengaruh Variasi Arus Laser terhadap Nilai Kedalaman Etsa pada Ps-QCM	36
BAB V	45
PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran	45
Daftar Pustaka	47
Lampiran.....	49

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Skema dari proses <i>spin coating</i>	7
Gambar 2.2 Konsep proses pemotongan dengan mesil laser CO ₂ ..	10
Gambar 2.3 Munculnya sudut maksimum 72° ketika P-polarisasi dengan panjang gelombang 636 nm.....	11
Gambar 2.4 Grafik hubungan antara ketebalan lapisan tipis dengan kecepatan sudut pada konsentrasi larutan yang bervariasi.....	13
Gambar 2.5 Mikroskop optik <i>Olympus bX-51</i>	14
Gambar 2.6 Komponen-komponen dari TMS.....	15
Gambar 3.1 a) QCM dengan elektroda b) QCM tanpa elektroda. ..	18
Gambar 3.2 Ilustrasi etsa laser CO ₂ pada Ps-QCM.....	21
Gambar 3.3 Diagram Alir Prosedur Penelitian.....	23
Gambar 4.1 Morfologi permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,6 A.....	25
Gambar 4.2 Morfologi permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,7 A.....	26
Gambar 4.3 Morfologi permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,8 A.....	27
Gambar 4.4 Morfologi permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,9 A.....	28
Gambar 4.5 Morfologi permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 14 A.....	29
Gambar 4.6 Hasil morfologi kekasaran permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,6 A menggunakan TMS.....	30
Gambar 4.7 Hasil morfologi kekasaran permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,7 A menggunakan TMS.....	31
Gambar 4.8 Hasil morfologi kekasaran permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,8 A menggunakan TMS.....	32
Gambar 4.9 Hasil morfologi kekasaran permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,9 A menggunakan TMS.....	33
Gambar 4.10 Hasil morfologi kekasaran permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 14 A menggunakan TMS.....	34

Gambar 4.11 Grafik hubungan antara variasi arus laser terhadap kekasaran permukaan (Sa) Ps-QCM pada masing-masing daerah masking dan daerah etsa.....	35
Gambar 4.12 Pengukuran nilai kedalaman etsa Ps-QCM pada daerah masking dan daerah etsa terhadap variasi arus laser 13,6A.....	37
Gambar 4.13 Pengukuran nilai kedalaman etsa Ps-QCM pada daerah masking dan daerah etsa terhadap variasi arus laser 13,7A.....	38
Gambar 4.14 Pengukuran nilai kedalaman etsa Ps-QCM pada daerah masking dan daerah etsa terhadap variasi arus laser 13,8A.....	39
Gambar 4.15 Pengukuran nilai kedalaman etsa Ps-QCM pada daerah masking dan daerah etsa terhadap variasi arus laser 13,9A.....	40
Gambar 4.16 Pengukuran nilai kedalaman etsa Ps-QCM pada daerah masking dan daerah etsa terhadap variasi arus laser 14A.....	41
Gambar 4.17 Grafik hubungan antara variasi arus laser dengan nilai kedalaman etsa (Δz) Ps-QCM.....	42



Daftar Lampiran

Lampiran 1 Hasil Pengukuran nilai kekasaran dan nilai kedalaman(Δz) dengan TMS 1200 μ lab.....	49
Lampiran 2 Data hasil kekasaran pada daerah etsa dan daerah masking.....	59
Lampiran 3 Data hasil pengukuran nilai kedalaman (Δz).....	65
Lampiran 4 Gambar alat dan bahan.....	69



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Biosensor merupakan suatu alat atau perangkat sensor yang menggabungkan suatu senyawa biologi dengan transducer. Biosensor digunakan untuk menganalisa suatu target molekul biologi, makromolekul, dan juga atom yang disebut analit. Pada dasarnya, komponen utama biosensor terdiri dari 3 komponen dasar utama yaitu reseptor, transducer, serta sistem output. Salah satu jenis dari biosensor yang saat ini banyak digunakan di dunia yaitu *quartz crystal microbalance* (QCM) (Rahayu et al., 2014). QCM merupakan salah satu jenis biosensor yang dapat mendeteksi konsentrasi dari biomolekul yang mana memiliki pengukuran pada batas tertentu. Dalam aplikasinya, QCM dilapisi oleh material kimia yang dilapiskan dan diendapkan pada kedua sisinya. QCM merupakan sensor pada sistem kromatografi gas, yang artinya dengan penambahan massa senyawa dipermukaannya dapat mengakibatkan penurunan frekuensi resonansinya. Hal ini dapat dimanfaatkan untuk jenis sensor lain, akan tetapi perlu adanya modifikasi pada permukaan untuk menangkap respon yang diinginkan. (Prisma, et al., 2012)

Polistirena merupakan salah satu contoh polimer adisi yang disintesis dari monomer stirena. Polistirena akan bersifat termoplastik padat pada suhu ruangan dan dapat mencair pada suhu yang lebih tinggi sehingga dapat dimolding atau *extrusion*, lalu kembali menjadi padat. Polistirena memiliki sifat yang padat, kaku, transparan, getas dan memiliki kestabilan dimensi yang baik sehingga sulit mengalami perubahan bentuk. Polistirena juga memiliki sifat absorpsi yang sangat rendah terhadap uap air, asam, detergen maupun alkohol. Selain itu bebas dari aditif bersifat non-toksik serta tidak menunjang pertumbuhan bakteri maupun jamur. (Melati, 2008)

QCM biosensor dapat ditingkatkan kinerjanya dengan memodifikasi permukaannya yaitu dengan deposisi polistirena (Ps) pada permukaan QCM dengan kloroform ataupun toluena sebagai pelarutnya. Perbedaan pelarut mempengaruhi morfologi dan kekasaran permukaan polistirena. Morfologi lapisan polistirena dengan pelarut kloroform menghasilkan permukaan yang lebih kasar

repository.ub.ac.id

dibandingkan lapisan polistirena dengan pelarut toluena. Hasil pengukuran nilai kekasaran permukaan lapisan polistiren dengan pelarut kloroform 616,52 nm dan kekasaran permukaan polistirena dengan pelarut toluena 578,9 nm. Perbedaan morfologi dan kekasaran permukaan lapisan ini dipengaruhi oleh parameter kelarutan pelarut dan tekanan uap pelarut.(Prisma, et al., 2012)

Ketebalan dari lapisan tipis yang dideposisikan diatas substrat pada QCM akan mempengaruhi sensitifitas dan kestabilan sensor QCM. Untuk melakukan deposisi pada substrat, salah satunya dapat menggunakan teknik spin atau biasa disebut sebagai *spin coating* (Hudha, et al., 2013). Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Lastria (2016), digunakan AuPd sebagai masking pada QCM dengan metode *sputtering*, akan tetapi metode ini memiliki banyak kekurangan seperti harganya kurang terjangkau dan juga AuPd masih bisa bereaksi dengan KOH, sehingga metode ini kurang efisien.

Dari permasalahan diatas, maka dilakukan penelitian mengenai modifikasi lapisan masking polistirena dengan teknik laser pada *quartz crystal microbalance* (QCM). Metode teknik laser dalam pembentukan pola masking polistirena pada QCM yang sebelumnya telah dihilangkan elektrodanya, merupakan suatu teknik baru yang masih dikembangkan dilaboratorium fisika universitas brawijaya. Cara kerja dari laser ini yaitu dengan mengarahkan *output* dari daya laser yang tinggi pada daerah lapisan Ps yang akan di etsa, kemudian lapisan Ps tersebut akan memanaskan, meleleh, lalu menguap, serta memberikan hasil etsa tepi yang berkualitas tinggi akibat pengaruh gas nitrogen yang diberikan (Sumarya, et al.,2013). Penyinaran yang dilakukan di daerah tertentu pada Ps-QCM ini dilakukan agar lapisan tipis polistirena yang dideposisi pada daerah tersebut dapat dihilangkan pada salah satu sisi QCM-nya. Sehingga dapat dilanjutkan dengan metode etsa basah menggunakan KOH yang pada penelitian selanjutnya digunakan untuk meng-etsa bagian Ps-QCM yang telah dihilangkan polistirenanya dengan teknik laser. Untuk menghilangkan bagian masking(polistirena) diperlukan energi laser yang sesuai(sekitar 13,6A sampai 14A), sehingga hanya akan menghilangkan lapisan polistirena dengan kemampuan etsa bahan dari energi laser terhadap batas yang di etsa pada permukaan Ps-QCM tanpa merusak kuarsa SiO₂. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini penulis lakukan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana fungsi laser CO₂ terhadap proses pembentukan pola masking polistirena pada permukaan QCM?
2. Bagaimana pengaruh arus laser CO₂ terhadap pembentukan pola masking polistirena pada permukaan QCM?

1.3 Tujuan

1. Mempelajari fungsi laser CO₂ pada proses penghilangan masking polistirena pada permukaan QCM.
2. Mengetahui pengaruh arus laser CO₂ terhadap penghilangan masking polistirena pada permukaan QCM.

1.4 Manfaat

1. Memberikan informasi tentang teknik baru dalam pembentukan pola masking polistirena pada permukaan QCM dengan laser CO₂.
2. Memberikan informasi tentang pengaruh arus laser CO₂ terhadap masking polistirena pada permukaan QCM.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diterapkan pada penelitian ini diantaranya:

1. Mesin laser yang digunakan pada percobaan ini adalah *laser engraving mechine* JL-K3020 dengan parameter yang diatur konstan yaitu jarak *laser head* terhadap permukaan bahan serta kecepatan etsa laser.
2. Masking yang digunakan polistirena dengan konsentrasi 6%.
3. Hanya membahas tentang arus laser yang sesuai dalam pembentukan pola masking polistirena pada QCM dengan teknik laser.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Quartz Crystal Microbalance (QCM)

Quartz crystal microbalance (QCM) merupakan salah satu jenis biosensor yang dapat mengukur massa per unit area dengan cara pengukuran terhadap perubahan frekuensi pada resonator kristal kuarsa. Ketebalan dan juga keseragaman lapisan tipis yang dideposisikan pada QCM akan mempengaruhi sensitifitas serta kestabilan sensor QCM. Salah satu teknik masking yang digunakan dalam pelapisan lapisan tipis pada QCM adalah dengan *spin coating* dengan alatnya yang disebut dengan *spin coater* (Hudha, et al., 2013).

Menurut Zou, et al., (2015), QCM merupakan suatu biosensor yang sensitive terhadap perubahan masa yang terjadi dipermukaannya. QCM dapat dikatakan juga sebagai sensor piezoelektrik yang pengaplikasiannya banyak diterapkan pada bidang kesehatan. Suatu sensor QCM yang telah dilapisi oleh bahan tertentu, banya digunakan sebagai bioimunosenor. QCM merupakan suatu sensor pada sistem kromatografi gas yang artinya dengan penambahan massa senyawa dipermukaannya dapat menyebabkan penurunan frekuensi resonansinya.

Menurut Rahayu, dkk (2014), biosensor dapat diartikan sebagai perangkat analisis untuk mengenali target molekul biologi, makromolekul dan atom yang disebut dengan analit. Biosensor memiliki tiga komponen utama yaitu reseptor, transducer, dan sistem output. Salah satu biosensor yang sering digunakan yaitu QCM. QCM merupakan biosensor yang sensitif terhadap perubahan massa pada permukaannya. Menurut Suerbrey tahun 1959, perubahan massa yang terdepositasi berpengaruh terhadap perubahan frekuensi pada kristal. Pengaruh pembebanan massa pada QCM biosensor ini oleh Suerbrey, secara matematis dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta f_o = -2f_o^2 \frac{1}{\rho_q v_b} \frac{\Delta M_q}{A} \quad (2.1)$$

$$f_o = \frac{v_b}{2d} \quad (2.2)$$

dimana Δf merupakan perubahan frekuensi (Hz). f_0 adalah resonan frekuensi dasar dari kristal (Hz), A adalah daerah kristal yang terdeposisi (m^2), ρ_q densitas dari kristal ($2,684 \text{ g/cm}^3$), μ_q modulus shear dari kuarsa ($2,947 \times 10^{11} \text{ g/cm.s}^2$), ΔM_q perubahan massa (kg), v_b kecepatan gelombang dari quartz (3336 m/s) dan d ketebalan quartz. *Quartz crystal microbalance* yang mana sebagai biosensor dapat ditingkatkan kinerjanya dengan cara memodifikasi pada permukaan(*surface*) sensor, hal ini dapat dilakukan dengan cara pendeposisian lapisan tipis pada permukaan QCM. Salah satu deposisi lapisan tipis pada QCM yang sering digunakan yaitu lapisan polistirena(dilarutkan pada dua pelarut yang berbeda) yang nantinya akan menghasilkan morfologi permukaan yang berbeda akibat dari perbedaan pelarutnya. Morfologi permukaan yang lebih kasar akan memberikan immobilisasi yang jauh lebih baik dibandingkan dengan yang halus.

2.2 Masking Polistirena

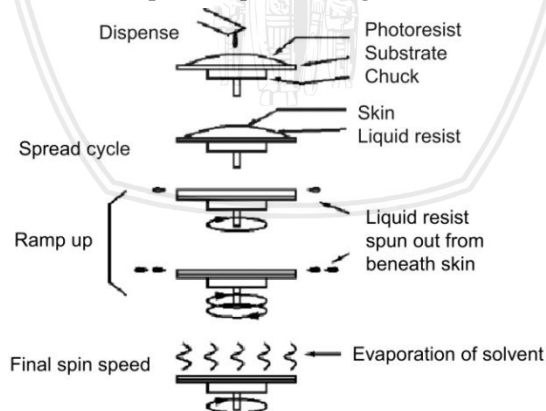
Quartz crystal microbalance (QCM) adalah jenis biosensor yang sensitive terhadap perubahan massa yang terjadi pada permukaannya. Perubahan massa yang terdeposisi berpengaruh terhadap perubahan frekuensi pada kristal. Dalam perkembangannya biosensor jenis ini dapat ditingkatkan performanya dengan melakukan modifikasi pada permukaan QCM. Salah satu tekniknya dengan melakukan deposisi lapisan tipis pada permukaannya. Deposisi lapisan tipis yang sudah mulai dikembangkan yaitu deposisi lapisan polistirena. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Rahayu, et al. (2014), perbedaan jenis pelarut pada polistirena memberikan hasil morfologi permukaan yang berbeda. Permukaan dengan morfologi yang kasar memberikan kemampuan immobilisasi yang lebih baik dibandingkan dengan yang halus. Selain hal jenis pelarut, metode deposisi yang digunakan juga mempengaruhi tingkat kekasaran morfologi pada permukaan QCM. Salah satu teknik deposisi lapisan tipis polistirena yaitu dengan *spin coating*.(Hudha et al., 2013)

2.3 Metode Spin Coating pada QCM

Menurut Christian & Albrechts (2011), *spin coating* merupakan salah suatu metode yang mudah untuk mendeposisikan lapisan tipis organik pada permukaan QCM. Spin coating biasanya digunakan pada substrat datar yang akan dideposisikan lapisan tipis diatasnya. Konsep dasarnya yaitu larutan ditempatkan/diteteskan pada permukaan substrat yang kemudian substrat diputar dengan kecepatan tinggi sehingga nantinya akan menyebarkan cairan secara merata dengan gaya sentrifugal. Alat yang digunakan untuk *spin coating* yaitu *spin coater*. Berikut ini adalah tahapan dalam spin coating :

- Teteskan larutan diatas permukaan datar substrat
- Percepat perputaran dari substrat hingga akhir *spin coating* dengan kecepatan rotasi yang diinginkan
- Putar substrat pada kecepatan konstan dan nantinya gaya viskositas fluida akan berpengaruh juga terhadap ketipisan lapisan tipisnya
- Lanjutkan pemutaran secara konstan dan nantinya pelarut akan mengalami evaporasi dan yang tersisa pada substrat adalah terlarutnya

Setelah evaporasi terjadi pada seluruh pelarut pada substrat tadi, maka nantinya akan dihasilkan lapisan tipis yang padat. Berikut merupakan ilustrasi dari proses *spin coating*.



Gambar 2.1 Skema dari proses *spin coating* (Christian & Albrechts, 2011)

Spin Coating merupakan salah satu teknik deposisi polistirena yang pada prinsipnya menggunakan deposit cairan dalam jumlah kecil, kemudian diputar dengan kecepatan tinggi (sekitar 3000rpm) pada bidang datar. Ketebalan lapisan h_f yang dihasilkan melalui teknik *spin coating* ini dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$h_f = kx_{1,0}\omega^{-\beta} \quad (2.3)$$

dimana k merupakan konstanta yang bergantung pada konsentrasi, viskositas dari larutan dan karakteristik yang lain dari pelarut dan polimer, $x_{1,0}$ adalah fraksi berat polimer, dan ω merupakan kecepatan rotasi. (Hudha, et al., 2013)

2.4 Laser

Menurut Ismail (2012), laser merupakan devais yang memancarkan gelombang elektromagnetik yang mana melewati proses yang disebut dengan emisi spontan. Laser yang memiliki singkatan *light amplification by stimulated emission of radiation*, dapat diartikan juga sebagai penguatan cahaya melalui radiasi yang dirangsang. Pada dasarnya, laser menghasilkan cahaya tampak yang sifatnya koheren, monokromatik, satu arah, lintasannya berupa garis lurus, serta intensitas sangat tinggi. Saat posisi atom berada pada tingkat eksitasi, lalu disinari dengan foton (yang sesuai), maka yang terjadi elektron pada tingkat eksitasi ini akan pindah posisinya ke tingkat yang lebih rendah dengan memancarkan foton. Apabila cahaya tersebut mengenai atom lainnya yang saling berdekatan, maka semakin banyak cahaya yang akan dilepaskan. Hal ini menyebabkan reaksi berantai yang berkelanjutan sehingga nantinya atom-atom akan memancarkan cahaya secara bersamaan. Ketika cahaya tersebut dipantulkan pada cermin khusus, maka intensitasnya akan semakin tinggi dan mampu menembus cermin, lalu terbentuklah sinar laser. (Munasir, 2004)

Laser yang berbasis pada proses manufaktur banyak digunakan disektor industri untuk memperbaiki kualitas kehidupan manusia di bumi. Contoh aplikasi laser dengan daya tinggi dapat terlihat pada informasi digital yang disimpan dalam bentuk *compact disks* (CDs) dengan menggunakan laser, kemudian *safety airbag* yang terdapat pada beberapa mobil dilas menggunakan laser. Pada kaleng minuman, nomor seri dicetak tandanya menggunakan laser,

serta pada pisau cukur labelnya dicetak menggunakan laser. (Li, 2009)

2.5 Laser CO₂

Laser CO₂ atau laser karbon dioksida merupakan jenis laser yang paling dioperasikan dalam biomedical maupun bidang industri. Hal ini karena laser CO₂ memiliki efisiensi yang tinggi serta memiliki keluaran daya yang tinggi juga. Daya yang diperoleh biasanya berkisar 5 – 20 % dari daya masukan untuk sinar laser yang dihasilkan, dan nilai ini termasuk nilai tertinggi apabila dibandingkan dengan jenis laser gas lainnya. Panjang gelombang yang dipancarkan laser CO₂ berkisar 10,6 μm yang mana dengan panjang gelombang tersebut, laser jenis gas CO₂ dapat diaplikasikan untuk keramik, material organik, dll (Ismail, 2012).

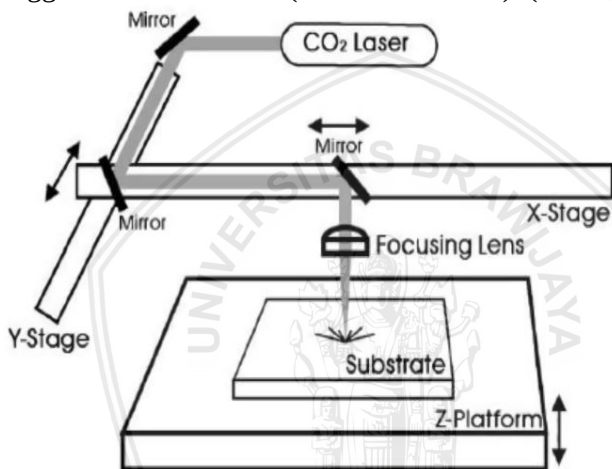
Menurut Samarya, et al., (2013) Laser CO₂ yang dapat diaplikasikan untuk *cutting* ini memiliki berbagai keunggulan jika dibandingkan dengan teknologi manufaktur lainnya. Hal ini karena jenis *laser cutting* ini mampu menerima data langsung dari komputer, sehingga otomatisasi pemotongan dapat berjalan pada bidang industri. Kualitas dari hasil pemotongan dengan *laser cutting* sangat dipengaruhi oleh kekuatan daya laser, lebar garitan(etsa), kekasaran permukaan, kecepatan etsa sinar laser, dan juga keahlian pengguna laser tersebut.

2.6 Prinsip Kerja Laser

Menurut Samarya, et al., (2013), pada *laser cutting* cara kerjanya yaitu dengan mengarahkan *output* dari daya laser yang tinggi pada material atau bahan yang akan dipotong. Kemudian material tersebut akan memanaskan, meleleh, lalu menguap oleh gas, serta memberikan hasil goresan tepi (etsa) yang berkualitas tinggi akibat dari pengaruh gas nitrogen yang diberikan. Laser CO₂ memancarkan cahaya monokromatik serta koheren, yang mana radiasi laser inframerah panjang gelombangnya 10,6 μm . Media laser aktif yang terdapat pada laser CO₂ merupakan campuran dari CO₂ 4,5%, N₂ 13,5%, serta He 82%.

Pada dasarnya, laser dihasilkan dari proses relaksasi elektron. Saat proses ini berlangsung, sejumlah foton akan dilepaskan, berbeda dengan cahaya senter emisi, pada laser akan terjadi dengan teratur, sedangkan pada lampu senter emisi sebaliknya, terjadi secara acak.

Laser emisi nantinya menghasilkan panjang gelombang tertentu, sedangkan lampu senter emisi nantinya menghasilkan cahaya yang memiliki banyak panjang gelombang. Proses didalamnya yang terjadi yaitu elektron pada keadaan *ground state* (pita valensi) mendapat energi yang kemudian naik tingkatan menuju pita konduksi(keadaan eksitasi), lalu elektron tersebut kembali ke tingkatan awalnya (*ground state*) yang disertai dengan beberapa foton yang terlepas, lalu agar energi yang dibawahnya cukup besar, maka dibutuhkan lensa atau cermin yang berperan sebagai resonator. Saat berada didalam resonator inilah foton-foton tersebut akan saling memantul pada dinding resonator sehingga energinya cukup kuat untuk meninggalkan resonator tadi(lensa atau cermin). (Ismail, 2012)



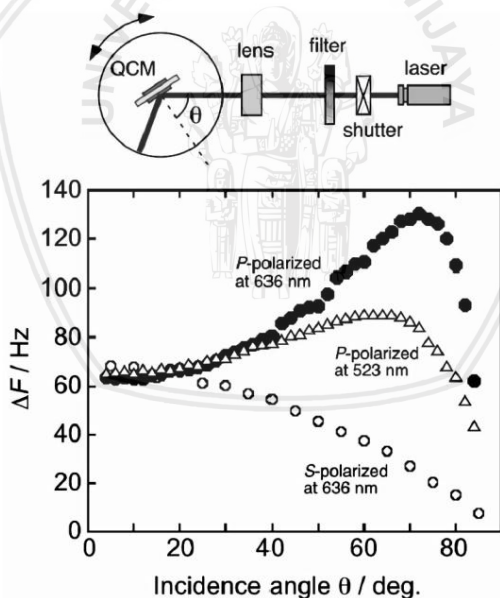
Gambar 2.2 Konsep proses pemotongan dengan mesin laser CO₂ (Badruzzaman, Baskoro, & Siswantoro, 2016)

Ismail (2012), juga menyebutkan bahwa laser dapat beroperasi pada *continuous wave* atau modus kontinu, dengan amplitudo dalam bentuk pulsa atau keluaran konstan. Laser pulsa dihasilkan menggunakan teknik *q-switching*, *modelocking* (mode terkunci) atau *gain switching*. Daya yang dihasilkan oleh laser pulsa tergolong sangat besar. Pada mode operasi kontinu, berkas laser yang dihasilkan, relatif konstan terhadap waktu. Hal ini dihasilkan dari adanya populasi konversi yang berlangsung terus menerus dengan sumber pompa energi yang stabil. Sedangkan pada mode pulsa,

berkas laser yang dihasilkan akan berubah terhadap waktu secara bolak-balik dalam mode on-off. Pada umumnya laser pulsa dibuat untuk menghasilkan daya laser yang sangat besar ataupun cukup besar dalam waktu radiasi yang cukup singkat.

2.7 Respons Laser

Menurut Kawasaki, et al., (2009), radiasi laser yang lemah (523-785 nm, 5-60 mW) pada permukaan elektroda Au dengan frekuensi pada *quartz crystal microbalance* sebesar 27-MHz akan menyebabkan peningkatan frekuensinya (massa berkurang) pada fase udara. Perubahan fase ini bergantung dari panjang gelombang yang dipancarkan laser dengan urutan 520 nm > 636 nm > 785 nm, yang berkaitan dengan penyerapan cahaya dari elektroda Au pada QCM tersebut. Respon dari laser akan meningkat secara linier seiring dengan penambahan daya laser (5-60 mW). Dalam penjumlahannya, respon laser menunjukkan timbulnya sudut maksimum 72° (Grafik 2.5) ketika P-polarisasi dengan panjang gelombang 636 nm yang diradiasikan pada permukaan Au.



Gambar 2.3 Munculnya sudut maksimum 72° ketika P-polarisasi dengan panjang gelombang 636 nm (Kawasaki et al., 2009)

2.8 Kecepatan Evaporasi dari Pelarut saat *Spin Coating*

Menurut Christian & Albrechts (2011), untuk proses *spin coating* diperlukan suatu pelarut yang mengalami evaporasi secara cepat pada suhu ruang, seperti aceton dan toluena. Proses evaporasi akan berpengaruh pada aliran dari larutan. Apabila evaporasi dari pelarut terjadi dengan sangat cepat, maka larutan akan mengalir lebih lambat diiringi dengan meningkatnya viskositas larutan. Ketebalan dari lapisan yang dideposisi pada substrat ini tergantung pada laju evaporasi pelarut. Biasanya, saat melakukan *spin coating* terdapat 3 kasus yang mungkin:

- Pelarut tidak mengalami evaporasi. Ini menandakan bahwa ketebalan lapisan (d) hanya tergantung dari kecepatan rotasi (ω) dan waktu pemutaran/*spinning* (t)

$$d: \omega^{-1} \cdot t^{-\frac{1}{2}} \quad (2.3)$$

- Evaporasi pada pelarut dengan laju konstan.

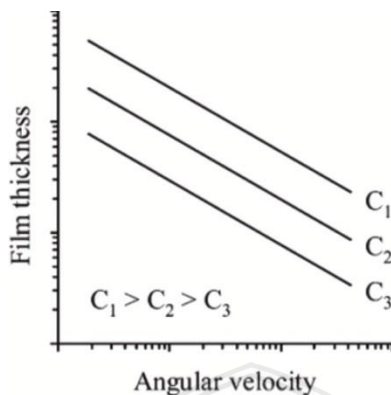
$$d: \omega^{-\frac{2}{3}} \quad (2.4)$$

- Evaporasi pada pelarut bervariasi dengan akar kuadrat dari kecepatan sudutnya.

$$d: \omega^{-\frac{1}{2}} \quad (2.5)$$

Pada metode *spin coating*, interaksi antara substrat dengan larutan lebih kuat daripada interaksi antara permukaan larutan dengan udara. Selama proses *spin coating*, pelarut akan mengalami evaporasi yang menyebabkan peningkatan konsentrasi dan juga kecepatannya. Ketebalan dari suatu lapisan yang dideposisikan pada substrat bergantung pada kecepatan dan konsentrasi dari cairan. Semakin terkonsentrasi suatu larutan, semakin tebal lapisan yang diperoleh. Sebaliknya, semakin besar kecepatan sudutnya, semakin tipis ketebalan yang didapatkan. Sedangkan untuk waktu *spinning*, pada kecepatan *spinning* yang konstan, semakin lama waktu *spinning*, maka semakin tipis lapisannya. Untuk hubungan antara ketebalan lapisan tipis dengan kecepatan sudut pada konsentrasi larutan yang bervariasi, dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah. Pada

grafik dapat terlihat dengan variasi konsentrasi larutan (C_1, C_2, C_3) dan kecepatan sudut, menyebabkan ketebalan yang berbeda-beda.



Gambar 2.4 Grafik hubungan antara ketebalan lapisan tipis dengan kecepatan sudut pada konsentrasi larutan yang bervariasi. (Christian & Albrechts, 2011)

2.9 Polisterina

Polistirena merupakan suatu monomer stirena, sebuah hidrokarbon cair yang dibuat secara komersial dari minyak bumi. Pada suhu ruangan, polistirena bisa bersifat termoplastik padat serta dapat mencair pada suhu yang tinggi. Beberapa sifat polistirena yaitu stabilitas dimensi yang tinggi serta *shrinkage* yang rendah, tahan terhadap air, dan juga mudah terbakar. Polisterina banyak digunakan dalam insulator listrik. Menurut Suseno, et al., (2005), proses polimerisasi merupakan suatu proses pembentukan polimer/makromolekul dari pengulangan satuan-satuan sederhana monomernya. Banyak faktor yang mempengaruhi proses polimerisasi, antara lain temperatur reaksi, jenis dan konsentrasi dari inisiator, monomer pelarut, suspending agent, waktu polimerisasi, serta kecepatan pengadukan. Stirena dapat disintesis menjadi polistirena dengan menggunakan metode polimerisasi suspensi.

Polimerisasi suspensi merupakan salah satu dari sejumlah proses dimana berbagai zat organik tak jenuh dapat dipolimerisasi, yang mana membutuhkan empat bahan dasar yaitu monomer, medium disperse, suspending agent dan juga inisiator. Pada dasarnya proses polimerisasi suspensi hampir sama dengan proses polimerisasi

emulsi dan juga polimerisasi dispersi. Polimerisasi suspensi stirena menjadi polistirena akan terjadi pada suhu 90°C , sedangkan pada suhu dibawahnya akan menghasilkan polisterina dengan bentuk dan ukuran kristal yang tidak seragam serta membutuhkan waktu polimerisasi lebih lama dibandingkan polimerisasi pada suhu 90°C .

2.10 Mikroskop Optik

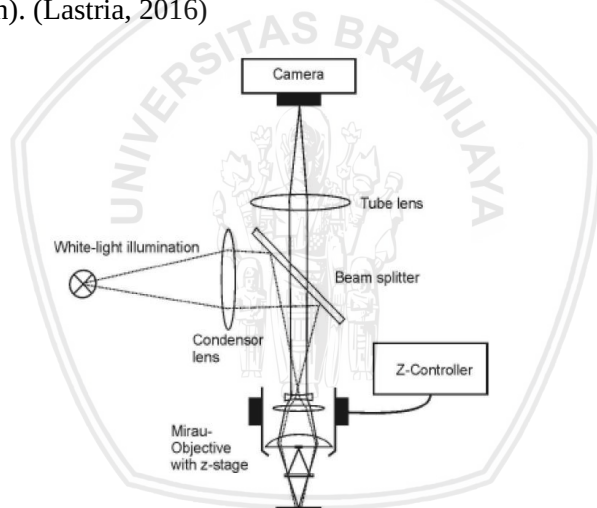
Mikroskop optik merupakan salah satu instrumentasi yang paling banyak digunakan. Dengan menggunakan alat ini, kita dapat melihat dan mengamati mikroorganisme serta material yang tak tampak oleh mata, baik itu morfologinya maupun strukturnya. Mikroskop mampu melakukan perbesaran observasi dalam kisaran seratus kali hingga ratusan ribu kali. Pada mikroskop cahaya memiliki perbesaran maksimum yaitu 1000x. Mikroskop cahaya ini juga memiliki kaki yang kokoh agar dapat berdiri stabil. Pada mikroskop cahaya(optik) terdapat 3 lensa didalamnya, yaitu lensa obyektif, lensa okuler, dan kondensor. Lensa okuler dan lensa obyektif letaknya terdapat pada kedua ujung tabung pada mikroskop. Untuk lensa okuler, bisa berbentuk monokuler (lensa tunggal) atau binokuler (ganda). Pada bagian bawah mikroskop, terdapat tempat untuk lensa obyektif yang mana bisa dipasang 3 lensa bahkan lebih. Pada bagian bawah tabung mikroskop terdapat sebuah meja penyangga yang berfungsi sebagai tempat preparat. Pada kondensor digunakan untuk menerangi obyek serta lensa lainnya pada mikroskop. (Hernatha, 2013)



Gambar 2.5 Mikroskop optik *Olympus bX-51*

2.11 Topography Measurement Systems (TMS)

Topography Measurement Systems (TMS) merupakan salah satu mikroskop dengan prinsip kerjanya berdasarkan pada konsep *topography* non kontak serta pengukuran parameter pada permukaan material. Hasil pengukurannya berupa peta *topography* dengan resolusi tinggi dari permukaan mikrostruktur serta fungsional. Teknik pengukuran yang digunakan pada TMS ini yaitu berdasarkan dari prinsip interferometer Michelson. Pada TMS-1200, bagian utamanya yaitu *white light illumination*, lensa kondensor, interferometer (*Michelson objective*), *Tube lens*(untuk memfokuskan berkas dari hasil interferensi), *Mirau-Objective with z-stage*(lensa obyektif dengan pengontrol ketinggian), *CCD camera* (kamera yang digunakan sebagai penghasil citra digital *topography* pada permukaan). (Lastia, 2016)



Gambar 2.6 Komponen-komponen dari TMS (Lastia, 2016)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2017 di laboratorium sensor, laboratorium material, dan laboratorium fisika material dan plasma jurusan fisika fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam universitas brawijaya.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain lemari asam, neraca digital, *cotton bud*, masker, botol kecil, sarung tangan karet, gelas ukur, cawan petri, pipet tetes, pinset, *ultrasound bath brason* 2510, *spin coater*, mikropipet, *yellow tip*, oven, *laser engraving mechine* JL-K3020, mikroskop optik *olympus bX-51*, dan *topography measurement system* (TMS) 1200 μ lab.

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah polistirena (Ps) dengan berat 0,06 gr, kloroform 1 ml, aquades, HNO₃ 3ml, dan QCM.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, digunakan beberapa alat dan bahan yang memiliki fungsinya masing-masing, diantaranya: *ultrasound bath brason* 2510 digunakan untuk melarutkan larutan polistiren serta membersihkan permukaan QCM, *spin coater* digunakan untuk deposisi larutan polistirena pada permukaan QCM, botol kecil digunakan sebagai tempat pelarutan polistirena dan kloroform untuk menghasilkan larutan polistirena 6%, mikropipet digunakan untuk meneteskan larutan polistirena pada permukaan QCM, oven digunakan untuk memanaskan QCM setelah dibersihkan dan dideposisi agar sisa-sisa pelarut yang masih menempel pada QCM hilang, *laser engraving mechine* JL-K3020 digunakan untuk mengetsa pola pada permukaan QCM dengan arus laser tertentu, mikroskop optik *Olympus bX-51* digunakan untuk mengamati

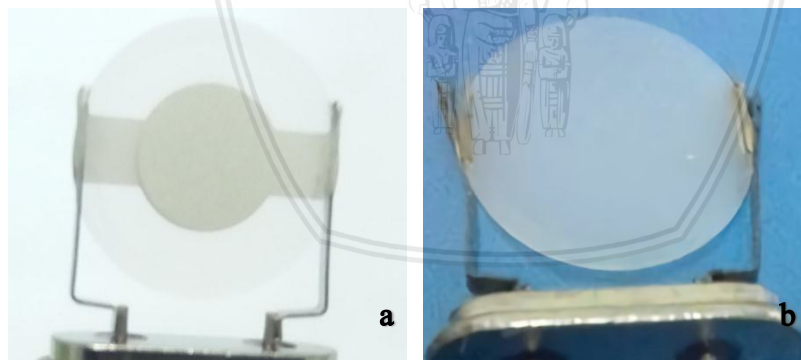
repository.ub.ac.id

morfologi permukaan QCM yang telah dilapisi polistirena baik sebelum maupun setelah dilakukan etsa pola dengan laser, *topography measurement system* (TMS) 1200 μ lab digunakan untuk mengukur beda ketinggian antara daerah yang di etsa dan daerah yang tidak di etsa laser serta digunakan untuk mengukur kekasaran pada permukaan QCM yang telah di etsa.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah HNO_3 murni sebagai bahan untuk menghilangkan elektroda pada QCM, polistirena digunakan sebagai bahan yang dideposisikan pada permukaan QCM, kloroform digunakan sebagai pelarut pada larutan polistirena, aquades digunakan sebagai bahan pembersih QCM.

3.3.2 Persiapan Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian ini yaitu QCM tanpa elektroda. Pertama QCM disiapkan terlebih dahulu dengan cara menghilangkan elektroda pada QCM dengan senyawa HNO_3 yang dilakukan pada lemari asam. Prosedur ini dilakukan dengan membasahi *cotton bud* dengan HNO_3 kemudian digosokkan ke sampel QCM secara perlahan hingga elektroda hilang secara sempurna. Tahap selanjutnya setelah elektroda pada QCM dihilangkan, kemudian sampel dibilas bersih dengan aquades dan dioven pada suhu 110°C selama 15 menit.



Gambar 3.1 a) QCM dengan elektroda b) QCM tanpa elektroda

3.3.3 Persiapan Larutan Polistirena

Dalam persiapan larutan polistirena, digunakan polistirena sebagai fase terlarutnya dan kloroform sebagai pelarutnya. Konsentrasi yang dipakai pada larutan ini sebesar 6%. Rumus penentuan jumlah konsentrasi dapat terlihat dari persamaan berikut:

$$\text{Konsentrasi} = \frac{\text{massa zat terlarut}(\text{gr})}{\text{massa larutan}(\text{gr})} \times 100\% \quad (3.1)$$

Berdasarkan dari rumus konsentrasi diatas maka dapat ditentukan massa terlarut (polistirena) dan volume pelarut (kloroform) masing-masing sebesar 0,06 gr dan 1 ml. Pengukuran massa polistirena dilakukan dengan menggunakan neraca digital, sedangkan pengukuran volume kloroform dilakukan dengan menggunakan gelas ukur. Kedua bahan tersebut dilarutkan pada botol kecil dengan menggunakan *ultrasound bath brason* 2510 selama 3-5 menit hingga larutan tercampur sempurna.

3.3.4 Proses Deposisi Larutan Polistirena pada Permukaan QCM

Pada tahap ini, pelapisan larutan polistirena dilakukan diatas *spin coater* yang telah disetting dengan pengaturan $t_1 = 5\text{sec}$, $t_2 = 60\text{sec}$, $\omega_1 = 500\text{rpm}$, $\omega_2 = 3000\text{rpm}$, dan mikropipet diatur pada $50\mu\text{L}$. Setelah dilakukan pengaturan tersebut, *pump* pada *spin coater* dinyalakan kemudian ditekan tombol *run*. Larutan polistirena yang terdapat pada mikropipet tadi disemprotkan saat peralihan $\omega_1 = 500\text{rpm}$, $\omega_2 = 3000\text{rpm}$.

Setelah proses deposisi selesai, lalu dilakukan pemanasan dengan menggunakan oven pada 120°C selama 1 jam untuk menghilangkan sisa-sisa pelarut dan agar tidak terjadi gelembung pada permukaan QCM yang telah dideposisi.

3.3.5 Karakterisasi Morfologi Permukaan Polistirena QCM dengan Mikroskop Optik

Karakterisasi menggunakan mikroskop optik ini bertujuan untuk mengidentifikasi morfologi permukaan QCM agar dapat diketahui tingkat pemerataan lapisan polistirena yang dideposisikan pada permukaan QCM.

repository.ub.ac.id

Karakterisasi morfologi ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik *olympus bX-51*. Mikroskop optik ini memiliki perbesaran lensa okuler yang tetap yaitu 10x, sedangkan perbesaran lensa obyektifnya 5-100x. Pada penelitian ini digunakan perbesaran pada lensa obyektif sebesar 20x, yang mana perbesaran ini merupakan perbesaran optimum untuk mendapatkan gambaran morfologi permukaan sampel yang baik. Resolusi yang digunakan pada pengamatan ini yaitu 1600x1200.

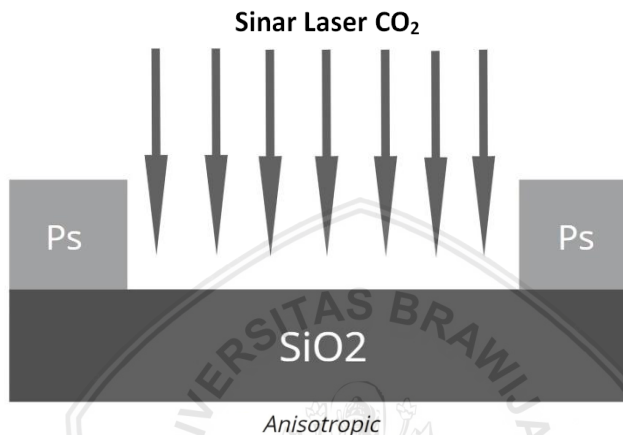
3.3.6 Desain Pola Etsa Laser

Daerah etsa merupakan suatu area hasil dari garitan pada permukaan sampel yang ditembak dengan laser dengan arus tertentu yang menghasilkan nilai kedalaman(Δz). Nilai kedalaman(Δz) merupakan selisih antara daerah masking Ps dengan daerah etsa. Tahapan sebelum melakukan etsa dengan laser adalah desain pola etsa. Pada tahap ini dilakukan pembuatan desain layout yang nantinya akan menjadi lembar kerja pada program laserDRW dan juga desain dari pola yang akan di etsa pada permukaan QCM yang telah dideposisi polistirena. Langkah pertama yang dilakukan setelah membuka program laserDRW adalah mendesain layout dengan ukuran 10cm x 6cm. Setelah layout tersedia, maka selanjutnya yaitu membuat desain dengan ukuran dan bentuk yang sama persis dengan QCM. Selanjutnya yaitu membuat desain pola etsa pada QCM dengan ukuran jari-jari 3,5 mm yang diposisikan dibagian tengah elektroda pada layout QCM sebelumnya. Setelah itu, desain dari layout QCM dihapus, sehingga yang tersisa hanya desain pola etsa yang memiliki jari-jari 3,5 mm.

3.3.7 Proses Etsa Laser

Proses etsa sampel QCM menggunakan laser dilakukan dengan mengatur jarak *laser head* dengan bahan yaitu 4,7 cm, kecepatan etsanya dibuat konstan pada kecepatan 10mm/s, dan ketebalan garis laser yang digunakan sebesar 0,01mm. Sampel diatur letaknya sesuai dengan layout yang telah dibuat sebelumnya pada program laserDRW. Proses etsa laser dilakukan pada daerah tengah sampel Ps-QCM dengan variasi arus laser 13,6A; 13,7 A; 13,8 A;

13,9 A; dan 14 A. Variasi dari arus laser ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh arus laser terhadap tingkat kedalaman antara daerah yang dietsa dengan daerah yang tidak dietsa. Target dari etsa laser CO₂ yakni Ps sehingga nantinya diharapkan akan menyisakan substrat SiO₂ pada daerah etsa seperti yang diilustrasikan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Ilustrasi etsa laser CO₂ pada Ps-QCM

3.3.8 Karakterisasi Morfologi Permukaan Polistirena QCM yang telah Dietsa dengan Mikroskop Optik

Karakterisasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi morfologi permukaan pada perbatasan daerah sampel yang telah dietsa oleh laser dengan variasi arus laser 13,6A; 13,7 A; 13,8 A; 13,9 A; dan 14 A. Seperti pengamatan sebelumnya, pada karakterisasi ini digunakan mikroskop optik *olympus bX-51* dengan perbesaran lensa okuler 10x, lensa obyektif 20x, dan resolusi yang digunakan 1600x1200. Mikroskop optik akan memberikan hasil pengamatan morfologi sampel secara 2 dimensi.

3.3.9 Karakterisasi Tingkat Kedalaman dan Kekasaran Permukaan Polistirena QCM yang telah Dietsa dengan TMS

Pada prosedur karakterisasi tingkat kedalaman dan kekasaran daerah etsa, dilakukan dengan software TMS 3.2. Langkah pertama

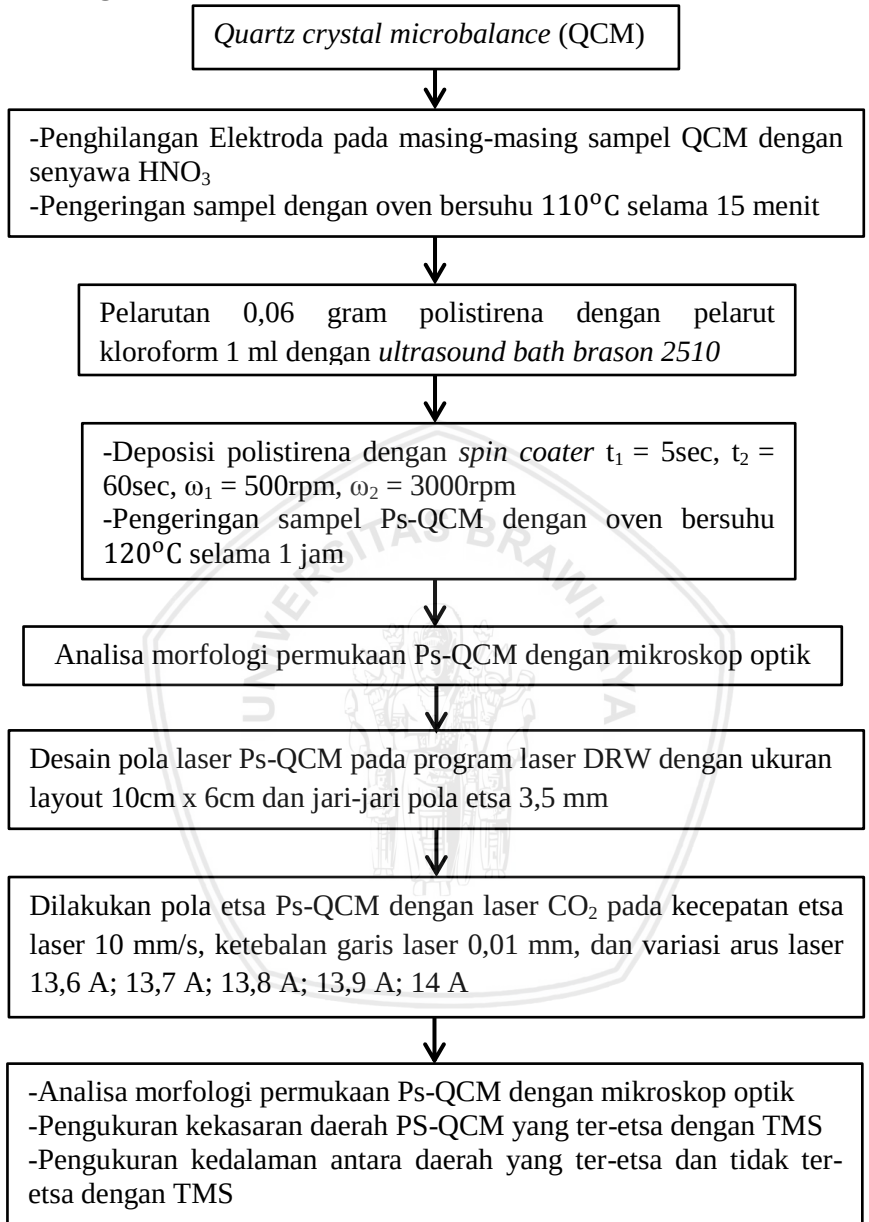
repository.ub.ac.id

yang dilakukan yaitu pengaktifan perangkat TMS, kemudian sampel dipasang pada TMS dan diatur letaknya agar didapatkan posisi yang tidak miring yang ditandai dengan bercak merah pada layar monitor yang merata serta tidak ada variasi warna saat dilakukan *scanning*. Langkah ini bisa dilakukan dengan pengaturan nilai *threshold*. Setelah itu diatur batas profilnya hingga saat *scanning* batas atas, bercak merah pada layar monitor hilang, begitu juga dengan batas bawahnya. Lalu dilakukan penguncian. Kemudian akan didapatkan morfologi permukaan 2 dimensi dari sampel, hasil tersebut juga dapat ditampilkan dalam bentuk 3 dimensi. Langkah yang dilakukan selanjutnya yaitu *regresi linear* untuk mengatasi sampel yang miring saat dilakukan *scanning*.

Analisis tingkat kedalaman etsa yang digunakan yaitu dengan membuat garis lurus pada perbatasan antara daerah yang di etsa dengan yang tidak di etsa, lalu untuk analisis data tingkat kedalaman etsanya digunakan parameter Δz . Analisa kekasaran yang digunakan yaitu membuat garis bertingkat pada daerah etsa sampel. Parameter kekasaran yang digunakan untuk analisis ini yaitu kekasaran rata-rata R_a , R_z , dan R_{max} .



3.4 Diagram Alir



Gambar 3.3 Diagram alir prosedur penelitian

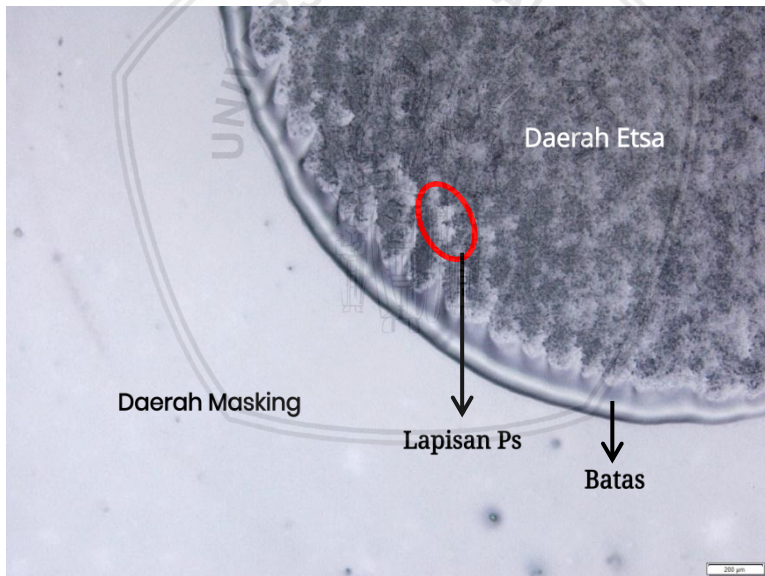
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

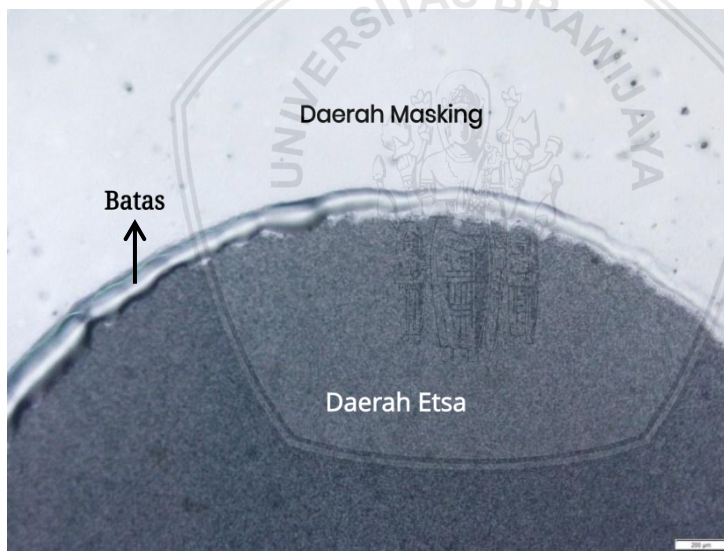
4.1 Pengaruh Laser CO₂ terhadap Morfologi Ps-QCM

Laser CO₂ yang ditembakkan kepermukaan sampel Ps-QCM akan mempengaruhi morfologi dari Ps-QCM. Arus laser tertentu yang diberikan akan memanaskan dan menguapkan lapisan Ps pada permukaan sampel, serta mengetsa sampel dengan bentuk pola etsa yang telah dibuat sebelumnya pada program laserDRW. Morfologi permukaan lapisan Ps diamati dengan menggunakan mikroskop optik *olympus bX-51* dengan perbesaran yang digunakan yaitu 50x. Bagian yang diamati yaitu pada batas daerah Ps dan daerah yang dietsa untuk semua sampel. Hasil morfologi permukaan dari kelima sampel Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser tertentu dapat terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4.1 Morfologi permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,6 A

Pola etsa yang terlihat dari morfologi permukaan Ps-QCM pada gambar 4.1 menunjukkan adanya reaksi laser terhadap permukaan lapisan Ps. Reaksi panas dari laser yang terjadi pada daerah etsa akan menyebabkan Ps meleleh dan menguap. Bekas lelehan ini dapat terlihat jelas pada batas daerah Ps dengan daerah yang dietsa. Pada gambar 4.1 dengan arus laser 13,6A masih terdapat banyak sisa lapisan Ps di daerah etsa (seperti yang ditunjukkan pada warna merah). Hal ini menunjukkan bahwa arus laser 13,6A belum mampu mengetsa lapisan Ps secara sempurna. Bercak warna hitam pada daerah masking merupakan pori-pori dari lapisan Ps yang menunjukkan daerah dengan profil rendah, hal ini dapat terjadi karena sinar dari mikroskop optik tidak mampu menjangkau daerah tersebut sehingga oleh mikroskop optik digambarkan sebagai warna hitam.



Gambar 4.2 Morfologi permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,7 A

Hasil observasi dengan mikroskop optik pada gambar 4.2, nampak morfologi permukaan Ps-QCM dengan perlakuan arus laser

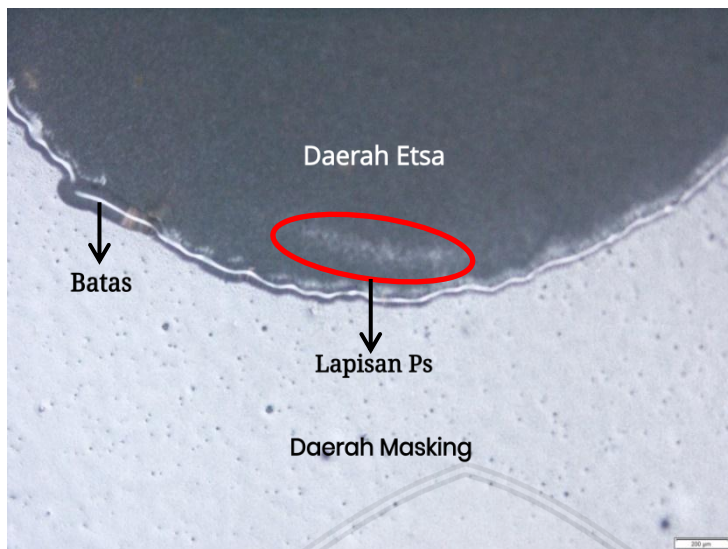
repository.ub.ac.id

13,7A mampu menghilangkan lapisan Ps pada daerah etsa. Hal ini dibuktikan dengan adanya warna hitam pada daerah etsa yang menunjukkan bahwa daerah tersebut merupakan daerah dengan profil rendah. Reaksi panas yang disebabkan oleh sinar laser dengan arus 13,7A juga menimbulkan bekas lelehan berupa batas yang terlihat pada gambar 4.2.



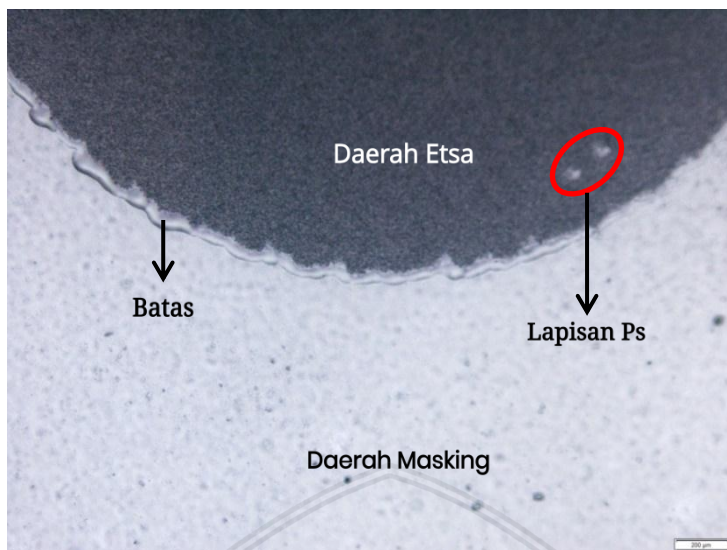
Gambar 4.3 Morfologi permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,8 A

Hasil observasi dengan mikroskop optik pada gambar 4.3, nampak morfologi permukaan Ps-QCM yang diberi perlakuan arus laser 13,8A juga mampu menghilangkan lapisan Ps pada daerah etsa. Hal ini dibuktikan dengan adanya warna hitam pada daerah etsa yang merupakan daerah dengan profil rendah. Arus laser 13,8A juga menghasilkan bekas lelehan etsa yang berupa daerah batas seperti pada gambar 4.3. Bercak hitam yang terdapat pada daerah masking merupakan pori-pori dari lapisan Ps.



Gambar 4.4 Morfologi permukaan Ps-QCM setelah di etsa dengan variasi arus laser 13,9 A

Dari hasil observasi mikroskop optik pada gambar 4.4, terlihat morfologi permukaan Ps-QCM yang diberi perlakuan arus laser 13,9A mampu menghilangkan lapisan Ps pada daerah etsa. Hal ini dapat terlihat dengan adanya warna hitam pada daerah etsa yang merupakan daerah dengan profil rendah. Bercak putih pada warna merah pada gambar 4.4, tepatnya didaerah etsa, merupakan sisa dari Ps yang tidak ter-etsa sempurna oleh laser. Ini dapat terjadi karena pelarut kloroform memiliki tekanan uap yang cukup tinggi sehingga akan menyebabkan pelarutnya menguap dengan cukup cepat yang mengakibatkan terlarut Ps akan cepat membeku. Hal inilah yang menyebabkan nilai ketebalan dari Ps cukup besar. Ketebalan berbanding lurus dengan kekasaran. Oleh karenanya perbedaan kekasaran disetiap titik Ps-QCM menjadi berbeda-beda (Nasih,2017). Sehingga pada beberapa titik sampel, laser tidak mengetsa lapisan Ps secara sempurna yang menyebabkan masih terdapat sedikit lapisan Ps yang berbentuk bercak putih.



Gambar 4.5 Morfologi permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 14 A

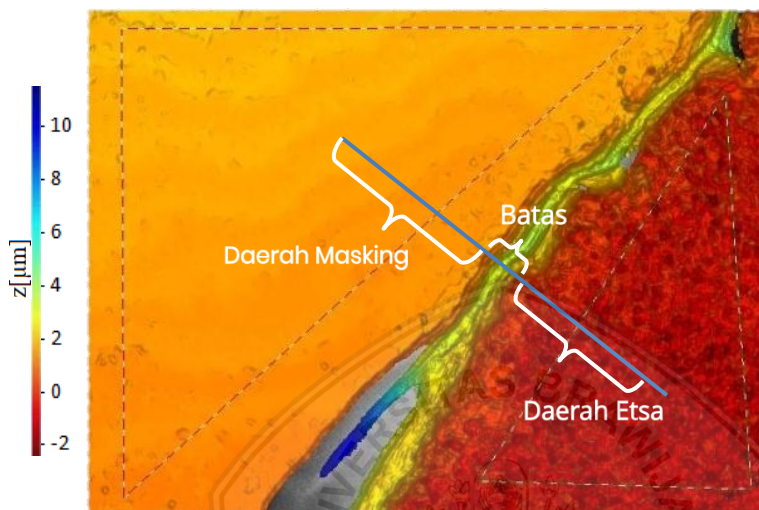
Hasil observasi mikroskop optik pada gambar 4.5, nampak morfologi permukaan Ps-QCM yang diberi perlakuan arus laser 14A mampu menghilangkan lapisan Ps pada daerah etsa. Seperti pada gambar 4.1 sampai gambar 4.4, daerah etsa pada gambar 4.5 menunjukkan warna hitam yang merupakan daerah dengan profil rendah. Bercak putih pada warna merah pada gambar 4.5, tepatnya di daerah etsa, merupakan sisa dari Ps yang tidak ter-etsa sempurna oleh laser. Dengan perlakuan arus laser 14A, juga menghasilkan bekas lelehan etsa laser yang berupa daerah batas.

4.2 Pengaruh Variasi Arus Laser (CO_2) terhadap Kekasaran pada Ps-QCM

Laser CO_2 yang ditembakkan dengan nilai arus tertentu akan mempengaruhi nilai kekasaran dari daerah etsa. Dengan menggunakan pengukuran TMS, dapat kita tentukan nilai kekasaran sampel Ps-QCM pada setiap titiknya. Pengukuran dilakukan dengan mengambil satu luasan(daerah) secara acak pada daerah masking dan daerah etsa. Dari hasil pengukuran pada masing-masing titik sampel,

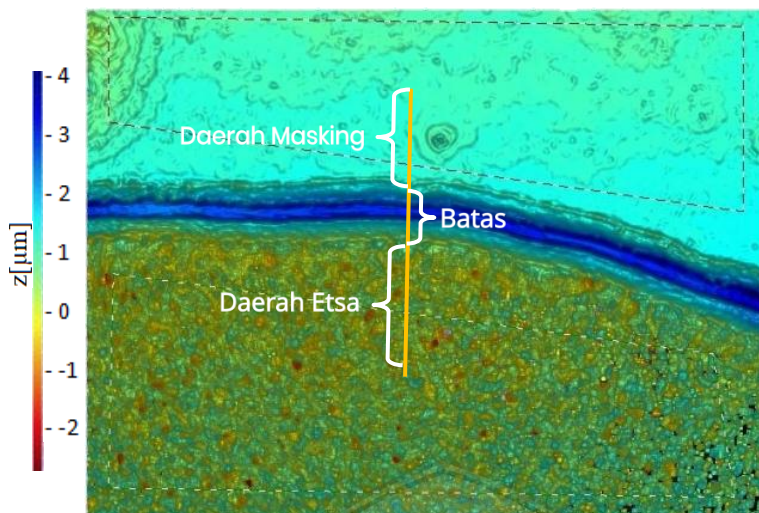
repository.ub.ac.id

dapat kita bandingkan nilai kekasaran pada daerah masking dan daerah etsanya. Hasil pengukuran kekasaran pada masing-masing titik Ps-QCM dengan menggunakan TMS, ditunjukkan pada gambar dibawah.



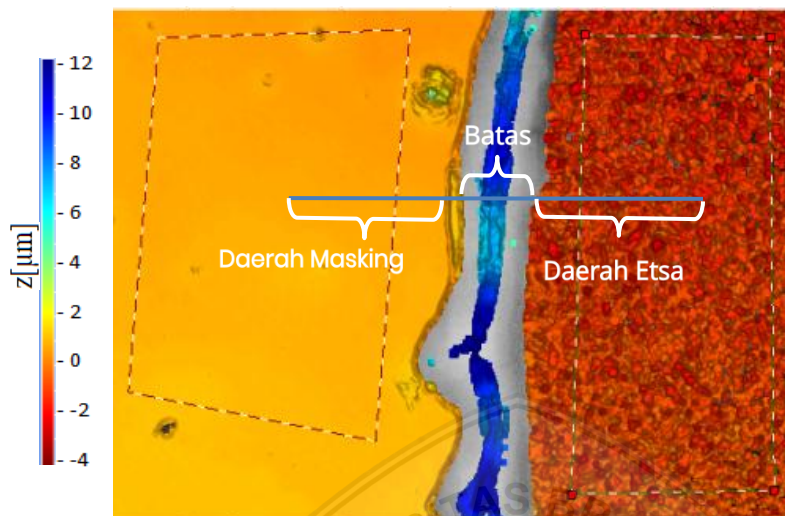
Gambar 4.6 Hasil morfologi kekasaran permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,6 A menggunakan TMS

Hasil observasi dengan TMS pada gambar 4.6, nampak topografi permukaan Ps-QCM yang diberi perlakuan arus laser 13,6A memiliki daerah etsa dengan profil lebih rendah dibandingkan daerah masking. Hal ini terlihat dari parameter warna(kedalaman) dimana daerah etsa berwarna kemerahan sedangkan daerah masking berwarna jingga. Dapat terlihat juga pada gambar 4.6, daerah etsa memiliki warna profil yang cenderung tidak homogen dibandingkan daerah masking. Hal ini menunjukkan tingkat ketidakrataan pada setiap titik daerah etsa lebih besar dibandingkan daerah masking, sehingga pada daerah etsa nilai kekasarannya lebih besar dibandingkan daerah masking.



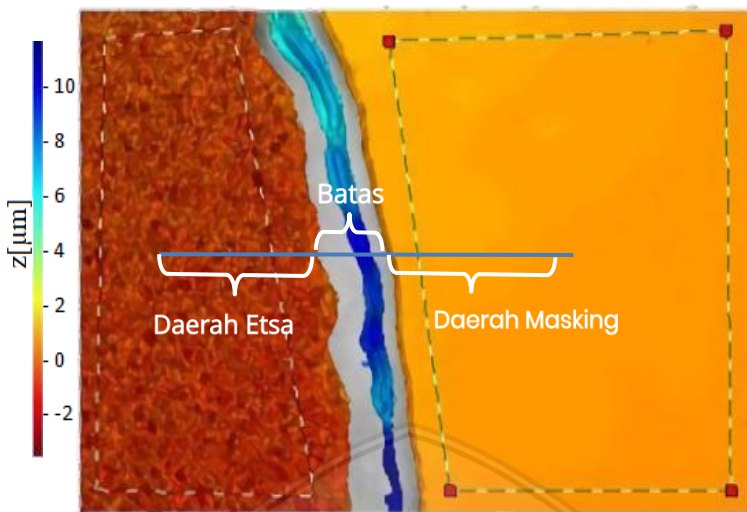
Gambar 4.7 Hasil morfologi kekasaran permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,7 A menggunakan TMS

Hasil observasi dengan TMS pada gambar 4.7, nampak topografi permukaan Ps-QCM yang diberi perlakuan arus laser 13,7A memiliki daerah etsa dengan profil lebih rendah dibandingkan daerah masking. Hal ini dapat terlihat dari parameter warna(kedalaman) dimana daerah etsa berwarna kehijauan sedangkan daerah masking berwarna biru muda. Dapat terlihat juga pada gambar 4.7, daerah etsa memiliki warna profil yang cenderung tidak homogen dibandingkan daerah masking. Hal ini menunjukkan tingkat ketidakrataan pada setiap titik daerah etsa lebih besar dibandingkan daerah masking, sehingga pada daerah etsa dengan perlakuan arus laser 13,7A nilai kekasarannya lebih besar dibandingkan daerah masking.



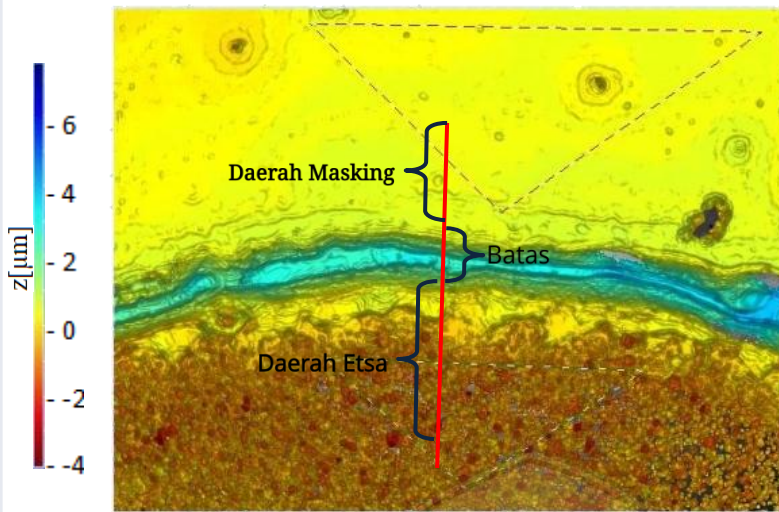
Gambar 4.8 Hasil morfologi kekasaran permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,8 A menggunakan TMS

Pada hasil observasi dengan TMS pada gambar 4.8, nampak topografi permukaan Ps-QCM yang diberi perlakuan arus laser 13,8A memiliki daerah etsa dengan profil lebih rendah dibandingkan daerah masking. Hal ini terlihat dari parameter warna(kedalaman) dimana daerah etsa berwarna kemerahan sedangkan daerah masking berwarna jingga. Dapat terlihat juga pada gambar diatas, daerah etsa memiliki warna profil yang cenderung tidak homogen dibandingkan daerah masking. Hal ini menunjukkan tingkat ketidakrataan pada setiap titik daerah etsa lebih besar dibandingkan dengan daerah masking, sehingga pada daerah etsa dengan perlakuan arus laser 13,8A, memiliki nilai kekasaran yang lebih besar dibandingkan daerah masking.



Gambar 4.9 Hasil morfologi kekasaran permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 13,9 A menggunakan TMS

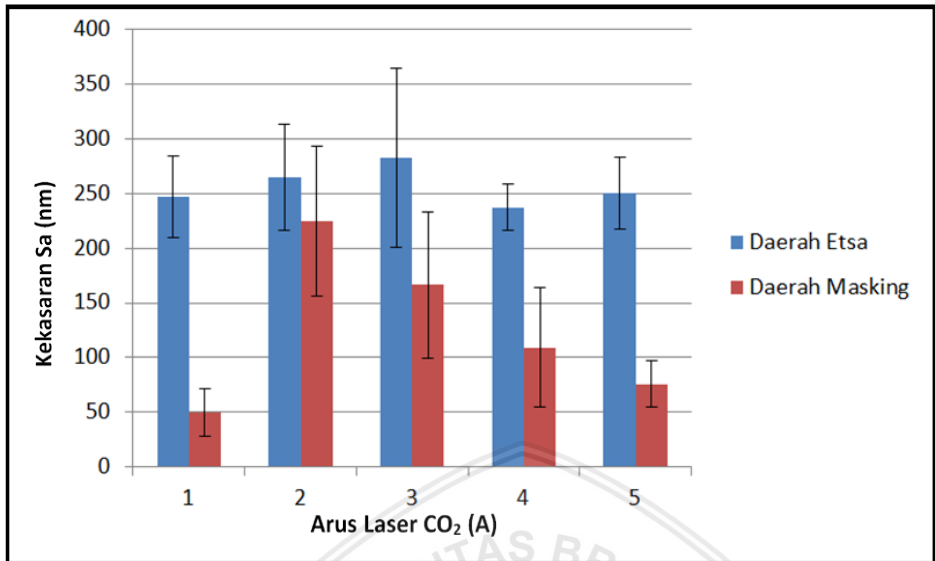
Hasil observasi menggunakan TMS pada gambar 4.9, nampak topografi permukaan Ps-QCM yang diberi perlakuan arus laser 13,9A memiliki daerah etsa dengan profil lebih rendah dibandingkan daerah masking. Hal ini dapat terlihat dari parameter warna(kedalaman) dimana daerah etsa berwarna kemerahan sedangkan daerah masking berwarna jingga. Selain itu, terlihat juga pada gambar diatas pada daerah etsa memiliki warna profil yang cenderung tidak homogen dibandingkan daerah masking. Hal ini menunjukkan tingkat ketidakrataan pada setiap titik daerah etsa lebih besar dibandingkan dengan daerah masking, sehingga pada daerah etsa dengan perlakuan arus laser 13,9A, nilai kekasarannya lebih besar dibandingkan daerah masking.



Gambar 4.10 Hasil morfologi kekasaran permukaan Ps-QCM setelah dietsa dengan variasi arus laser 14 A menggunakan TMS

Hasil observasi dengan TMS pada gambar 4.10, nampak topografi permukaan Ps-QCM yang diberi perlakuan arus laser 14A memiliki daerah etsa dengan profil lebih rendah dibandingkan daerah masking. Hal ini terlihat dari parameter warna(kedalaman) dimana daerah etsa berwarna kuning kemerahan sedangkan daerah masking berwarna kuning kehijauan. Dapat terlihat juga pada gambar diatas, daerah etsa memiliki warna profil yang cenderung tidak homogen dibandingkan daerah masking. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat ketidakrataan pada setiap titik daerah etsa lebih besar dibandingkan dengan daerah masking, sehingga pada daerah etsa dengan perlakuan arus laser 14A, memiliki nilai kekasaran yang lebih besar dibandingkan daerah masking.

Analisis kekasaran laser digunakan untuk mengetahui hubungan variasi arus laser terhadap kekasaran dari Ps-QCM. Dengan menggunakan 5 variasi arus laser pada Ps-QCM serta analisa hasil topografi permukaan dengan TMS, didapatkan grafik data percobaan pada gambar 4.11.



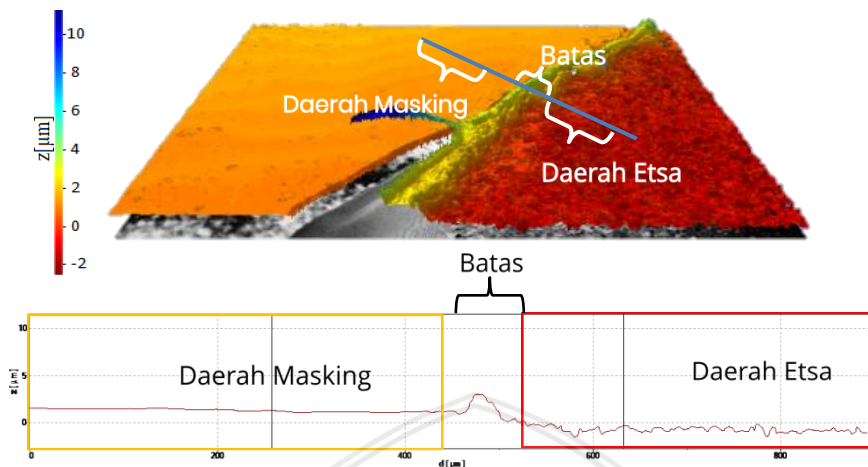
Gambar 4.11 Grafik hubungan antara variasi arus laser terhadap kekasaran permukaan (S_a) Ps-QCM pada masing-masing daerah masking dan daerah etsa

Pada gambar 4.11, warna biru menunjukkan nilai kekasaran rata-rata (S_a) permukaan pada daerah etsa laser. Sedangkan warna merah menunjukkan nilai kekasaran rata-rata (S_a) pada daerah masking lapisan Ps. Dari berbagai variasi arus laser yang diberikan, dapat terlihat bahwa daerah etsa memiliki nilai kekasaran yang lebih besar dibandingkan dengan daerah masking. Hal ini terjadi karena sinar laser dengan energi tertentu akan memanaskan, melelehkan serta menguapkan lapisan Ps dan meninggalkan bekas etsa (garitan) pada permukaan sampel Ps-QCM. Bekas etsa dan lelehan lapisan Ps memiliki tingkat kedalaman yang berbeda-beda disetiap titiknya. Tingkat kedalaman etsa yang berbeda-beda disetiap titik inilah yang mempengaruhi nilai kekasaran pada daerah etsa.

4.3 Pengaruh Variasi Arus Laser terhadap Nilai Kedalaman Etsa pada Ps-QCM

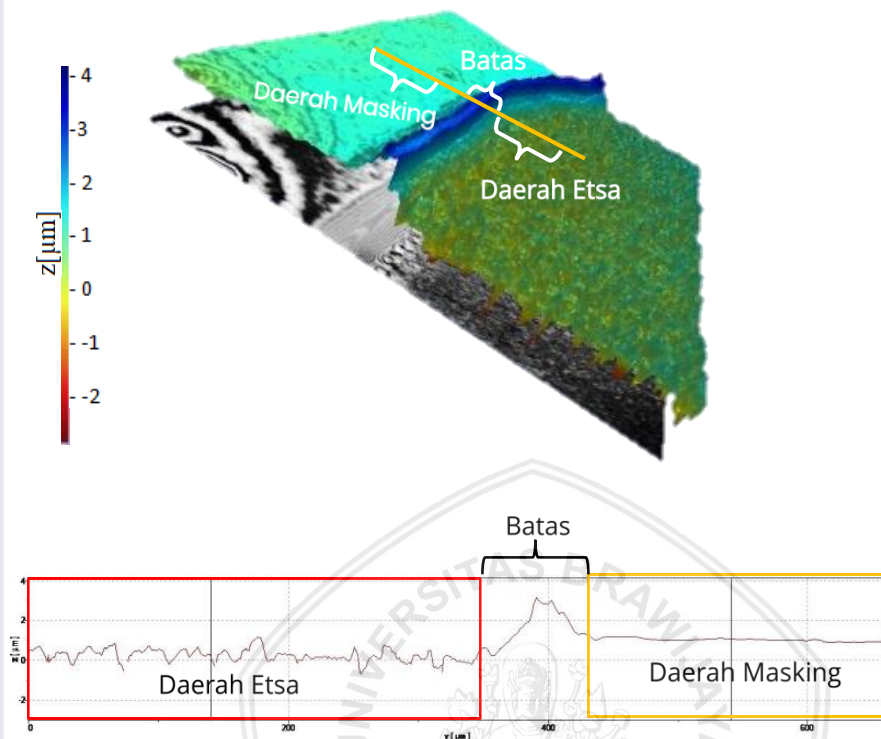
Perbedaan variasi arus yang diberikan pada setiap sampel Ps-QCM, digunakan untuk mendapatkan variasi nilai kedalaman daerah etsa pada masing-masing perlakuan. Menurut Samarya, et al., (2013) kualitas daerah pemotongan laser CO₂ sangat dipengaruhi oleh kekuatan daya laser, lebar garitan(etsa), kekasaran permukaan, kecepatan dari etsa sinar laser, serta keahlian dari penggunaanya. Oleh karenanya, diberikan beberapa parameter laser CO₂ yang digunakan pada penelitian ini yaitu jarak *laser head* dengan Ps-QCM sebesar 4,7 cm. Kecepatan etsa laser diatur konstan pada kecepatan 10mm/s dan ketebalan garis laser yang digunakan sebesar 0,01mm. Metode pengambilan data yang dilakukan yaitu dengan cara mengambil 5 titik acak disetiap bagian atas, bawah, kanan, dan kiri dari Ps-QCM. Kemudian dari setiap titik tersebut dirata-rata hasilnya, sehingga setiap sampel Ps-QCM didapatkan satu data. Pada penelitian ini dilakukan sebanyak 3x percobaan dengan menggunakan sampel Ps-QCM, dengan total 15 sampel untuk mendapatkan variasi data.

Dengan menggunakan perlakuan variasi arus yang berbeda-beda, yaitu 13,6A; 13,7 A; 13,8 A; 13,9 A; dan 14 A, dihasilkan nilai kedalaman daerah etsa yang berbeda-beda. Berikut merupakan hasil dari pengukuran dengan menggunakan TMS 1200 μ lab yang dapat dilihat pada gambar berikut.



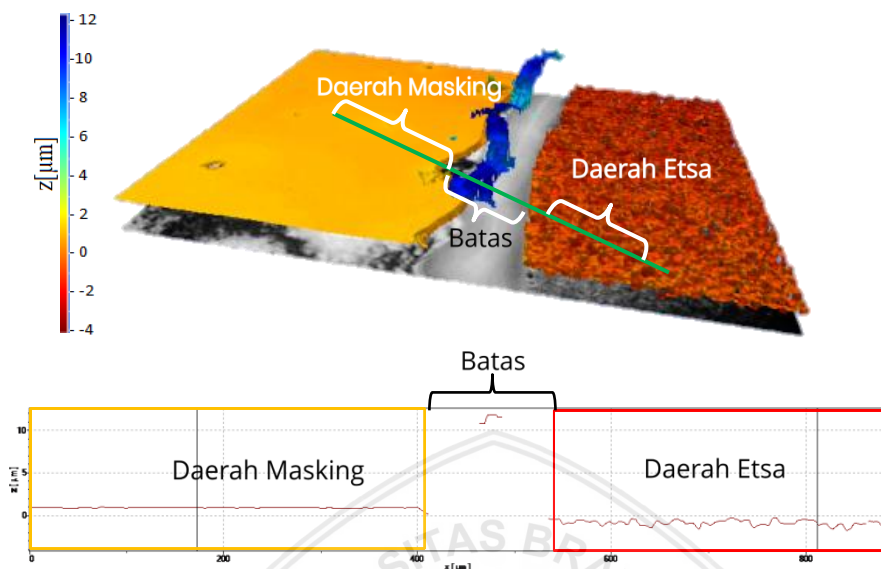
Gambar 4.12 Pengukuran nilai kedalaman etsa Ps-QCM pada daerah masking dan daerah etsa terhadap variasi arus laser 13,6 A

Hasil observasi dengan TMS diperoleh informasi topografi mengenai tingkat kedalaman antara daerah lapisan Ps dengan daerah etsa laser. Dari grafik pada gambar 4.12, terlihat bahwa pada permukaan daerah etsa memiliki nilai kedalaman(z) lebih rendah dibandingkan dengan daerah masking. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi reaksi penghilangan lapisan Ps saat arus laser 13,6A ditembakkan pada daerah etsa. Pada hasil pengukuran TMS tersebut juga menunjukkan adanya daerah batas yang memiliki nilai ketinggian yang lebih tinggi dibandingkan daerah masking dan daerah etsa disampingnya. Daerah batas ini terbentuk karena adanya panas yang berasal dari laser yang melelehkan lapisan Ps pada daerah etsa yang turut melelehkan daerah sekitar yang dilewati laser, sehingga lelehan Ps tersebut menumpuk pada daerah batas.



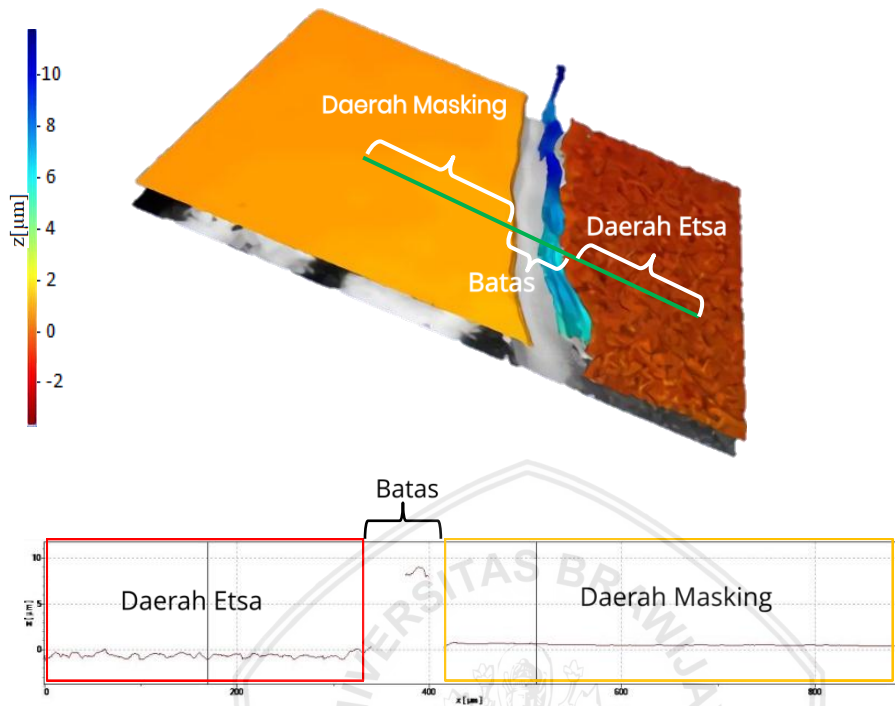
Gambar 4.13 Pengukuran nilai kedalaman etsa Ps-QCM pada daerah masking dan daerah etsa terhadap variasi arus laser 13,7 A

Hasil observasi pada gambar 4.13 dengan menggunakan pengukuran TMS, nampak pada grafik diatas bahwa pada permukaan daerah etsa memiliki nilai kedalaman(z) lebih rendah dibandingkan dengan daerah masking. Hal ini menunjukkan arus laser 13,7A yang ditembakkan pada daerah etsa, mampu menghilangkan lapisan Ps. Pada grafik 4.13 diatas juga menunjukkan adanya daerah batas yang memiliki ketinggian lebih tinggi dibandingkan daerah masking dan daerah etsa disampingnya. Hal ini juga terjadi akibat panas yang berasal dari sinar laser yang melelehkan lapisan Ps dan menumpuk didaerah batas.



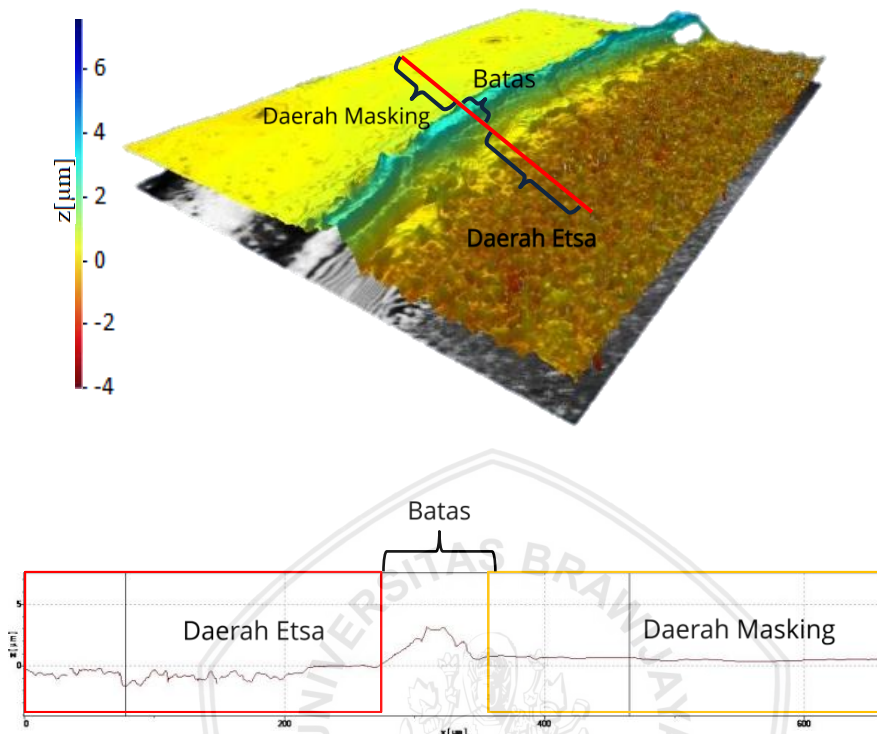
Gambar 4.14 Pengukuran nilai kedalaman etsa Ps-QCM pada daerah masking dan daerah etsa terhadap variasi arus laser 13,8 A

Hasil observasi pada gambar 4.14 dengan menggunakan pengukuran TMS, nampak pada grafik diatas bahwa permukaan daerah etsa memiliki nilai kedalaman(z) lebih rendah dibandingkan dengan daerah masking. Hal ini menunjukkan bahwa arus laser 13,8A yang ditembakkan pada daerah etsa, juga mampu menghilangkan lapisan Ps. Pada grafik 4.14 diatas, dapat terlihat bahwa dengan perlakuan arus laser 13,8A juga akan menghasilkan daerah batas yang nilai ketinggiannya lebih tinggi dibandingkan daerah etsa dan daerah masking.



Gambar 4.15 Pengukuran nilai kedalaman etsa Ps-QCM pada daerah masking dan daerah etsa terhadap variasi arus laser 13,9 A

Hasil observasi pada gambar 4.15 diatas dengan menggunakan pengukuran TMS, nampak pada grafik bahwa permukaan daerah etsa juga memiliki nilai kedalaman(z) lebih rendah dibandingkan dengan daerah masking. Hal ini menunjukkan arus laser 13,9A yang ditembakkan pada daerah etsa, juga mampu menghilangkan lapisan Ps. Pada grafik 4.15 diatas, dapat terlihat bahwa dengan perlakuan arus laser 13,9A akan menghasilkan daerah batas yang nilai ketinggiannya lebih tinggi dibandingkan daerah etsa dan daerah masking.

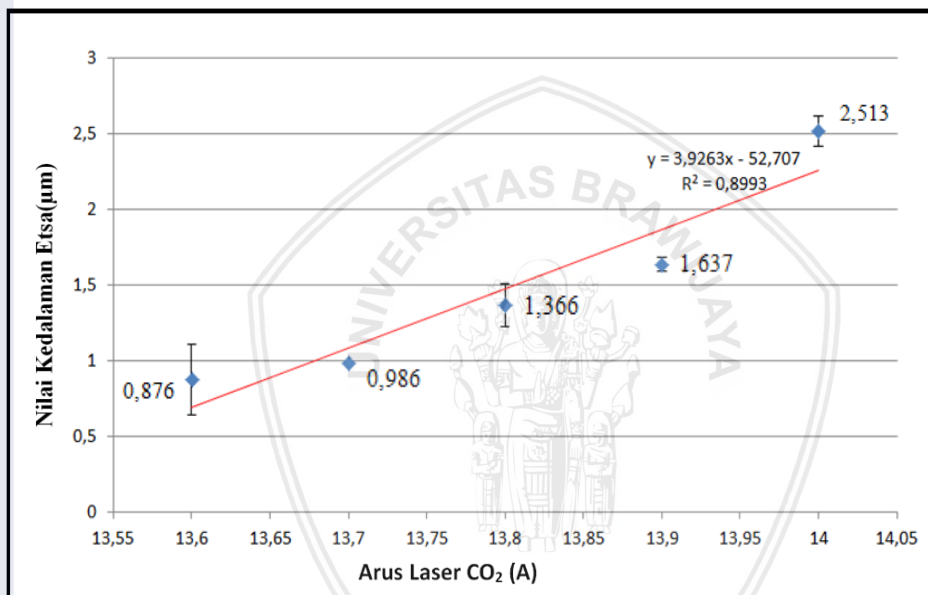


Gambar 4.16 Pengukuran nilai kedalaman etsa Ps-QCM pada daerah masking dan daerah etsa terhadap variasi arus laser 14 A

Hasil observasi pada gambar 4.16 diatas yang diukur dengan menggunakan TMS, nampak pada grafik bahwa permukaan daerah etsa memiliki nilai kedalaman(z) lebih rendah dibandingkan dengan daerah masking. Hal ini menunjukkan arus laser 14A yang ditembakkan pada daerah etsa, mampu menghilangkan lapisan Ps. Pada grafik 4.16 diatas, dapat terlihat juga dengan perlakuan arus laser 14A akan menghasilkan daerah batas yang nilai ketinggiannya lebih tinggi dibandingkan daerah etsa dan daerah masking. Pada sampel 1 (gambar 4.12) memiliki nilai kedalaman etsa yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel lainnya. Hal ini dikarenakan sinar laser yang ditembakkan pada sampel 1 arus lasernya lebih rendah dibandingkan dengan sampel lainnya, sehingga laser hanya memanaskan dan menguapkan sebagian dari lapisan Ps. Pada kelima hasil pengukuran dengan TMS diatas dapat terlihat pada daerah yang

dietsa memiliki warna yang tidak homogen, yang artinya terdapat sisa lapisan Ps yang tidak ter-etsa oleh laser. Hal ini terjadi karena dipengaruhi beberapa faktor seperti tingkat pemerataan lapisan Ps yang terdapat dimasing-masing titik pada Ps-QCM berbeda sehingga menyebabkan ketebalan lapisan Ps yang berbeda juga pada setiap titiknya.

Dari data analisa dan pengukuran dari TMS, dengan menggunakan variasi arus laser 13,6A; 13,7A; 13,8A; 13,9A; dan 14 A, didapatkan grafik hubungan antara variasi arus laser dengan kedalaman etsa PS-QCM pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 Grafik hubungan antara variasi arus laser dengan nilai kedalaman etsa (Δz) Ps-QCM

Laser CO₂ yang ditembakkan ke permukaan lapisan Ps-QCM menyebabkan ter-etsa nya lapisan Ps. Tingkat kedalaman dari lapisan Ps yang di-etsa dipengaruhi oleh besarnya arus laser yang ditembakkan. Grafik 4.17 diatas menunjukkan bahwa dengan arus laser 13,6A diperoleh nilai kedalaman etsa Ps-QCM sebesar 0,876μm, pada arus laser 13,7A diperoleh nilai kedalaman 0,986μm, pada arus laser 13,8A diperoleh nilai kedalaman 1,366μm, pada arus

laser 13,9A diperoleh nilai kedalaman 1,637 μ m, dan pada arus laser 14A diperoleh nilai kedalaman 2,513 μ m. Dari data penelitian yang telah diperoleh diatas, dapat terlihat grafik pengaruh arus laser CO₂ terhadap tingkat kedalaman etsa, grafiknya cenderung naik. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar arus laser yang diberikan, semakin dalam laser dalam meng-etsa sampel Ps-QCM, sehingga nilai kedalaman etsanya pun semakin besar juga.

Menurut (Awaludin, 2017) Proses etsa dengan mesin laser CO₂ ini menggunakan energi panas yang ditimbulkan oleh laser dengan intensitas yang berbeda sesuai arus yang diatur. Semakin besar arus laser maka semakin besar intensitas laser yang dikeluarkan sehingga energi panas yang dikeluarkan juga semakin besar. Oleh karenanya semakin besar arus laser yang diberikan, semakin besar juga energi panas yang dihasilkan untuk menguapkan Ps dipermukaan QCM, sehingga semakin besar nilai kedalaman yang dihasilkan.

Pada grafik 4.17, dapat diketahui bahwa sinar laser yang ditembakkan pada sampel Ps-QCM dengan besar arus laser tertentu, mampu mengetsa dan menguapkan Ps dipermukaan QCM. Ps pada permukaan QCM yang ditembak sinar laser dengan arus tertentu akan memanaskan, meleleh, lalu menguap, serta memberikan hasil goresan yang berkualitas tinggi akibat dari pengaruh gas nitrogen yang diberikan. Laser CO₂ memancarkan cahaya monokromatik serta koheren, yang mana radiasi laser inframerah panjang gelombangnya 10,6 μ m. Media laser aktif yang terdapat pada laser CO₂ merupakan campuran dari CO₂ 4,5%, N₂ 13,5%, serta He 82% (Samarya, et al., 2013).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diatas, dapat diambil kesimpulan:

1. Laser CO₂ dengan nilai arus laser tertentu yang ditembakkan ke Ps-QCM mampu memanaskan, menguapkan, dan menghilangkan lapisan masking Ps serta membentuk pola masking pada permukaannya.
2. Sinar laser yang ditembakkan dengan nilai arus laser tertentu mempengaruhi tingkat kedalaman serta nilai kekasaran dari daerah etsa Ps-QCM.
3. Semakin besar arus yang diberikan, semakin besar pula nilai kedalaman dan nilai kekasaran yang dihasilkan.
4. Daerah etsa memiliki nilai kekasaran yang lebih besar dibandingkan daerah masking.
5. Parameter yang paling efektif untuk pembentukan pola masking Ps pada QCM yaitu dengan arus laser 14 A.

5.2 Saran

Beberapa saran yang diberikan pada penelitian ini yaitu:

1. Perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya dengan variasi pelarut selain kloroform untuk mendapatkan perbandingan nilai kedalaman dan nilai kekasaran pada daerah etsa laser
2. Perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya dengan variasi nilai arus laser selain yang telah dipakai untuk menguji tingkat kevalidan dari penelitian yang telah dilakukan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Daftar Pustaka

- Awaludin, I. (2017). Pengaruh Pengendalian Arus dan Kecepatan Pada Laser Engraving Machine Terhadap Permukaan Bahan Kaca dan Akrilik.
- Badruzzaman, Baskoro, A. S., & Siswantoro, A. R. (2016). Analisis Fabrikasi Desain Lamination Passive Mixing Microchannel Perangkat Mikrofluidik Acrylic Menggunakan Laser CO₂ Daya Rendah. *Mechanical*, 7, 27.
- Christian, & Albrechts. (2011). Basic & Laboratory Material Science and Engineering: spincoating, 1–6.
- Hernatha, T. (2013). Identifikasi Butir-butir Lemak dan Menggunakan Mikroskop Binokular XSZ-107BN. Universitas Diponegoro.
- Hudha, L. S., Setyawan, P. S., & Masruroh. (2013). Rancang Bangun Mini System Spin Coating untuk Pelapisan Sensor QCM (Quartz Crystal Microbalance). *Physics Student Journal*, 1(1), 1–5.
- Ismail, M. (2012). Analisis Fabrikasi Perangkat Mikrofluidik pada Material Acrylic Menggunakan Laser CO₂ Daya Rendah. Universitas Indonesia.
- Kawasaki, T., Mochida, T., Katada, J., & Okahata, Y. (2009). Laser Response of a Quartz Crystal Microbalance: Frequency Changes Induced by Light Irradiation in the Air Phase. *Analytical Sciences: The International Journal of the Japan Society for Analytical Chemistry*, 25(9), 1069–75. <https://doi.org/10.2116/analsci.25.1069>
- Lastria, I. N. (2016). Studi Pembuatan Pola pada Kuarsa QCM (Quartz Crystal Microbalance) Dengan Teknik Wet Etching. Universitas Brawijaya
- Li, L. (2009). Laser in Technology. Physical Methods, Instruments and Measurements, IV.
- Melati, R. (2008). Sintesis dan Karakterisasi Polistirena dengan

Benzoil Peroksida sebagai Inisiator. Institut Teknologi Bandung.

Munasir. (2004). Radioaktif dan Sinar Katoda. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.

Nasih,F.A. (2017). Pengaruh Variasi Pelarut Terhadap Lapisan Copper Phthalocyanine (CuPc) dan Sensitivitas Terhadap Perubahan Relative Humidity (RH) pada QCM sebagai Sensor Kelembaban. Universitas Brawijaya.

Prisma, A., Santjojo, D. H., & Masruroh. (2012). Pengaruh Konsentrasi dan Viskositas Larutan Polistiren terhadap Morfologi Permukaan dan Ketebalan Lapisan ZnPc pada Permukaan QCM. *Natural B*, 4–7.

Rahayu, S., Masruroh, Santjojo, D. H., Rahmawati, E., Didik, L. A., Robiandi, F., & Sakti, S. P. (2014). Pengaruh Perbedaan Pelarut Polistiren Terhadap Morfologi Lapisan Polistiren dan Sifat Viskoelastik QCM Biosensor. *Natural B*, 2(4), 343–348.

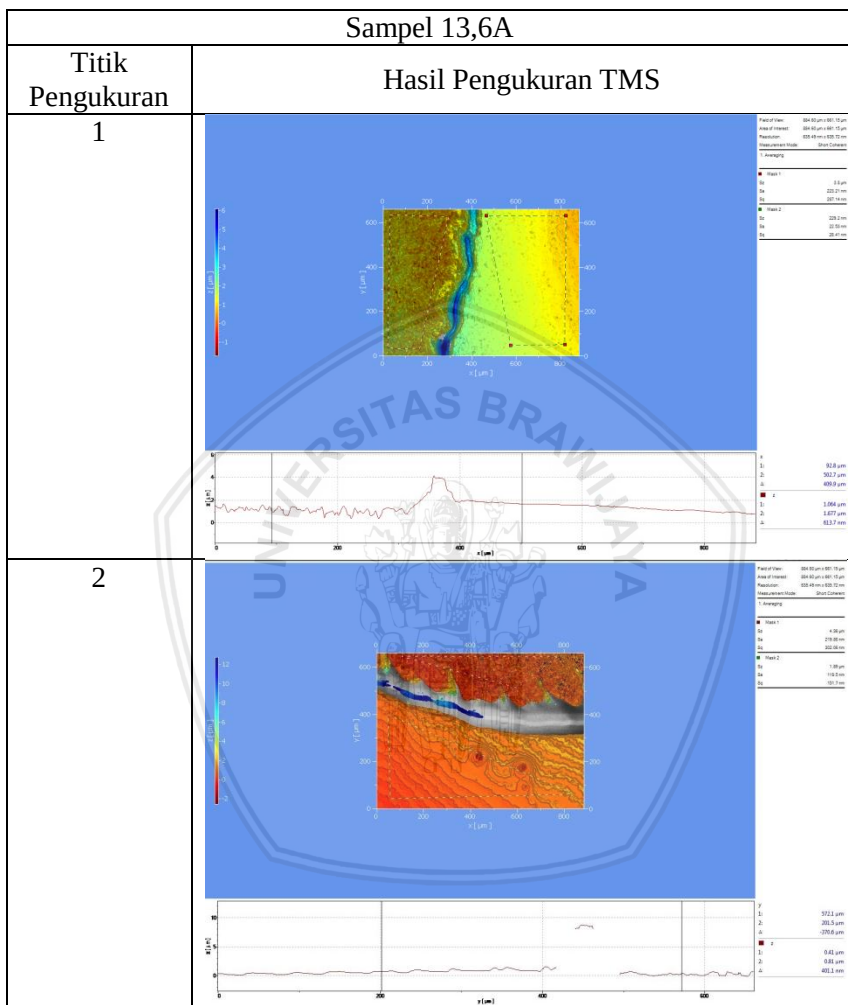
Samarya, yenny T., Sulianti, M. M., Perangin-angin, B., & Situmorang, M. (2013). Aplikasi Laser CO₂ untuk Pemotongan (Cutting) Material menggunakan Mesin CNC (Control Numeric Computer). *Saintika Fisika*, 5(2), 2–6.

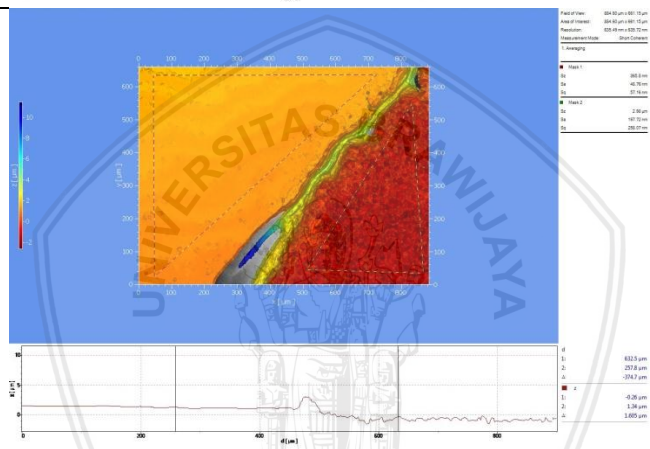
Suseno, N., Ariestanti, N., P, W. D., & Santoso, I. (2005). Sintesis Styrene Menjadi Polystyrene dengan Metode Polimerisasi Suspensi, 1(Nomor 1), 10–30.

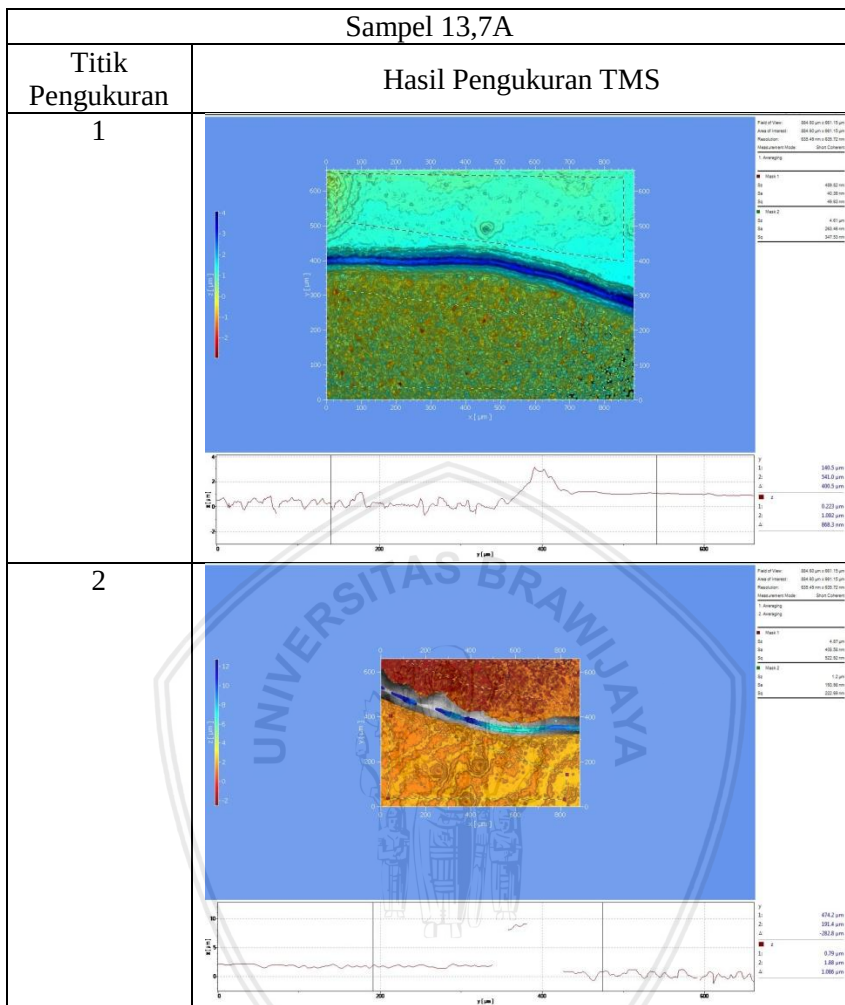
Zou, Y., Wan, H., Zhang, X., Ha, D., & Wang, P. (2015). Bioinspired smell and taste sensors. Bioinspired Smell and Taste Sensors. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-7333-1>

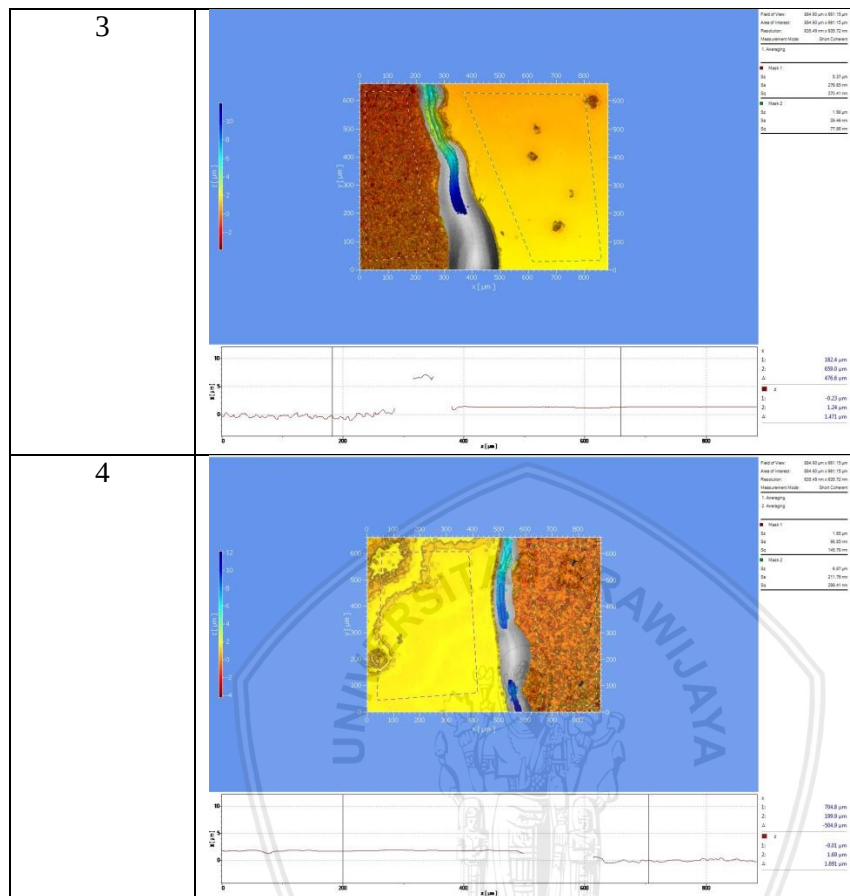
Lampiran

Lampiran 1 Hasil Pengukuran nilai kekasaran dan nilai kedalaman(Δz) dengan TMS 1200 μlab



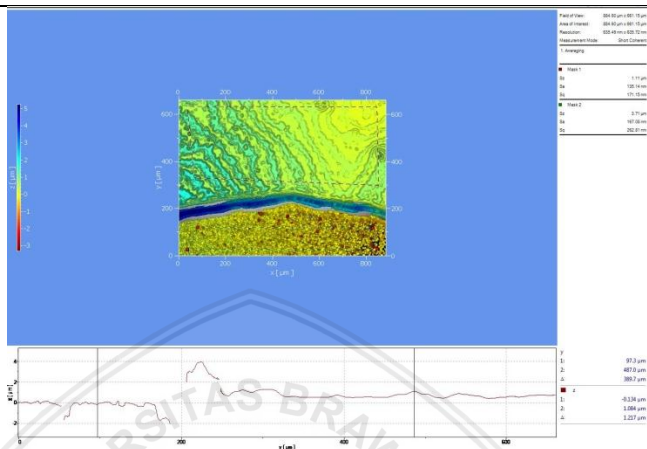
4

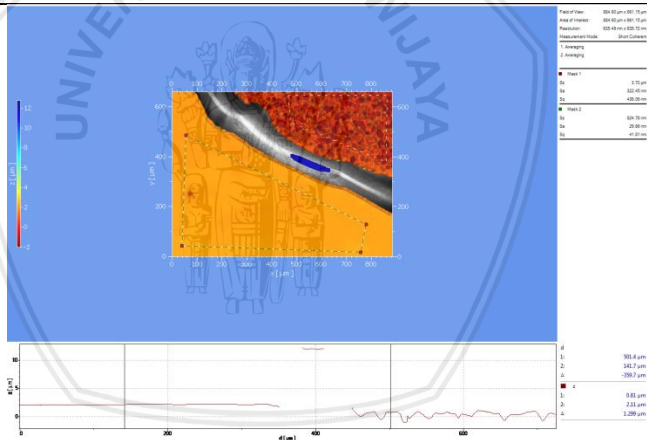


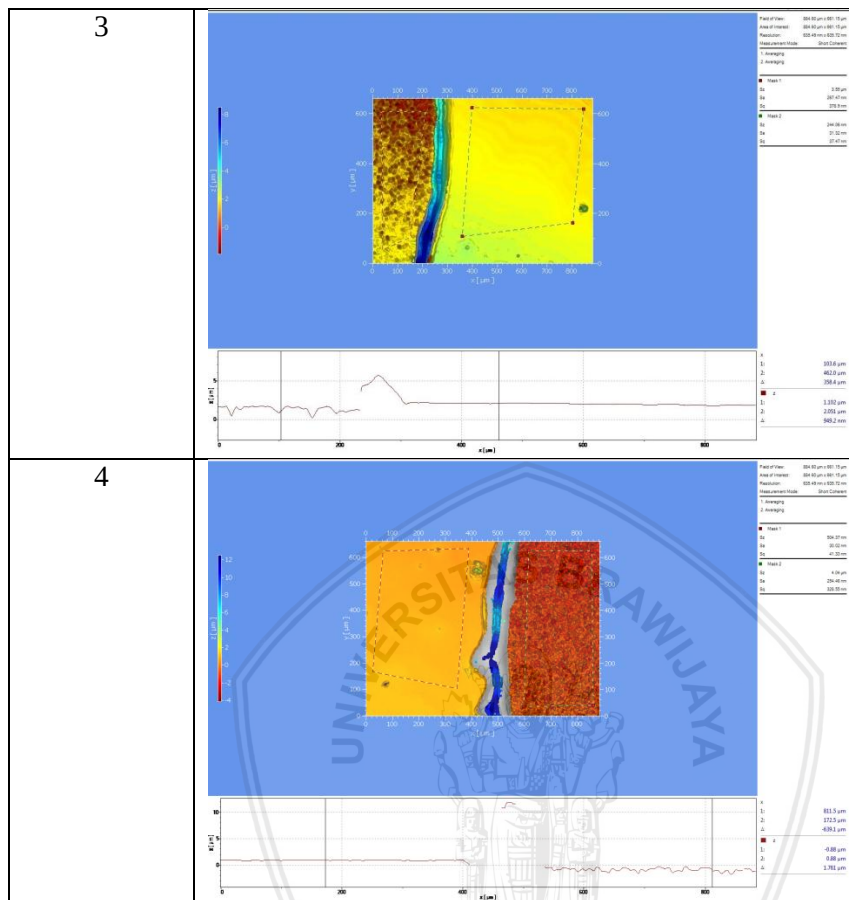


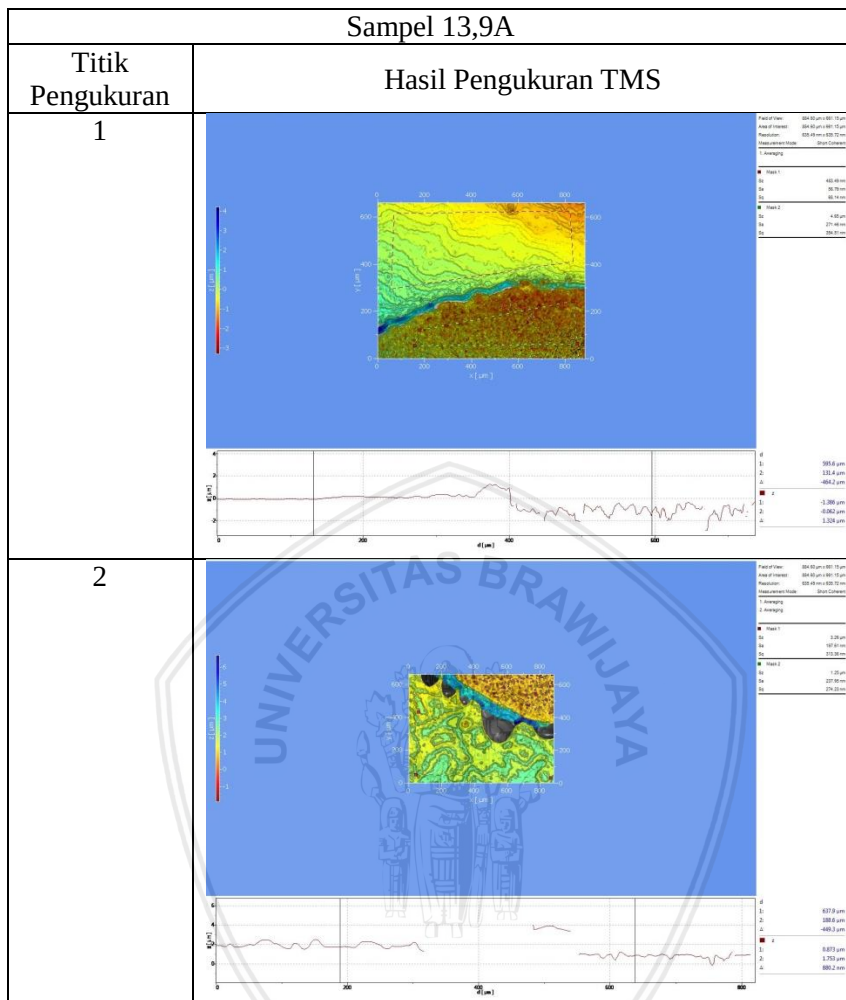
Hasil Pengukuran TMS

Titik Pengukuran

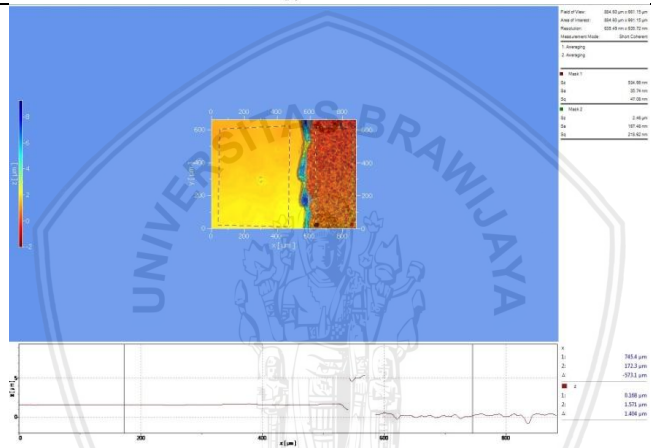
1

2



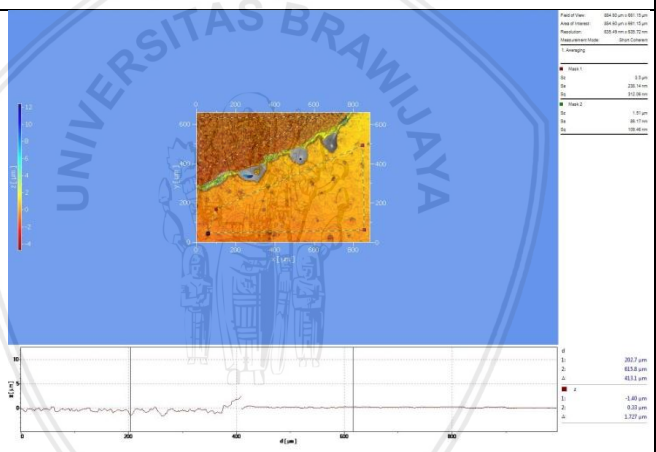


4

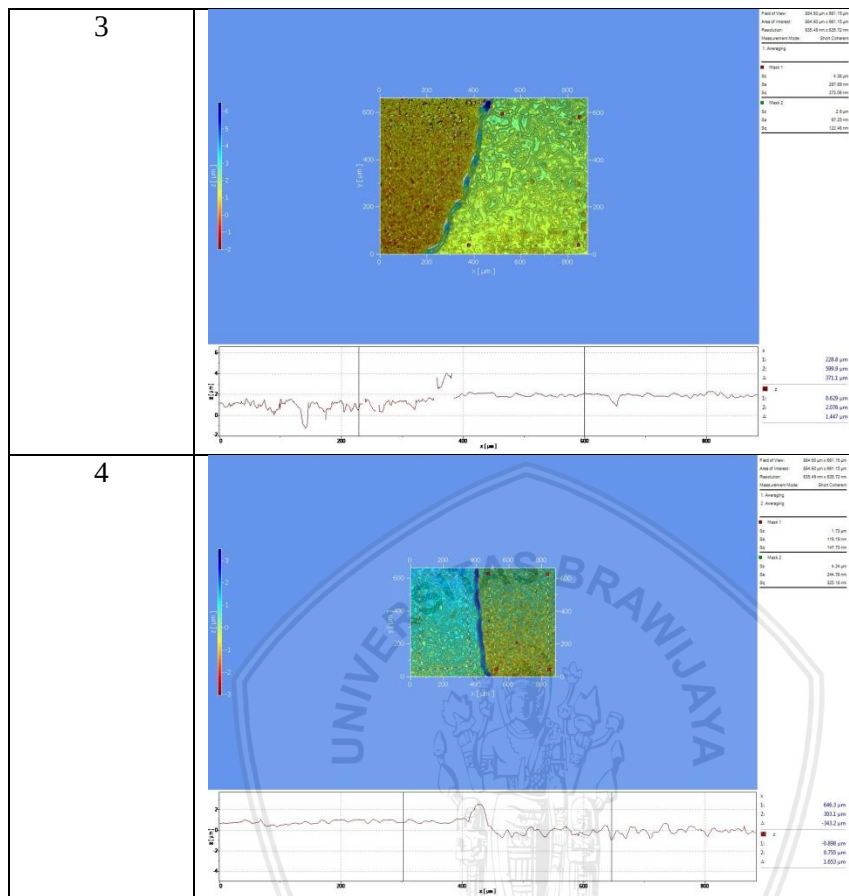


Hasil Pengukuran TMS

1



2



Lampiran 2 Data hasil kekasaran pada daerah etsa dan daerah masking

Percobaan pertama (Daerah etsa)

Sampel	Titik	Sa (nm)	Ralat(nm)
13,6A	1	223,21	$\pm 12,281$
	2	219,86	
	3	223,17	
	4	197,72	
Rata-Rata		215,99	
13,7 A	1	263,46	$\pm 83,787$
	2	408,58	
	3	276,65	
	4	211,79	
Rata-Rata		290,12	
13,8 A	1	167,08	$\pm 64,335$
	2	322,45	
	3	267,47	
	4	254,46	
Rata-Rata		252,865	
13,9 A	1	271,46	$\pm 44,372$
	2	197,61	
	3	227,77	
	4	167,48	
Rata-Rata		216,08	
14 A	1	181,37	$\pm 43,749$
	2	238,14	
	3	287,89	
	4	244,78	
Rata-Rata		238,045	

Percobaan pertama (Daerah masking)

Sampel	Titik	Sa (nm)	Ralat(nm)
13,6 A	1	22,53	±41
	2	119,5	
	3	59,73	
	4	48,76	
Rata-Rata		62,63	
13,7 A	1	40,39	±72,722
	2	193,98	
	3	39,46	
	4	98,85	
Rata-Rata		93,17	
13,8 A	1	135,14	±52,374
	2	29,86	
	3	31,32	
	4	30,02	
Rata-Rata		56,585	
13,9 A	1	56,79	±100,266
	2	237,95	
	3	24,97	
	4	35,74	
Rata-Rata		88,8625	
14 A	1	242,77	±72,265
	2	86,17	
	3	97,25	
	4	119,19	
Rata-Rata		136,345	

Percobaan kedua (Daerah etsa)

Sampel	Titik	Sa (nm)	Ralat(nm)
13,6 A	1	261,76	$\pm 36,824$
	2	260,19	
	3	273,2	
	4	192,32	
Rata-Rata		246,8675	
13,7 A	1	248,22	$\pm 48,356$
	2	228,93	
	3	245,57	
	4	336,1	
Rata-Rata		264,705	
13,8 A	1	203,09	$\pm 81,779$
	2	222,23	
	3	332,34	
	4	369,92	
Rata-Rata		281,895	
13,9 A	1	246,51	$\pm 20,891$
	2	237,81	
	3	256,5	
	4	208,05	
Rata-Rata		237,2175	
14 A	1	276,04	$\pm 32,363$
	2	263,45	
	3	257,75	
	4	202,85	
Rata-Rata		250,0225	

Percobaan kedua (Daerah masking)

Sampel	Titik	Sa (nm)	Ralat(nm)
13,6 A	1	29,03	$\pm 21,729$
	2	58,37	
	3	34,77	
	4	75,99	
Rata-Rata		49,54	
13,7 A	1	326,08	$\pm 68,274$
	2	188,69	
	3	181,46	
	4	201,46	
Rata-Rata		224,4225	
13,8 A	1	236,05	$\pm 66,618$
	2	131,57	
	3	91,3	
	4	206,52	
Rata-Rata		166,36	
13,9 A	1	177,79	$\pm 54,342$
	2	57,19	
	3	126,94	
	4	75,51	
Rata-Rata		109,3575	
14 A	1	53,38	$\pm 21,377$
	2	74,05	
	3	104,8	
	4	70,88	
Rata-Rata		75,7775	

Percobaan ketiga (Daerah etsa)

Sampel	Titik	Sa (nm)	Ralat(nm)
13,6 A	1	372,11	$\pm 144,947$
	2	492,99	
	3	184,75	
	4	209,54	
Rata-Rata		314,8475	
13,7 A	1	344,72	$\pm 77,582$
	2	256,81	
	3	213,98	
	4	382,42	
Rata-Rata		299,4825	
13,8 A	1	255,87	$\pm 34,832$
	2	332,5	
	3	261,92	
	4	287,01	
Rata-Rata		284,325	
13,9 A	1	225,27	$\pm 75,08$
	2	313,2	
	3	213,81	
	4	371,85	
Rata-Rata		281,0325	
14 A	1	193,64	$\pm 84,811$
	2	363,28	
	3	281,62	
	4	181,65	
Rata-Rata		255,0475	

Percobaan ketiga (Daerah masking)

Sampel	Titik	Sa (nm)	Ralat(nm)
13,6 A	1	235,78	$\pm 69,173$
	2	148,07	
	3	78,13	
	4	204	
Rata-Rata		166,495	
13,7 A	1	176,53	$\pm 66,44$
	2	122,09	
	3	222,48	
	4	69,19	
Rata-Rata		147,5725	
13,8 A	1	154,77	$\pm 38,43$
	2	207,1	
	3	226,59	
	4	148,94	
Rata-Rata		184,35	
13,9 A	1	163,94	$\pm 62,59$
	2	252,33	
	3	106,26	
	4	139,01	
Rata-Rata		165,385	
14 A	1	249,98	$\pm 47,488$
	2	138,86	
	3	165,09	
	4	179,74	
Rata-Rata		183,4175	

Lampiran 3 Data hasil pengukuran nilai kedalaman (Δz)

Percobaan pertama

Sampel 13,6 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	0,5896	0,2702	0,9872	1,537
	0,5516	0,4907	0,6294	1,559
	0,4481	0,5438	0,7391	1,605
	0,5329	0,4163	0,7027	1,093
	0,3607	0,4053	0,5762	1,61
Rata-rata	0,49658	0,42526	0,72692	1,4808
Ralat(μm)	$\pm 0,483$			

Sampel 13,7 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	0,7115	0,8665	1,279	1,693
	0,8253	0,9006	1,466	1,412
	0,8705	0,9517	1,215	1,459
	0,8889	1,085	1,517	1,552
	0,6431	1,282	1,114	1,607
Rata-rata	0,78786	1,01716	1,3182	1,5446
Ralat(μm)	$\pm 0,333$			

Sampel 13,8 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	1,176	1,633	1,673	1,99
	1,319	1,465	1,655	1,761
	1,55	1,917	1,784	1,446
	1,351	1,888	1,697	1,702
	1,3	1,539	1,419	1,421
Rata-rata	1,3392	1,6884	1,6456	1,664
Ralat(μm)	$\pm 0,164$			

Sampel 13,9 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	1,61	1,715	1,68	1,747
	1,391	1,532	1,665	1,623
	1,334	1,844	1,844	1,613
	1,598	1,549	1,909	1,767
	1,547	1,412	1,857	1,606
Rata-rata	1,496	1,6104	1,791	1,6712
Ralat(μm)	$\pm 0,123$			

Sampel 14 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	1,532	1,634	1,6	1,236
	1,61	1,753	1,716	1,509
	1,741	1,811	1,425	1,621
	1,546	1,615	1,995	2,413
	1,553	1,564	1,52	1,545
Rata-rata	1,5964	1,6754	1,6512	1,6648
Ralat(μm)	$\pm 0,035$			

Percobaan kedua

Sampel 13,6 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	0,8102	0,5899	1,095	0,8013
	0,8089	0,6631	1,225	0,8341
	0,9307	0,2632	1,162	0,9811
	0,7973	0,81	1,308	0,9001
	0,8199	0,6841	1,058	0,9796
Rata-rata	0,8334	0,60206	1,1696	0,89924
Ralat(μm)	$\pm 0,2335$			

Sampel 13,7 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	0,9087	1,071	0,9623	1,034
	1,1074	0,9604	0,9387	0,8679
	1,009	1,075	1,002	1,009
	1,211	0,9821	1,03	1,024
	0,7496	0,8134	1,017	0,9541
Rata-rata	0,99714	0,98038	0,99	0,9778
Ralat(μm)	$\pm 0,0092$			

Sampel 13,8 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	1,386	1,099	1,295	1,386
	1,374	1,093	1,536	1,523
	1,414	1,294	1,588	1,235
	1,212	1,347	1,523	1,426
	1,202	1,125	1,594	1,672
Rata-rata	1,3176	1,1916	1,5072	1,4484
Ralat(μm)	$\pm 0,1408$			

Sampel 13,9 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	1,589	1,707	1,651	1,568
	1,539	1,614	1,451	1,569
	1,956	1,68	1,443	1,52
	1,494	1,574	1,8	1,895
	1,613	1,817	1,544	1,733
Rata-rata	1,6382	1,6784	1,5778	1,657
Ralat(μm)	$\pm 0,0433$			

Sampel 14 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	2,211	2,695	2,475	2,521
	2,234	2,354	2,335	2,305
	2,248	2,627	2,328	2,369
	3,096	2,527	2,426	2,717
	2,633	2,469	2,436	3,263
Rata-rata	2,4844	2,5344	2,4	2,635
Ralat(μm)	$\pm 0,0982$			

Percobaan ketiga

Sampel 13,6 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	0,5229	0,5097	1,003	0,7479
	0,5854	0,5718	1,098	1,021
	0,7078	0,476	1,017	1,045
	0,8852	0,4502	0,9064	0,7636
	0,6049	0,4252	0,9546	0,722
Rata-rata	0,66124	0,48658	0,9958	0,8599
Ralat(μm)	$\pm 0,2234$			

Sampel 13,7 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	1,077	1,114	1,309	1,567
	1,058	1,252	1,215	1,493
	1,099	1,499	0,8775	1,622
	0,9418	1,39	1,199	1,982
	1,273	1,351	1,013	1,92
Rata-rata	1,08976	1,3212	1,1227	1,7168
Ralat(μm)	$\pm 0,2882$			

Sampel 13,8 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	1,439	1,335	1,481	1,066
	1,409	1,251	1,565	1,168
	1,29	1,477	1,213	0,8182
	1,485	1,299	1,26	0,9445
	1,268	1,214	1,29	1,271
Rata-rata	1,3782	1,3152	1,3618	1,05354
Ralat(μm)	$\pm 0,1515$			

Sampel 13,9 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	1,301	1,613	1,348	1,836
	1,204	1,285	1,397	1,923
	1,265	1,499	1,576	1,018
	1,596	1,319	2,245	1,181
	1,611	2,291	1,547	1,302
Rata-rata	1,3954	1,6014	1,6226	1,452
Ralat(μm)	$\pm 0,1115$			

Sampel 14 A	Titik ke 1	Titik ke 2	Titik ke 3	Titik ke 4
Δz	2,57	1,413	1,729	1,623
	2,445	2,523	2,43	2,05
	2,561	1,924	2,042	2,084
	2,118	1,61	2,408	1,682
	2,172	2,274	2,281	1,741
Rata-rata	2,3732	1,9488	2,178	1,836
Ralat(μm)	$\pm 0,2396$			

Lampiran 4 Gambar alat dan bahan



Mikroskop Optik



TMS 1200 μ lab



Polisterina 0,06 gr



Gelas Ukur



Ultrasound Cleaner



Yellow Tip & Botol Pelarutan



Spin Coater



Pembuatan Wadah QCM

