

**PEMANFAATAN SINYAL KAPASITANSI UNTUK
MONITORING PROSES FLOTASI KOLOM
DENGAN VARIASI UKURAN PARTIKEL
DAN DOSIS *FROTHER***

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Kinanti Salma Sastaviana

3334190096

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON – BANTEN**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN SINYAL KAPASITANSI UNTUK MONITORING PROSES FLOTASI KOLOM DENGAN VARIASI UKURAN PARTIKEL DAN DOSIS *FROTHER*

SKRIPSI

Disusun untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui oleh Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Dr. Didied Haryono, S.T., M.T.
NIP. 196705302002121001

Pembimbing II



Dr. Amalia Sholehah, S.Si., M.Si.
NIP. 197905022005012005

LEMBAR PERSETUJUAN

PEMANFAATAN SINYAL KAPASITANSI UNTUK MONITORING PROSES FLOTASI KOLOM DENGAN VARIASI UKURAN PARTIKEL DAN DOSIS *FROTHER*

Disusun dan diajukan oleh:

Kinanti Salma Sastaviana

3334190096

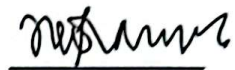
Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 13 Januari 2025

Susunan Dewan Penguji

Tanda Tangan

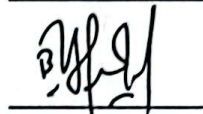
Penguji I

: Dr. Didied Haryono, S.T., M.T.



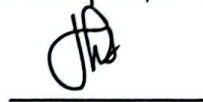
Penguji II

: Bening Nurul Hidayah K., S.T., M.T.



Penguji III

: Dr. Amalia Sholehah, S.Si., M.Si.



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh
gelar Sarjana Teknik

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Pemanfaatan Sinyal Kapasitansi untuk *Monitoring* Proses
Flotasi Kolom Dengan Variasi Ukuran Partikel dan Dosis
Frother.
Nama Mahasiswa : Kinanti Salma Sastaviana
NIM : 3334190096
Fakultas : Teknik Metalurgi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi di atas adalah benar-benar hasil karya saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan oleh rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagai atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar pernyataan ini.

Cilegon, 13 Januari 2025

A colorful postage stamp is visible in the background of the signature. The stamp features a cartoon character and the text 'METRAL TPA PAU' and '17AMX233602443'.

Kinanti Salma Sastaviana

NIM. 3334190096

ABSTRAK

Flotasi adalah proses pemisahan mineral berharga berdasarkan sifat permukaan mineral, yaitu *hydrophobic* dan *hydrophilic*. Dalam flotasi, efisiensi sangat penting dan dapat ditentukan dari performa metalurgis, yaitu *recovery*, sehingga proses flotasi perlu dimonitor dengan baik. Saat ini, teknologi *Machine Vision* digunakan untuk memonitor proses flotasi di industri, namun teknologi ini hanya dapat memonitor di sumbu-x dan sumbu-y, sehingga kurang representatif karena pemisahan mineral terjadi di sumbu-z (*collection zone*). Teknologi sensor berbasis kapasitansi listrik memanfaatkan perbedaan kapasitansi material untuk memonitor flotasi secara *real-time* dan bersifat non-intrusif, sehingga lebih unggul dibandingkan teknologi sebelumnya dalam mengoptimalkan efisiensi proses flotasi kolom. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara kapasitansi dan *recovery* flotasi kolom. Kolektor yang digunakan adalah *methyl ester sulfonate*, sedangkan *frother pine oil* divariasikan pada dosis 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, dan 50 ppm. Variasi ukuran partikel yang digunakan adalah -100+150#, -150+200#, -200+230#, dan -230#, dengan laju alir udara 2,5 L/menit. Pengukuran kapasitansi dilakukan pada kondisi *steady state* (*level 5*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis *frother*, semakin tinggi *recovery* yang diperoleh. Namun, ketika dosis *frother* terlalu tinggi, maka *recovery* akan menurun karena terjadinya *entertainment* non-selektif. Semakin kasar ukuran partikel yang digunakan, maka *recovery* akan semakin menurun. *Recovery* tertinggi mencapai 80,25% dengan kapasitansi 26,91 pF pada dosis *frother* 40 ppm dan ukuran partikel -230#, sedangkan *recovery* terendah adalah 2,17% dengan kapasitansi 24,6 pF pada dosis *frother* 50 ppm dan ukuran partikel -100+150#. Korelasi antara kapasitansi dan *recovery* didapatkan melalui persamaan matematis dari masing-masing variabel. Pada variasi ukuran partikel persamaan matematis yang didapat yaitu $y = -1 \times 10^{-5}x^4 - 0,0019x^3 + 0,0789x^2 - 0,3315x + 0,5651$ dengan polinomial orde 4 di mana $R^2 = 0,9822$. Sementara persamaan matematis yang didapat untuk variasi dosis *frother* adalah $y = -0,0021x^4 + 0,1432x^3 + 3,5862x^2 + 38,674x - 76,742$ dari polinomial orde 4 dengan $R^2 = 0,9827$.

Kata kunci: Sensor Berbasis Kapasitansi, Flotasi Kolom, *Recovery*, Tren.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT yang telah memberikan karunia, kesehatan, dan kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "Pemanfaatan Sinyal Kapasitansi untuk *Monitoring* Proses Flotasi Kolom dengan Variasi Ukuran Partikel dan Dosis *Frother*." Dalam kesempatan ini Penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Abdul Aziz, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Bapak Dr. Didied Haryono, S.T., M.T., dan Ibu Dr. Amalia Sholehah, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan terbaik, juga segala saran dan masukan yang bermanfaat kepada penulis selama proses penelitian hingga sidang skripsi.
3. Keluarga penulis yang sudah selalu mendoakan, mendukung, dan menemani penulis selama menyelesaikan studi.
4. Para dosen terhormat yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan pencerahan selama penulis menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perkembangan penelitian yang lebih baik. semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan memberikan kontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan.

Cilegon, 2 Januari 2025

Kinanti Salma Sastaviana

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	6
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pasir Kuarsa	6
2.2 Silikon Karbida	6
2.3 Flotasi.....	7
2.4 Flotasi Kolom.....	9
2.5 Kolektor.....	11
2.6 <i>Frother</i>	12
2.7 Kapasitor	14

2.8	Kapasitansi	15
2.9	Kapasitometer	16
2.10	Sensor Kapasitif	17
2.11	<i>Grain Counting</i>	17
2.12	ImageJ	18

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian	20
3.2	Alat dan Bahan	21
3.2.1	Alat-alat yang digunakan	21
3.2.2	Bahan-bahan yang digunakan	22
3.3	Prosedur Penelitian	23
3.3.1	Preparasi Sampel	23
3.3.2	Preparasi Sensor Flotasi	23
3.3.3	Proses <i>Monitoring</i> dan Flotasi Kolom	24
3.3.4	<i>Coning and Quartering</i>	27
3.3.5	<i>Grain Counting</i>	28

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Karakterisasi SiC	30
4.2	<i>Grain Counting</i>	31
4.3	Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap <i>Recovery</i> dan Kapasitansi	33
4.4	Pengaruh Dosis <i>Frother</i> Terhadap <i>Recovery</i> dan Kapasitansi	36

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	42

DAFTAR PUSTAKA	43
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN A	46
A.1 Hasil Karakterisasi SiC	47
A.2 Hasil Flotasi Kolom	47
A.3 Hasil <i>Monitoring</i> Kapasitansi dari Kapasitometer CAP 3201 2CH C-Tech Edwar Labs Technology	61
A.4 <i>Grain Counting</i>	69
LAMPIRAN B	105
B.1 Perhitungan Kadar <i>Feed</i>	106
B.2 Perhitungan Porsen Solid	106
B.3 Perhitungan Dosis <i>Frother</i>	107
B.4 Perhitungan Dosis Kolektor	107
B.5 Perhitungan Kadar Konsentrat	108
B.6 Perhitungan <i>Recovery</i> dan Kumulatif <i>Recovery</i>	112
LAMPIRAN C	119
C.1 Analisis <i>Grain Counting</i> Menggunakan ImageJ 1.53t	120
LAMPIRAN D	125
D.1 Analisis Pola XRD Menggunakan Profex 5.2.5	126
LAMPIRAN E	130
E.1 Gambar Alat	131
E.2 Gambar Bahan	133

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel A.1 Massa konsentrat dan <i>tailing</i> variasi ukuran partikel -100+150#	48
Tabel A.2 Massa konsentrat dan <i>tailing</i> variasi ukuran partikel -150+200#	48
Tabel A.3 Massa konsentrat dan <i>tailing</i> variasi ukuran partikel -200+230#	49
Tabel A.4 Massa konsentrat dan <i>tailing</i> variasi ukuran partikel -230#.....	50
Tabel A.5 Massa konsentrat dan <i>tailing</i> variasi dosis <i>frother</i> 20 ppm.....	50
Tabel A.6 Massa konsentrat dan <i>tailing</i> variasi dosis <i>frother</i> 30 ppm.....	51
Tabel A.7 Massa konsentrat dan <i>tailing</i> variasi dosis <i>frother</i> 40 ppm.....	52
Tabel A.8 Massa konsentrat dan <i>tailing</i> variasi dosis <i>frother</i> 50 ppm.....	52
Tabel A.9 <i>Grain counting</i> variasi ukuran partikel -100+150#.....	53
Tabel A.10 <i>Grain counting</i> variasi ukuran partikel -150+200#.....	54
Tabel A.11 <i>Grain counting</i> variasi ukuran partikel -200+230#.....	55
Tabel A.12 <i>Grain counting</i> variasi ukuran partikel -230#	57
Tabel A.13 <i>Grain counting</i> variasi dosis <i>frother</i> 20 ppm	58
Tabel A.14 <i>Grain counting</i> variasi dosis <i>frother</i> 30 ppm	59
Tabel A.15 <i>Grain counting</i> variasi dosis <i>frother</i> 40 ppm	60
Tabel A.16 <i>Grain counting</i> variasi dosis <i>frother</i> 50 ppm	62
Tabel A.17 Data Kapasitometer variasi ukuran partikel -100+150#.....	63
Tabel A.18 Data Kapasitometer variasi ukuran partikel -150+200#.....	64
Tabel A.19 Data Kapasitometer variasi ukuran partikel -200+230#.....	64
Tabel A.20 Data Kapasitometer variasi ukuran partikel -230#.....	65

Tabel A.21 Data Kapasitometer variasi dosis <i>frother</i> 20 ppm	66
Tabel A.22 Data Kapasitometer variasi dosis <i>frother</i> 30 ppm	66
Tabel A.23 Data Kapasitometer variasi dosis <i>frother</i> 40 ppm	67
Tabel A.24 Data Kapasitometer variasi dosis <i>frother</i> 50 ppm	68
Tabel B.1 Penentuan dosis <i>frother</i>	107
Tabel B.2 Kadar SiC dan SiO ₂ pada variasi ukuran partikel -100+150#	108
Tabel B.3 Kadar SiC dan SiO ₂ pada variasi ukuran partikel -150+200#	109
Tabel B.4 Kadar SiC dan SiO ₂ pada variasi ukuran partikel -200+230#	110
Tabel B.5 Kadar SiC dan SiO ₂ pada variasi ukuran partikel -230#	110
Tabel B.6 Kadar SiC dan SiO ₂ pada variasi dosis <i>frother</i> 20 ppm	111
Tabel B.7 Kadar SiC dan SiO ₂ pada variasi dosis <i>frother</i> 30 ppm	111
Tabel B.8 Kadar SiC dan SiO ₂ pada variasi dosis <i>frother</i> 40 ppm	112
Tabel B.9 Kadar SiC dan SiO ₂ pada variasi dosis <i>frother</i> 50 ppm	112
Tabel B.10 <i>Recovery</i> dan kumulatif <i>recovery</i> variasi ukuran partikel - 100+150#	114
Tabel B.11 <i>Recovery</i> dan kumulatif <i>recovery</i> variasi ukuran partikel - 150+200#	114
Tabel B.12 <i>Recovery</i> dan kumulatif <i>recovery</i> variasi ukuran partikel - 200+230#	115
Tabel B.13 <i>Recovery</i> dan kumulatif <i>recovery</i> variasi ukuran partikel -230#.....	115
Tabel B.14 <i>Recovery</i> dan kumulatif <i>recovery</i> variasi dosis <i>frother</i> 20 ppm	116
Tabel B.15 <i>Recovery</i> dan kumulatif <i>recovery</i> variasi dosis <i>frother</i> 30 ppm	116
Tabel B.16 <i>Recovery</i> dan kumulatif <i>recovery</i> variasi dosis <i>frother</i> 40 ppm	117
Tabel B.17 <i>Recovery</i> dan kumulatif <i>recovery</i> variasi dosis <i>frother</i> 50 ppm	118

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Mekanisme Flotasi.....	8
Gambar 2.2 Sistem Flotasi Kolom	10
Gambar 2.3 Struktur Fisik Kapasitor Pelat Sejajar.....	15
Gambar 2.4 Kapasitometer CAP 3201 2CH C-Tech Labs Edwar Technology ..	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 3.2 Rangkaian Sistem Flotasi	24
Gambar 3.3 Skema <i>Monitoring</i> Flotasi Kolom	26
Gambar 3.4 <i>Slurry</i>	26
Gambar 3.5 <i>Coning and Quartering</i>	28
Gambar 3.6 <i>Grid</i> untuk <i>Grain Counting</i>	29
Gambar 4.1 Hasil Pengujian XRD Conto SiC.....	30
Gambar 4.2 Sampel Konsentrat.....	32
Gambar 4.3 Hasil Analisis Sampel Konsentrat dengan ImageJ a) SiC, b) SiO ₂	33
Gambar 4.4 Kurva Hubungan <i>Recovery</i> dan Kapasitansi dari Variasi Ukuran Partikel a) -100+150#, b) -150+200#, c) -200+230#, dan d) -230... 34	34
Gambar 4.5 Kurva Hubungan Kapasitansi Terhadap <i>Recovery</i> pada Ukuran Partikel -200+230#.....	35
Gambar 4.6 Kurva <i>Recovery</i> dan Kapasitansi pada Dosis <i>Frother</i> a) 20 ppm, b) 30 ppm, c) 40 ppm, dan d) 50 ppm.....	37

Gambar 4.7 Kurva Hubungan Kapasitansi terhadap <i>Recovery</i> pada Dosis <i>Frother</i> 50 ppm	40
Gambar A.1 Pola grafik XRD SiC	47
Gambar A.2 Hasil Akhir <i>Refinement</i> SiC.....	47
Gambar A.3 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -100+150# di 150 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	69
Gambar A.4 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -100+150# di 180 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	69
Gambar A.5 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -100+150# di 210 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	70
Gambar A.6 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -100+150# di 240 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	70
Gambar A.7 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -100+150# di 360 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	71
Gambar A.8 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -100+150# di 480 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	71

Gambar A.9 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -100+150# di 600 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	72
Gambar A.10 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -100+150# di 820 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	72
Gambar A.11 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -100+150# di 1000 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	73
Gambar A.12 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -150+200# di 150 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	73
Gambar A.13 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -150+200# di 180 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	74
Gambar A.14 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -150+200# di 210 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	74
Gambar A.15 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -150+200# di 240 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	75

Gambar A.16 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -150+200# di 360 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	75
Gambar A.17 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -150+200# di 480 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	76
Gambar A.18 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -150+200# di 600 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	76
Gambar A.19 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -150+200# di 820 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	77
Gambar A.20 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -150+200# di 1000 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	77
Gambar A.21 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -200+230# di 150 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	78
Gambar A.22 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -200+230# di 180 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	78

Gambar A.23 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -200+230# di 210 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	79
Gambar A.24 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -200+230# di 240 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	79
Gambar A.25 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -200+230# di 360 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	80
Gambar A.26 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -200+230# di 480 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	80
Gambar A.27 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -200+230# di 600 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	81
Gambar A.28 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -200+230# di 820 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	81
Gambar A.29 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -200+230# di 1000 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	82
Gambar A.30 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel -230# di 150 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	82

Gambar A.31 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 180 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 83

Gambar A.32 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 210 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 83

Gambar A.33 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 240 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 84

Gambar A.34 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 360 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 84

Gambar A.35 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 480 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 85

Gambar A.36 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 600 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 85

Gambar A.37 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 820 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 86

Gambar A.38 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 1000 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 86

Gambar A.39 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 20 ppm di 150 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 87

Gambar A.40 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 20 ppm di 180 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 87

Gambar A.41 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 20 ppm di 210 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 88

Gambar A.42 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel 20 ppm di 240 detik:	
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	88
Gambar A.43 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel 20 ppm di 360 detik:	
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	89
Gambar A.44 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel 20 ppm di 480 detik:	
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	89
Gambar A.45 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel 20 ppm di 600 detik:	
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	90
Gambar A.46 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel 20 ppm di 820 detik:	
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	90
Gambar A.47 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel 20 ppm di 1000 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	91
Gambar A.48 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel 30 ppm di 150 detik:	
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	91
Gambar A.49 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel 30 ppm di 180 detik:	
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	92
Gambar A.50 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel 30 ppm di 210 detik:	
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	92
Gambar A.51 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel 30 ppm di 240 detik:	
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	93
Gambar A.52 Citra <i>grain counting</i> variasi ukuran partikel 30 ppm di 360 detik:	
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9	93

Gambar A.53 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 30 ppm di 480 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 94

Gambar A.54 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 30 ppm di 600 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 94

Gambar A.55 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 30 ppm di 820 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 95

Gambar A.56 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 30 ppm di 1000

detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9
..... 95

Gambar A.57 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 40 ppm di 150 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 96

Gambar A.58 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 40 ppm di 180 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 96

Gambar A.59 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 40 ppm di 210 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 97

Gambar A.60 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 40 ppm di 240 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 97

Gambar A.61 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 40 ppm di 360 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 98

Gambar A.62 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 40 ppm di 480 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 98

Gambar A.63 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 40 ppm di 600 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 99

Gambar A.64 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 40 ppm di 820 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 99

Gambar A.65 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 50 ppm di 150 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 100

Gambar A.66 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 50 ppm di 180 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 100

Gambar A.67 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 50 ppm di 210 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 101

Gambar A.68 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 50 ppm di 240 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 101

Gambar A.69 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 50 ppm di 360 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 102

Gambar A.70 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 50 ppm di 480 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 102

Gambar A.71 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 50 ppm di 600 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 103

Gambar A.72 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 50 ppm di 820 detik:

a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9 103

Gambar A.73 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel 50 ppm di 1000

detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9

..... 104

Gambar C.1 Menu “Open” pada “File” untuk Membuka Citra 121

Gambar C.2 Menu “Color Threshold...” pada “Adjust” 121

Gambar C.3 Pengaturan “Threshold Color”.....	122
Gambar C.4 a) Menu “Make Binary” pada “Binary”, b) Hasil dari “Make Binary”	122
Gambar C.5 Menu “Convert to Mask” pada “Binary”	123
Gambar C.6 Menu “Fill Holes” pada “Binary”	123
Gambar C.7 Menu “Watershed” pada “Binary”	124
Gambar C.8 Menu “Alayze Particles...” pada “Analyze”	124
Gambar C.9 Pengaturan pada “Analyze Particles”	125
Gambar C.10 Hasil akhir analisis <i>grain counting</i> dengan ImageJ	125
Gambar D.1 Menu “Open Raw Scan File...” pada “File”	128
Gambar D.2 “Phases” pada kolom “Search/match Phases”	128
Gambar D.3 “Restrictions” pada kolom “Search/match Phases”	128
Gambar D.4 “Controls” pada kolom “Search/match Phases”	129
Gambar D.5 Menu “Run Search-Match” pada “Run”	129
Gambar D.6 “Results” pada kolom “Search/match Phases”	130
Gambar D.7 Hasil akhir dari analisis pola XRD	130
Gambar E.1 <i>Chopper</i>	132
Gambar E.2 Ember	132
Gambar E.3 <i>Flowmeter</i>	132
Gambar E.4 Gelas kimia 500 mL	132
Gambar E.5 Kapasitometer	132
Gambar E.6 Kolom flotasi.....	132
Gambar E.7 Kompresor udara.....	133

Gambar E.8 Kabel konektor	133
Gambar E.9 Kaca arloji	133
Gambar E.10 Kaca pembesar	133
Gambar E.11 <i>Hand mixer</i>	133
Gambar E.12 Nampan logam	133
Gambar E.13 Neraca digital	133
Gambar E.14 <i>Oven</i>	133
Gambar E.15 Screen 100#, 150#, 200#, dan 230#	134
Gambar E.16 <i>Stabilizer</i>	134
Gambar E.17 Termometer digital.....	134
Gambar E.18 <i>Water sprayer</i>	134
Gambar E.19 <i>Frother pine oil</i>	134
Gambar E.20 Kolektor <i>Methyl ester sulfonate</i>	134
Gambar E.21 Kuarsa (SiO ₂)	135
Gambar E.22 SiC.....	135

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pertambangan di Indonesia terus menunjukkan pertumbuhan signifikan, seiring dengan peningkatan produksi berbagai komoditas tambang. Berdasarkan data Kementerian ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral), realisasi produksi batu bara pada tahun 2023 mencapai 775,2 juta ton, atau 112% dari target yang ditetapkan. Peningkatan ini sejalan dengan peningkatan investasi di sektor pertambangan yang mencapai USD 7,46 miliar, atau 96,8% dari target tahun tersebut. Investasi besar ini tidak hanya mendorong peningkatan produksi. Selain peningkatan produksi, pemanfaatan teknologi dalam sektor pertambangan menjadi faktor penting untuk menjaga efisiensi dan produktivitas di tengah tingginya permintaan komoditas tambang. Penggunaan teknologi di sektor pertambangan, salah satunya dalam bidang produksi, hingga pengolahan, semakin diperlukan untuk menghadapi tantangan peningkatan produksi dan memenuhi target yang semakin tinggi. Salah satu teknologi yang sangat berperan penting dalam mengolah produk tambang adalah teknologi flotasi kolom.

Flotasi merupakan salah satu teknik konsentrasi yang memanfaatkan perbedaan sifat permukaan mineral untuk memisahkan mineral berharga dari pengotornya. Sifat permukaan ini didasari oleh respon permukaan mineral ketika berinteraksi dengan air, di mana ada dua jenis, yaitu *hydrophobic* (mineral yang

tidak menyukai air) dan *hydrophilic* (mineral yang menyukai air). Mekanisme flotasi kolom dilakukan dengan memasukkan bijih (*feed*) dari *feeder*, lalu udara diinjeksikan melalui *sparger* dari dasar kolom dengan laju tertentu. Ini menciptakan aliran berlawanan (*counter-current*) antara partikel dan gelembung, di mana partikel *hydrophobic* akan menempel pada gelembung dan ikut terangkat ke permukaan sebagai konsentrat, sementara partikel *hydrophilic* akan mengendap sebagai *tailing*. Dalam flotasi, efisiensi merupakan hal yang penting, di mana efisiensi ini dapat dilihat dari performa metalurgisnya yaitu *recovery*.

Karena efisiensi flotasi merupakan hal yang krusial, diperlukan teknologi yang dapat memonitor jalannya proses flotasi agar tetap terkontrol dan efisiensi proses flotasi tetap terjaga. Teknologi yang saat ini umum digunakan di industri adalah *Machine Vision*. Namun, teknologi ini kurang representatif karena hanya dapat memonitor dari sumbu-x dan sumbu-y, sedangkan proses pemisahan berlangsung di sumbu-z. Kekurangan ini mendorong pengembangan teknologi sensor berbasis kapasitansi listrik. Sensor ini mampu memonitor secara *real-time* dan bersifat non-intrusif yang berarti tidak mengganggu proses berjalan, sehingga dapat digunakan untuk memonitor pada *collection zone*. *Monitoring* dalam proses flotasi memiliki peran yang sangat penting karena efisiensi dari proses flotasi dapat diketahui, sehingga dapat mencapai nilai *recovery* yang optimum.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Haryono dkk. (2020) memanfaatkan sistem *Electrical Capacitance Volume Tomography* (ECVT) untuk memonitor proses flotasi dengan menghasilkan citra warna yang merepresentasikan distribusi partikel dan udara dalam kolom flotasi. Penelitian ini berhasil

menunjukkan hubungan antara *recovery* dengan citra yang dihasilkan dari variasi penelitian yang digunakan, yaitu dosis *frother* dan kolektor. Meskipun begitu, penelitian tersebut belum mengaitkan kapasitansi secara mendalam dengan bentuk kurva *recovery* flotasi kolom, dan bagaimana sinyal kapasitansi dapat digunakan untuk memprediksi *recovery*. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengoptimalkan *monitoring* proses flotasi kolom dengan menggunakan material silikon karbida (SiC) dan sensor kapasitif *2-channel* yang terhubung ke kapasitometer. Data yang diperoleh akan diplot dalam bentuk kurva kemudian dilakukan pendekatan untuk memprediksi nilai *recovery* berdasarkan kapasitansi.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, beberapa identifikasi masalah yang timbul dalam penelitian ini meliputi:

1. Pengaruh variasi ukuran partikel dan dosis *frother* terhadap nilai *recovery* dan kapasitansi dalam proses flotasi kolom.
2. Hubungan dari kurva nilai kapasitansi dengan *recovery* yang didapat.
3. Pendekatan matematis yang digunakan untuk memprediksi nilai *recovery* berdasarkan kapasitansi yang diperoleh.

1.3 Tujuan Penelitian

Setelah mendapatkan permasalahan yang ada, maka tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Menganalisis bagaimana variasi ukuran partikel dan dosis *frother* mempengaruhi nilai *recovery* dan kapasitasansi dalam proses flotasi kolom.
2. Mengetahui hubungan *recovery* dengan kapasitasansi berdasarkan kurva *monitoring*.
3. Mengetahui pendekatan matematis dari masing-masing variabel untuk memprediksi nilai *recovery* berdasarkan perolehan kapasitasansi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yang dibutuhkan untuk mengarahkan fokus penelitian dengan jelas dan spesifik sebagai berikut:

1. Bijih yang digunakan pada penelitian ini berupa bijih silikon karbida sintesis sebagai partikel *hydrophobic* dan pasir silika sebagai partikel *hydrophilic*.
2. Proses preparasi material, proses flotasi, dan proses *grain counting* dilakukan di Laboratorium *Advanced Materials and Tomography*, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Variasi yang digunakan pada penelitian ini meliputi ukuran partikel yaitu -100+150#, -150+200#, -200+230#, dan -230#, serta dosis *pine oil* sebagai *frother* yaitu 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, dan 50 ppm.
4. Flotasi kolom dilakukan dengan kolom yang telah dipasangkan dengan sensor kapasitasansi 32-*channel*, dan terdapat 8 level di *collection zone*.

5. Parameter tetap pada penelitian ini meliputi waktu *conditioning* selama 10 menit, dosis kolektor (*methyl ester sulfonate*) 40 ppm, persentase solid 20%, dan laju alir 2,5 L/m.
6. Analisis kadar dilakukan dengan metode *grain counting* dan perhitungan butir dilakukan dengan *software* ImageJ 1.53t.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terbagi menjadi lima bab yang masing-masing memiliki fokus dan tujuan tersendiri. Bab I dalam skripsi ini terdiri dari latar belakang penelitian, identifikasi masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab II menyajikan tinjauan pustaka yang mencakup teori-teori yang mendasari penelitian ini. Bab III menjelaskan metode penelitian yang mencakup diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta prosedur yang diikuti untuk mendapatkan data. Bab IV berisi tentang analisis dan pembahasan data yang diperoleh selama penelitian. Bab V yang merupakan kesimpulan dan saran. Terakhir, merupakan lampiran-lampiran penunjang seperti perhitungan, serta dokumentasi penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir Kuarsa

Pasir kuarsa adalah hasil dari proses pelapukan batuan yang mengandung silikon dioksida (SiO_2). Proses pembentukan pasir kuarsa melibatkan beberapa tahap, yaitu pelapukan batuan, transportasi oleh air dan angin, serta sedimentasi. Selama proses ini, batuan tersebut hancur menjadi butiran pasir yang kemudian terbawa oleh aliran air atau tiupan angin hingga akhirnya terendapkan di tepi laut, danau, dan sungai. Pasir kuarsa yang terbentuk melalui proses ini tidak pernah ditemukan dalam keadaan murni di alam. Pasir kuarsa ini tercampur dengan lempung atau mineral lainnya seperti limonit, magnetit, dan zirkon. Hal ini terjadi karena selama proses transportasi dan pengendapan, pasir kuarsa sering kali membawa serta berbagai material pengotor. Berdasarkan hal tersebut, kemurnian dari pasir kuarsa tergantung pada proses pembentukan dan kondisi lingkungan di sekitarnya [1].

2.2 Silikon Karbida

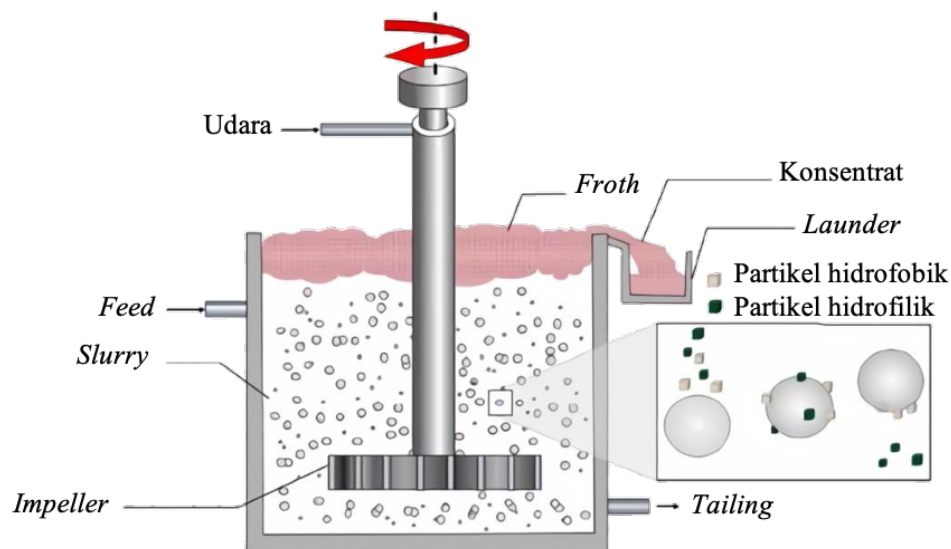
Silikon karbida (SiC) atau Carborundum adalah senyawa keramik non-oksida yang terbuat dari silikon (Si) dan karbon (C). Material ini memiliki ikatan kovalen yang sangat kuat antara atom silikon dan karbon, yang memberikan sifat mekanik dan termal yang luar biasa, seperti titik leleh yang sangat tinggi, modulus

elastisitas yang tinggi, serta ketahanan terhadap suhu ekstrem dan korosi. Dengan konduktivitas termal yang sangat baik dan ekspansi termal yang rendah, SiC juga ideal untuk aplikasi yang melibatkan pembuangan panas. SiC digunakan dalam berbagai industri, terutama dalam elektronika sebagai semikonduktor untuk perangkat daya bertegangan tinggi, seperti dioda dan transistor yang beroperasi pada suhu tinggi dan frekuensi tinggi. Selain itu, SiC juga digunakan dalam bidang optoelektronik, seperti pada LED (*Light Emitting Diode*) dan detektor cahaya, karena sifat optiknya yang dipengaruhi oleh struktur kristalnya yang bervariasi, seperti kubik, hexagonal, dan politip. Keunggulan lainnya adalah kekerasannya yang tinggi, menjadikannya bahan abrasif yang efektif dan penguat dalam komposit untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan suhu tinggi. Sifat permukaannya, yang dipengaruhi oleh atom Si dan C, membuat SiC lebih reaktif secara kinetik dan berguna dalam berbagai aplikasi, mulai dari abrasif hingga teknologi nuklir [2].

2.3 Flotasi

Pada proses pengolahan mineral, flotasi merupakan salah satu teknik pada proses konsentrasi untuk memisahkan mineral berharga dengan pengotornya berdasarkan sifat permukaannya yaitu *hydrophobic* (tidak suka air) dan *hydrophilic* (suka air). Prinsip kerja flotasi yaitu dengan mengangkut partikel yang bersifat *hydrophobic* (tidak suka air) dengan gelembung udara sebagai konsentrat, dan partikel yang bersifat *hydrophilic* (suka air) akan mengendap di bawah permukaan dan dinyatakan sebagai *tailing*. Terdapat dua gaya yang berperan pada flotasi, yaitu gaya gravitasi dan gaya apung. Gaya gravitasi menyebabkan partikel *hydrophilic*

bergerak ke bawah menuju dasar tangki, sedangkan gaya apung menyebabkan gelembung udara yang membawa partikel *hydrophobic* bergerak ke atas menuju permukaan. *Feed* yang akan diolah berupa *pulp* yang dimasukkan ke dalam sel flotasi. Tangki untuk flotasi dilengkapi dengan *impeller* yang berfungsi sebagai agitator (pengaduk). *Impeller* ini berputar untuk mengaduk pulp dan menyatu dengan pipa yang menginjeksi udara ke dalam tangki. Proses pengadukan ini menghasilkan gelembung udara yang tersebar merata dalam *pulp*. Konsentrat yang telah terapung bersama buih akan ditampung pada bagian *launder*, yaitu bagian tangki yang dirancang untuk mengumpulkan buih pembawa mineral berharga. Sementara itu, partikel-partikel *hydrophilic* akan mengendap menjadi *tailing*. Proses flotasi juga melibatkan penggunaan reagen kimia seperti kolektor, dan *frother* untuk memodifikasi sifat permukaan mineral. Kolektor digunakan untuk meningkatkan hidrofobisitas mineral berharga, *frother* untuk menghasilkan dan menstabilkan buih [3][4].

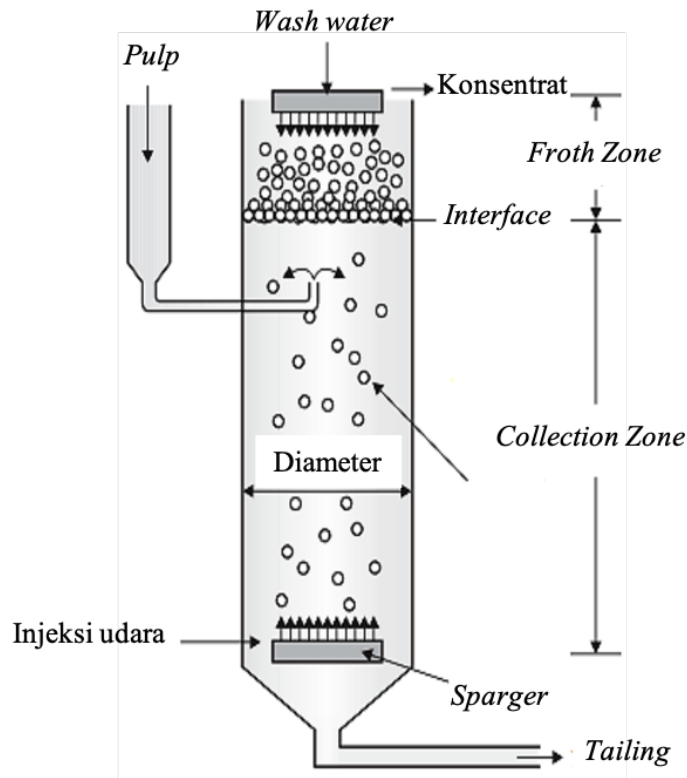


Gambar 2.1 Mekanisme Flotasi [3]

2.4 Flotasi Kolom

Pemisahan mineral berharga dari material pengotor tidak optimal dalam sel mekanis konvensional. Flotasi kolom ditemukan pada awal tahun 1960-an sebagai alternatif yang lebih baik dibandingkan flotasi konvensional. Flotasi kolom memiliki beberapa keunggulan utama, termasuk pemulihan mineral yang lebih baik dengan kadar yang lebih tinggi, serta biaya modal dan operasional yang lebih rendah. Desain kolom yang bervariasi digunakan di seluruh dunia untuk memenuhi kebutuhan pemisahan mineral [5].

Perbedaan mendasar antara mesin flotasi kolom dan flotasi konvensional terletak pada desain dan mekanisme operasinya. Flotasi konvensional umumnya menggunakan tangki persegi panjang yang dangkal dengan agitasi mekanik yang kuat untuk mencampurkan *pulp* dan udara. Sebaliknya, flotasi kolom mengadopsi desain silinder yang tinggi dengan aliran internal yang lebih terkontrol. Flotasi kolom tidak menggunakan agitasi, namun memanfaatkan prinsip aliran berlawanan antara partikel mineral dan gelembung udara. Gelembung udara diinjeksikan dari dasar kolom melalui *sparger*, menciptakan zona-zona yang berbeda di dalam kolom, yaitu *collection zone*, dan *froth zone*. Semua zona yang ada pada flotasi ini memungkinkan terjadinya interaksi yang lebih efisien antara partikel mineral dan gelembung udara, sehingga meningkatkan selektivitas dan kapasitas pemisahan. Selain itu, penggunaan *wash water* pada flotasi kolom membantu membersihkan buih dari partikel pengotor, menghasilkan konsentrat dengan kadar yang lebih tinggi. Desain kolom yang sederhana dan minim komponen bergerak juga mengurangi biaya perawatan dan meningkatkan keandalan operasi [6].



Gambar 2.2 Skema Flotasi Kolom [6]

Gambar 2.2 menunjukkan skema flotasi kolom. Umumnya tangki flotasi kolom terdiri dari *feed inlet*, *wash water*, *column tank*, *sparger*, dan *discharge valve*. Bagian *feed inlet* ini merupakan bagian untuk tempat masuknya umpan atau *feed*. Lalu bijih akan mengalir secara berlawanan arah dengan gelembung udara yang dihasilkan *sparger*. Bagian *wash water* berfungsi sebagai bagian yang akan dialirkan air dari atas kolom untuk meningkatkan drainase sehingga partikel *hydrophilic* akan tertinggal dalam air yang akan dikeluarkan sebagai *tailing*. Sementara partikel *hydrophobic* akan melekat pada gelembung dan bergerak ke atas kolom membentuk *forth zone* menuju *concentrate outlet* dimana bagian ini merupakan bagian untuk keluarnya konsentrat. Sebagian wash water bergerak

kebawah melewati froth zone membawa partikel *gangue*. Interaksi partikel dengan gelembung udara berlangsung pada *collection zone* [7]. Pada flotasi kolom, terdapat 2 zona yaitu [8]:

1. *Collection zone*

Zona ini merupakan zona terjadinya interaksi antar gelembung udara dengan partikel untuk memisahkan konsentrat dan pengotornya.

2. *Froth zone*

Pada zona ini, seringkali mineral pengotor terbawa naik ke permukaan karena menempel pada konsentrat. Akan tetapi pada zona ini terdapat wash water yang dapat menghilangkan pengotor yang tidak diinginkan pada *froth zone*.

2.5 Kolektor

Kolektor merupakan reagen yang pada penggunaannya membuat mineral menjadi bersifat *hydrophobic* (tidak suka air), sehingga mineral tersebut dapat menempel pada gelembung. Kolektor membentuk lapisan tipis pada permukaan partikel yang dasarnya adalah lapisan hidrokarbon non-polar yang bersifat *hydrophobic*. Dengan adanya kolektor, sudut kontak partikel dengan gelembung udara meningkat, sehingga gelembung lebih mudah menempel pada permukaan partikel. Waktu untuk teradsorpsi nya reagen ini pada permukaan mineral disebut dengan *conditioning period*. Untuk mineral yang memang bersifat *hydrophobic* tetap membutuhkan kolektor untuk menghomogenkan sifat permukaan mineral. Dalam flotasi, satu atau dua campuran kolektor dapat digunakan. Kemudian salah

satunya biasa disebut *promotor*. Beberapa *promotor* flotasi, bila digunakan secara terpisah, menunjukkan efek flotasi yang sangat lemah. Kolektor dan *promotor* dapat terlihat sinergisme jika ada kolektor yang tepat [9].

Kolektor dapat menempel pada permukaan mineral melalui dua cara, yaitu *chemisorption* (membentuk ikatan kimia dengan permukaan mineral) dan *physical adsorption* (menempel pada permukaan mineral melalui gaya fisik). Dalam *chemisorption*, ion atau molekul dari larutan mengalami reaksi kimia dengan permukaan partikel mineral, sehingga dapat mengubah sifat permukaan tersebut secara selektif karena hanya atom-atom tertentu yang terlibat dalam ikatan kimia ini. Sebaliknya, *physisorption* terjadi ketika ion atau molekul dari larutan terikat menempel pada permukaan partikel mineral melalui daya tarik elektrostatik atau ikatan Van der Waals. *Physisorption* kurang selektif jika dibandingkan *chemisorption* karena kolektor akan menempel pada permukaan apa pun yang memiliki muatan listrik atau tingkat hidrofobisitas yang sesuai [10].

2.6 Frother

Frother adalah salah satu reagen dalam proses flotasi mineral yang berperan penting dalam membantu membentuk dan menstabilkan ukuran gelembung, meningkatkan dispersi udara dalam kolom, serta mengurangi koalesensi atau penyatuan gelembung [4]. Kehadiran buih yang stabil diperlukan untuk mengangkat atau membawa mineral berharga ke atas (*froth zone*). Namun, buih tidak boleh terlalu stabil karena buih yang terlalu stabil akan menyebabkan masalah dalam penanganannya. *Frother* merupakan senyawa permukaan aktif heteropolar

yang memiliki gugus polar *hydrophillic* dan gugus non-polar *hydrophobic* [7]. Umumnya, *frother* terbagi menjadi 3 kategori, yaitu alkohol alami (*Methyl isobutyl carbinol*, dan *pine oil*), alkohol sintesis (*Polyethylene glycol*, dan Propanol), dan formulasi khusus. Minyak pinus (*pine oil*) merupakan salah satu jenis *frother* yang termasuk ke dalam kategori *frother* alkohol alami. Keunggulan pada *frother* minyak pinus ini yaitu lebih ekonomis dibandingkan dengan *frother* lainnya. Menurut Lin dan [11], minyak pinus memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mengapungkan partikel-partikel besar dibandingkan dengan *frother* jenis alkohol lainnya.

Penambahan dosis *frother* pada proses flotasi kolom akan meningkatkan jumlah gelembung yang dihasilkan, dan memperbaiki distribusi gelembung secara merata di dalam kolom. Hasilnya, pembentukan *froth* menjadi lebih optimal dan stabil. Dalam konteks ini, *froth* yang baik akan membuat pemisahan partikel mineral berharga dari pengotornya dengan lebih efisien, tetapi juga meningkatkan kuantitas partikel mineral yang dapat terangkat ke *froth zone* [9]. Selain itu, peningkatan dosis *frother* mengurangi tegangan permukaan air, menghasilkan efek yang mengaktifkan gaya tegangan permukaan di sekitar gelembung. Gaya ini bertugas menjaga kestabilan gelembung, mencegahnya pecah, dan memperpanjang umur *froth*. Stabilitas gelembung yang tercapai merupakan faktor krusial dalam mengoptimalkan transportasi partikel mineral ke permukaan dan meningkatkan efisiensi keseluruhan proses flotasi. Cara kerja *frother* adalah dengan menurunkan tegangan permukaan air, sehingga gelembung yang dihasilkan lebih stabil atau

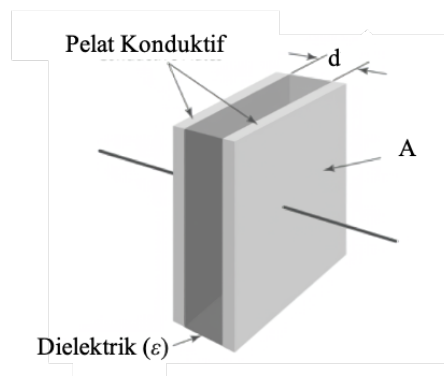
cenderung tidak mudah pecah dengan menciptakan lapisan pada permukaan gelembung udara [12].

2.7 Kapasitor

Kapasitor merupakan alat atau komponen elektronik yang mampu untuk menyimpan muatan listrik. Kemampuan ini diukur dengan sebuah besaran yang disebut kapasitansi dengan satuan Farad (F). Kapasitansi sebuah kapasitor adalah perbandingan muatan yang dapat disimpan dengan beda potensial. Semakin besar kapasitansi sebuah kapasitor, semakin besar pula muatan listrik yang dapat disimpan oleh kapasitor tersebut. Struktur sebuah kapasitor umumnya terdiri dari dua pelat metal atau elektroda yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan dielektrik ini adalah bahan isolator yang diselipkan di antara pelat-pelat elektroda tersebut. Dielektrik memiliki peran penting karena menentukan kapasitansi dan kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan listrik. Masing-masing bahan dielektrik memiliki karakteristik khusus yang mempengaruhi kinerja dan aplikasi kapasitor dalam rangkaian elektronik [14].

Prinsip kerja kapasitor adalah ketika kedua elektroda diberi tegangan listrik, maka muatan positif akan mengumpul pada salah satu elektroda. Sedangkan untuk muatan negatif, mengumpul pada elektroda lainnya. Muatan positif tidak dapat mengalir ke elektroda negatif, begitu juga sebaliknya, karena kedua elektroda tersebut dipisahkan oleh bahan dielektrik yang tidak konduktif. Muatan listrik ini akan tetap tersimpan selama tidak ada konduksi di antara ujung-ujung kaki kapasitor. Gambar 2.3, terlihat salah satu jenis kapasitor yaitu pelat sejajar. Dalam

konteks kapasitansi, ϵ biasanya mengacu pada permitivitas total dari bahan dielektrik yang berada di antara pelat-pelat kapasitor. Permitivitas total ini adalah hasil kali dari konstanta dielektrik ruang hampa ϵ_0 dan konstanta dielektrik relatif ϵ_r dari bahan tersebut. A merupakan luas permukaan kapasitor, dan d merupakan jarak antar kapasitor. Jika ada stimulus atau fenomena fisik yang menyebabkan perubahan dalam salah satu dari salah satu ϵ_r , A , atau d , maka nilai kapasitansinya juga akan berubah [15].



Gambar 2.3 Struktur Fisik Kapasitor Pelat Sejajar [15]

2.8 Kapasitansi

Kapasitansi adalah kemampuan suatu kapasitor untuk menampung muatan listrik. Coulomb menemukan bahwa 1 coulomb setara dengan 6.25×10^{18} elektron. Kemudian, Michael Faraday mengajukan bahwa sebuah kapasitor akan memiliki kapasitansi 1 farad jika dapat menampung muatan sebesar 1 coulomb saat diberi tegangan 1 volt. Dengan demikian, farad merupakan satuan yang mengukur seberapa besar kapasitas suatu kapasitor untuk menampung muatan listrik. Persamaan matematis kapasitansi dapat ditulis sebagai berikut [15]:

$$Q = C.V \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

Q = Muatan elektron dalam C (*Columbs*)

C = Nilai kapasitansi dalam F (Farad)

V = Besar tegangan dalam V (volt)

2.9 Kapasitometer

Kapasitometer adalah alat uji elektronik yang digunakan untuk mengukur nilai kapasitansi suatu kapasitor [16]. Prinsip kerja kapasitometer ini adalah mengukur kapasitansi suatu material dengan mengubahnya menjadi sinyal tegangan listrik menggunakan rangkaian C-V (*capacitance-to-voltage*). Rangkaian C-V bekerja dengan mengubah arus yang dihasilkan oleh kapasitansi material menjadi tegangan listrik menggunakan *operational amplifier* (op-amp), resistor *feedback* (R_f), dan kapasitor *feedback* (C_f) sebagai transduser. Dalam op-amp, arus yang masuk dan keluar bernilai sama ($i_1 = i_2$), sehingga tegangan keluaran (V_o) dapat merepresentasikan nilai kapasitansi objek (C_x) yang dihitung berdasarkan tegangan injeksi sinusoidal (V_{inj}), frekuensi angular (ω) serta nilai R_f dan C_f . Sehingga tegangan yang merepresentasikan pengukuran kapasitansi didapat seperti Persamaan 2.2 [17]:

$$V_o = -\frac{R_f V_i C_x / C_f}{R_f 1 / \omega C_f} \dots\dots\dots (2.2)$$



Gambar 2.4 Kapasitometer CAP 3201 2CH C-Tech Labs Edwar

Technology

2.10 Sensor Kapasitif

Sensor kapasitif merupakan jenis sensor yang mengubah stimulus fisik menjadi perubahan dalam besaran listrik, di mana besaran ini disebut dengan kapasitansi. Sensor kapasitif bekerja dengan mengukur perubahan dalam kemampuan sensor untuk menyimpan muatan listrik. Perubahan ini dapat terjadi karena beberapa faktor fisik, di antaranya yaitu perubahan jarak antar lempeng, perubahan luas penampang, dan perubahan volume dielektrikum. Sensor kapasitif dapat digunakan untuk berbagai pengukuran, seperti perpindahan linear dan rotasional, tekanan, gaya, torsi, akselerasi, kelembaban relatif, suhu, dan tingkat ketinggian cairan. Penggunaan sensor kapasitif juga memiliki kelemahan, di mana sensor ini dapat menimbulkan kesalahan karena adanya kapasitansi parasitik. Kapasitansi parasitik adalah kapasitansi yang tidak diinginkan atau sulit dihindari yang muncul pada komponen atau rangkaian elektronik [19].

2.11 Grain Counting

Grain counting adalah metode yang umum digunakan dalam menentukan kadar mineral dengan memisahkan mineral berdasarkan sifat fisiknya yang berbeda.

Proses *grain counting* sangat penting untuk mengetahui hasil *recovery* atau kadar dari proses tersebut. Proses analisis mineral menggunakan metode ini biasanya dilakukan secara manual dengan melibatkan penggunaan mikroskop binokuler dan peralatan tambahan seperti blok millimeter dengan ukuran tertentu [6].

Meskipun telah banyak digunakan, metode *grain counting* manual memiliki kelemahan, terutama dalam hal mendeteksi, kecepatan dalam menghitung butiran mineral kecil, sehingga kurang efisien. Seiring kemajuan teknologi, banyak metode-metode konvensional yang diciptakan untuk menghitung jumlah butir seperti deteksi infra merah (*infrared detection*), *sound collision*, dan *image analysis*. Metode deteksi infra merah dapat beradaptasi dengan partikel sesuai dengan ukuran dan bentuk yang berbeda, hasil akurasi tinggi, namun memiliki kekurangan biaya yang tinggi dan apabila butir yang jatuh terlalu cepat, kemungkinan tidak akan masuk dalam perhitungan karena butiran dianggap saling menghalangi. Lalu, metode *sound collision* memiliki akurasi tinggi namun mudah terpengaruh oleh faktor eksternal, dan pemasangan awalnya rumit. Metode *image analysis* lebih sederhana dan biayanya rendah, tetapi algoritma segmentasi gambar memiliki kompleksitas teknis yang substansial [19].

2.12 ImageJ

ImageJ merupakan *software* analisis citra yang bersifat fleksibel dan dapat diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk ilmu material, biologi, dan medis. *Software* ini memungkinkan berbagai jenis analisis citra, mulai dari pengukuran sederhana, seperti luas dan diameter partikel, hingga analisis yang lebih kompleks

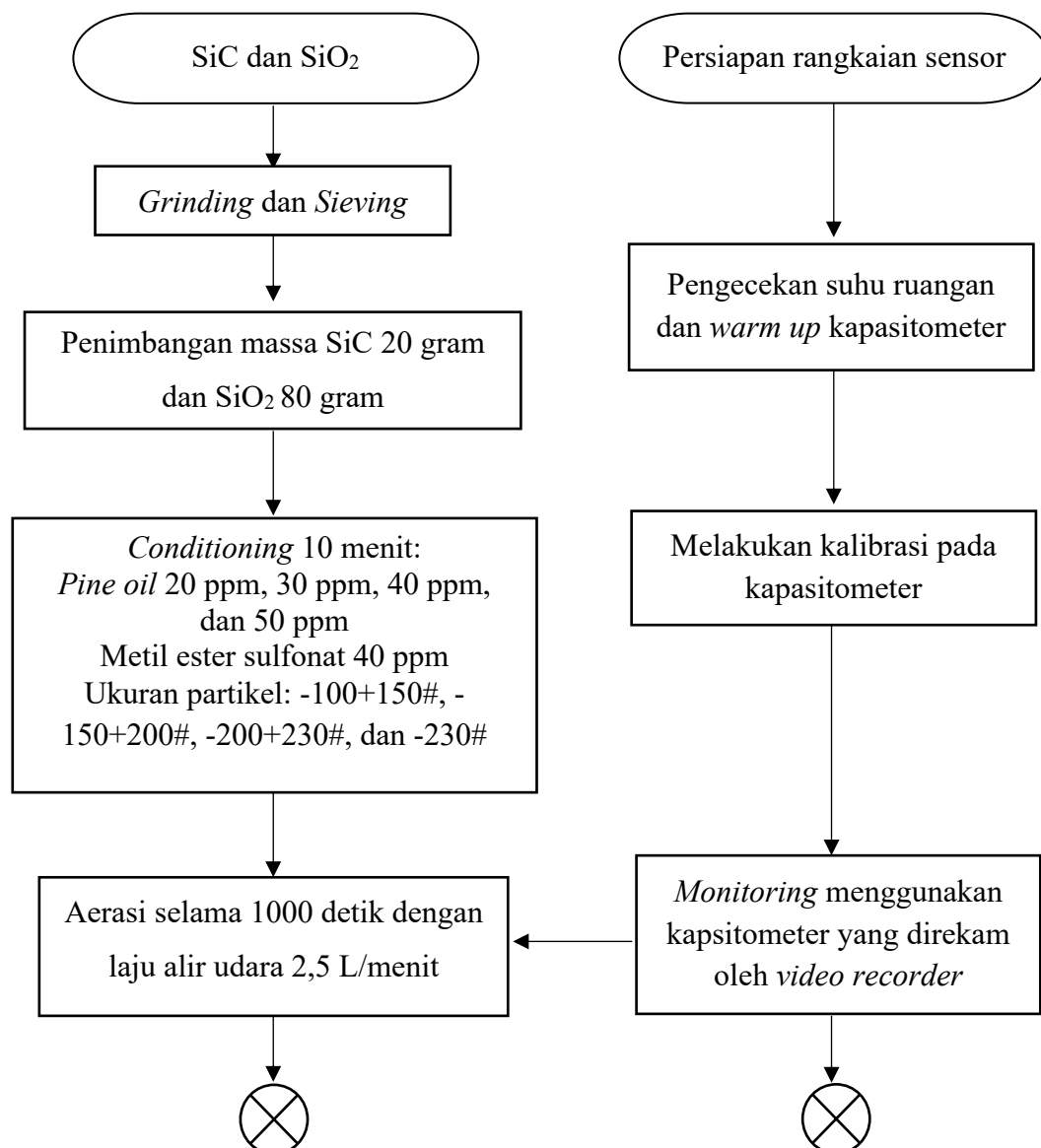
seperti segmentasi gambar dan perhitungan jumlah partikel. Fleksibilitas ImageJ memungkinkan penyesuaian terhadap berbagai jenis sampel serta pengembangan algoritma khusus sesuai dengan kebutuhan penelitian. Selain itu, ImageJ bersifat *open-source*, sehingga pengguna dapat mengembangkan *plugin* dan skrip untuk menyesuaikan dengan kebutuhan spesifik penelitian. Berbagai alat dan fitur yang tersedia memungkinkan pemrosesan, analisis, serta kuantisasi data gambar secara efisien, menjadikannya salah satu perangkat lunak analisis citra yang banyak digunakan dalam penelitian [20].

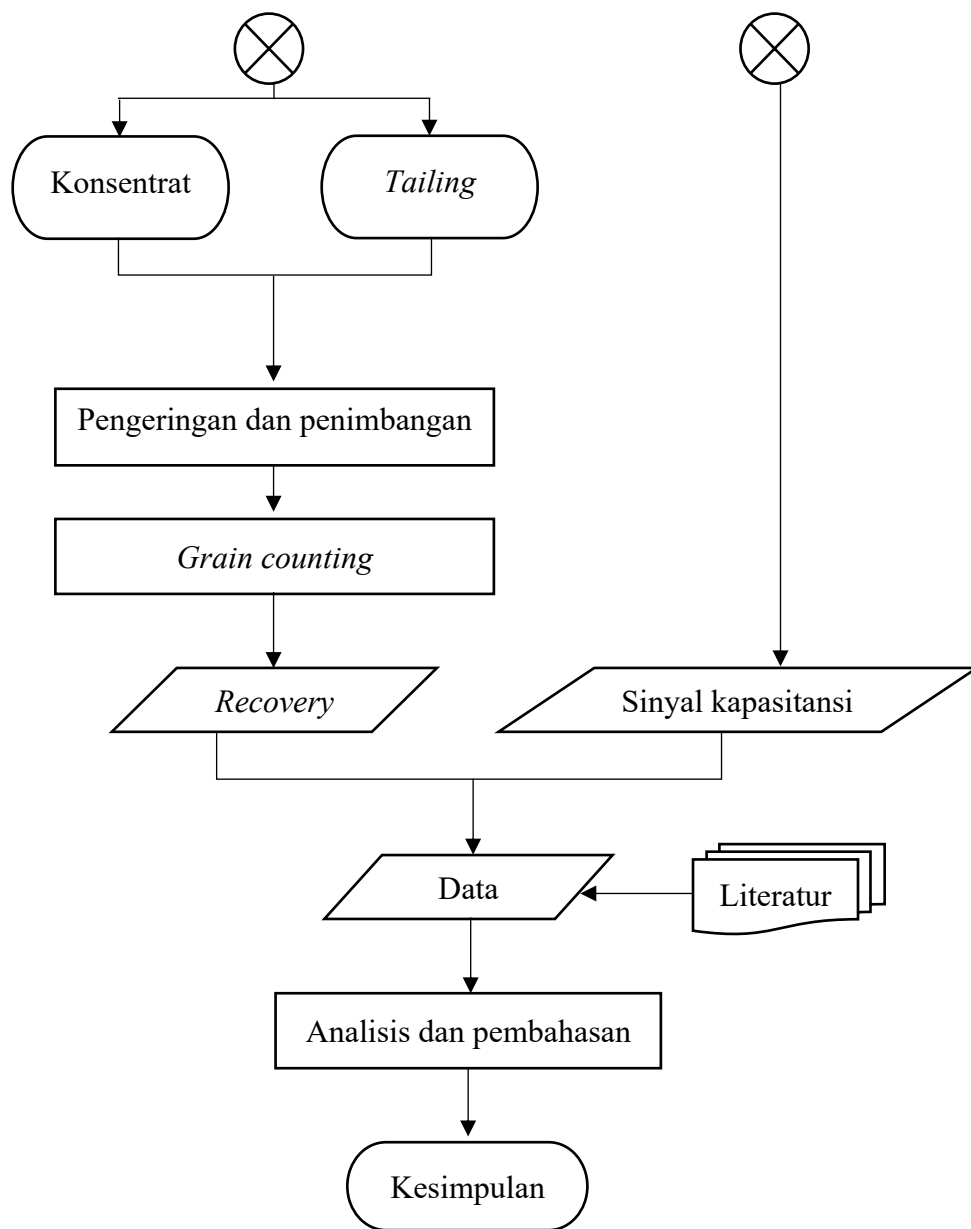
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada Gambar 3.1 di bawah ini terdapat skema metode penelitian yang telah dilakukan.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Berikut merupakan alat yang digunakan dalam penelitian.

1. *Chopper* merek Miyako.

2. Ember.
3. Gelas beker 500 mL merek IWAKI.
4. *Hand mixer* merek Miyako HM-620.
5. *Hand sprayer*.
6. Kabel konektor *channel* 18 dan 19.
7. Kaca arloji.
8. Kaca pembesar.
9. Kamera telepon seluler.
10. Kapasitometer CAP 3201 2CH C-Tech Labs Edwar Technology.
11. Kolom flotasi.
12. Kompresor merek Michelin.
13. Nampan.
14. Neraca digital merek LUCKY seri NE.
15. *Oven* Kris 16 Ltr.
16. Pipet.
17. Sensor ECVT 32CH C-Tech Labs Edwar Technology.
18. *Sieve* 100#, 150#, 200#, dan 230# merek KZM.
19. *Stabilizer* 3000 VA merek VYBA.

3.2.2 Bahan

Berikut merupakan bahan yang dibutuhkan untuk penelitian.

1. Air keran.
2. Kolektor yaitu metil ester sulfonat PT. Wilmar Nabati Indonesia.

3. *Frother* yaitu *pine oil* 0,1 M produksi Rendys Chemical.
4. SiC.
5. SiO₂.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi Sampel

Pada tahap preparasi sampel, bahan yang digunakan dalam penelitian dipersiapkan, yaitu pasir SiC dan SiO₂. Tahapan preparasi ini dimulai dari penggerusan SiC dan SiO₂ menggunakan *chopper* selama kurang lebih 3-10 menit untuk mengecilkan ukuran partikel. Setelah itu, SiC dan SiO₂ akan melalui proses *sieving* untuk menyamaratakan dan menyesuaikan ukuran partikel yang akan digunakan. Terdapat 4 variasi ukuran *sieve* yaitu 100#, 150#, 200#, dan 230#. Fraksi ukuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah -100+150#, -150+200#, -200+230#, dan -230#.

3.3.2 Preparasi Sensor Flotasi

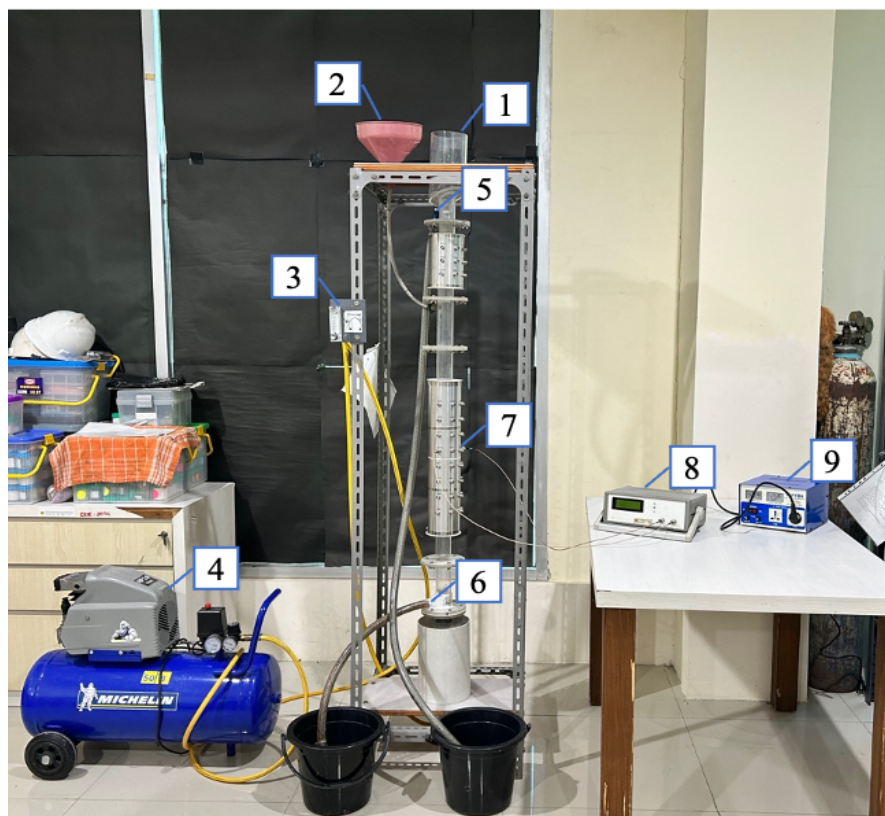
Sebelum memulai proses flotasi, sistem sensor kapasitansi dipersiapkan terlebih dahulu. Kapasitometer CAP 3201 2CH C-Tech Labs Edwar Technology ke 2-*channel* disambungkan ke sensor ECVT pada *channel*-18 dan *channel*-19 (level 4) menggunakan kabel konektor. Setelah itu, kapasitometer dihubungkan ke *stabilizer* yang terhubung ke sumber listrik. Ketika seluruh rangkaian sensor selesai dihubungkan, *stabilizer* dan kapasitometer dinyalakan untuk proses *warm up*, di mana proses ini

dilakukan selama kurang lebih 1 menit. Setelah itu, kapasitometer dikalibrasi untuk menentukan pengaturan set CF yang paling mendekati nilai kapasitansi dari kapasitor. Set CF pada kapasitometer mengatur sensitivitasnya, di mana semakin tinggi nilai set CF, semakin tinggi pula sensitivitasnya, namun rentang kapasitansi yang dapat diukur semakin rendah. Kalibrasi dilakukan menggunakan kapasitor 1 pF dan 4 pF pada seluruh nilai set CF kapasitometer. Set CF 45 pF digunakan untuk setiap *monitoring* flotasi kolom karena mendekati nilai kapasitor 1 pF dan 4 pF.

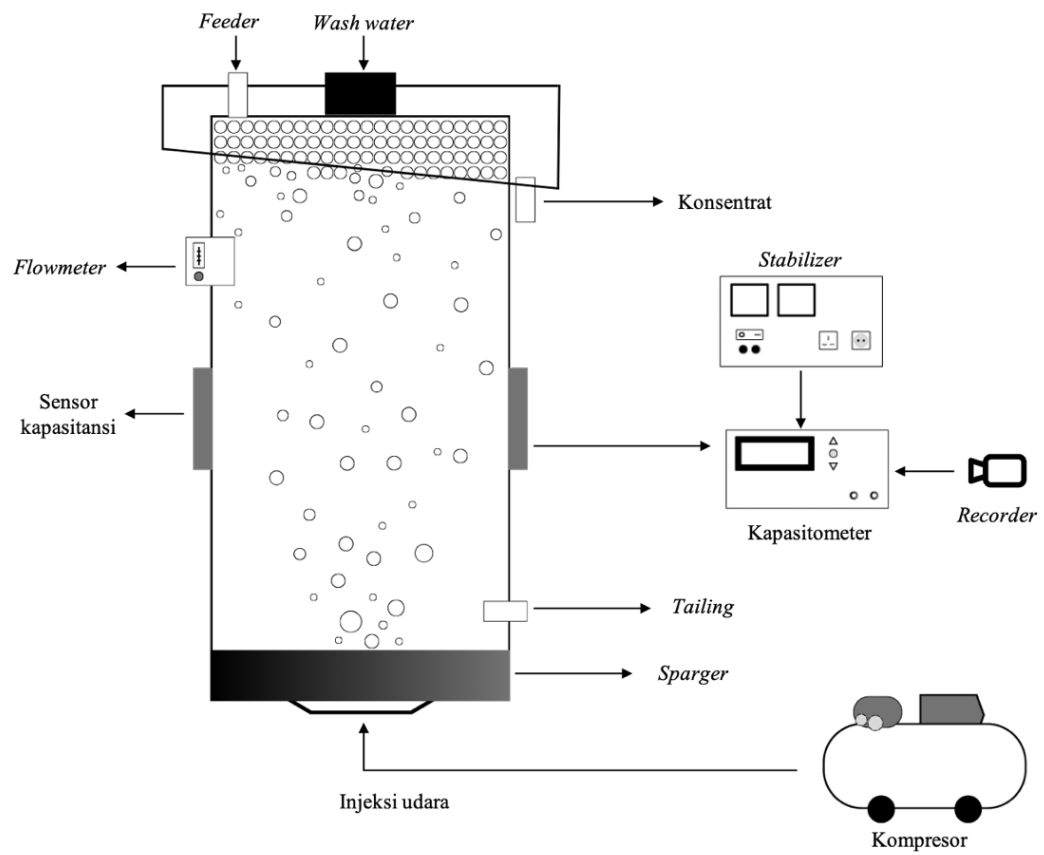
3.3.3 Proses *Monitoring* dan Flotasi Kolom

Setelah perangkat-perangkat sensor flotasi dirangkai sesuai dengan Gambar 3.2, yang menunjukkan *stabilizer* (9) terhubung dengan kapasitometer (8) dan kapasitometer dihubungkan ke badan sistem sensor flotasi 2-channel, langkah selanjutnya adalah mempersiapkan bahan-bahan yang akan digunakan. Bijih yang telah melalui proses preparasi akan dibentuk menjadi *slurry*. Pada penelitian ini, SiC digunakan sebagai partikel *hydrophobic* yang akan terangkat kepermukaan bersama gelembung dan SiO₂ sebagai partikel *hydrophilic* yang akan mengendap menjadi *tailing*. Ada dua tahapan dalam proses flotasi yaitu *conditioning* dan aerasi. Proses awal *conditioning* dilakukan dengan mencampurkan air keran 400 mL dengan SiC 20 gram, SiO₂ 80 gram sehingga diperoleh 500 mL *slurry* dengan 20% *solid*. Variasi ukuran partikel SiC dan SiO₂ yang digunakan yaitu 100+150#, -150+200#, -200+230#, dan -230# dengan variasi dosis *frother* (*pine oil*) 50 ppm. Sementara untuk pengambilan data pada variasi

dosis *frother* menggunakan ukuran partikel -230# dengan konsentrasi *frother* 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, dan 50 ppm. Kolektor (metil ester sulfonat) 40 ppm juga di tambahkan agar partikel responsif terhadap proses flotasi. Proses *conditioning* dilakukan selama 10 menit menggunakan *hand mixer*. Setelah *slurry* siap, selang kompresor (4) pada gambar 3.2 dihubungkan ke bagian bawah alat flotasi. Lalu, air dituang ke dalam kolom flotasi melalui bagian (1) mendekati tempat masuknya *feed*. Atur laju alir udara menjadi 2,5 L/menit melalui *flowmeter* (3). Setelah proses *conditioning* selesai dilakukan, dilakukan proses aerasi.



Gambar 3.2 Rangkaian Sistem Flotasi



Gambar 3.3 Skema *Monitoring* Flotasi Kolom



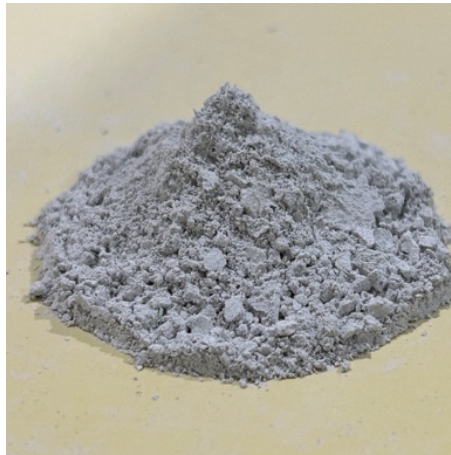
Gambar 3.4 *Slurry*

Proses aerasi diawali dengan membuka katup selang konsentrat dan *tailing* yang telah dimasukkan ke dalam ember (sebagai wadah penampung). Lalu *slurry* dituangkan secara konstan melalui *feeder* (2). Pengambilan konsentrat dilakukan selama 1000 detik (16 menit 40 detik) dengan pembagian waktu 9 interval yaitu 2 menit 30 detik, 3 menit, 3 menit 30 detik, 4 menit, 6 menit, 8 menit, 10 menit, 13 menit 40 detik, dan 16 menit 40 detik. Ember untuk menampung konsentrat digunakan diganti secara berurutan sesuai dengan waktu interval. Saat proses pemisahan berlangsung, *monitoring* dilakukan dengan merekam kapasitometer oleh *video recorder* manual yang telah diposisikan di depan kapasitometer (8) hingga proses aerasi selesai. Hasil rekaman tersebut merupakan nilai kapasitansi selama proses aerasi berlangsung, di mana data yang terekam akan dicatat dan dihitung melalui Microsoft Excel. Setelah proses aerasi selesai, konsentrat yang didapat akan dikeringkan menggunakan *oven* pada suhu 100°C dengan kisaran waktu 30-40 menit. Selanjutnya, dilakukan proses *coning and quartering* dan *grain counting* pada setiap konsentrat yang telah dikeringkan sesuai dengan waktu interval.

3.3.4 *Coning and Quartering*

Proses *coning and quartering* dilakukan untuk mendapat sampel konsentrat yang dapat mewakili secara keseluruhan. Langkah awal untuk melakukan *coning and quartering* yaitu dengan membuat penumpukan dari konsentrat yang telah didapat dari masing-masing variasi hingga berbentuk kerucut atau *cone* pada permukaan yang datar. Hasil dari *coning* dapat dilihat

pada gambar 3.5. Setelah itu, konsentrat berbentuk *cone* tersebut diratakan dan dibagi menjadi empat bagian. Dari empat bagian tersebut, hanya dua bagian berlawanan yang diambil untuk menghindari bias. Proses ini dilakukan berulang hingga mendapat jumlah sampel yang cukup.



Gambar 3.5 *Coning and Quartering*

3.3.5 Grain Counting

Konsentrat yang telah melalui proses *coning and quartering* selanjutnya akan melalui proses *grain counting* untuk mengetahui *recovery*. Sampel konsentrat diambil dengan perkiraan jumlah yang cukup, lalu ditebar ke 9 petak secara merata. Setelah itu, diperlukan kaca pembesar untuk melihat partikel dengan lebih jelas. Secara teknis, partikel yang terlihat melalui kaca pembesar akan difoto per petak menggunakan kamera. Petak yang digunakan untuk *grain counting* adalah petak 1, 3, 5, 7, dan 9, seperti pada Gambar 3.6. Hasil tangkapan partikel oleh kamera kemudian dianalisis menggunakan *software* bernama 'ImageJ', di mana *software* ini mampu mendeteksi jumlah dari partikel SiC dan SiO₂.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Gambar 3.6 *Grid untuk Grain Counting*

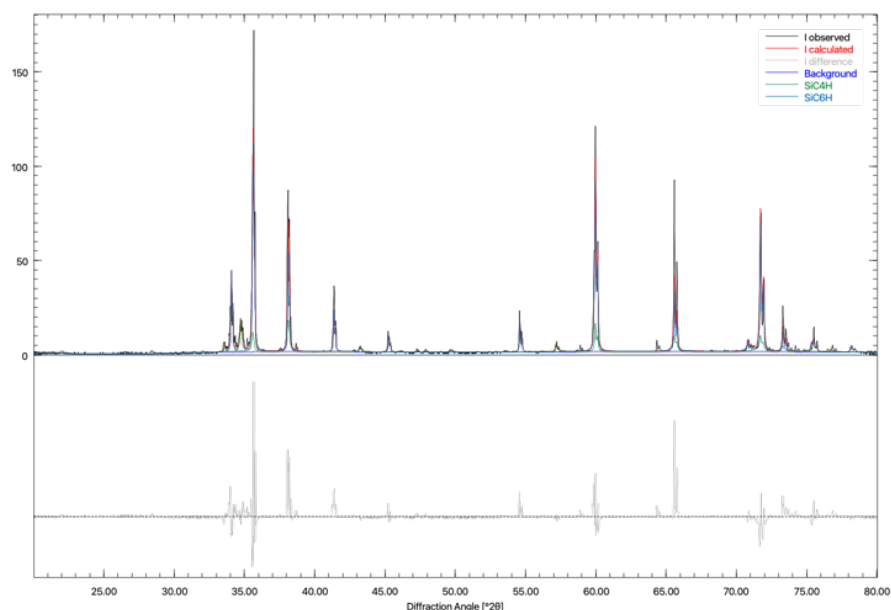
Tahapan untuk menggunakan *software* 'ImageJ', dimulai dari membuka *software* 'ImageJ' dan pilih menu '*File*,' lalu klik '*Open*' untuk memilih gambar atau foto konsentrat yang ingin dianalisis. Selanjutnya, pilih '*Image*' dan klik '*Adjust*,' kemudian pilih '*Color Threshold*' untuk mengatur parameter '*Hue*,' '*Saturation*,' dan '*Brightness*' sesuai dengan kebutuhan analisis gambar. Setelah itu, buka menu '*Process*,' pilih '*Binary*,' kemudian klik '*Make Binary*' dan '*Convert to mask*' untuk membuat partikel tampak berwarna putih, sementara latar belakang menjadi hitam. Jika terdapat lubang pada objek atau latar belakang, pilih '*Binary*,' kemudian klik '*Fill Holes*' untuk mengisi butiran yang terdeteksi tersebut. Untuk memisahkan partikel-partikel yang berdempetan atau bersentuhan, gunakan opsi '*Watershed*' pada menu '*Binary*.' Terakhir, pilih '*Analyze*,' klik '*Analyze Particles*' untuk menghitung jumlah partikel yang terdapat pada area yang telah terseleksi, sehingga didapatkan hasil analisis jumlah partikelnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi SiC

Karakterisasi bijih silikon karbida (SiC) dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD) agar unsur dan fase yang terdapat dalam sampel diketahui. Data hasil pengujian XRD selanjutnya diolah menggunakan *software* Profex versi 5.2.5, yang merupakan *software open-source* yang banyak digunakan dalam analisis pola difraksi. Pola difraksi yang diperoleh dari pengujian XRD dibandingkan dengan *database* yang ada di dalam perangkat lunak tersebut melalui metode *Search and Match*. Metode ini bertujuan untuk mencocokkan puncak-puncak difraksi yang dihasilkan dari sampel dengan pola difraksi fase kristalin yang tersimpan dalam *database*.



Gambar 4.1 Hasil Pengujian XRD Conto SiC

Proses iterasi dilakukan sebanyak tiga kali untuk memastikan keakuratan fase yang teridentifikasi. Iterasi dilakukan secara bertahap, dan fase yang memiliki nilai *Figure of Merit* (FoM) tertinggi dipilih untuk dilakukan *refinement* lebih lanjut. Nilai FoM yang rendah menunjukkan bahwa fase yang diidentifikasi memiliki kecocokan yang baik dengan data referensi, sedangkan nilai yang sangat tinggi menunjukkan ketidaksesuaian. Pada iterasi ketiga, ditemukan bahwa fase dengan nilai FoM tertinggi memiliki fraksi sebesar 0,00, yang menunjukkan bahwa fase tersebut sangat kecil atau tidak signifikan dalam data yang diukur. Hasil *refinement* ini mengonfirmasi bahwa sampel silikon karbida yang digunakan memiliki kemurnian yang sangat tinggi, dengan seluruh puncak difraksi yang teridentifikasi secara konsisten mencocokkan fase silikon karbida tanpa adanya indikasi fase lain yang signifikan [34]. Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa bijih silikon karbida yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan mendekati 100% kemurnian, sehingga dapat digunakan.

4.2 Grain Counting

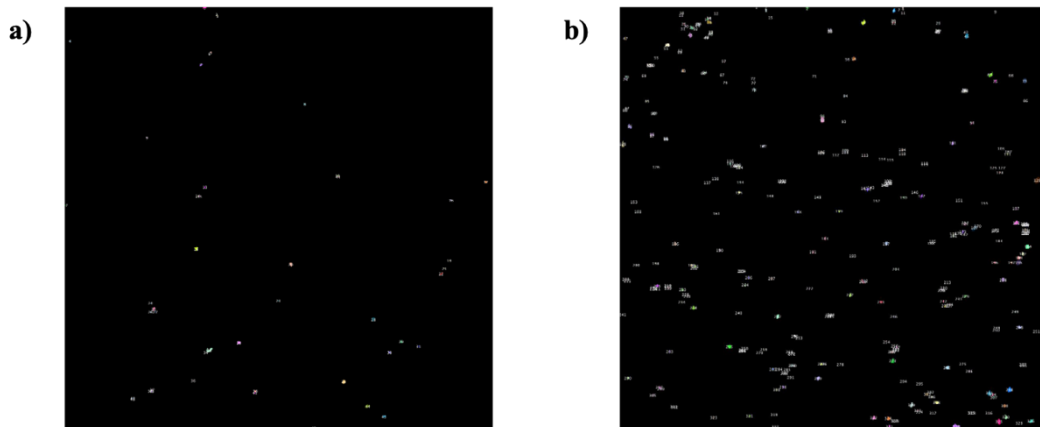
Grain counting adalah metode analisis yang digunakan untuk menghitung jumlah butiran mineral dalam sampel, yang dalam penelitian ini diterapkan untuk menentukan kandungan konsentrat bijih silikon karbida (SiC) dan silikon dioksida (SiO₂). Metode ini dilakukan melalui analisis gambar digital menggunakan *software open-source* ImageJ 1.53t, yang memungkinkan pengolahan gambar secara otomatis untuk menghitung jumlah butiran berdasarkan citra yang dihasilkan. Untuk memvalidasi keakuratan penggunaan ImageJ dalam metode *grain counting*,

dilakukan perbandingan antara metode *grain counting* secara manual dengan menggunakan ImageJ. Gambar 4.2 merupakan sampel konsentrat yang telah didapat dari hasil flotasi. Jumlah butir dari konsentrat telah dihitung secara manual dengan bantuan kaca pembesar menunjukkan bahwa sampel konsentrat mengandung 46 butir SiC dan 335 butir SiO₂.



Gambar 4.2 Sampel Konsentrat

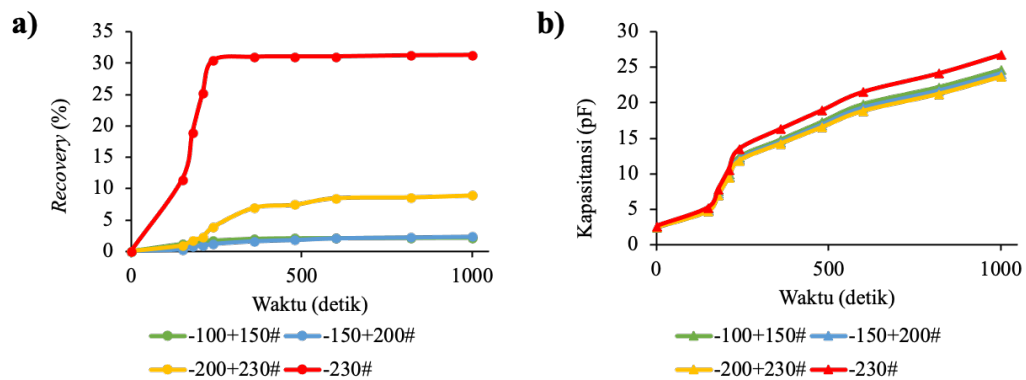
Selanjutnya, dilakukan analisis menggunakan ImageJ yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.3. Dari analisis menggunakan ImageJ, terdeteksi 48 butir SiC dan 338 butir SiO₂. Meskipun terdapat sedikit perbedaan antara hasil perhitungan manual dan hasil dari ImageJ, selisih yang dihasilkan masih dalam batas wajar. Selisih yang kecil ini menunjukkan bahwa ImageJ cukup akurat dan dapat diandalkan sebagai teknologi untuk metode *grain counting* dalam penelitian ini. Dengan demikian, validasi ini menegaskan bahwa *software* ImageJ dapat digunakan sebagai alternatif yang efisien dan tepat dalam menghitung jumlah butir mineral secara otomatis.



Gambar 4.3 Hasil Analisis Sampel Konsentrat dengan ImageJ. a) SiC, b) SiO₂

4.3 Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap *Recovery* dan Kapasitansi

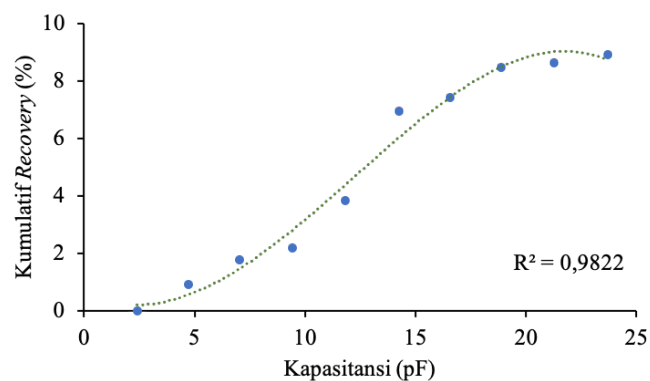
Ukuran partikel dari *feed* merupakan salah satu hal yang berperan penting dalam menentukan seberapa baik proses flotasi dapat berlangsung. Ukuran partikel dapat memengaruhi kemampuan partikel untuk mengapung (*floatability*). Hal ini berarti, semakin kecil atau semakin halus ukuran partikelnya, kemungkinan partikel untuk mengapung dalam proses flotasi akan semakin baik. Sebaliknya, partikel yang lebih besar atau lebih kasar memiliki kemungkinan kemampuan untuk mengapung yang kurang baik [25]. Pada penelitian ini partikel SiC dan SiO₂ sintetik diayak menggunakan *sieve* agar ukuran partikel sesuai dengan variasi yang akan digunakan, yaitu -100+150#, -150+200#, -200+230#, dan -230#. Dosis *frother* yang digunakan pada variasi ukuran partikel ini adalah 50 ppm dengan dosis kolektor 40 ppm.



Gambar 4.4 Kurva Hubungan *Recovery* dan Kapasitansi terhadap Waktu dari Variasi Ukuran Partikel a) *Recovery*, b) Kapasitansi

Gambar 4.4 menunjukkan *recovery* tertinggi dihasilkan oleh partikel paling halus, yaitu -230#, dengan nilai *recovery* sebesar 31,28% dan kapasitansi 26,8 pF. Sebaliknya, *recovery* terendah diperoleh dari partikel paling kasar, yakni -100+150#, dengan nilai *recovery* 2,17% dan kapasitansi 24,6 pF. Pada ukuran partikel -150+200#, *recovery* yang diperoleh sedikit lebih tinggi, yaitu 2,35%, namun kapasitansinya menurun menjadi 24,1 pF. Lalu, pada ukuran partikel -200+230#, *recovery* tercatat sebesar 8,93% dengan kapasitansi 23,7 pF. Perbedaan pergerakan tren antara partikel yang paling halus, yaitu -230#, dan partikel yang paling kasar, yaitu -100+150#. Di lihat pada rentang waktu 0-200 detik, ukuran partikel -230# memiliki laju *recovery* yang lebih cepat dari ukuran partikel -100+150#. Bentuk tren kapasitansi yang dihasilkan dari kedua ukuran partikel tersebut cenderung mirip, namun tren kapasitansi dari ukuran partikel -230# cenderung lebih tinggi. Untuk rentang waktu 200-1000 detik, ukuran partikel -230# masih mengalami kenaikan yang signifikan hingga di waktu 240 detik sebelum

akhirnya tren bergerak mendatar. Sementara untuk ukuran partikel -100+150# dalam rentang waktu tersebut sudah tidak mengalami kenaikan yang signifikan sejak 210 detik. Berdasarkan hal tersebut, ketika ukuran partikel semakin kecil, luas permukaan yang dapat berinteraksi dengan *frother* dan kolektor juga semakin besar, sehingga proses flotasi berjalan dengan lebih efisien, dilihat dari nilai *recovery* yang didapat semakin tinggi. Ukuran partikel kasar cenderung kurang bisa menempel dengan baik pada gelembung, sehingga hasil flotasi kurang baik dibandingkan dengan ukuran partikel yang lebih halus. Namun, ukuran partikel yang sangat halus juga kurang baik untuk proses flotasi karena massa dan inersianya yang kecil [30]. Dari data *recovery* dan kapasitansi yang diperoleh, dapat dinyatakan bahwa sensor berbasis kapasitansi, melalui sinyal kapasitansi yang didapat, mampu untuk mengetahui performa metalurgis.



Gambar 4.5 Kurva Hubungan Kapasitansi Terhadap *Recovery* pada Ukuran Partikel -200+230#

Pada variasi ukuran partikel, dilakukan pendekatan matematis dengan polinomial orde 4, karena hasil regresi mendekati 1. Pendekatan matematis ini

dapat memprediksi nilai *recovery* berdasarkan kapasitansi. Persamaan ini dapat membantu menjelaskan bagaimana kapasitansi dapat digunakan untuk memperkirakan *recovery*. Ukuran partikel termasuk variabel bebas, yang artinya nilainya dapat diatur. Dalam hal ini, nilai *recovery*, sebagai variabel terikat, nilainya akan berubah sesuai dengan perubahan ukuran partikel nya. Kurva kapasitansi terhadap *recovery* pada Gambar 4.5 merupakan kurva variasi ukuran partikel - 200+230# yang menghasilkan Persamaan 4.1 dengan $R^2 = 0,9822$, di mana hal ini menunjukkan kedekatan model dan data aktualnya.

$$y = -1 \times 10^{-5}x^4 - 0,0019x^3 + 0,0789x^2 - 0,3315x + 0,5651 \dots\dots\dots(4.1)$$

Keterangan:

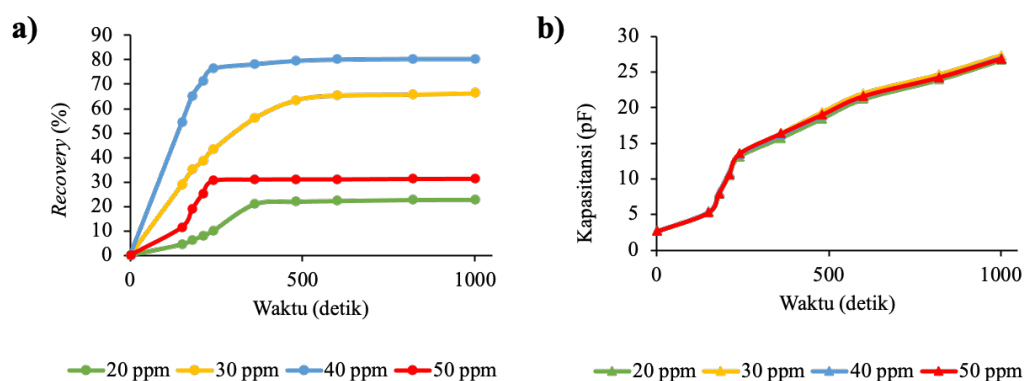
y = Nilai *recovery* flotasi (%)

x = Nilai kapasitansi (pF)

4.4 Pengaruh Dosis *Frother* Terhadap *Recovery* dan Kapasitansi

Selama proses aerasi dalam flotasi kolom, gelembung-gelembung udara yang terbentuk tidak stabil dan mudah pecah ketika berinteraksi dengan partikel padat. Ketidakstabilan ini disebabkan oleh kontak antara gelembung dan partikel yang dapat menyebabkan gelembung pecah, sehingga dapat mengurangi efektivitas proses flotasi. Untuk menghindari masalah tersebut, diperlukan penambahan *frother*. *Frother* berfungsi untuk menurunkan tegangan permukaan, dan membantu membentuk buih (*froth*) yang lebih stabil. Dengan menggunakan *frother*, ukuran gelembung dapat dikendalikan dan stabilitas buih dapat ditingkatkan, sehingga

memungkinkan partikel-partikel mineral berharga untuk terangkat dengan lebih efisien ke permukaan. Stabilitas buih yang meningkat juga memudahkan pemisahan partikel mineral dari pengotornya, sehingga keberhasilan keseluruhan proses flotasi kolom dapat dicapai. *Frother* mampu untuk membuat gelembung stabil sehingga gelembung tidak mudah pecah dikarenakan cara kerja *frother* yang dapat membentuk lapisan tipis [33]. Pada penelitian ini variasi dosis *frother* digunakan untuk dapat menghasilkan perbedaan distribusi gelembung dan ketebalan *froth* (busa). *Pine oil* digunakan sebagai *frother* dalam penelitian ini, yang merupakan *frother* jenis alkohol berbentuk siklik sehingga mudah larut dalam air. Selain itu, *pine oil* mudah didapatkan dan juga lebih ekonomis dibanding dengan jenis *frother* lainnya. Variasi dosis *frother* yang digunakan pada penelitian ini yaitu 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, dan 50 ppm dengan laju alir 2,5 L/m dan dosis kolektor sebagai variabel tetap yang digunakan yaitu 40 ppm. Dari proses *monitoring* flotasi kolom dengan variasi dosis *frother* yang telah dilakukan, didapatkanlah kurva *recovery* dan kapasitansi seperti Gambar 4.6 berikut.



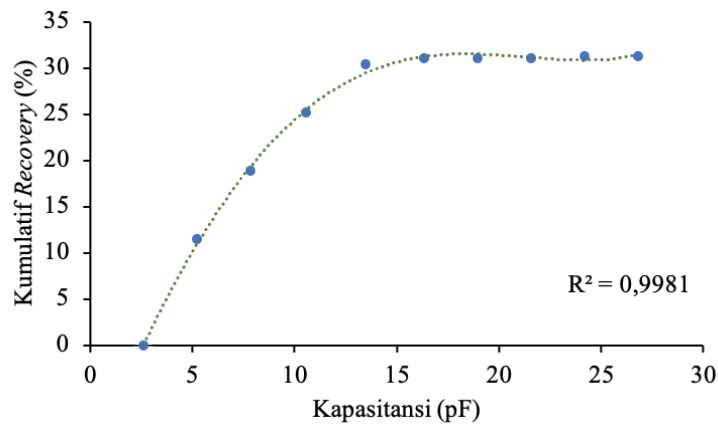
Gambar 4.6 Kurva Hubungan *Recovery* dan Kapasitansi terhadap Waktu dari Variasi Dosis *Frother* a) *Recovery*, b) Kapasitansi

Gambar 4.6 menunjukkan tren dari kurva *recovery* mulai mengalami peningkatan dari detik 0 hingga berada di waktu sekitar 360 detik (6 menit), setelah itu tren mulai mendatar hingga proses pengambilan konsentrat selesai. Untuk perolehan nilai kumulatif *recovery* pada dosis *frother* 20 ppm adalah 22,71% dengan kapasitansi 26,6 pF, nilai kumulatif *recovery* untuk 30 ppm adalah 66,26% dengan kapasitansi 27,27 pF, untuk kumulatif *recovery* 40 ppm adalah 80,25% dengan kapasitansi 26,91 pF, dan untuk kumulatif *recovery* 50 ppm adalah 31,28% dengan kapasitansi 26,8 pF. Berdasarkan analisis kurva *recovery* tersebut, hasil kumulatif *recovery* dan kapasitansi tertinggi dihasilkan pada variasi *frother* 40 ppm. Sementara untuk nilai *recovery* paling rendah dihasilkan oleh dosis *frother* 20 ppm. Jika keempat variasi dosis *frother* dibandingkan, terlihat bahwa pada 40 ppm, tren *recovery* dan kapasitansi mengalami peningkatan yang sangat signifikan dibanding tiga variasi dosis *frother* lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan dosis *frother* dapat meningkatkan persentase *recovery* yang didapatkan. Akan tetapi, ketika dosis *frother* telah mencapai titik maksimum perolehan, maka untuk penambahan dosis *frother* akan menyebabkan penurunan nilai *recovery* karena sudah tidak memberi pengaruh yang berarti.

Peningkatan dosis *frother* dapat meningkatkan stabilitas buih, namun jika dosisnya terlalu tinggi, buih yang sangat stabil dapat mengakibatkan *entrainment* non-selektif, di mana partikel *hydrophilic* yang berperan sebagai pengotor juga terangkat bersama partikel *hydrophobic*, sehingga efisiensi pemisahan menurun. Dosis *frother* 40 ppm memberikan keseimbangan yang lebih baik antara stabilitas

buih dan selektivitas, sehingga menghasilkan *recovery* yang lebih tinggi [34]. Dengan dosis *frother* 50 ppm, *recovery* yang dihasilkan menurun karena dosis yang terlalu tinggi, sehingga dapat mengganggu pembentukan kontak efektif antara gelembung dan partikel mineral. Terlalu banyak *frother* dapat menghambat perlekatan gelembung pada partikel *hydrophobic* dan mengurangi kecepatan flotasi, karena mengganggu pembentukan kontak antara *gas-liquid-solid* serta memperlambat reaksi kinetika dalam proses flotasi [25].

Pada variasi dosis *frother*, dosis 20 ppm merupakan dosis terkecil sementara 50 ppm merupakan dosis terbesar. Terlihat pada Gambar 4.6, tren kapasitasansi dari kedua dosis tersebut memiliki kemiripan, di mana pada rentang waktu 0-200 detik, tren kapasitasansi yang dimiliki kedua variasi terlihat sangat rapat atau berdempetan. Namun, nilai kapasitasansi dari 50 ppm sedikit lebih tinggi dibanding dengan variasi 20 ppm. Selain itu, pada rentang waktu tersebut tren kumulatif *recovery* 20 ppm dan 50 ppm mengalami kenaikan yang hampir sama, namun untuk dosis 20 ppm cenderung lebih lambat kenaikannya dibandingkan dengan dosis 50 ppm. Pada rentang waktu 200-1000 detik, tren *recovery* dari 20 ppm masih mengalami kenaikan hingga pada waktu 360 detik dan bergerak datar hingga akhir. Sementara tren kumulatif *recovery* dosis 50 ppm telah berhenti naik ketika berada di 240 detik karena setelah itu tren bergerak mendatar.



Gambar 4.7 Kurva Hubungan Kapasitansi Terhadap *Recovery* pada Dosis *Frother* 50 ppm.

Gambar 4.7 merupakan kurva yang menunjukkan hubungan kapasitansi terhadap *recovery* dari variasi dosis *frother* 50 ppm. Karena dosis *frother* merupakan variabel bebas, nilainya dapat diatur secara fleksibel. Nilai *recovery* yang dihasilkan merupakan variabel terikat yang akan berubah sesuai dengan perubahan dosis *frother*. Dari kurva tersebut dilakukan pendekatan polinomial orde 4 untuk memprediksi nilai *recovery* berdasarkan kapasitansi nya. Persamaan 4.2 memiliki $R^2 = 0,9981$, di mana hal ini menunjukkan kecocokan antara model dan data aktual.

$$y = 0,0001x^4 - 0,0017x^3 - 0,1754x^2 + 5,5913x - 13,317 \dots\dots\dots(4.2)$$

Keterangan:

y = Nilai *recovery* flotasi (%)

x = Nilai kapasitansi (pF)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa didapat dari penelitian *monitoring* flotasi kolom dengan variasi ukuran partikel dan dosis *frother* yaitu:

1. Ukuran partikel dan dosis *frother* memiliki pengaruh signifikan terhadap *recovery*. Partikel halus menghasilkan *recovery* yang lebih tinggi (31,28%) dibandingkan partikel kasar (2,17%), dengan kondisi optimum tercapai pada 210 detik. Dosis *frother* meningkatkan *recovery* hingga batas maksimum, di mana kondisi optimum tercapai pada 480 detik sebelum tren *recovery* mulai mendatar. Dosis *frother* yang terlalu tinggi menyebabkan stabilitas buih berlebih, sehingga menurunkan *recovery*. Kurva *monitoring* menunjukkan adanya hubungan *linear* antara *recovery* dan kapasitasansi.
2. Kapasitasansi menurun seiring peningkatan ukuran partikel, dari 26,8 pF pada partikel halus menjadi 24,63 pF pada partikel kasar. Selain itu, kapasitasansi juga menurun dengan peningkatan dosis *frother*, dari 26,91 pF menjadi 26,8 pF pada dosis *frother* tertinggi.
3. Pendekatan matematis berhasil dirumuskan untuk memprediksi nilai *recovery* berdasarkan perolehan kapasitasansi, yang ditunjukkan dengan

nilai $R^2 = 0,9822$ untuk ukuran partikel, dan $R^2 = 0,9981$ untuk dosis *frother*.

5.2 Saran

Adapun saran yang didapat setelah melakukan penelitian ini yaitu:

1. Menggunakan jenis *frother* berbeda untuk mendapatkan buih yang lebih stabil.
2. Menggunakan jenis partikel lain untuk menguji respons sensor terhadap kapasitansi dan *recovery*.
3. Menggunakan warna partikel yang lebih kontras untuk memudahkan saat analisis *grain counting*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prayogo, T., & Budiman, B. (2009). Survei potensi pasir kuarsa di daerah Ketapang, Propinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 11(2), hal. 126–132.
- [2] Shcherban, N. D. (2017). Review on synthesis, structure, physical and chemical properties and functional characteristics of porous silicon carbide. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 50, hal. 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.02.002>
- [3] Wills, B. A., & Finch, J. A. (2016). *Will's Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Elsevier Science & Technology Books.
- [4] Wills, B. A. (2006). *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery* (7th ed.). Elsevier Science & Technology Books.
- [5] Reddy, P. S. R., Kumar, S. G., Bhattacharya, K. K., Sastri, S. R. S., & Narasimhan, K. S. (1988). *International Journal of Mineral Processing*, 24, 161.
- [6] Wills, B. A., & Napier-Munn, T. (2005). *Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Elsevier Science and Technology Books.
- [7] Finch, J. A., & Dobby, G. S. (1990). *Column Flotation* (1st ed.). Oxford: Pergamon Press, United Kingdom.
- [8] Sastri, S. R. S. (1998). *Column flotation: Theory and practice. Froth Flotation: Recent Trends*, hal. 44–63.
- [9] Laskowski, J.S. (1998) *Frothers and Flotation*. In: Laskowski, J.S. and Woodburn, E.T., Eds., *Frothing in Flotation II*, Ch. 1, CRC Press, Boca Raton, 1-49.
- [10] Glembotskii, V. A., Bogdanova, I. P. (1971) Effect of microporosity on the flotation properties of martite. *Soviet Mining Science*, 7 (1) 93-95 doi:10.1007/bf02501229
- [11] Lin, D., & Somasundaran, P. (1994). Role of collector and frother and hydrophobicity/oleophilicity of pyrite on the separation of pyrite from coal by flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 4, 227–238.

- [12] Klimpel, R., & Isherwood, S. (1991). Some industrial implications of changing frother chemical structure. *International Journal of Mineral Processing*, 33, 369–381.
- [13] Abdullah, M. (2017). *Fisika Dasar II*. ITB, hal. 162–184.
- [14] R. Setiawan, M. Rivai, dan Suwito (2017), "Implementasi Analog Front End pada Sensor Kapasitif untuk Pengaturan Kelembaban Menggunakan Mikrokontroler STM32," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 1, ISSN: 2337-3539.
- [15] Basri, I. Y., & Irfan, D. (2018). *Komponen Elektronika*. Padang, Indonesia: Sukabina Press.
- [16] Samosir, A. S. (2016). Implementasi alat ukur kapasitansi digital (digital capacitance meter) berbasis mikrokontroler. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 10(1).
- [17] Ctech-Labs, Edwar Technology Co., Ltd, User Guide For Engineer Capacitometer Model Cap3201 2CH High Speed 1000 frames/s, 12 Mar. 2015. [Online]. <http://www.c-techlabs.com>. [Diakses: Januari. 21, 2025].
- [18] Smith, P., & Brown, J. (2015). Capacitive sensors for measuring physical quantities: Applications and limitations. *Sensors Journal*, 8(2), hal. 34–45.
- [19] Zhang, J., Liu, S., Wu, W., Zhong, X., & Liu, T. (2022). Research on a rapid identification method for counting universal grain crops. *PLoS ONE*, 17(9), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273785>
- [20] C. T. Rueden, J. Schindelin, M. C. Hiner, et al., "ImageJ2: ImageJ untuk data citra ilmiah generasi berikutnya," *BMC Bioinformatics*, vol. 18, no. 1, p. 529, 2017. doi.org/10.1186/s12859-017-1934-z
- [21] Laskowski, J. S., Cho, Y. S., & Ding, K. (2003). Effect of frothers on bubble size and foam stability in potash ore flotation systems. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 81, hal. 63–69.
- [22] Azhari, & Aziz, M. (2016). Sintesis dan karakterisasi material berpori berbasis mineral silika Pulau Belitung. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batu Bara*, 12(3), hal. 161–170.
- [23] Budavari, S. (1989). *Merck Index of Chemicals and Biologicals* (11th ed.). USA: Merck & Company, Incorporated, hal. 1182.
- [24] Drzymala, J. (2007). *Mineral processing: Foundations of theory and practice in minerallurgy*. Wroclaw: Wroclaw University of Technology, hal. 5082.

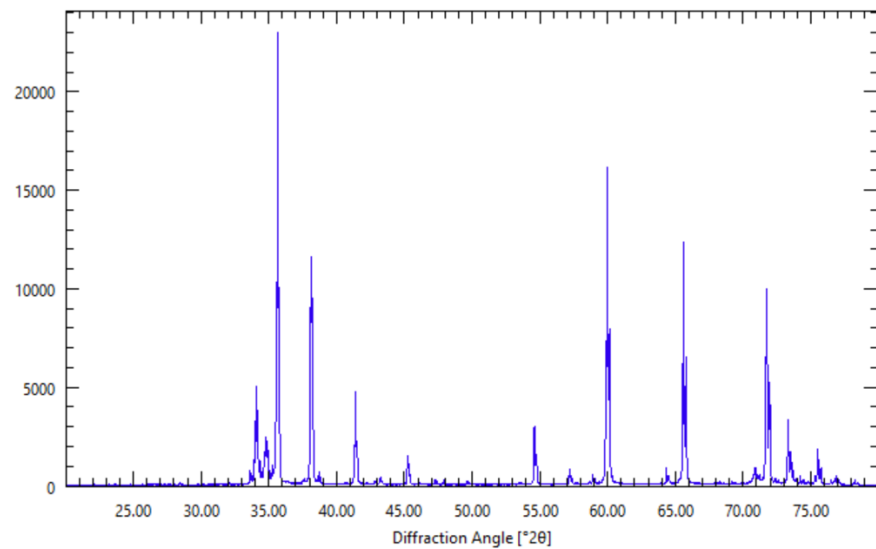
- [25] Fuerstenau, M. C., & Somasundaran, S. (2003). *Principles of Mineral Processing*. Littleton, CO, USA: SME, hal. 245–306.
- [26] Göktepe, F. (2002). Effect of pH on pulp potential and sulphide mineral flotation. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 26, 309.
- [27] Haryono, D., Darmabakti, I., Oediyani, S., & Harjanto, S. (2020). Monitoring of column flotation process in collection zone using ECVT with the effect of collector and frother doses to recovery. *MESIN*, 11(1), 1–7.
- [28] Haryono, D., Harjanto, S., Wijaya, R., Oediyani, S., Nugraha, H., Huda, M. A., & Taruno, W. P. (2018). Investigation of column flotation process on sulphide ore using 2-electrode capacitance sensor: The effect of air flow rate and solid percentage. *AIP Conference Proceedings*, 1945, 1–5. doi.org/10.1063/1.5030267
- [29] Haryono, D., Harjanto, S., Rahmandani, H. F., Oediyani, S., Nugraha, H., & Huda, M. A. (2019). A preliminary study of three-phase column flotation process monitoring using electrical capacitance volume tomography. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 673(1), 1–6. https://doi.org/10.1088/1757-899X/673/1/012130
- [30] Munadi, S. (1992). Mengenal tomografi seismik. *LPL*, 3, hal. 239–248. Lemigas.
- [31] Ran, J., Qiu, X., Hu, Z., Liu, Q., Song, B., & Yao, Y. (2019). Effects of particle size on flotation performance in the separation of copper, gold and lead. *Powder Technology*, 344, hal. 654–664.
- [32] Warsito, S. (2005). Review: Komputasi tomografi dan aplikasinya dalam proses industri.
- [33] Wills, B. A. (1982). *Mineral Processing Technology* (4th ed.). Pergamon Press.
- [34] Yoon, R. H., & Luttrell, G. H. (1989). Pengaruh ukuran gelembung pada flotasi partikel halus. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 5(1–4), hal. 101–122.
- [35] Zhou, S., Yuan, Z., Cheng, Q., & et al. (2020). Quantitative analysis of iron and silicon concentrations in iron ore concentrate using portable X-ray fluorescence (XRF). *Applied Spectroscopy*, 74(1), 55–62. doi.org/10.1177/0003702819871627.

LAMPIRAN A
DATA PENELITIAN

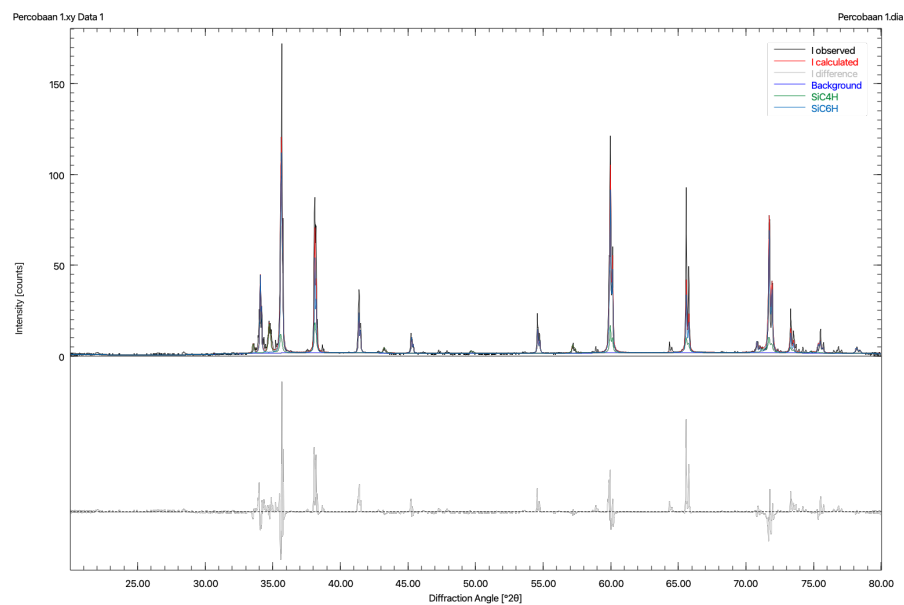
LAMPIRAN A

DATA PENELITIAN

A.1 Hasil Karakterisasi SiC



Gambar A.1 Pola Grafik XRD SiC



Gambar A.2 Hasil Akhir *Refinement* SiC

A.2 Hasil Flotasi Kolom

Tabel A.1 Massa konsentrat dan *tailing* variasi ukuran partikel -100+150#

Waktu (detik)	Massa konsentrat (gram)
0	0
150	6,21
180	0,75
210	0,61
240	0,39
360	1,12
480	0,49
600	0,12
820	0,16
1000	0,08
<i>Tailing</i>	85,62

Tabel A.2 Massa konsentrat dan *tailing* variasi ukuran partikel -150+200#

Waktu (detik)	Massa konsentrat (gram)
0	0
150	1,25
180	1,39
210	0,49

240	0,75
360	0,88
480	0,35
600	0,35
820	0,43
1000	0,22
<i>Tailing</i>	86,22

Tabel A.3 Massa konsentrat dan *tailing* variasi ukuran partikel -200+230#

Waktu (detik)	Massa konsentrat (gram)
0	0
150	0,85
180	1,11
210	0,61
240	1,68
360	3,98
480	1,04
600	1,34
820	0,26
1000	0,47
<i>Tailing</i>	51,22

Tabel A.4 Massa konsentrat dan *tailing* variasi ukuran partikel -230#

Waktu (detik)	Massa konsentrat (gram)
0	0
150	15,13
180	4,77
210	8,60
240	5,63
360	0,65
480	0,04
600	0,07
820	0,59
1000	0,11
<i>Tailing</i>	59,1

Tabel A.5 Massa konsentrat dan *tailing* variasi dosis *frother* 20 ppm

Waktu (detik)	Massa konsentrat (gram)
0	0
150	4,20
180	0,93
210	1,64
240	1,72

360	4,69
480	0,99
600	0,35
820	0,41
1000	0,11
<i>Tailing</i>	81,94

Tabel A.6 Massa konsentrat dan *tailing* variasi dosis *frother* 30 ppm

Waktu (detik)	Massa konsentrat (gram)
0	0
150	18,99
180	4,09
210	2,27
240	2,99
360	11,09
480	3,67
600	0,87
820	0,30
1000	0,59
<i>Tailing</i>	44,56

Tabel A.7 Massa konsentrat dan *tailing* variasi dosis *frother* 40 ppm

Waktu (detik)	Massa konsentrat (gram)
0	0
150	36,54
180	9,33
210	2,70
240	3,59
360	0,98
480	0,79
600	0,42
820	0,12
1000	0
<i>Tailing</i>	39,46

Tabel A.8 Massa konsentrat dan *tailing* variasi dosis *frother* 50 ppm

Waktu (detik)	Massa konsentrat (gram)
0	0
150	15,13
180	4,77
210	8,60
240	5,63

360	0,65
480	0,04
600	0,07
820	0,59
1000	0,11
<i>Tailing</i>	59,1

Tabel A.9 *Grain counting* variasi ukuran partikel -100+150#

Waktu (detik)	Jenis Partikel (gram)	Kotak	Kotak	Kotak	Kotak	Kotak	Rata- rata
		1	3	5	7	9	
0	SiC	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
150	SiC	27	32	38	16	44	31
	SiO ₂	840	867	1500	761	1014	996
180	SiC	6	65	95	13	130	62
	SiO ₂	830	2153	843	392	1142	1072
210	SiC	47	25	57	82	289	100
	SiO ₂	1816	2158	2049	1075	2600	1900
240	SiC	8	3	13	35	36	19
	SiO ₂	265	661	327	549	118	384

360	SiC	37	42	47	39	50	43
	SiO ₂	639	390	977	317	2357	936
480	SiC	41	4	4	60	57	33
	SiO ₂	988	443	1100	1590	1580	1140
600	SiC	17	12	14	44	21	22
	SiO ₂	938	420	652	609	1097	743
820	SiC	6	20	52	33	42	31
	SiO ₂	353	61	789	667	578	490
1000	SiC	23	50	3	9	57	28
	SiO ₂	645	186	482	274	219	361

Tabel A.10 *Grain counting* variasi ukuran parikel -150+200#

Waktu (detik)	Jenis Partikel (gram)	Kotak	Kotak	Kotak	Kotak	Kotak	Rata- rata
		1	3	5	7	9	
0	SiC	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
150	SiC	27	32	38	16	44	31
	SiO ₂	840	867	1500	761	1014	996
180	SiC	6	65	95	13	130	62
	SiO ₂	830	2153	843	392	1142	1072

210	SiC	47	25	57	82	289	100
	SiO ₂	1816	2158	2049	1075	2600	1900
240	SiC	8	3	13	35	36	19
	SiO ₂	265	661	327	549	118	384
360	SiC	37	42	47	39	50	43
	SiO ₂	639	390	977	317	2357	936
480	SiC	41	4	4	60	57	33
	SiO ₂	988	443	1100	1590	1580	1140
600	SiC	17	12	14	44	21	22
	SiO ₂	938	420	652	609	1097	743
820	SiC	6	20	52	33	42	31
	SiO ₂	353	61	789	667	578	490
1000	SiC	23	50	3	9	57	28
	SiO ₂	645	186	482	274	219	361

Tabel A.11 *Grain counting* variasi ukuran partikel -200+230#

Waktu (detik)	Jenis Partikel (gram)	Kotak	Kotak	Kotak	Kotak	Kotak	Rata- rata
		1	3	5	7	9	
0	SiC	0	0	0	0	0	0

	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
150	SiC	488	295	250	247	222	300
	SiO ₂	1310	893	1286	1208	2015	1343
180	SiC	25	64	129	120	74	82,4
	SiO ₂	472	303	955	445	496	534
210	SiC	38	55	16	53	84	49,2
	SiO ₂	523	583	236	243	249	367
240	SiC	165	45	189	172	288	172
	SiO ₂	997	874	986	1003	481	868
360	SiC	461	184	87	57	116	181
	SiO ₂	1819	900	1360	821	1001	1180
480	SiC	103	55	72	111	128	93,8
	SiO ₂	1157	789	1322	1493	662	1085
600	SiC	139	40	340	250	89	172
	SiO ₂	1100	1188	1272	1306	689	1111
820	SiC	11	21	7	169	29	47,4
	SiO ₂	607	119	920	465	345	491,2
1000	SiC	33	65	6	189	6	60
	SiO ₂	1084	260	405	653	121	504,6

Tabel A.12 *Grain counting* variasi ukuran partikel -230#

Waktu (detik)	Jenis Partikel (gram)	Kotak 1	Kotak 3	Kotak 5	Kotak 7	Kotak 9	Rata- rata
0	SiC	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
150	SiC	138	73	212	106	62	118
	SiO ₂	720	734	1191	813	561	804
180	SiC	262	124	209	270	215	216
	SiO ₂	597	690	361	604	652	581
210	SiC	197	121	19	174	51	112
	SiO ₂	1370	729	842	752	260	791
240	SiC	161	180	631	43	200	243
	SiO ₂	947	788	2740	695	1213	1277
360	SiC	139	102	44	60	193	108
	SiO ₂	575	800	774	513	552	643
480	SiC	96	244	118	47	156	132
	SiO ₂	367	114	329	260	820	378
600	SiC	6	47	41	12	3	22
	SiO ₂	509	770	473	1469	959	836
820	SiC	35	13	26	43	40	31

	SiO ₂	579	759	562	603	652	631
1000	SiC	52	140	22	3	4	42
	SiO ₂	305	498	410	404	739	471

Tabel A.13 *Grain counting* variasi dosis *frother* 20 ppm

Waktu (detik)	Jenis Partikel (gram)	Kotak 1	Kotak 3	Kotak 5	Kotak 7	Kotak 9	Rata- rata
0	SiC	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
150	SiC	136	129	126	191	227	162
	SiO ₂	390	418	1339	911	655	743
180	SiC	207	214	169	195	197	196,4
	SiO ₂	464	417	485	414	321	420
210	SiC	314	255	220	231	375	279
	SiO ₂	1437	1186	894	1313	1283	1223
240	SiC	206	194	177	201	311	218
	SiO ₂	387	313	1365	720	1437	844
360	SiC	148	121	130	38	88	105
	SiO ₂	205	80	220	49	175	146
480	SiC	53	59	149	78	120	92

	SiO ₂	108	280	720	648	285	408
600	SiC	59	62	43	56	98	63,6
	SiO ₂	285	156	507	410	354	342
820	SiC	48	90	143	125	168	115
	SiO ₂	267	303	745	835	657	561,4
1000	SiC	267	171	501	506	108	311
	SiO ₂	2450	734	3461	935	207	1557

Tabel A.14 *Grain counting variasi dosis frother 30 ppm*

Waktu (detik)	Jenis Partikel (gram)	Kotak 1	Kotak 3	Kotak 5	Kotak 7	Kotak 9	Rata- rata
0	SiC	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
150	SiC	1198	415	665	474	692	689
	SiO ₂	3075	2064	2223	1246	944	1910
180	SiC	205	258	27	107	135	146,4
	SiO ₂	646	450	133	361	504	419
210	SiC	173	1146	1049	1521	1095	418,8
	SiO ₂	535	3906	3135	1989	4058	997
240	SiC	351	490	1333	272	154	520

	SiO ₂	1564	746	2542	478	1461	1358
360	SiC	79	77	213	65	320	150,8
	SiO ₂	1205	245	678	608	294	606
480	SiC	63	78	182	392	530	249
	SiO ₂	577	307	223	425	686	443,6
600	SiC	178	197	150	1836	235	519,2
	SiO ₂	128	227	743	1798	1015	782,2
820	SiC	86	70	35	164	17	74,4
	SiO ₂	238	249	246	471	79	256,6
1000	SiC	4	77	18	9	142	50
	SiO ₂	260	120	351	249	529	302

Tabel A.15 *Grain counting* variasi dosis *frother* 40 ppm

Waktu (detik)	Jenis Partikel (gram)	Kotak	Kotak	Kotak	Kotak	Kotak	Rata- rata
		1	3	5	7	9	
0	SiC	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
150	SiC	107	82	99	116	453	171,6
	SiO ₂	638	268	361	324	861	490,4
180	SiC	195	110	147	53	204	141,8

	SiO ₂	493	522	929	479	446	573,8
210	SiC	307	32	394	538	30	260,2
	SiO ₂	171	355	646	726	80	395,6
240	SiC	297	42	64	71	69	108,6
	SiO ₂	633	146	206	166	475	325,2
360	SiC	389	49	70	93	130	146,2
	SiO ₂	574	149	308	335	144	302
480	SiC	135	59	180	164	74	122,4
	SiO ₂	260	390	365	175	197	277,4
600	SiC	117	100	243	69	51	116
	SiO ₂	684	231	636	223	267	408,2
820	SiC	117	599	238	114	263	266,2
	SiO ₂	425	717	635	168	501	489,2
1000	SiC	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0

Tabel A.16 *Grain counting* variasi dosis *frother* 50 ppm

Waktu (detik)	Jenis Partikel (gram)	Kotak	Kotak	Kotak	Kotak	Kotak	Rata- rata
		1	3	5	7	9	
0	SiC	0	0	0	0	0	0

	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
150	SiC	138	73	212	106	62	118
	SiO ₂	720	734	1191	813	561	804
180	SiC	262	124	209	270	215	216
	SiO ₂	597	690	361	604	652	581
210	SiC	197	121	19	174	51	112
	SiO ₂	1370	729	842	752	260	791
240	SiC	161	180	631	43	200	243
	SiO ₂	947	788	2740	695	1213	1277
360	SiC	139	102	44	60	193	108
	SiO ₂	575	800	774	513	552	643
480	SiC	96	244	118	47	156	132
	SiO ₂	367	114	329	260	820	378
600	SiC	6	47	41	12	3	22
	SiO ₂	509	770	473	1469	959	836
820	SiC	35	13	26	43	40	31
	SiO ₂	579	759	562	603	652	631
1000	SiC	52	140	22	3	4	42
	SiO ₂	305	498	410	404	739	471

A.3 Hasil *Monitoring* Kapasitansi dari Kapasitometer CAP 3201 2CH C-Tech Edwar Labs Technology

Tabel A.17 Data kapasitometer variasi ukuran partikel -100+150#

Waktu (detik)	Kapasitansi terukur CX (pF)	Kapasitansi referensi CR (pF)	Tegangan terukur VX (mV)	Tegangan referensi XR (mV)
0	2,515	2,867	945	3914
150	2,515	2,871	945	3918
180	2,515	2,894	945	3951
210	2,411	2,909	906	3971
240	2,411	2,918	906	3983
360	2,411	2,915	906	3979
480	2,515	2,891	945	3947
600	2,515	2,901	945	3960
820	2,411	2,915	906	3979
1000	2,411	2,902	906	3961

Tabel A.18 Data kapasitometer variasi ukuran partikel -150+200#

Waktu (detik)	Kapasitansi	Kapasitansi	Tegangan	Tegangan
	terukur CX	referensi CR	terukur	referensi
	(pF)	(pF)	VX (mV)	XR (mV)
0	2,411	2,911	906	3973
150	2,411	2,902	906	3961
180	2,411	2,907	906	3969
210	2,411	2,902	906	3961
240	2,411	2,912	906	3975
360	2,411	2,898	906	3956
480	2,411	2,906	906	3966
600	2,411	2,907	906	3968
820	2,411	2,902	906	3961
1000	2,411	2,909	906	3871

Tabel A.19 Data kapasitometer variasi ukuran partikel -200+230#

Waktu (detik)	Kapasitansi	Kapasitansi	Tegangan	Tegangan
	terukur CX	referensi CR	terukur	referensi
	(pF)	(pF)	VX (mV)	XR (mV)
0	2,411	2,893	906	3949
150	2,307	2,917	867	3981
180	2,307	2,916	867	3980
210	2,411	2,894	906	3950

240	2,411	2,900	906	3959
360	2,411	2,893	906	3949
480	2,307	2,946	867	4021
600	2,307	2,943	867	4017
820	2,411	2,924	906	3991
1000	2,411	2,923	906	3990

Tabel A.20 Data kapasitometer variasi ukuran partikel -230#

Waktu (detik)	Kapasitansi terukur CX (pF)	Kapasitansi referensi CR (pF)	Tegangan terukur VX (mV)	Tegangan referensi XR (mV)
0	2,619	2,907	984	3968
150	2,619	2,917	984	3982
180	2,619	2,918	984	384
210	2,723	2,890	1023	3945
240	2,917	2,917	984	3981
360	2,827	2,934	1063	4005
480	2,619	2,940	984	4013
600	2,619	2,938	984	4010
820	2,619	2,930	984	3999
1000	2,619	2,945	984	4020

Tabel A.21 Data kapasitometer variasi dosis *frother* 20 ppm

Waktu (detik)	Kapasitansi terukur CX	Kapasitansi referensi CR	Tegangan terukur	Tegangan referensi
	(pF)	(pF)	VX (mV)	XR (mV)
0	2,619	2,908	984	3969
150	2,619	2,934	984	4005
180	2,619	2,939	984	4012
210	2,619	2,930	984	4000
240	2,619	2,944	984	4018
360	2,619	2,938	984	4011
480	2,723	2,920	1023	3985
600	2,723	2,924	1023	3991
820	2,723	2,923	1023	3990
1000	2,723	2,924	1023	3991

Tabel A.22 Data kapasitometer variasi dosis *frother* 30 ppm

Waktu (detik)	Kapasitansi terukur CX	Kapasitansi referensi	Tegangan terukur	Tegangan referensi
	(pF)	CR (pF)	VX (mV)	XR (mV)
0	2,656	2,897	1453	3995
150	2,727	2,924	1492	3991

180	2,727	2,924	1492	3991
210	2,727	2,922	1492	3988
240	2,656	2,942	1453	4016
360	2,870	2,939	1570	4012
480	2,941	2,940	1609	4013
600	2,656	2,941	1453	4014
820	2,656	2,941	1453	4014
1000	2,656	2,939	1453	4012

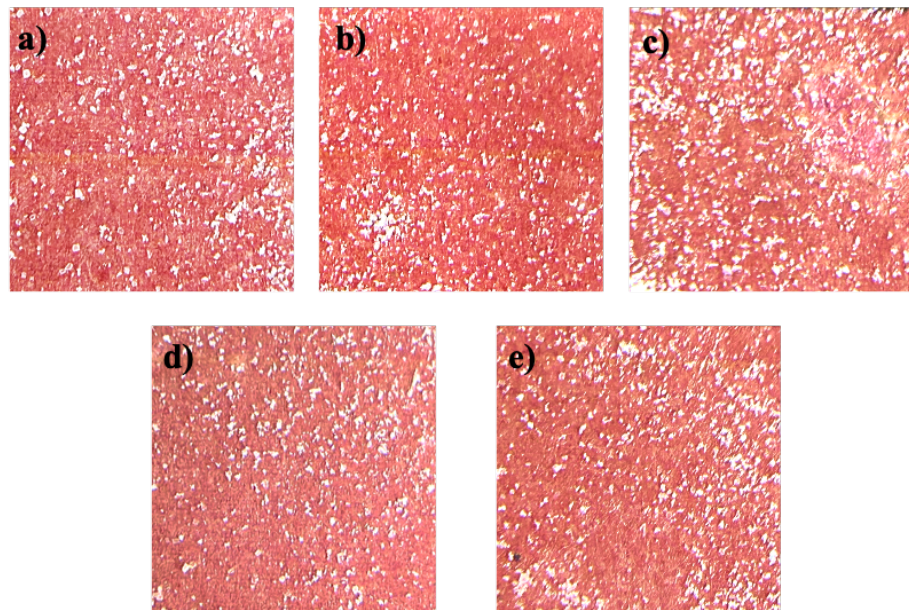
Tabel A.23 Data kapasitometer variasi dosis *frother* 40 ppm

Waktu (detik)	Kapasitansi terukur CX (pF)	Kapasitansi referensi CR (pF)	Tegangan terukur VX (mV)	Tegangan referensi XR (mV)
0	2,619	2,910	984	3973
150	2,723	2,928	1023	3997
180	2,723	2,925	1023	3991
210	2,723	2,919	1023	3985
240	2,619	2,947	984	4023
360	2,723	2,920	1023	3986
480	2,723	2,924	1023	3991
600	2,619	2,945	984	4021
820	2,723	2,924	1023	3991
1000	2,723	2,929	1023	3998

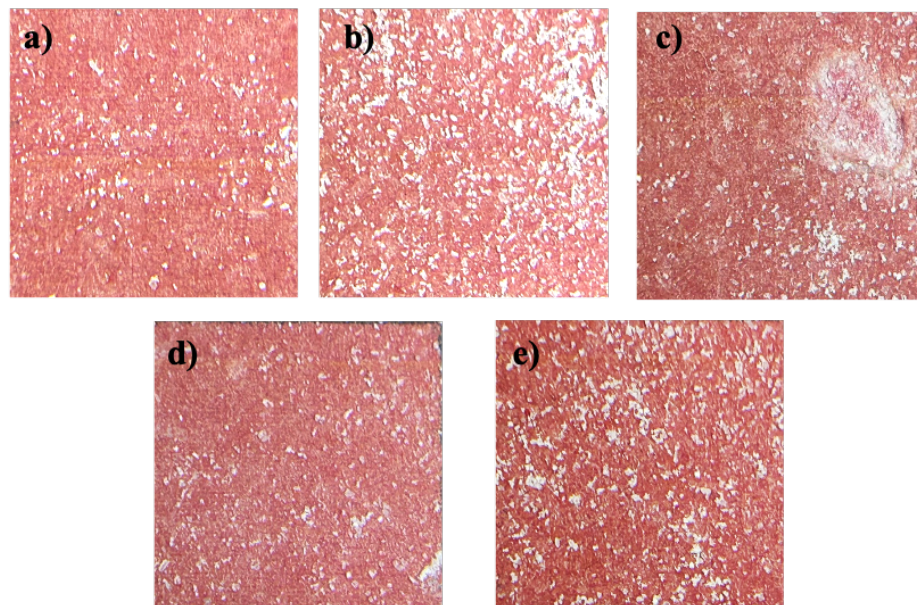
Tabel A.24 Data kapasitometer variasi dosis *frother* 50 ppm

Waktu (detik)	Kapasitansi terukur CX (pF)	Kapasitansi referensi CR (pF)	Tegangan terukur VX (mV)	Tegangan referensi XR (mV)
0	2,619	2,907	984	3968
150	2,619	2,917	984	3982
180	2,619	2,918	984	3984
210	2,723	2,890	1023	3945
240	2,917	2,917	984	3981
360	2,827	2,934	1063	4005
480	2,619	2,940	984	4013
600	2,619	2,938	984	4010
820	2,619	2,930	984	3999
1000	2,619	2,945	984	4020

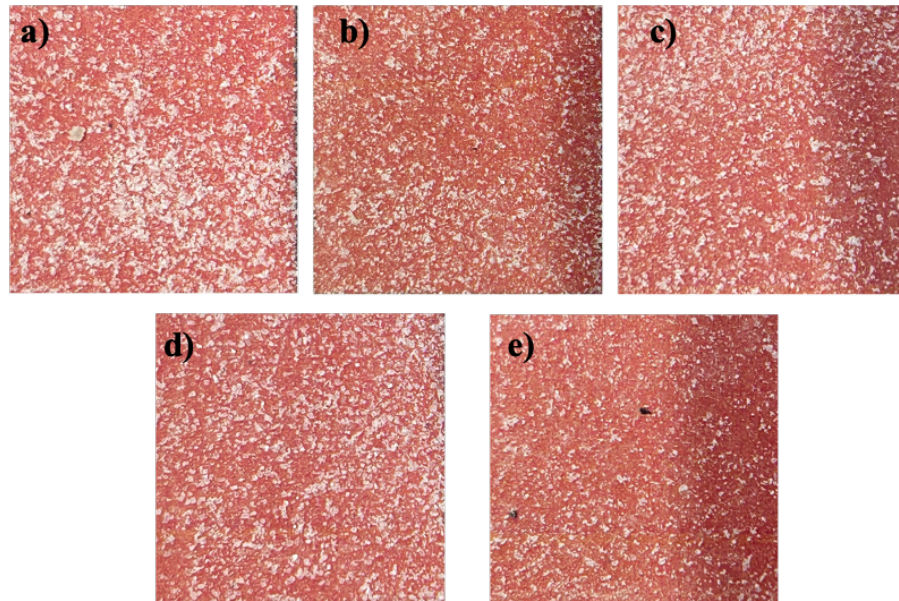
A.4 *Grain counting*



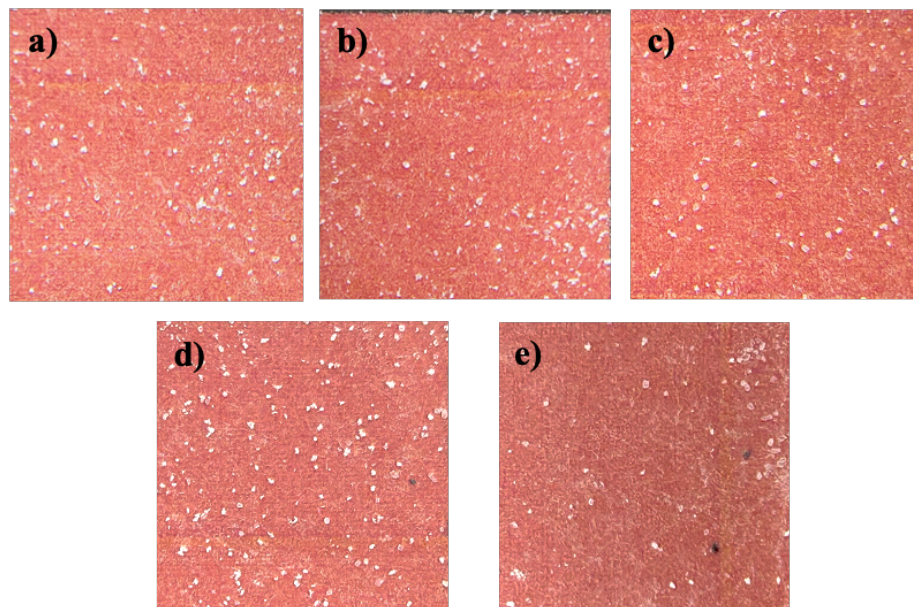
Gambar A.3 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -100+150# di 150 detik:
 a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



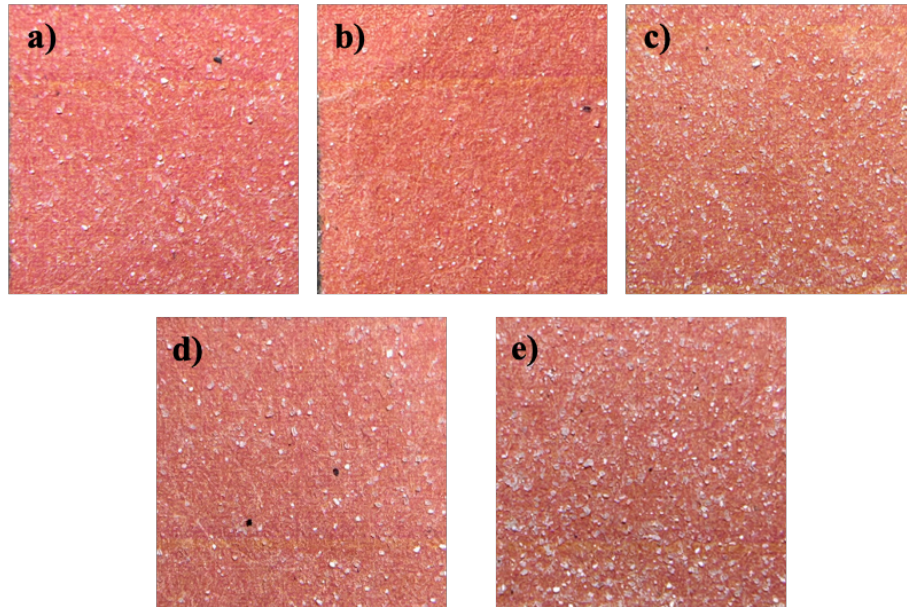
Gambar A.4 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -100+150# di 180 detik:
 a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



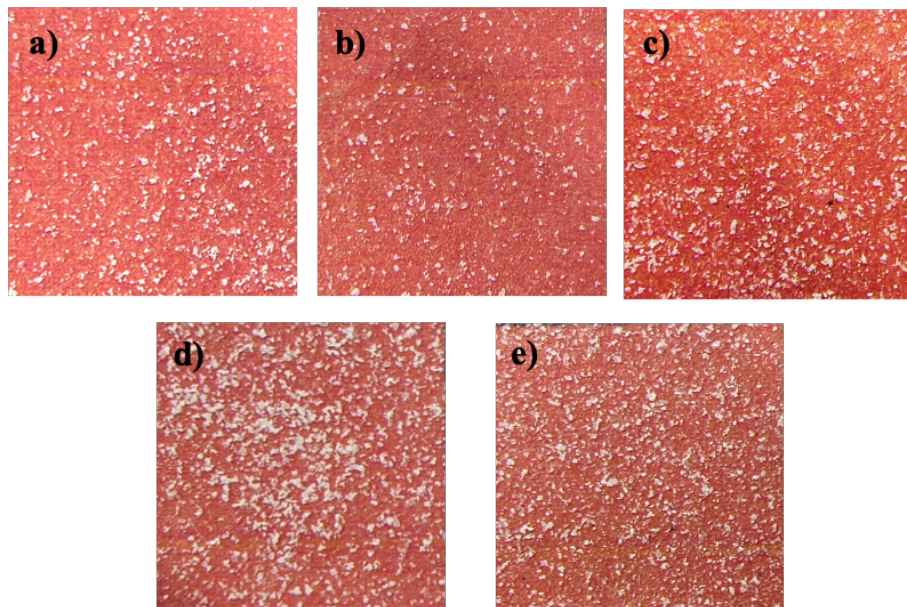
Gambar A.5 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -100+150# di 210 detik:
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



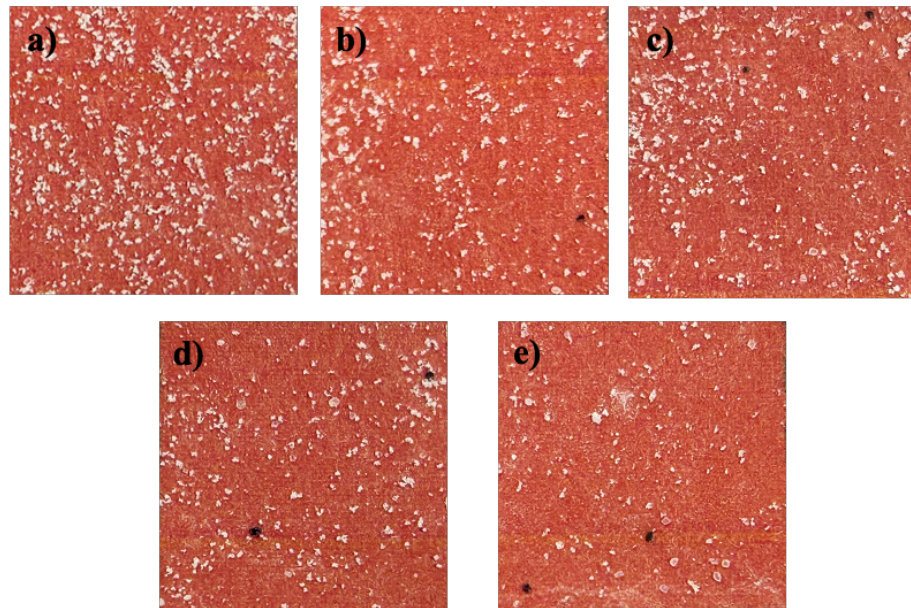
Gambar A.6 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -100+150# di 240 detik:
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



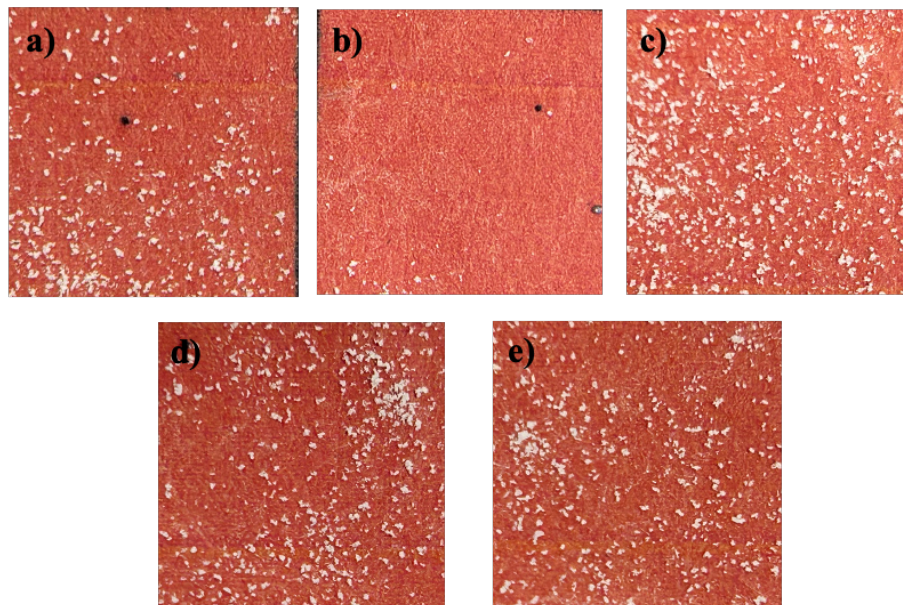
Gambar A.7 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -100+150# di 360 detik:
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



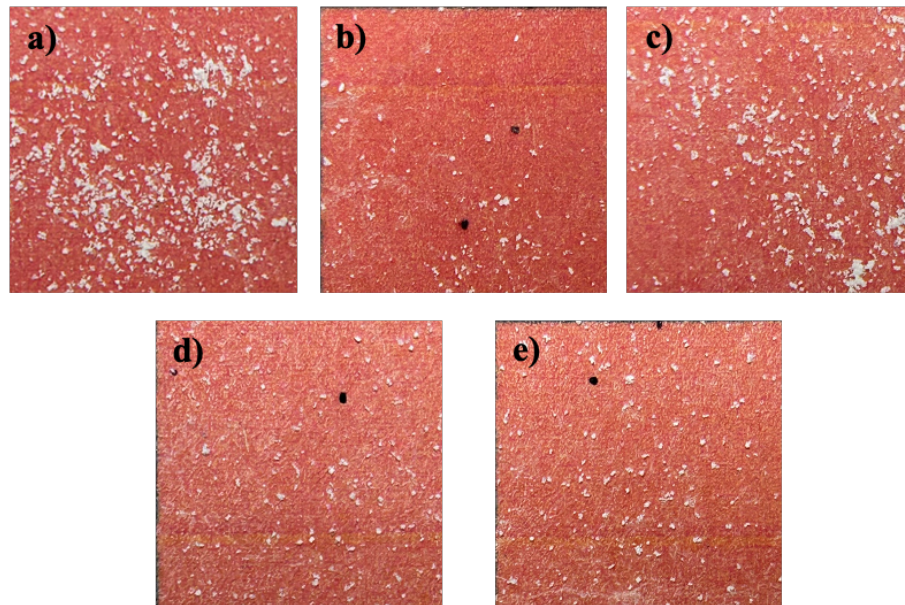
Gambar A.8 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -100+150# di 480 detik:
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



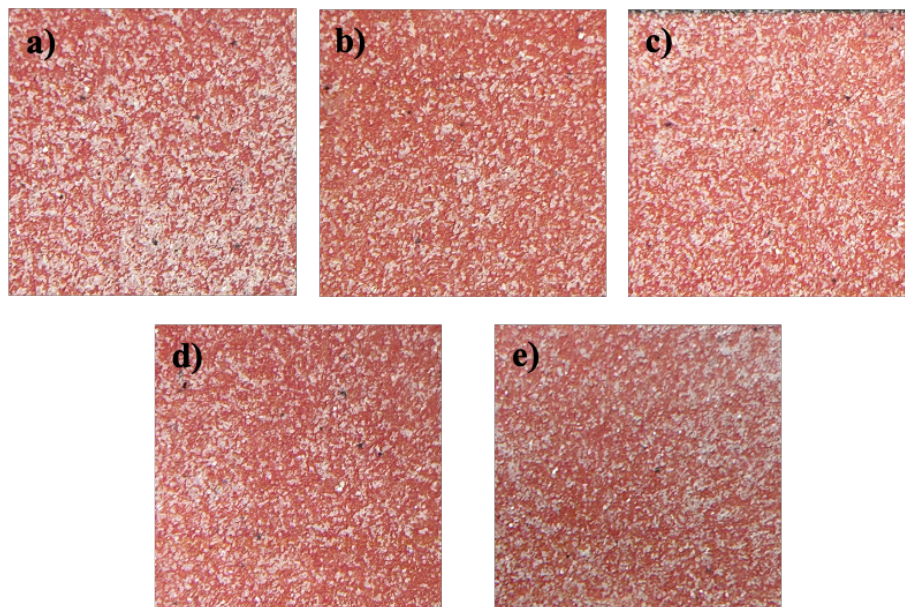
Gambar A.9 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -100+150# di 600 detik:
a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



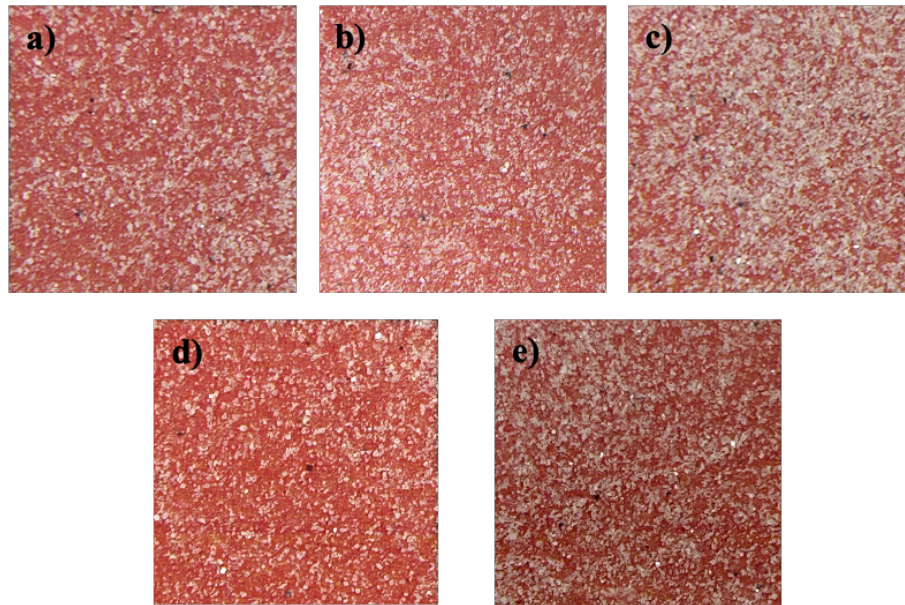
Gambar A.10 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -100+150# di 820 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



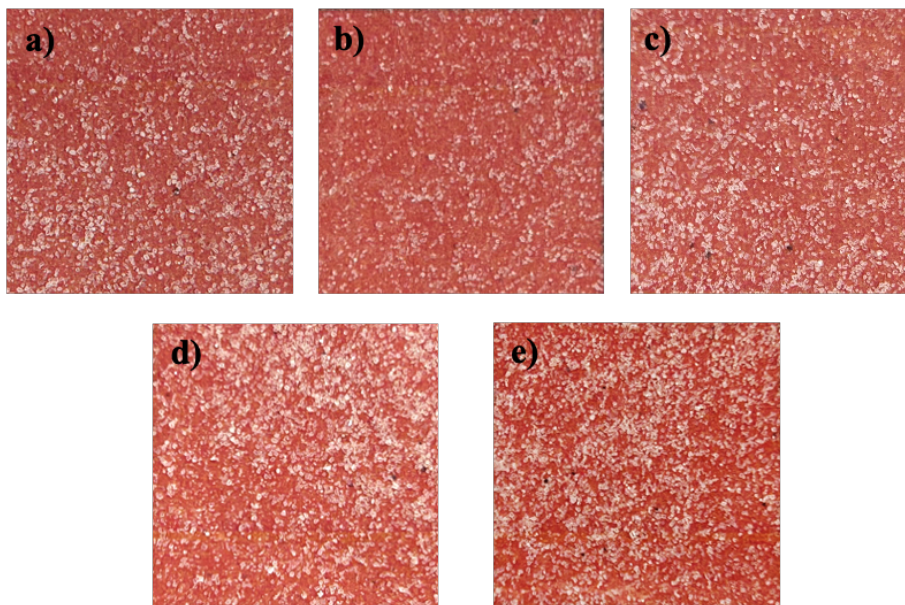
Gambar A.11 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -100+150# di 1000 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



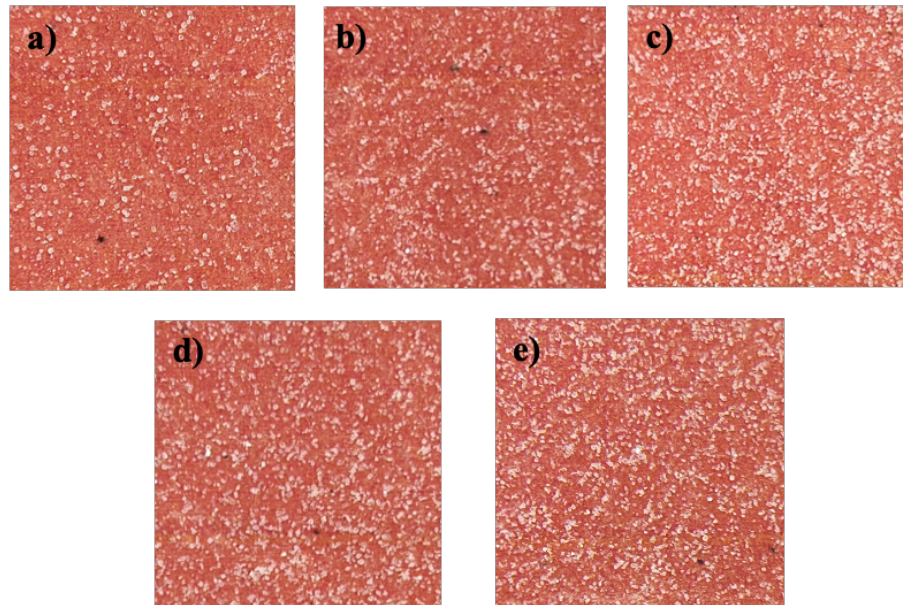
Gambar A.12 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -150+200# di 150 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



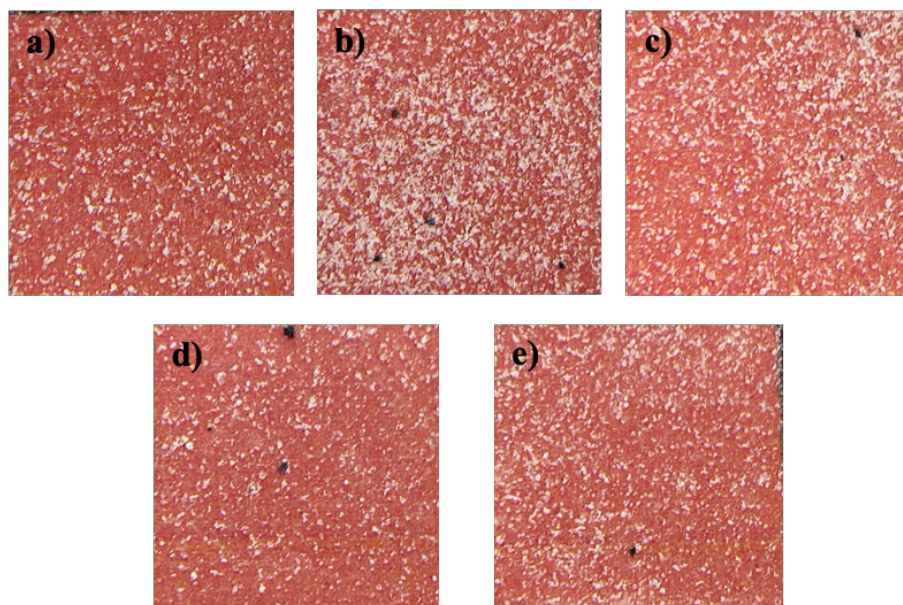
Gambar A.13 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -150+200# di 180 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



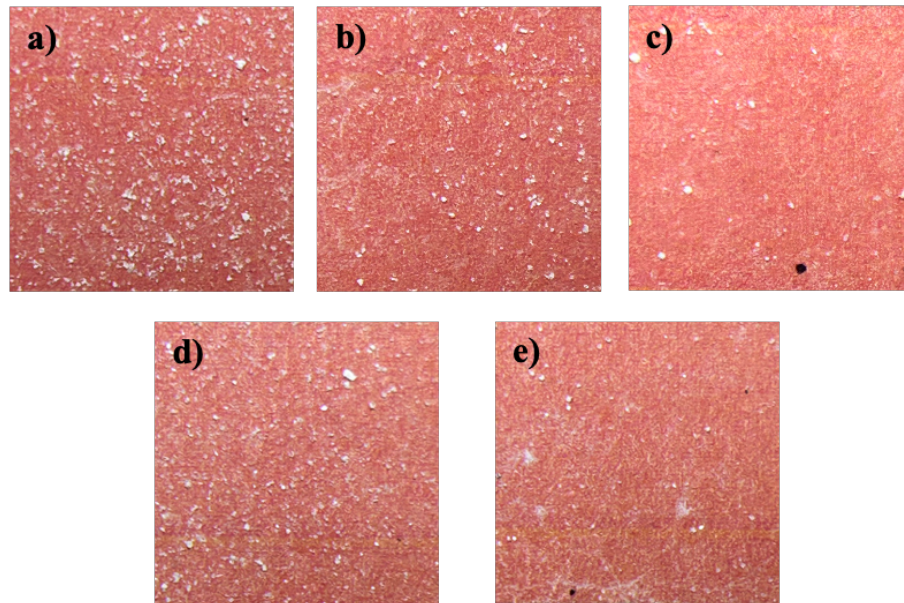
Gambar A.14 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -150+200# di 210 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



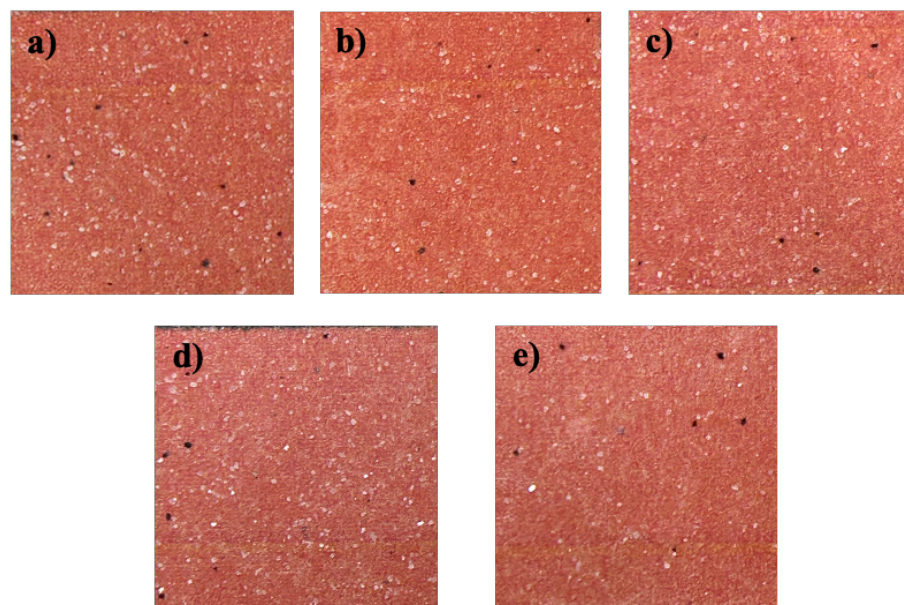
Gambar A.15 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -150+200# di 240 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



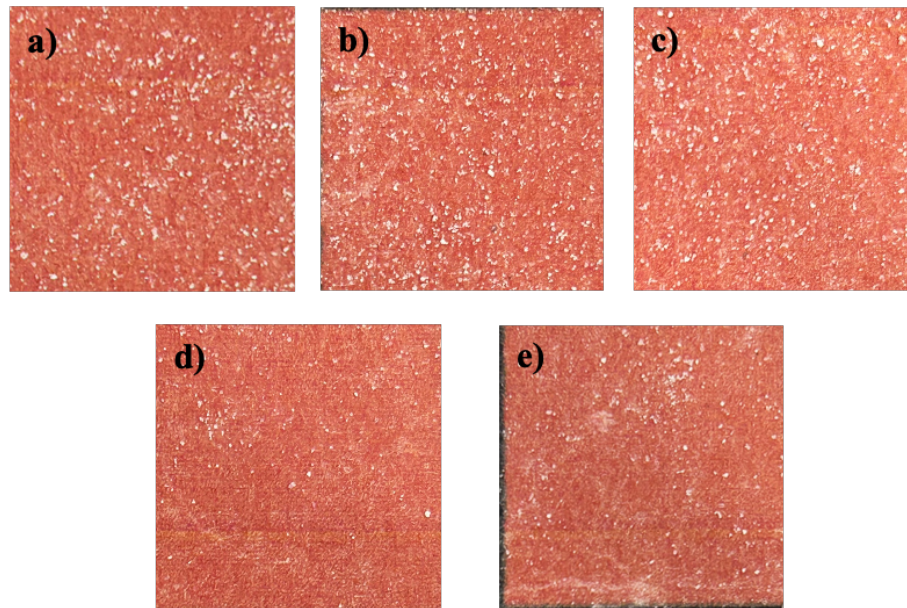
Gambar A.16 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -150+200# di 360 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



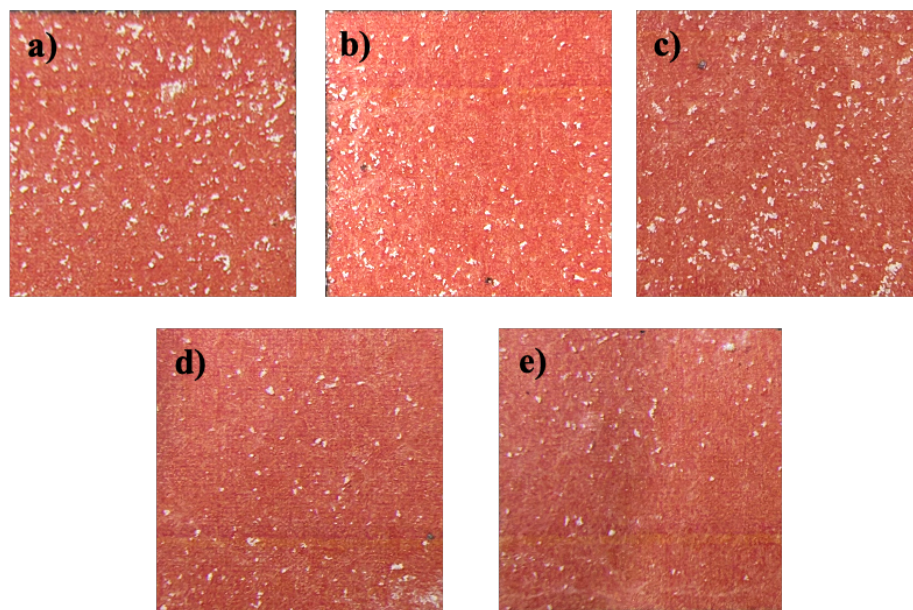
Gambar A.17 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -150+200# di 480 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



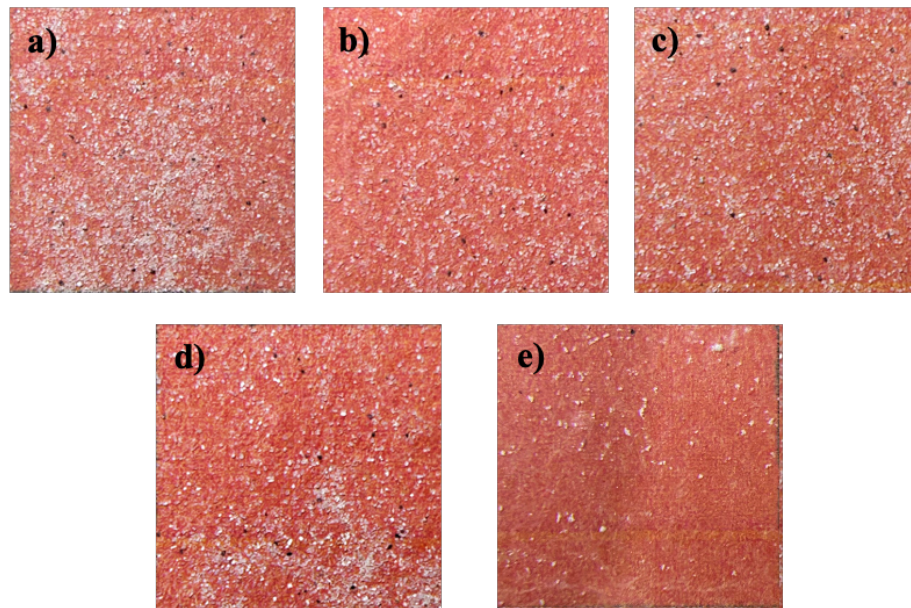
Gambar A.18 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -150+200# di 600 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



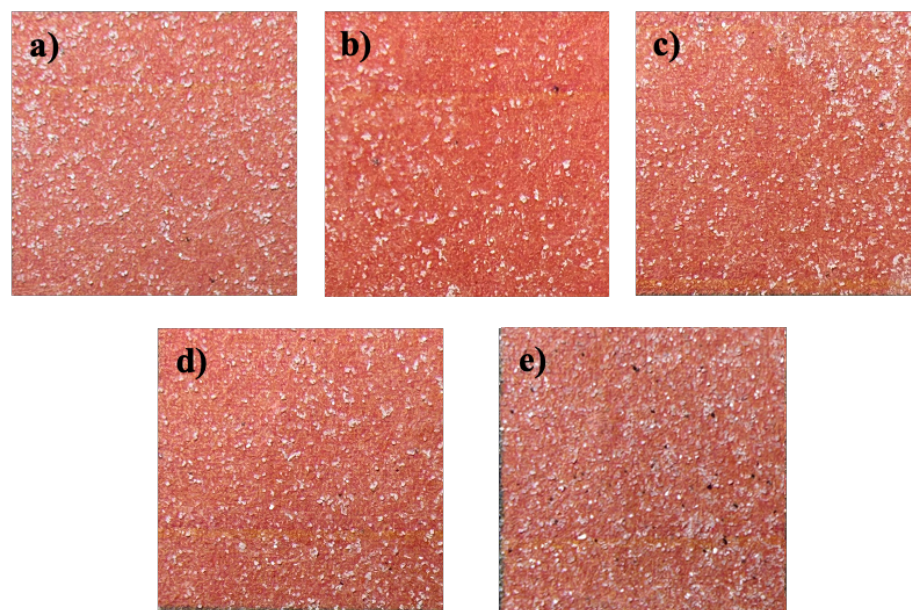
Gambar A.19 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -150+200# di 820 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



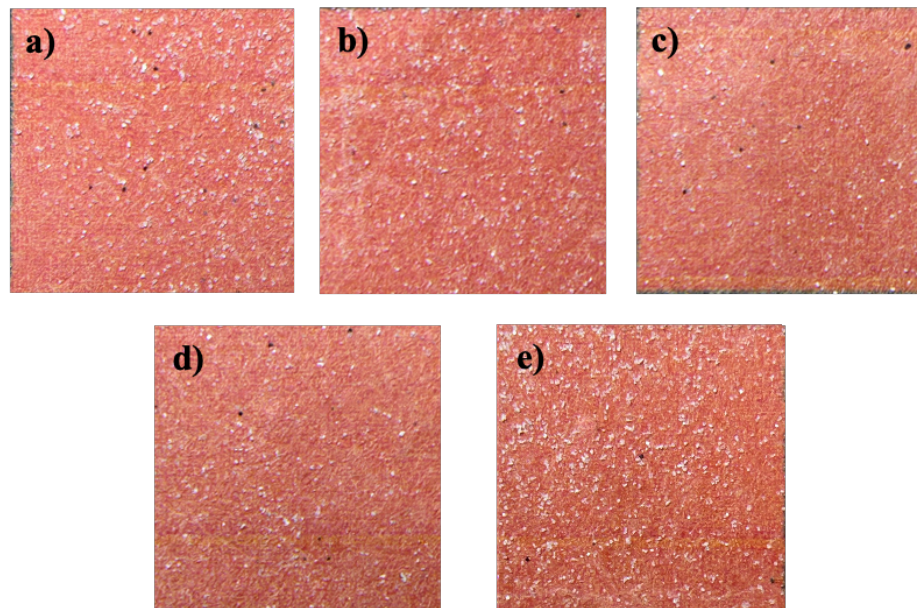
Gambar A.20 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -150+200# di 1000 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



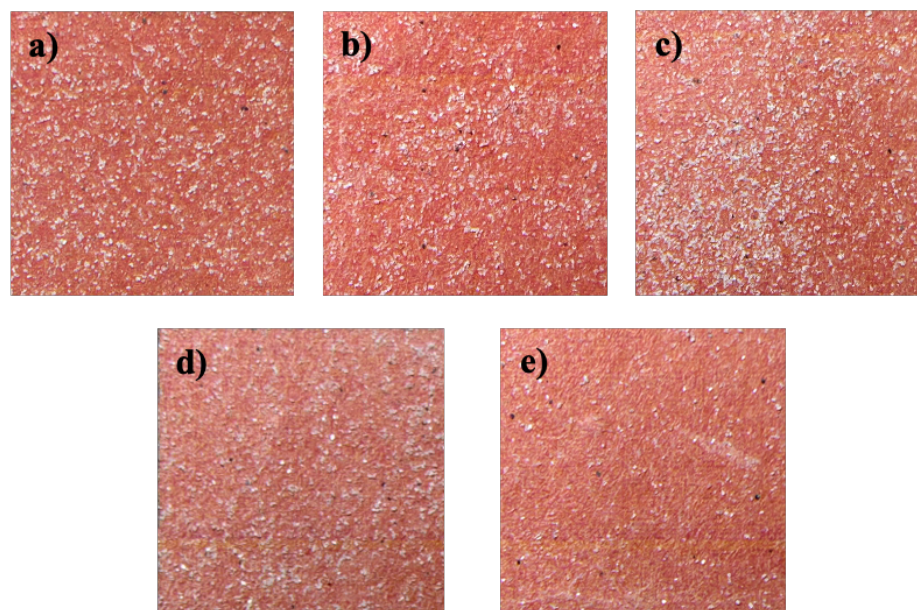
Gambar A.21 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -200+230# di 150 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



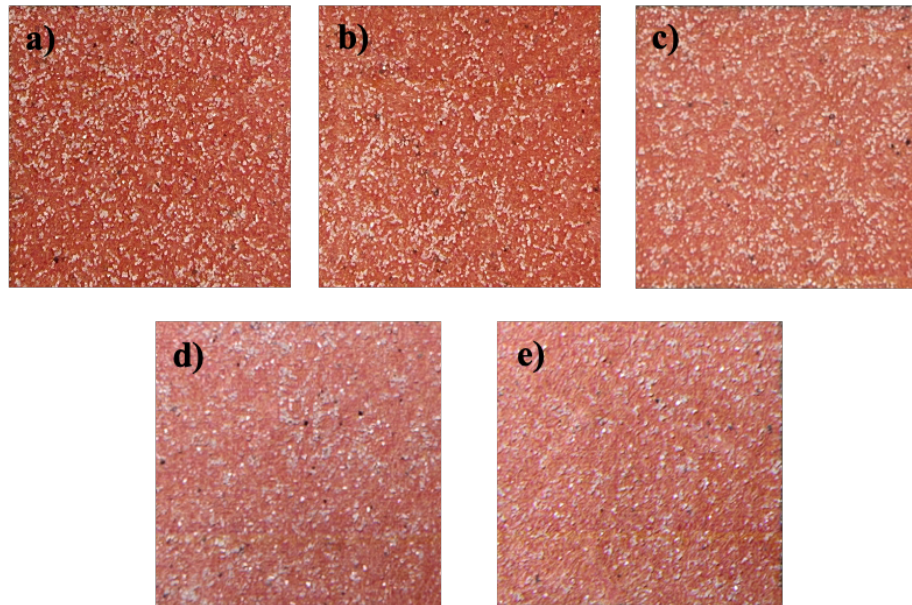
Gambar A.22 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -200+230# di 180 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



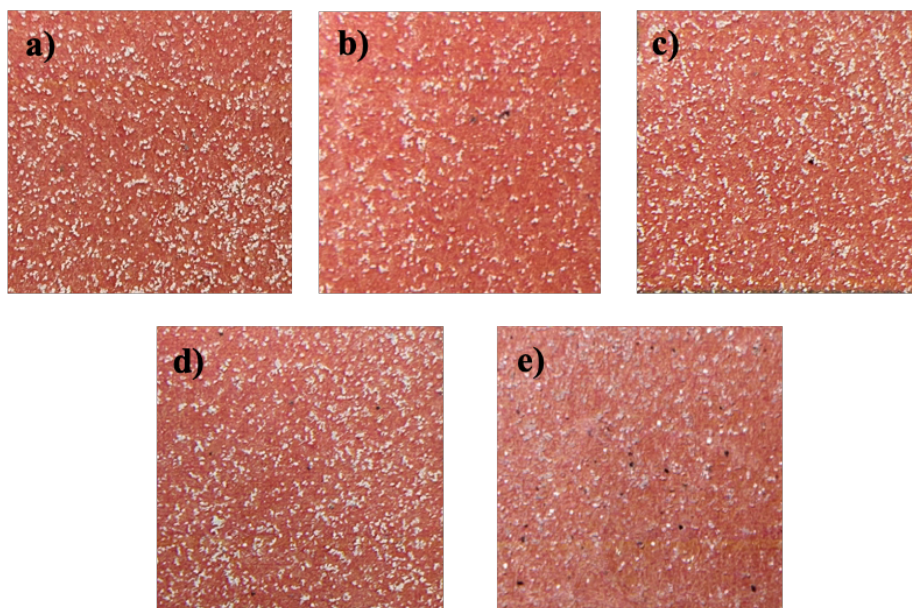
Gambar A.23 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -200+230# di 210 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



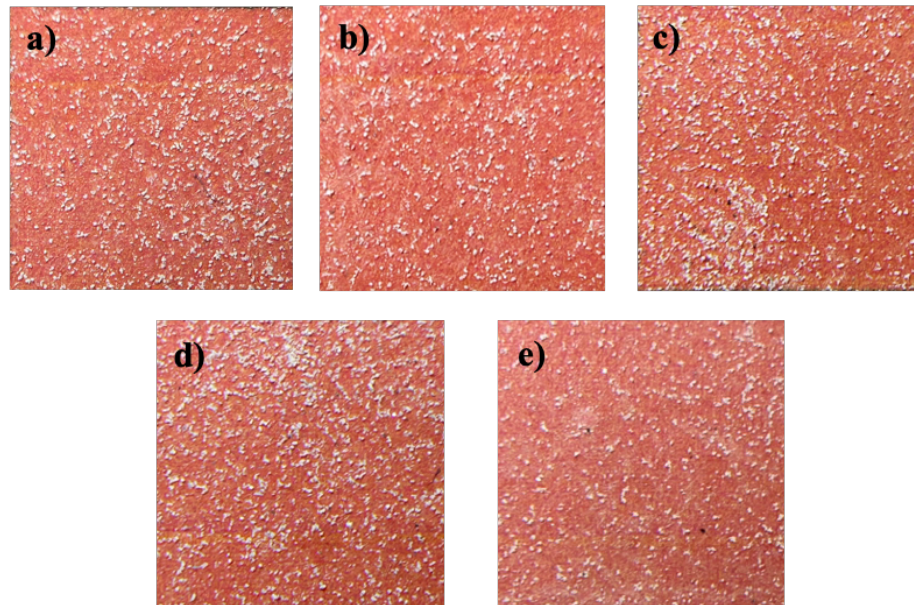
Gambar A.24 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -200+230# di 240 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



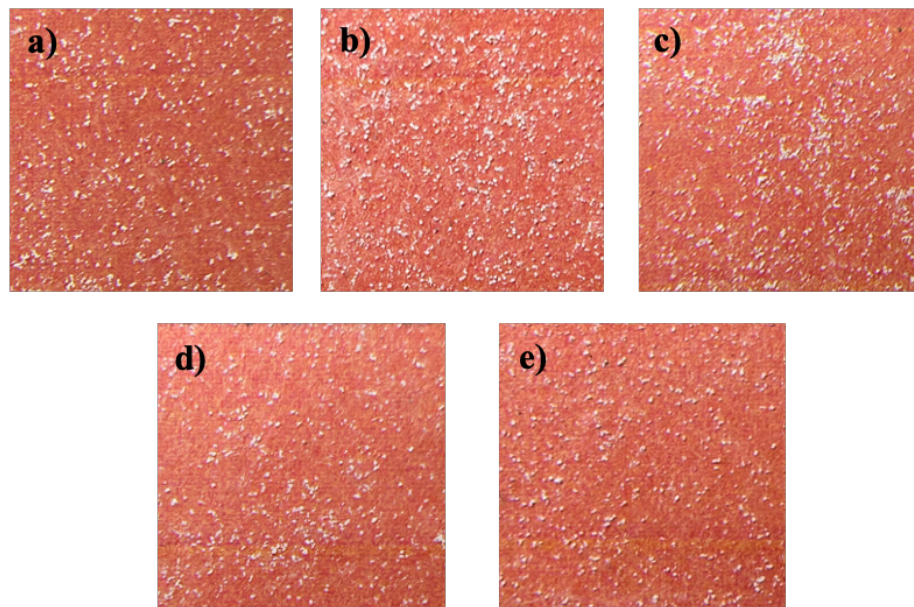
Gambar A.25 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -200+230# di 360 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



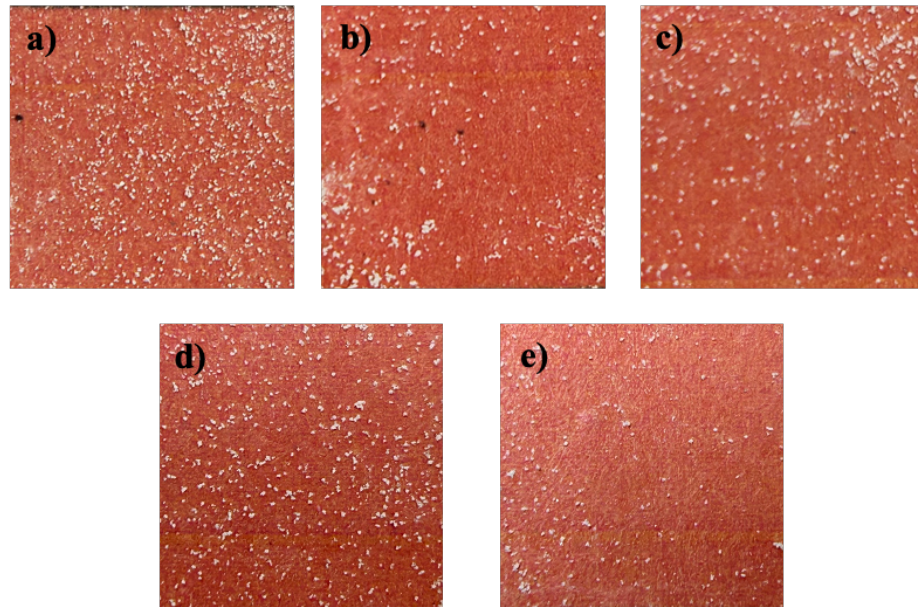
Gambar A.26 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -200+230# di 480 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



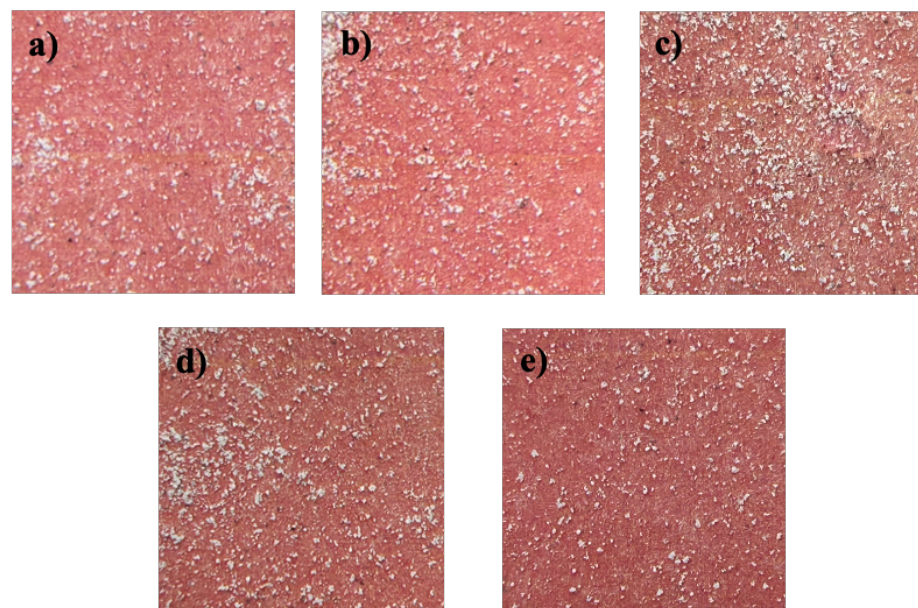
Gambar A.27 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -200+230# di 600 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



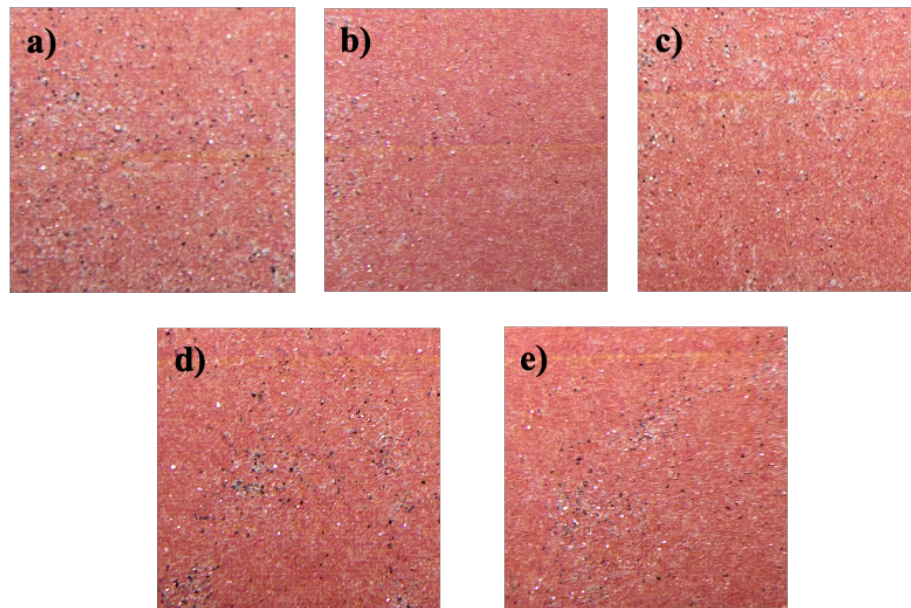
Gambar A.28 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -200+230# di 820 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



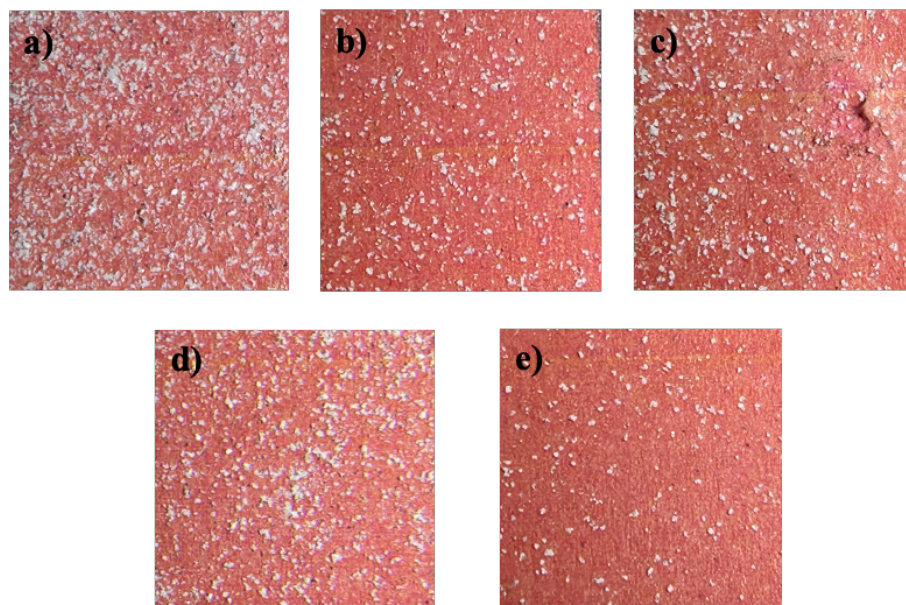
Gambar A.29 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -200+230# di 1000 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



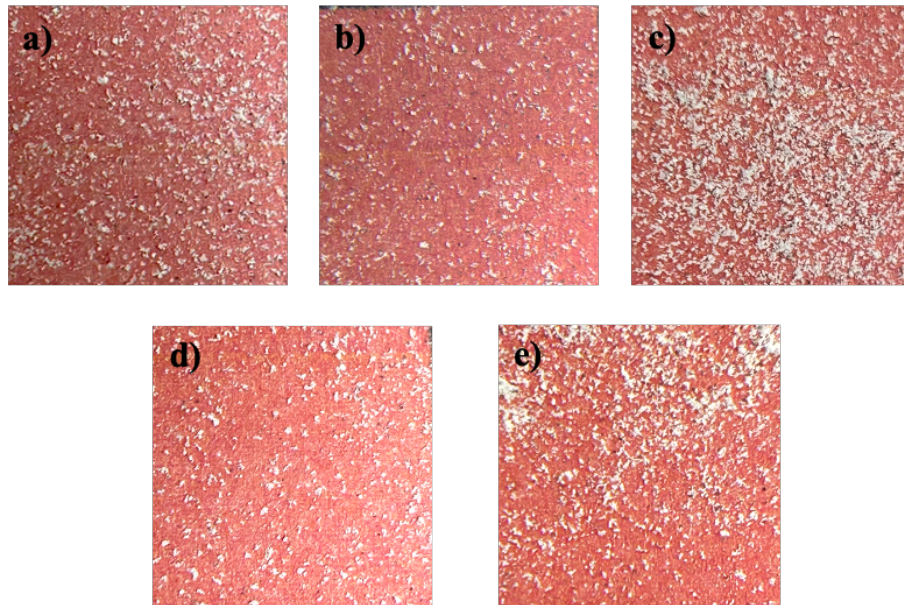
Gambar A.30 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 150 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



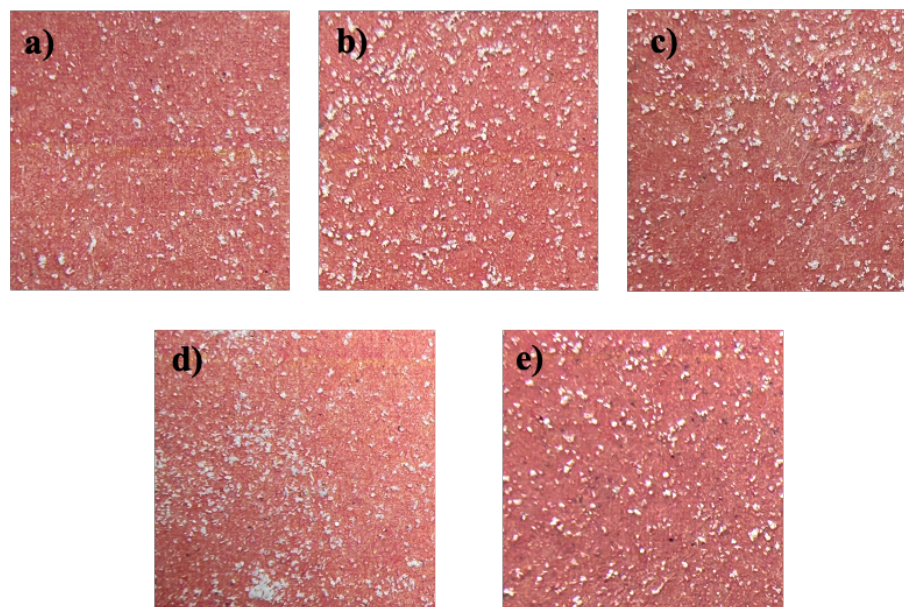
Gambar A.31 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 180 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



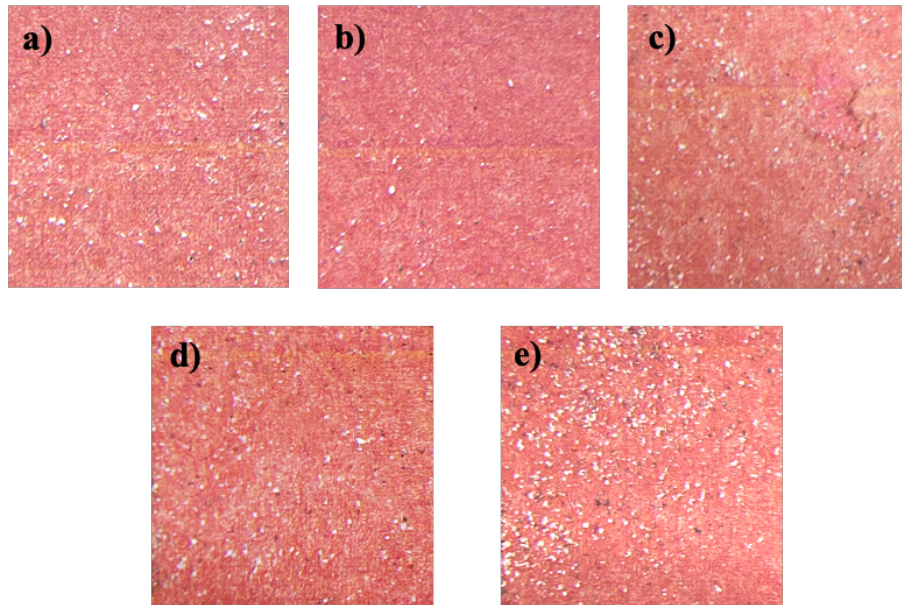
Gambar A.32 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 210 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



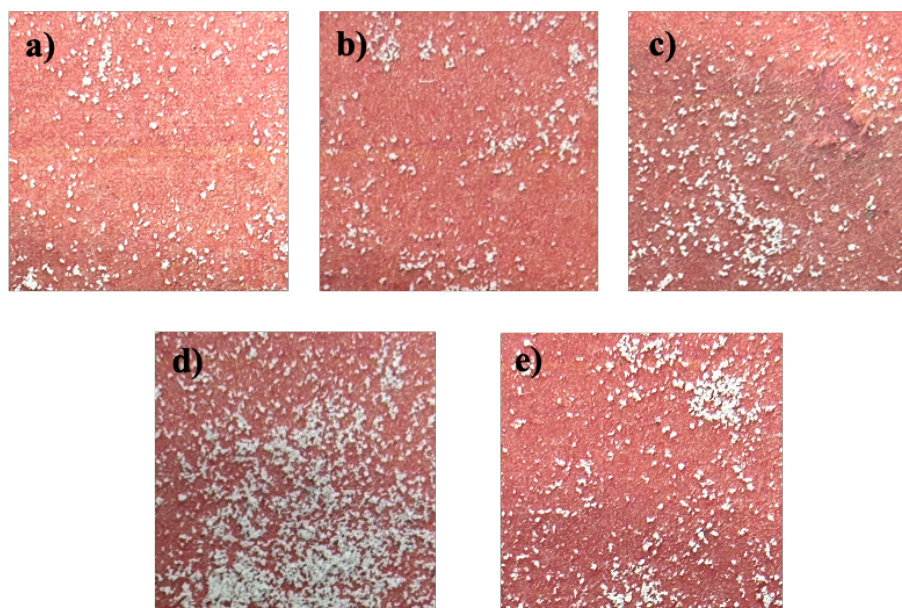
Gambar A.33 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 240 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



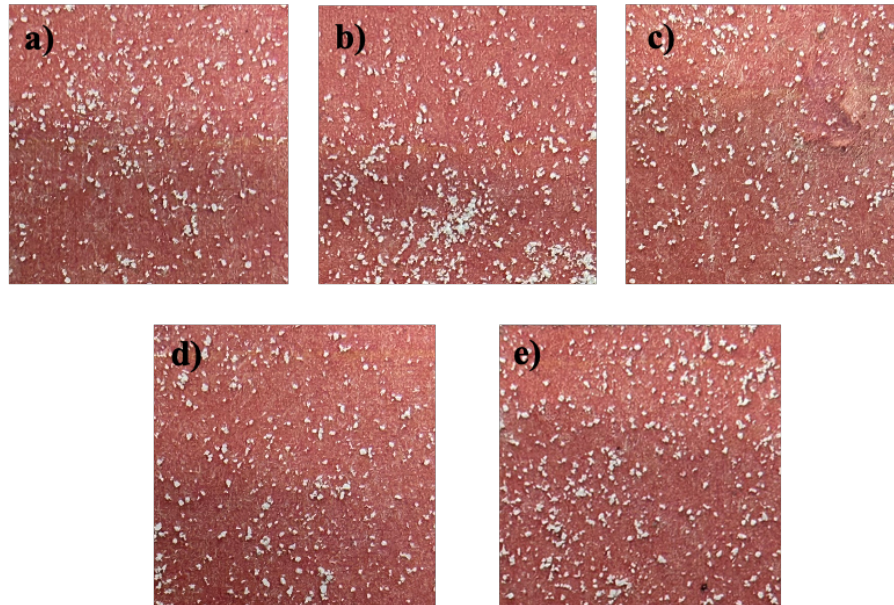
Gambar A.34 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 360 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



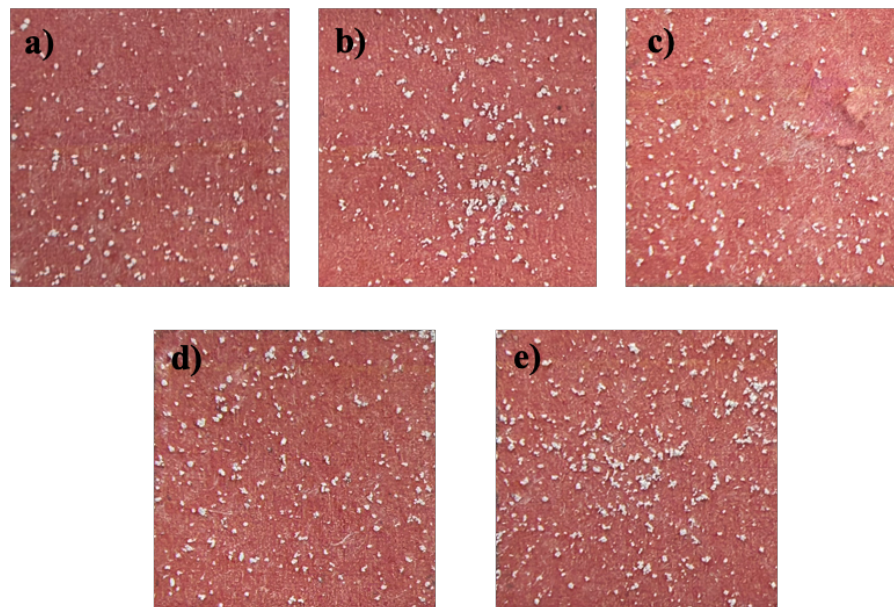
Gambar A.35 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 480 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



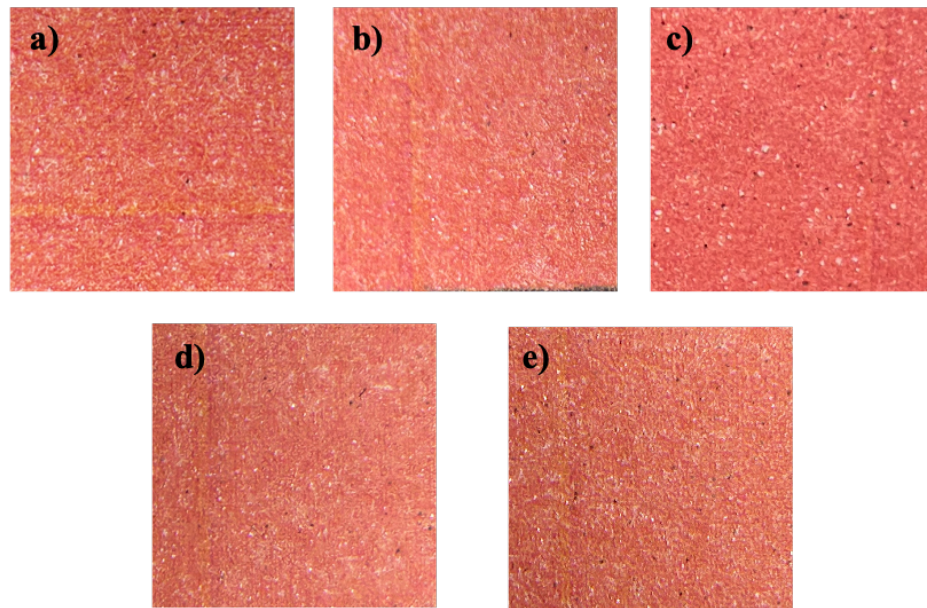
Gambar A.36 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 600 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



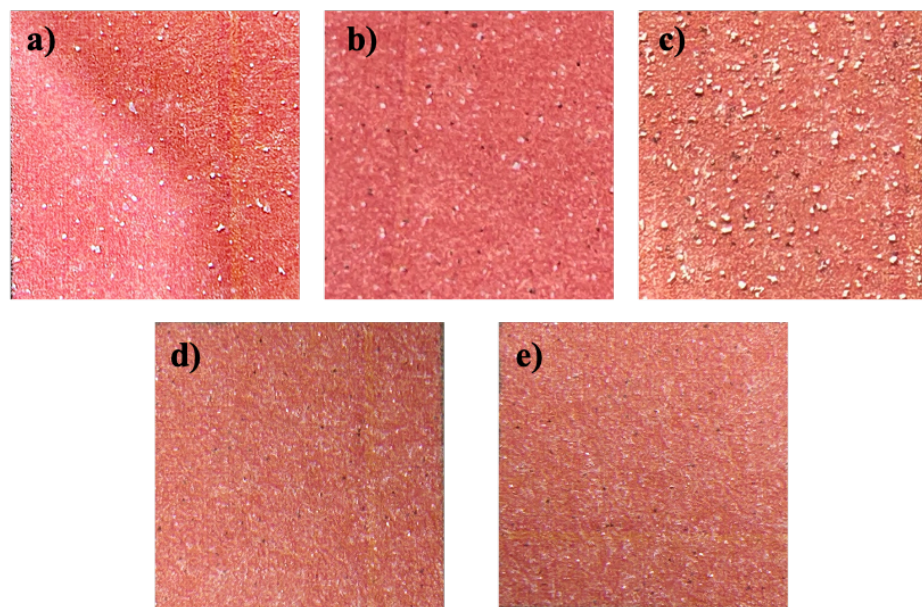
Gambar A.37 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 820 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



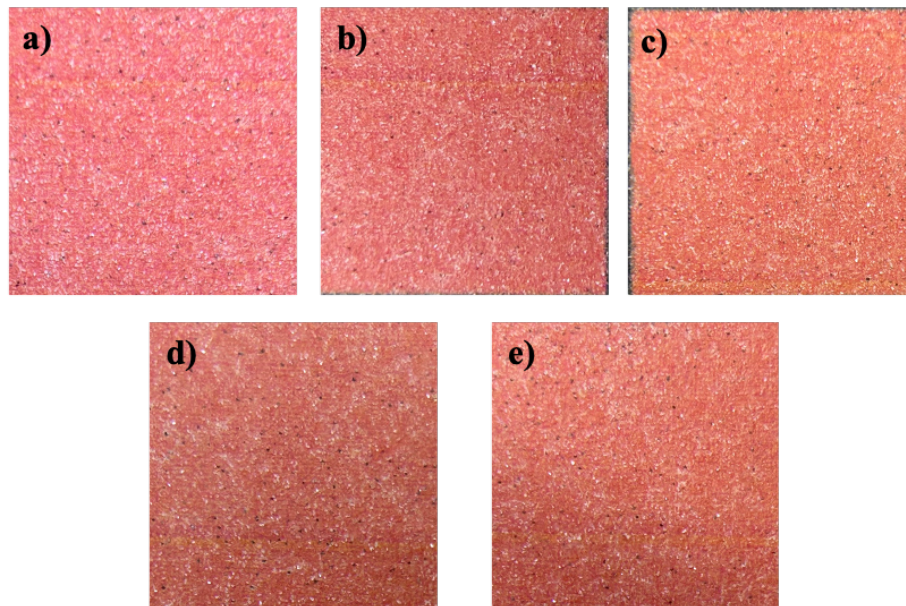
Gambar A.38 Citra *grain counting* variasi ukuran partikel -230# di 1000 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



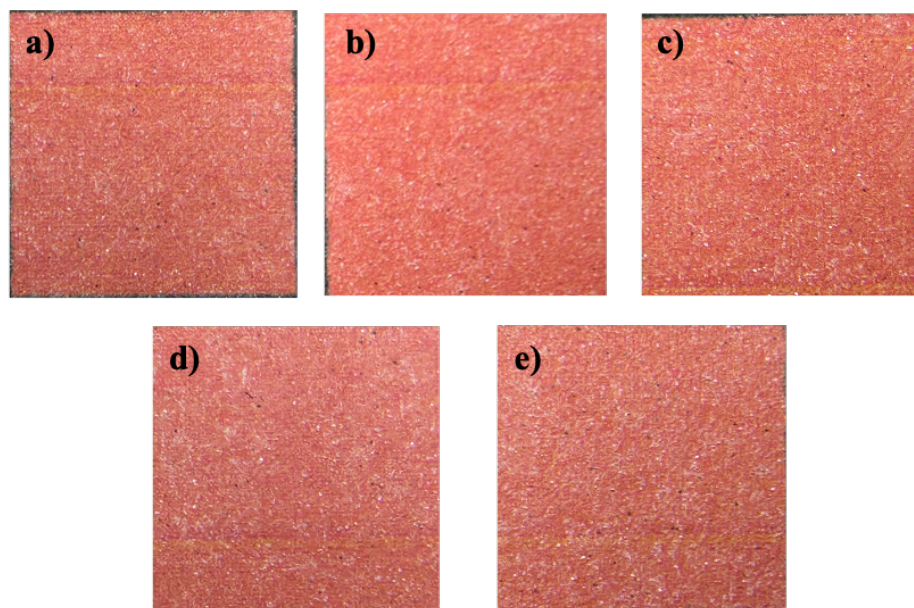
Gambar A.39 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 20 ppm di 150 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



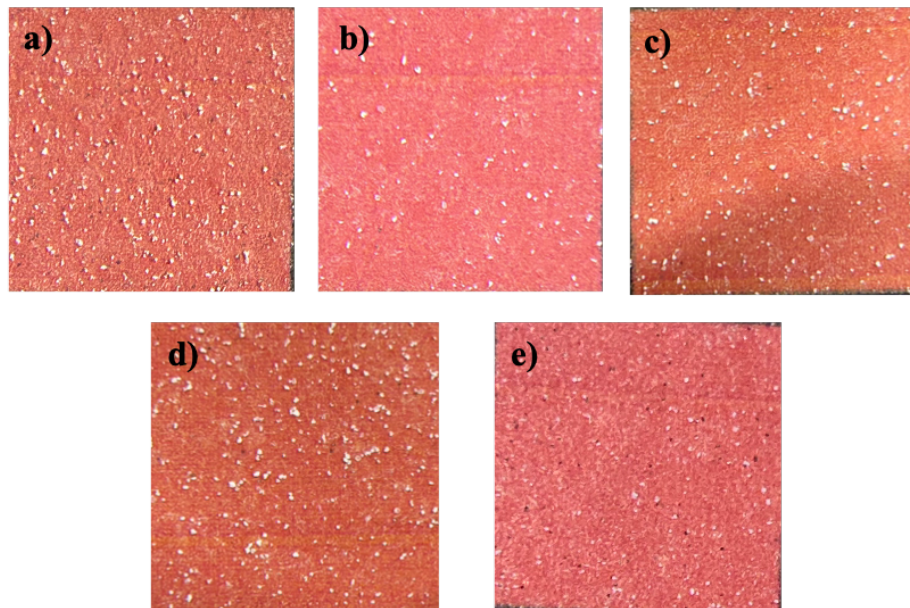
Gambar A.40 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 20 ppm di 180 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



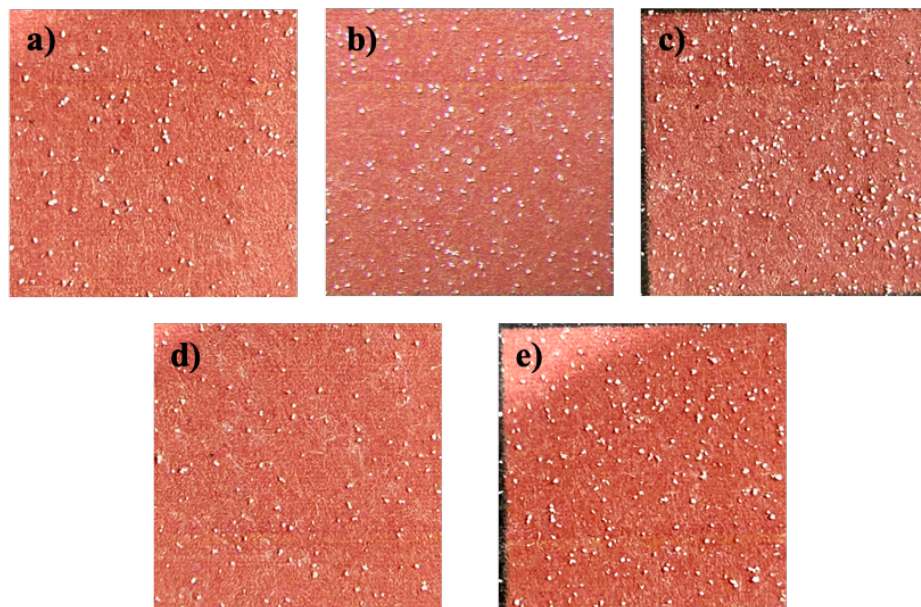
Gambar A.41 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 20 ppm di 210 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



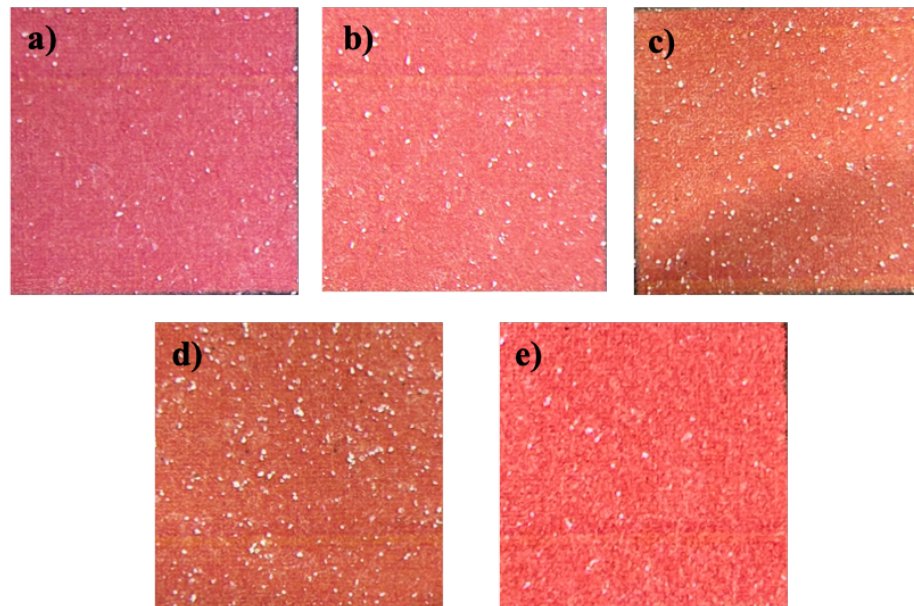
Gambar A.42 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 20 ppm di 240 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



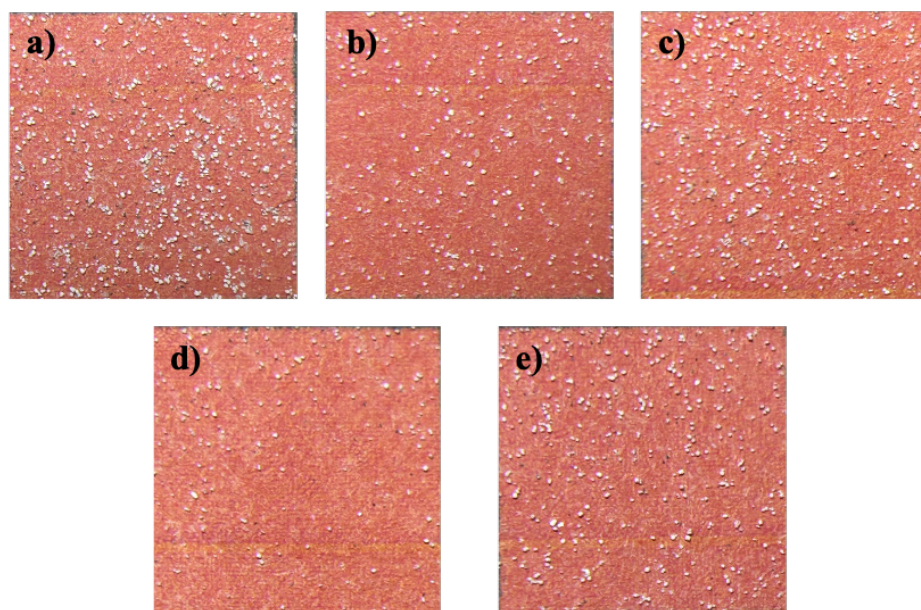
Gambar A.43 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 20 ppm di 360 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



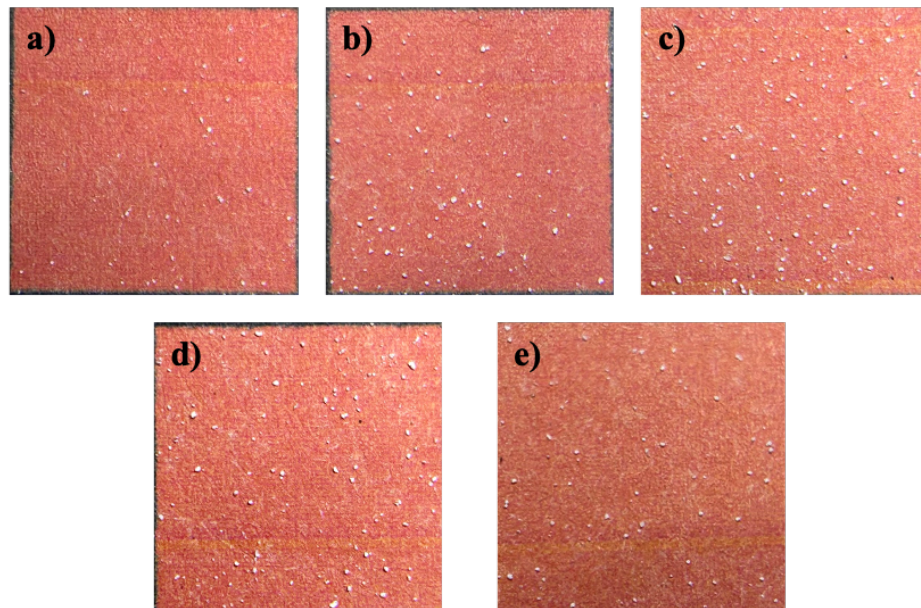
Gambar A.44 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 20 ppm di 480 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



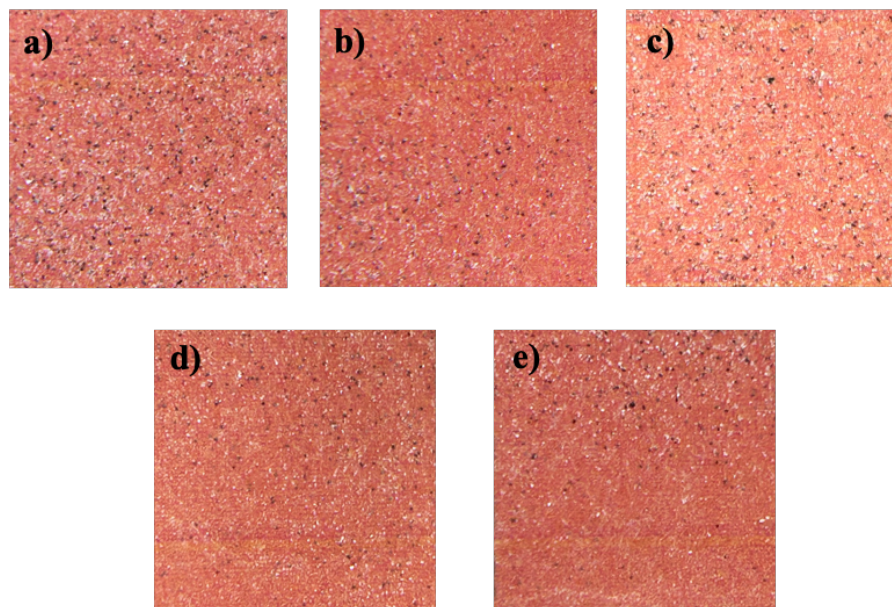
Gambar A.45 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 20 ppm di 600 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



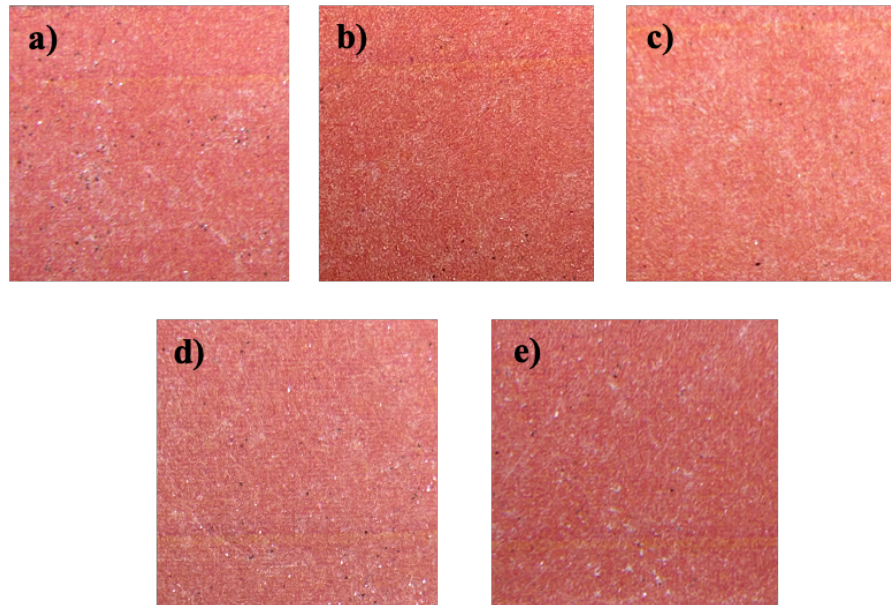
Gambar A.46 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 20 ppm di 820 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



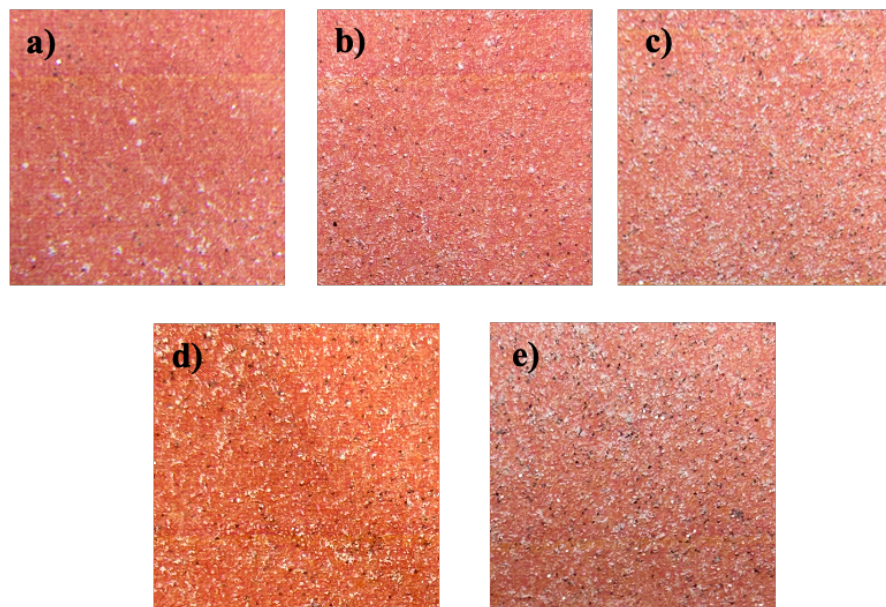
Gambar A.47 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 20 ppm di 1000 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



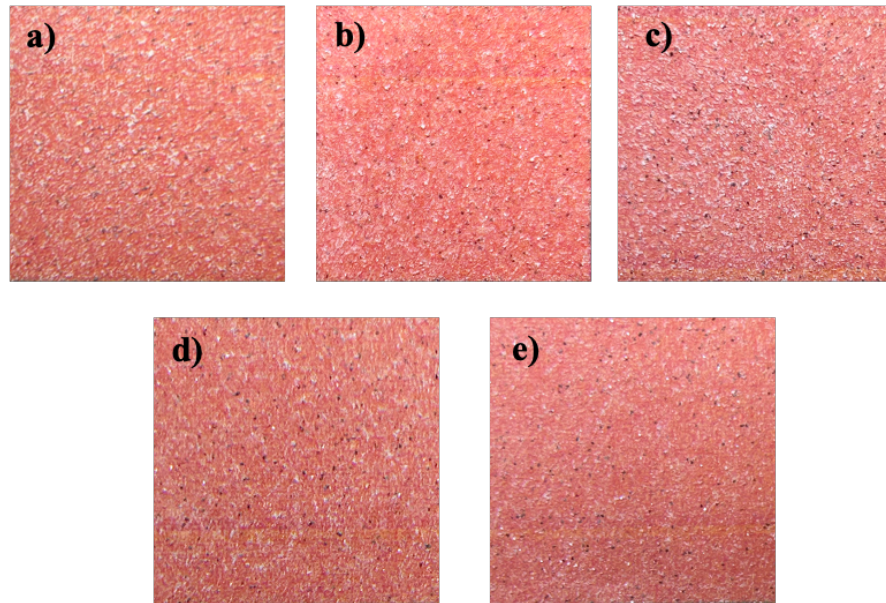
Gambar A.48 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 30 ppm di 150 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



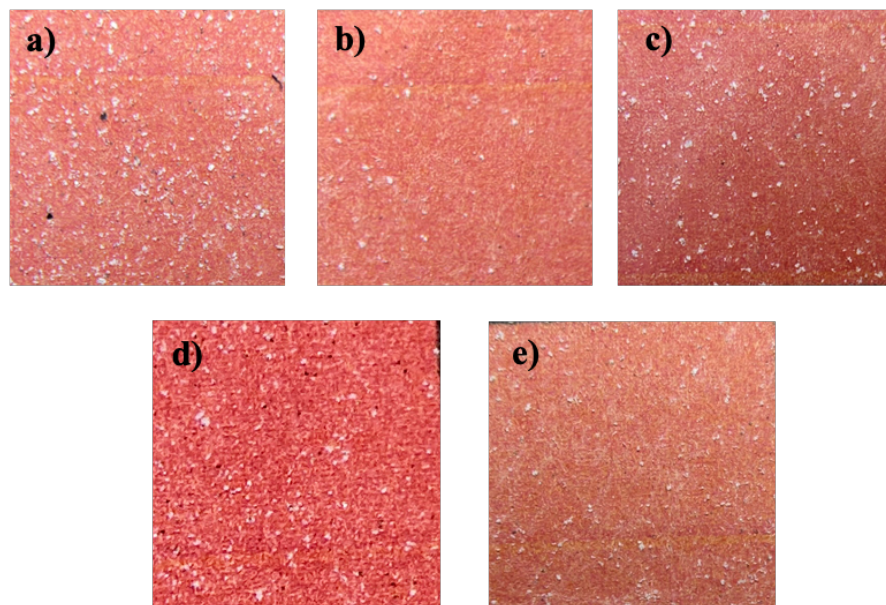
Gambar A.49 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 30 ppm di 180 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



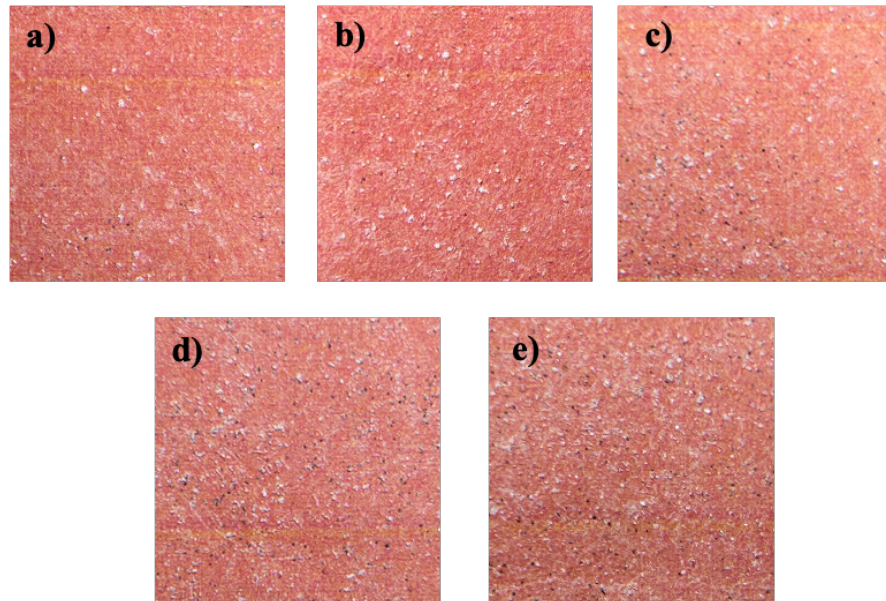
Gambar A.50 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 30 ppm di 210 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



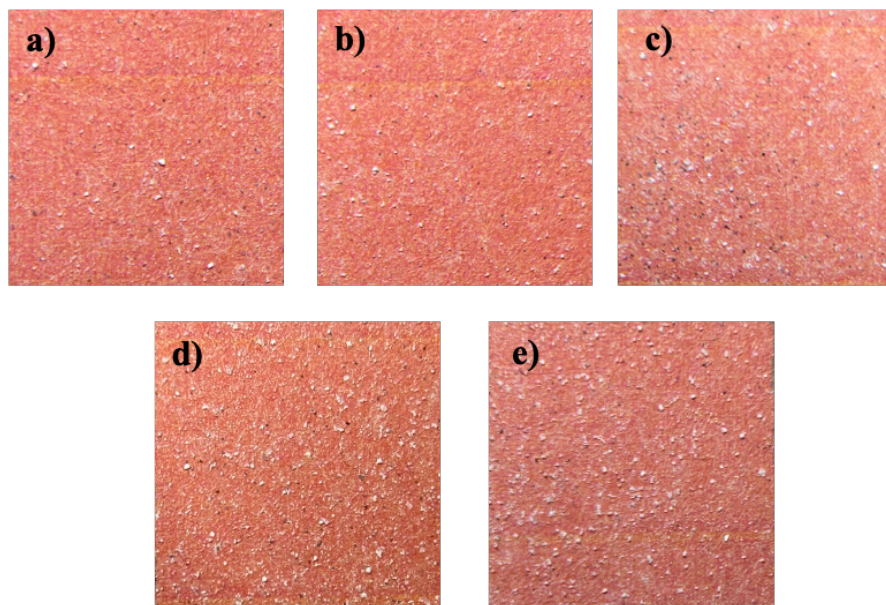
Gambar A.51 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 30 ppm di 240 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



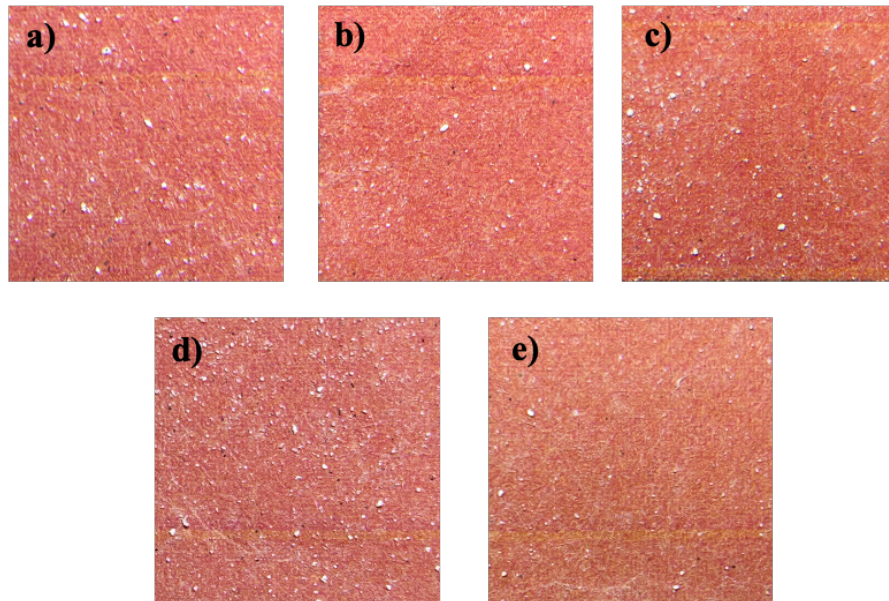
Gambar A.52 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 30 ppm di 360 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



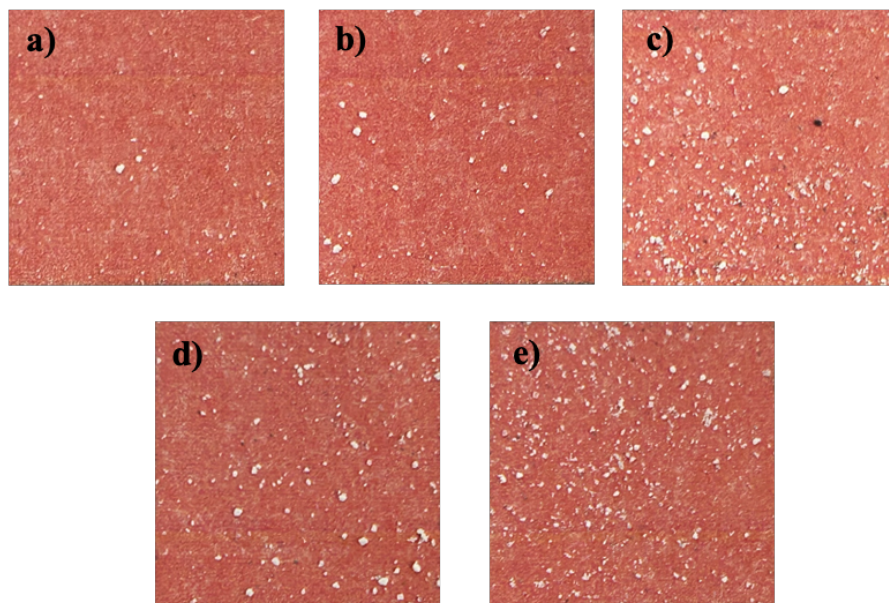
Gambar A.53 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 30 ppm di 480 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



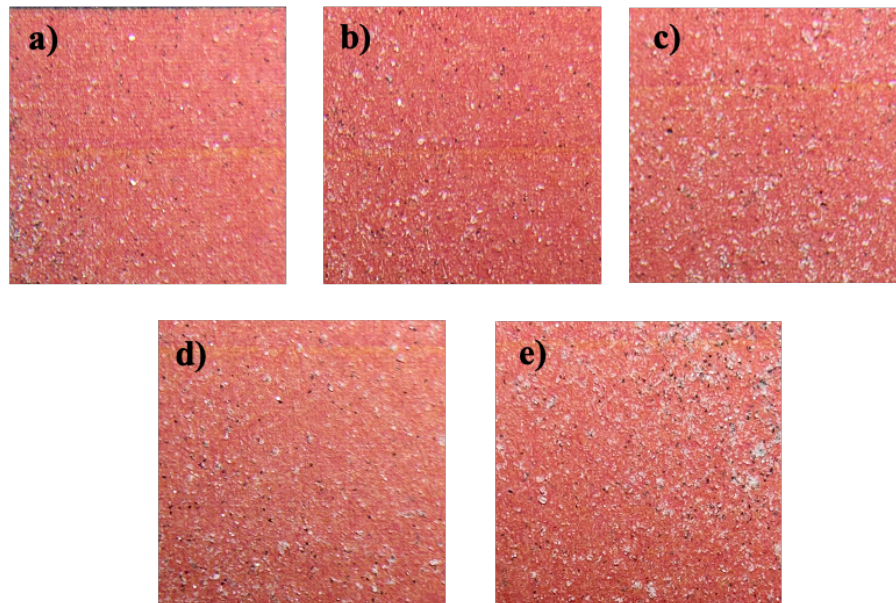
Gambar A.54 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 30 ppm di 600 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



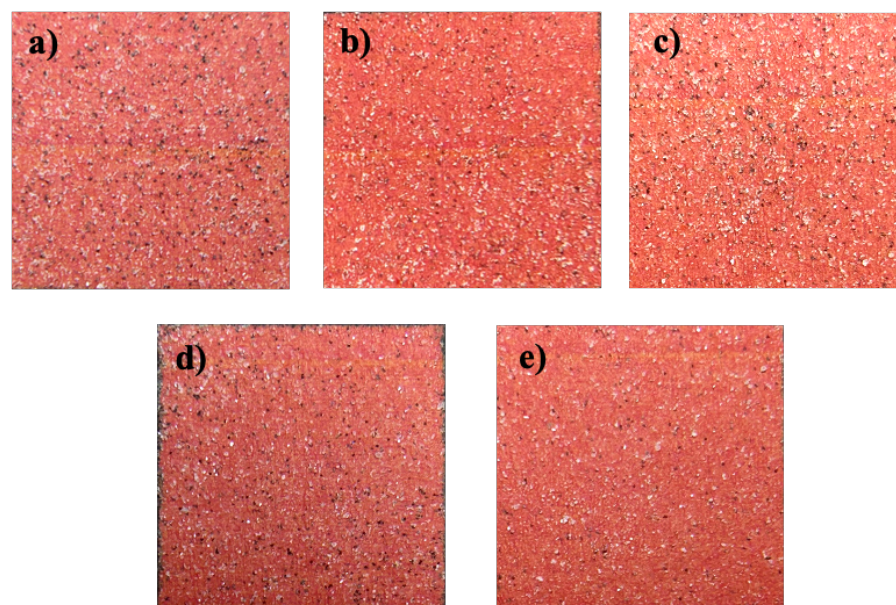
Gambar A.55 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 30 ppm di 820 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



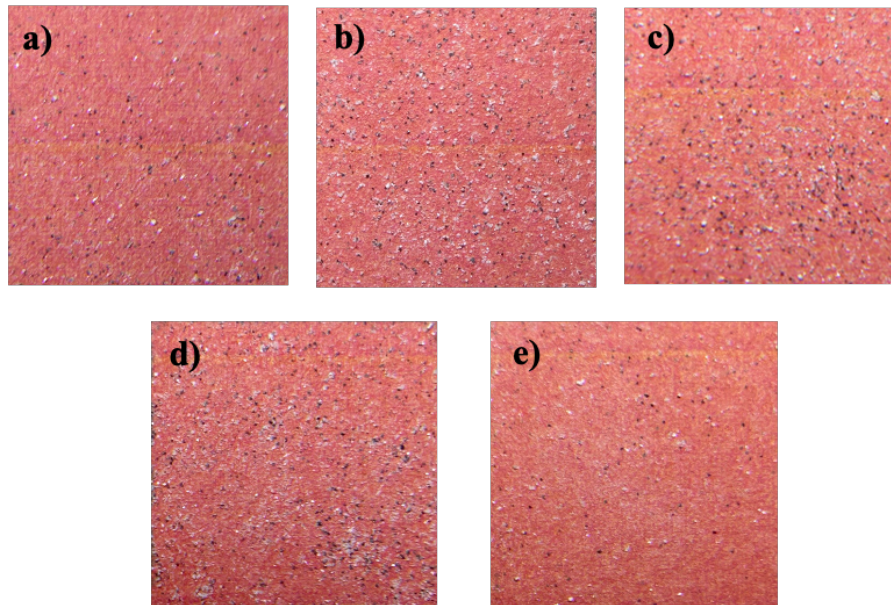
Gambar A.56 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 30 ppm di 1000 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



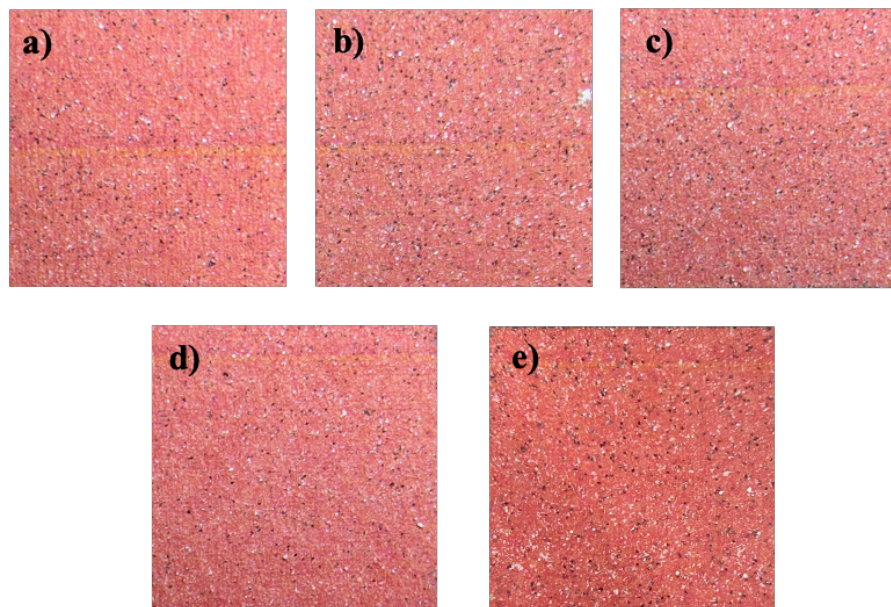
Gambar A.57 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 40 ppm di 150 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



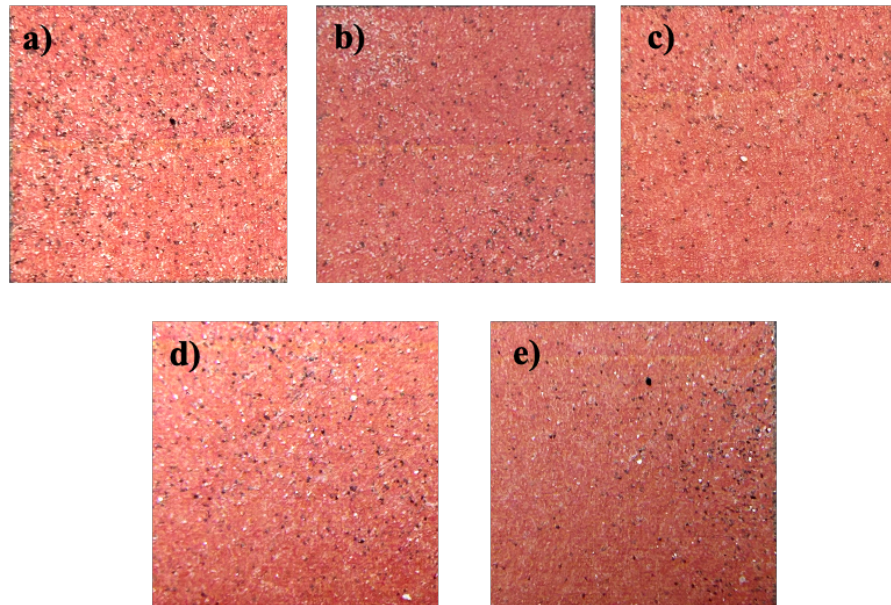
Gambar A.58 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 40 ppm di 180 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



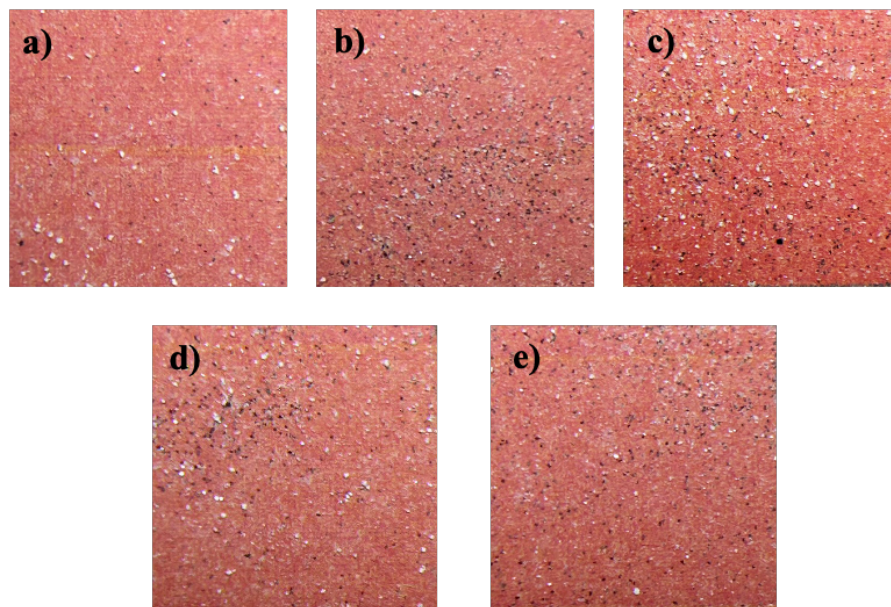
Gambar A.59 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 40 ppm di 210 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



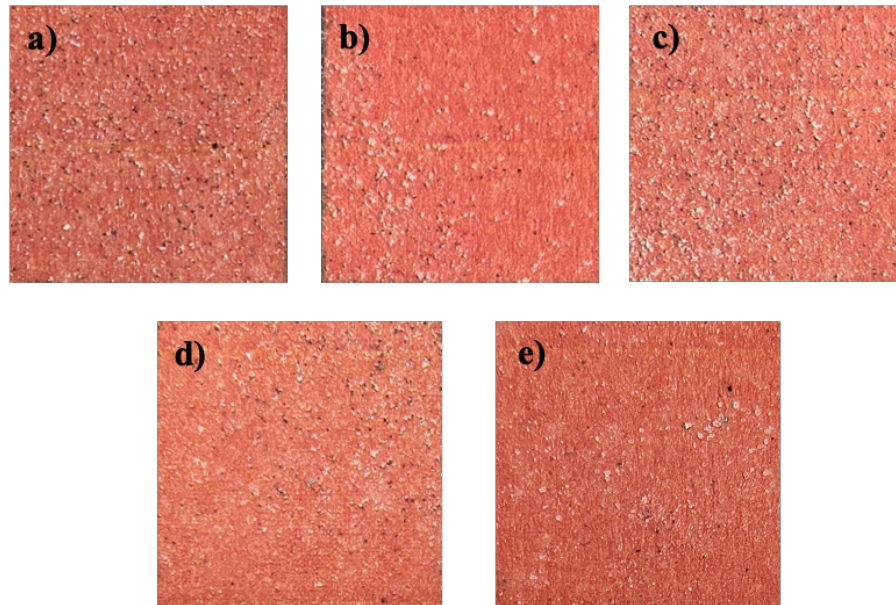
Gambar A.60 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 40 ppm di 240 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



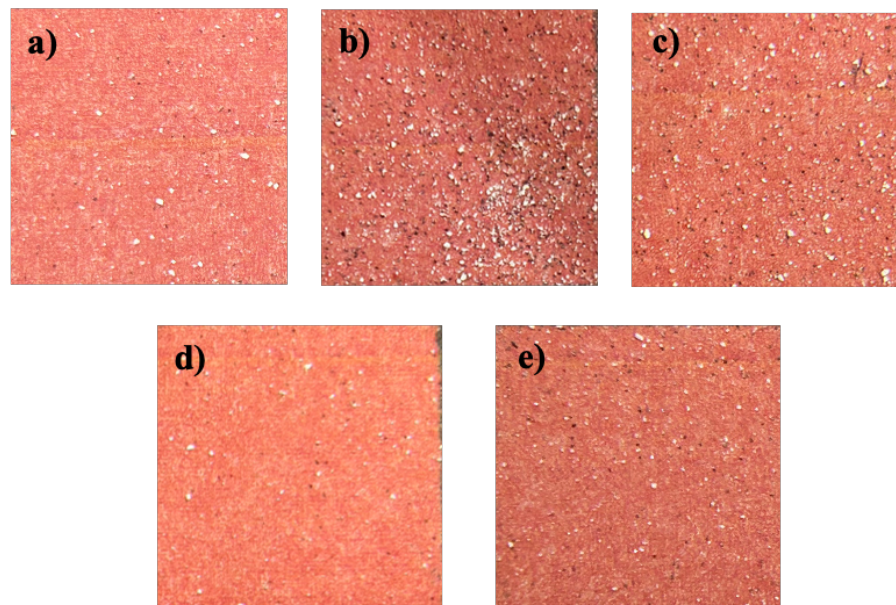
Gambar A.61 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 40 ppm di 360 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



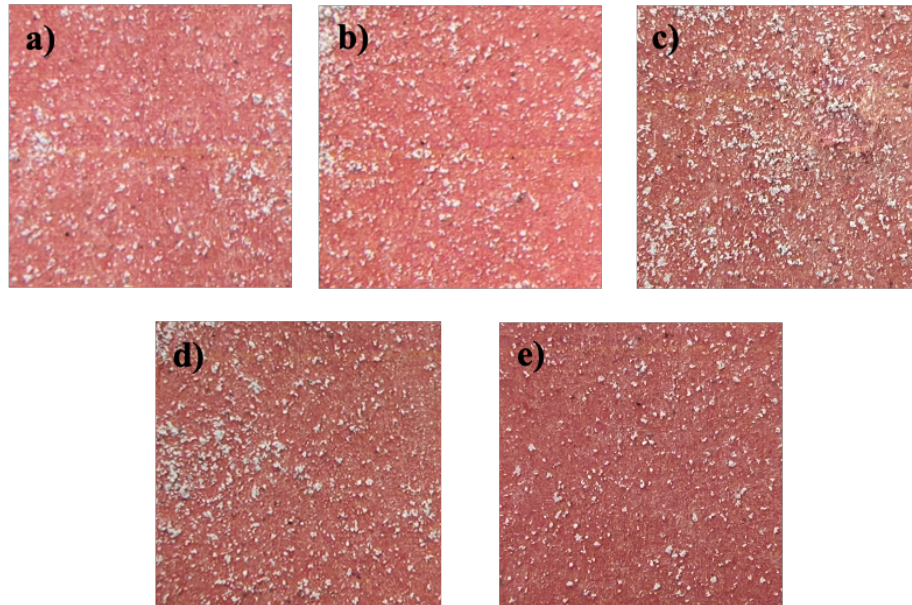
Gambar A.62 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 40 ppm di 480 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



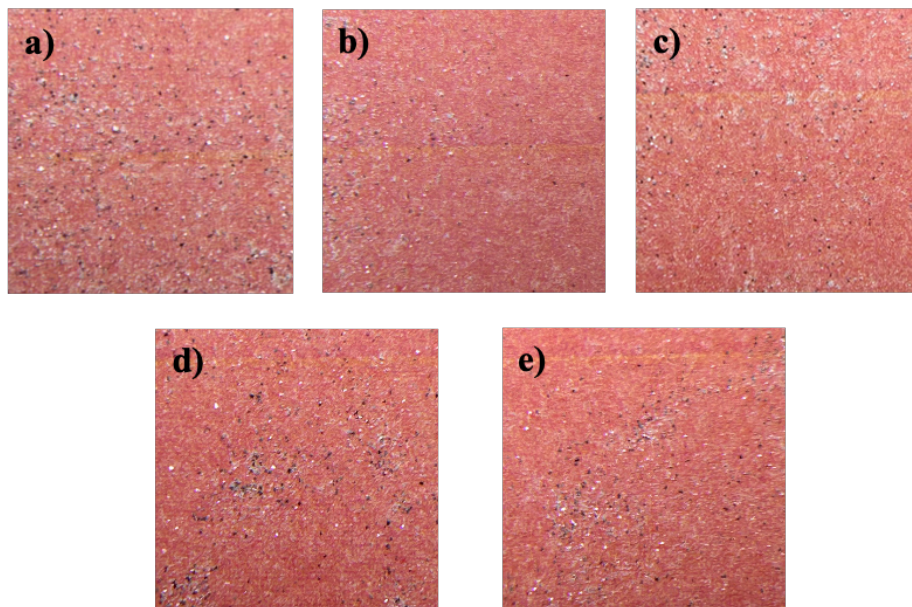
Gambar A.63 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 40 ppm di 600 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



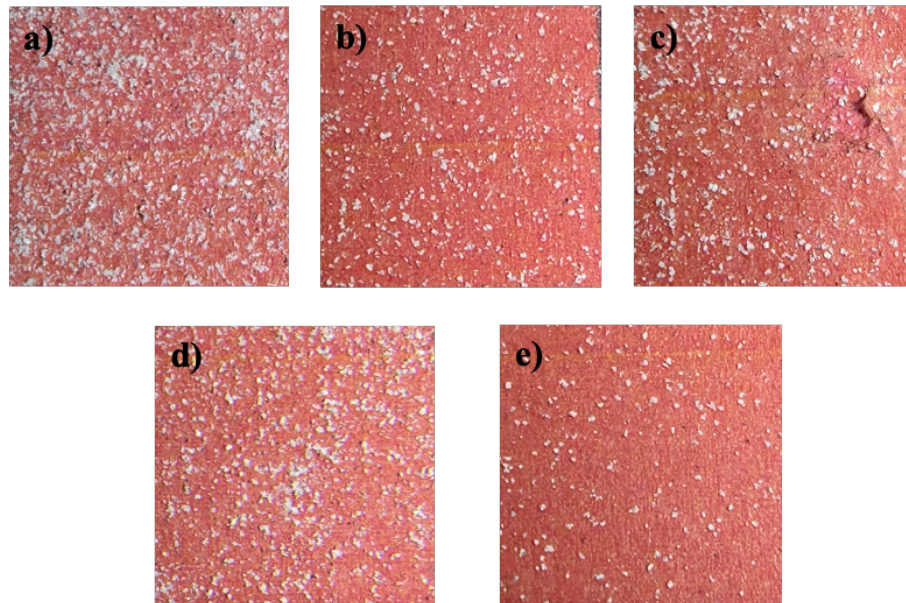
Gambar A.64 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 40 ppm di 820 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



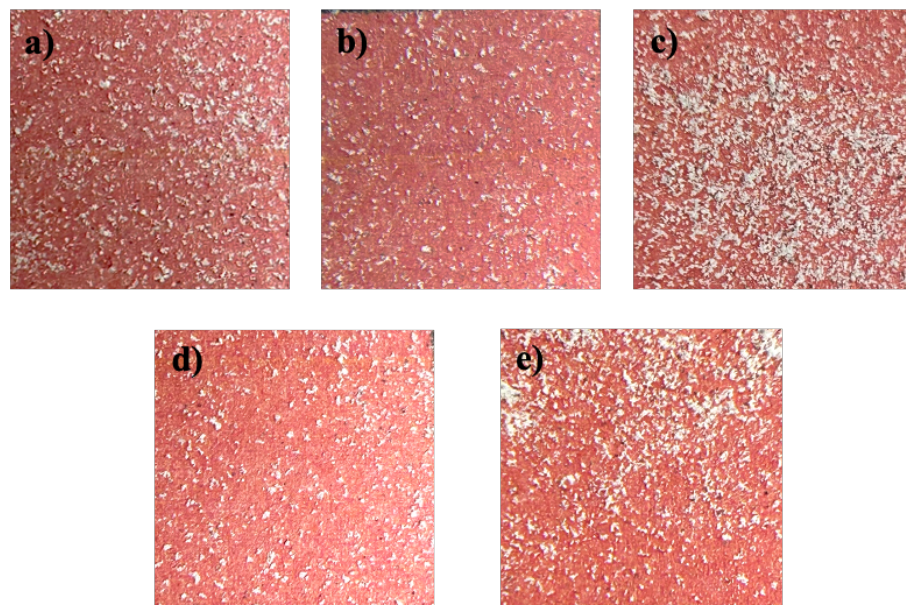
Gambar A.65 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 50 ppm di 150 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



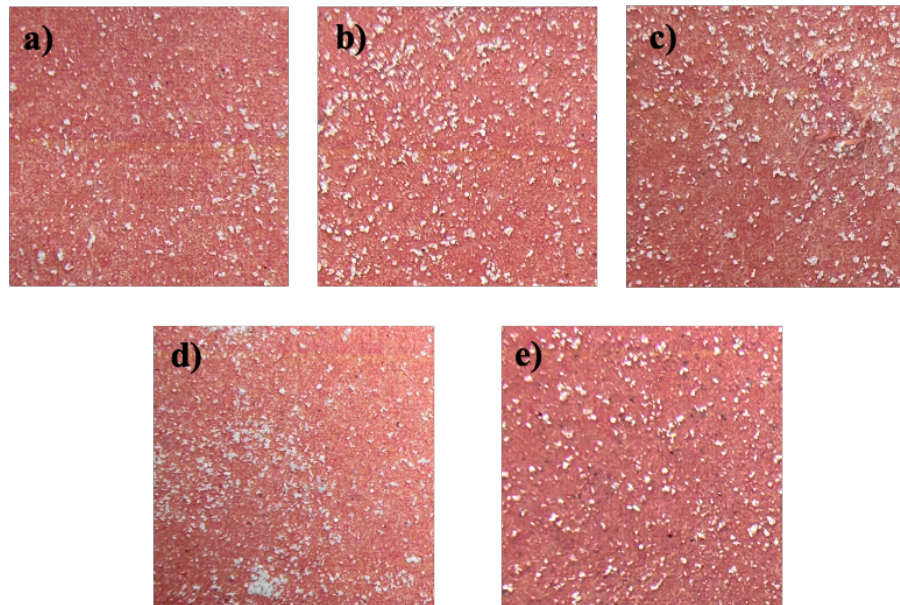
Gambar A.66 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 50 ppm di 180 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



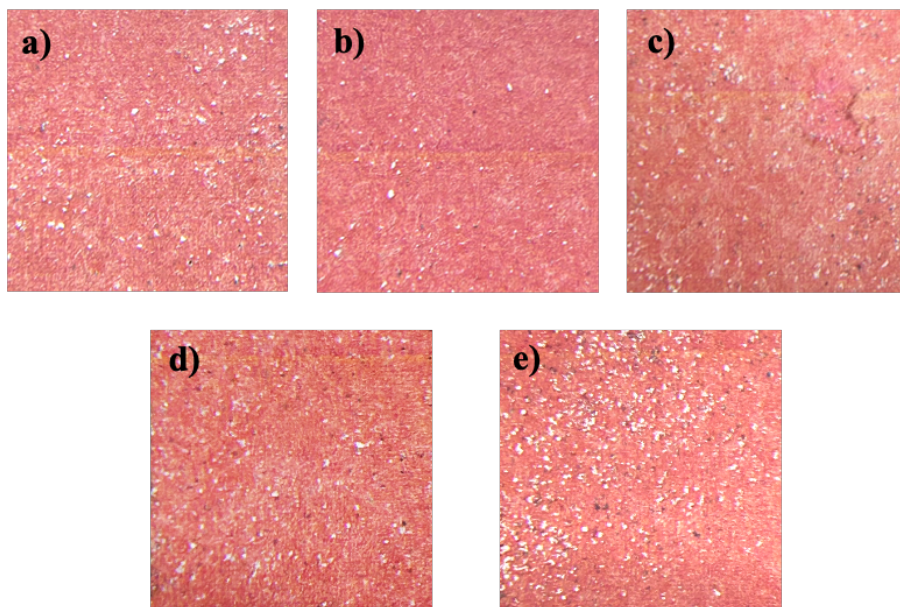
Gambar A.67 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 50 ppm di 210 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



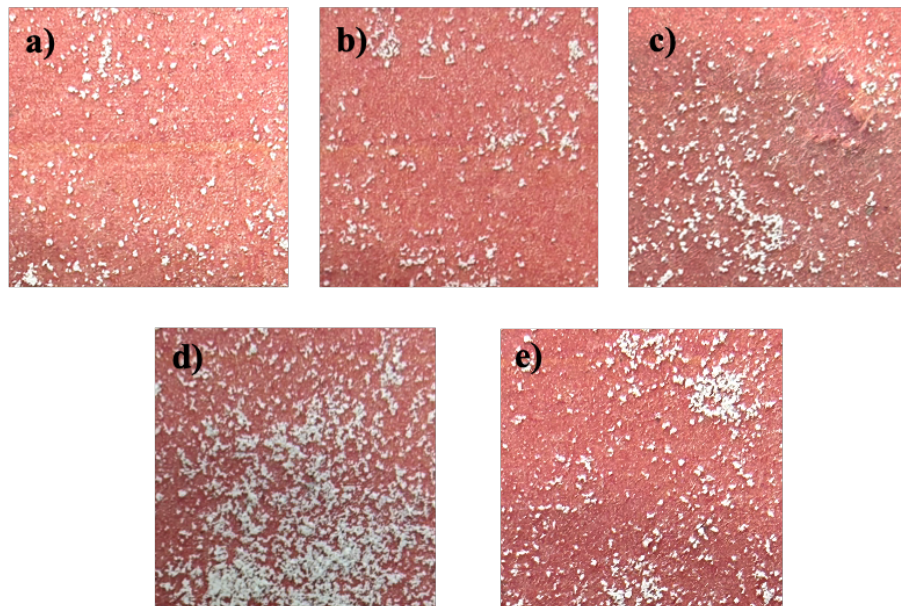
Gambar A.68 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 50 ppm di 240 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



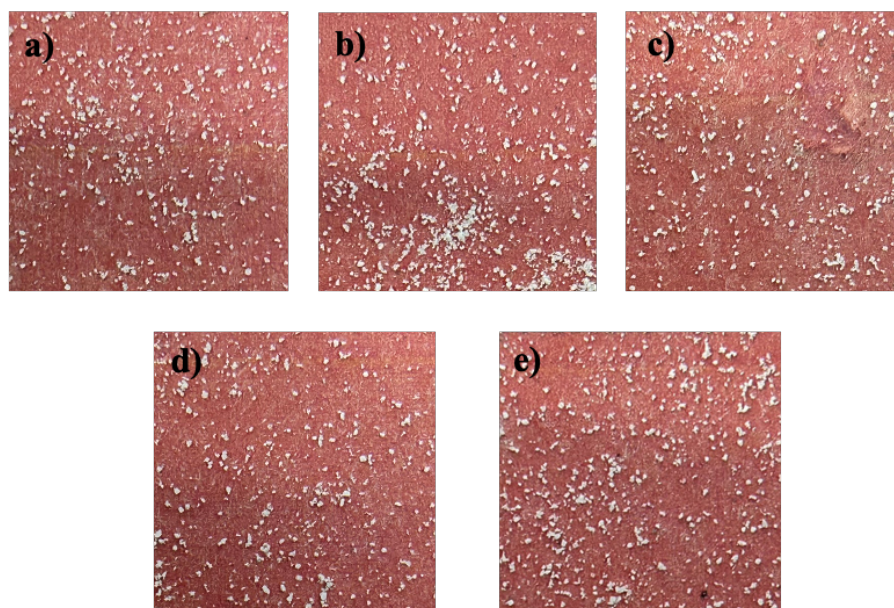
Gambar A.69 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 50 ppm di 360 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



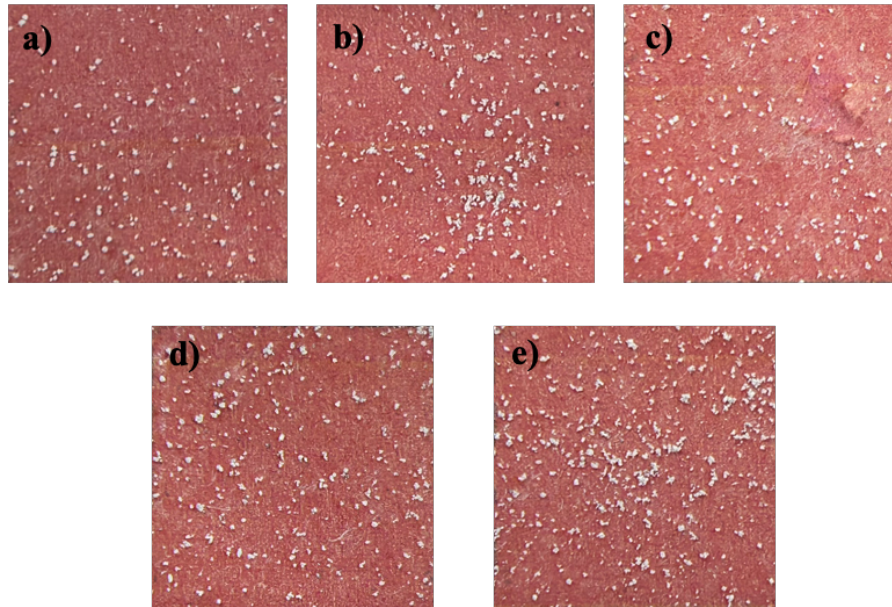
Gambar A.70 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 50 ppm di 480 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



Gambar A.71 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 50 ppm di 600 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



Gambar A.72 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 50 ppm di 840 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9



Gambar A.73 Citra *grain counting* variasi dosis *frother* 50 ppm di 1000 detik: a) kotak 1, b) kotak 3, c) kotak 5, d) kotak 7, dan e) kotak 9

LAMPIRAN B
CONTOH PERHITUNGAN

LAMPIRAN B

CONTOH PERHITUNGAN

B.1 Perhitungan Kadar *Feed*

Dalam penelitian ini, silikon karbida yang digunakan adalah 20% dari total umpan yang berjumlah 100 g. Perhitungan massa silikon karbida dan kuarsa yaitu:

$$\text{Kadar SiC} = \frac{\text{Massa SiC}}{\text{Massa Feed}} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

$$20\% = \frac{\text{Massa SiC}}{100 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$\text{Massa SiC} = \frac{20\% \times 100 \text{ gram}}{100\%} = 20 \text{ gram}$$

$$\text{Massa kuarsa} = \text{Massa feed} - \text{massa SiC} \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

$$\text{Massa kuarsa} = 100 \text{ gram} - 20 \text{ gram} = 80 \text{ gram}$$

B.2 Perhitungan Persen Solid

Persentase solid yang digunakan pada penelitian ini adalah 20 %. Jumlah massa *feed* yang digunakan 100 gram, maka air yang dibutuhkan yaitu:

$$\% \text{ solid} = \frac{\text{Massa padatan}}{\text{Massa padatan} + \text{massa air}} \times 100\% \dots\dots (\text{B.3})$$

$$20\% = \frac{100 \text{ gram}}{100 \text{ gram} + \text{massa air}} \times 100\%$$

$$100 \text{ gram} + \text{massa air} = \frac{100 \text{ gram}}{20\%} \times 100\%$$

$$100 \text{ gram} + \text{massa air} = 500 \text{ gram}$$

$$\text{Massa air} = 500 - 100 \text{ gram} = 400 \text{ gram}$$

$$\text{Massa air} = 400 \text{ gram} = 400 \text{ mL}$$

B.3 Perhitungan Dosis *Frother*

Massa campuran antara *feed* dan air yang digunakan pada penelitian ini adalah 500 gram. Variasi dosis *frother* yang digunakan adalah 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, dan 50 ppm, sehingga massa *frother* yang digunakan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Dosis ppm} = \frac{\text{Massa } \textit{frother}}{\text{Massa padatan campuran}} \times 10^6 \dots\dots\dots (\text{B.4})$$

$$20 \text{ ppm} = \frac{\text{Massa kolektor}}{500 \text{ gram}} \times 10^6$$

$$\text{Massa } \textit{frother} = \frac{10 \times 500 \text{ gram}}{10^6} = 0,01 \text{ gram}$$

Tabel B.1 Penentuan dosis *frother*

Massa Campuran (gram)	Dosis <i>Frother</i> (ppm)	Massa <i>Frother</i> (gram)
500	20	0,01
	30	0,015
	40	0,02
	50	0,025

B.4 Perhitungan Dosis Kolektor

Dosis kolektor yang digunakan pada penelitian ini adalah 40 ppm, sehingga massa kolektor yang digunakan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Dosis ppm} = \frac{\text{Massa kolektor}}{\text{Massa padatan campuran}} \times 10^6 \dots\dots\dots (\text{B.5})$$

$$40 \text{ ppm} = \frac{\text{Massa kolektor}}{500 \text{ gram}} \times 10^6$$

$$\text{Massa kolektor} = \frac{40 \times 500 \text{ gram}}{10^6} = 0,02 \text{ gram}$$

B.5 Perhitungan Kadar Konsentrat

Perhitungan kadar konsentrat dilakukan dengan mengganti massa partikel SiC dan SiO₂ menjadi massa jenis dalam rumus konsentrat. Volume keduanya dianggap sama karena berada pada fraksi ukuran yang sama. Perhitungan ini dilakukan untuk setiap waktu interval dengan persamaan:

Kadar SiC pada konsentrat =

$$\frac{\text{Jumlah partikel SiC} \times \rho \text{ SiC}}{(\text{Jumlah partikel SiC} \times \rho \text{ SiC}) + (\text{Jumlah partikel SiO}_2 \times \rho \text{ SiO}_2)} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{B.6})$$

Kadar SiO₂ pada konsentrat =

$$\frac{\text{Jumlah partikel SiO}_2 \times \rho \text{ SiO}_2}{(\text{Jumlah partikel SiC} \times \rho \text{ SiC}) + (\text{Jumlah partikel SiO}_2 \times \rho \text{ SiO}_2)} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{B.7})$$

Berikut merupakan contoh hasil dari perhitungan untuk kadar partikel variasi dosis *frother* 40 ppm di waktu 150 detik.

$$\text{Kadar SiC pada konsentrat} = \frac{171,60 \times 3,21 \text{ g/mL}}{(171,60 \times 3,21 \text{ g/mL}) + (490,40 \times 2,65 \text{ g/mL})} \times 100\%$$

$$\text{Kadar SiC pada konsentrat} = 29,77\%$$

$$\text{Kadar SiO}_2 \text{ pada konsentrat} = \frac{490,40 \times 2,65}{(171,60 \times 3,21 \text{ g/mL}) + (490,40 \times 2,65 \text{ g/mL})} \times 100\%$$

$$\text{Kadar SiO}_2 \text{ pada konsentrat} = 70,23\%$$

Tabel B.2 Kadar SiC dan SiO₂ pada variasi ukuran partikel -100+150#

Waktu (detik)	Kadar SiC (%)	Kadar SiO ₂ (%)
---------------	---------------	----------------------------

0	0	0
150	3,68	96,32
180	6,53	93,47
210	5,99	94,01
240	5,65	94,35
360	5,27	94,73
480	3,41	96,59
600	3,40	96,60
820	7,04	92,96
1000	8,70	91,30

Tabel B.3 Kadar SiC dan SiO₂ pada variasi ukuran partikel -150+200#

Waktu (detik)	Kadar SiC (%)	Kadar SiO ₂ (%)
0	0	0
150	4,67	95,33
180	7,11	92,89
210	3,34	96,66
240	8,07	91,93
360	10,21	89,79
480	11,41	88,59
600	15,31	84,69
820	7,00	93,00
1000	10,34	89,66

Tabel B.4 Kadar SiC dan SiO₂ pada variasi ukuran partikel -200+230#

Waktu (detik)	Kadar SiC (%)	Kadar SiO₂ (%)
0	0	0
150	21,33	78,67
180	15,74	84,26
210	13,98	86,02
240	19,34	80,66
360	15,67	84,33
480	9,48	90,52
600	15,76	84,24
820	10,47	89,53
1000	12,55	87,45

Tabel B.5 Kadar SiC dan SiO₂ pada variasi ukuran partikel -230#

Waktu (detik)	Kadar SiC (%)	Kadar SiO₂ (%)
0	0	0
150	15,12	84,88
180	31,06	68,94
210	14,69	85,31
240	18,74	81,26
360	16,86	83,14
480	29,76	70,24
600	3,06	96,94

820	5,69	94,31
1000	9,79	90,21

Tabel B.6 Kadar SiC dan SiO₂ pada variasi dosis *frother* 20 ppm

Waktu (detik)	Kadar SiC (%)	Kadar SiO ₂ (%)
0	0	0
150	20,88	79,12
180	36,15	63,85
210	21,66	78,34
240	23,81	76,19
360	46,59	53,41
480	21,41	78,59
600	18,37	81,63
820	19,85	80,15
1000	19,46	80,54

Tabel B.7 Kadar SiC dan SiO₂ pada variasi dosis *frother* 30 ppm

Waktu (detik)	Kadar SiC (%)	Kadar SiO ₂ (%)
0	0	0
150	30,40	69,60
180	29,75	70,25
210	30,71	69,29
240	31,68	68,32

360	23,16	76,84
480	40,47	59,53
600	44,57	55,43
820	25,99	74,01
1000	16,71	83,29

Tabel B.8 Kadar SiC dan SiO₂ pada variasi dosis *frother* 40 ppm

Waktu (detik)	Kadar SiC (%)	Kadar SiO ₂ (%)
0	0	0
150	29,77	70,23
180	23,04	76,96
210	44,34	55,66
240	28,80	71,20
360	36,96	63,04
480	34,83	65,17
600	25,61	74,39
820	39,73	60,27
1000	0,00	0,00

Tabel B.9 Kadar SiC dan SiO₂ pada variasi dosis *frother* 50 ppm

Waktu (detik)	Kadar SiC (%)	Kadar SiO ₂ (%)
0	0	0
150	15,12	84,88

180	31,06	68,94
210	14,69	85,31
240	18,74	81,26
360	16,86	83,14
480	29,76	70,24
600	3,06	96,94
820	5,69	94,31
1000	9,79	90,21

B.6 Perhitungan *Recovery* dan Kumulatif *Recovery*

Perhitungan *recovery* dan kumulatif *recovery* dilakukan setelah massa dan kadar dari silikon karbida pada konsentrat diketahui. Untuk menghitung *recovery*, menggunakan Persamaan B.8, dan untuk menghitung kumulatif *recovery* menggunakan Persamaan B.9 berikut:

$$\% Recovery = \frac{\text{Kadar SiC} \times \text{Massa konsentrat}}{\text{Kadar feed} \times \text{Massa feed}} \times 100\% \dots\dots\dots (B.8)$$

$$\% \text{Kumulatif recovery} = \% recovery + \% recovery \text{ sebelumnya} \dots\dots\dots (B.9)$$

Berikut merupakan contoh hasil dari perhitungan *recovery* untuk kadar partikel variasi dosis *frother* 40 ppm di waktu 150 detik.

$$\% Recovery = \frac{29,77 \% \times 36,54 \text{ gram}}{20 \% \times 100 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$\% Recovery = 54,39\%$$

Tabel B.10 *Recovery* dan Kumulatif *Recovery* Variasi Ukuran Partikel -100+150#

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	<i>Kumulatif Recovery</i> (%)
0	0	0
150	1,142	1
180	0,245	1
210	0,183	2
240	0,110	2
360	0,295	2
480	0,083	2
600	0,020	2
820	0,056	2
1000	0,035	2,17

Tabel B.11 *Recovery* dan Kumulatif *Recovery* Variasi Ukuran Partikel -150+200#

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	<i>Kumulatif Recovery</i> (%)
0	0	0
150	0,292	0,29
180	0,494	0,79
210	0,082	0,87
240	0,303	1,17
360	0,449	1,62
480	0,200	1,82
600	0,268	2,09

820	0,151	2,24
1000	0,114	2,35

Tabel B.12 *Recovery* dan Kumulatif *Recovery* Variasi Ukuran Partikel -200+230#

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	<i>Kumulatif Recovery</i> (%)
0	0	0
150	0,906	0,91
180	0,874	1,78
210	0,426	2,21
240	1,624	3,83
360	3,118	6,95
480	0,493	7,44
600	1,056	8,50
820	0,136	8,63
1000	0,295	8,93

Tabel B.13 *Recovery* dan Kumulatif *Recovery* Variasi Ukuran Partikel -230#

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	<i>Kumulatif Recovery</i> (%)
0	0	0
150	11,44	11,44
180	7,41	18,85
210	6,32	25,16
240	5,27	30,44

360	0,55	30,98
480	0,06	31,04
600	0,01	31,06
820	0,17	31,22
1000	0,05	31,28

Tabel B.14 *Recovery* dan *Kumulatif Recovery* Variasi Dosis *Frother* 20 ppm

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	<i>Kumulatif Recovery</i> (%)
0	0	0
150	4,39	4,39
180	1,68	6,07
210	1,78	7,84
240	2,05	9,89
360	10,93	20,81
480	1,06	21,87
600	0,32	22,20
820	0,41	22,60
1000	0,11	22,71

Tabel B.15 *Recovery* dan *Kumulatif Recovery* Variasi Dosis *Frother* 30 ppm

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	<i>Kumulatif Recovery</i> (%)
0	0	0
150	28,86	28,86

180	6,08	34,95
210	3,49	38,43
240	4,74	43,17
360	12,84	56,01
480	7,43	63,44
600	1,94	65,38
820	0,39	65,77
1000	0,49	66,26

Tabel B.16 *Recovery* dan Kumulatif *Recovery* Variasi Dosis *Frother* 40 ppm

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	<i>Kumulatif Recovery</i> (%)
0	0	0
150	54,39	54,39
180	10,75	65,13
210	5,99	71,12
240	5,17	76,29
360	1,81	78,10
480	1,38	79,48
600	0,54	80,02
820	0,24	80,25
1000	0	22,71

Tabel B.17 *Recovery* dan Kumulatif *Recovery* Variasi Dosis *Frother* 50 ppm

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	<i>Kumulatif Recovery</i> (%)
0	0	0
150	11,44	11,44
180	7,41	18,85
210	6,32	25,16
240	5,27	30,44
360	0,55	30,98
480	0,06	31,04
600	0,01	31,06
820	0,17	31,22
1000	0,05	31,28

LAMPIRAN C
ANALISIS *GRAIN COUNTING*

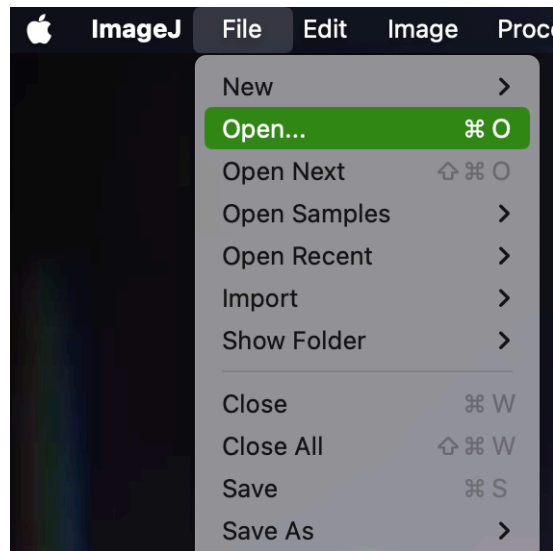
LAMPIRAN C

GRAIN COUNTING

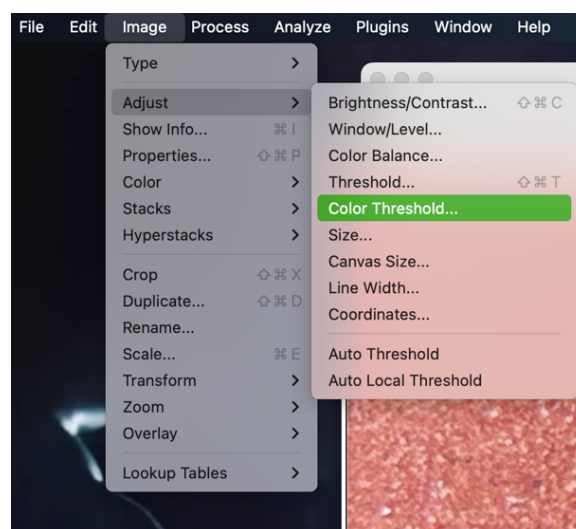
C.1 Analisis *Grain Counting* Menggunakan ImageJ 1.53t

Untuk menghitung jumlah partikel pada sampel konsentrat di setiap kotak selama proses *grain counting*, digunakan *software* ImageJ 1.53t. Proses ini dilakukan melalui beberapa tahap. Tahap pertama adalah membuka ImageJ 1.53t, lalu memilih menu “File” > “Open” untuk membuka citra yang akan dianalisis (Gambar C.1). Selanjutnya, pilih menu “Image” > “Adjust” > “Color Threshold...” untuk mengatur parameter seperti *Hue*, *Saturation*, dan *Brightness* sesuai dengan karakteristik warna atau tingkat kecerahan partikel yang akan dihitung (Gambar C.2). Setelah itu, pilih menu “Process” > “Binary” > “Make Binary” untuk mengubah citra menjadi hitam-putih tanpa warna abu-abu atau warna lainnya (Gambar C.3). Hal ini bertujuan agar objek utama (putih) dan latar belakang (hitam) terlihat jelas perbedaannya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar C.4. Tahapan setelah itu dilakukan pada menu “Binary” dengan opsi yang berbeda. Yang pertama, pilih “Convert to Mask” untuk menyorot atau menandai area yang difokuskan (Gambar C.5), ke dua pilih “Fill Holes” untuk mengisi area yang kosong atau lubang-lubang kecil (Gambar C.6), dan yang terakhir adalah menu “Watershed” yang berguna untuk memisahkan objek atau partikel yang terdeteksi saling menempel (Gambar C.7). Pilih menu “Analyze” > “Analyze Particles...” untuk menganalisis jumlah partikel pada citra. Atur opsi “Show” dari “Nothing” ke

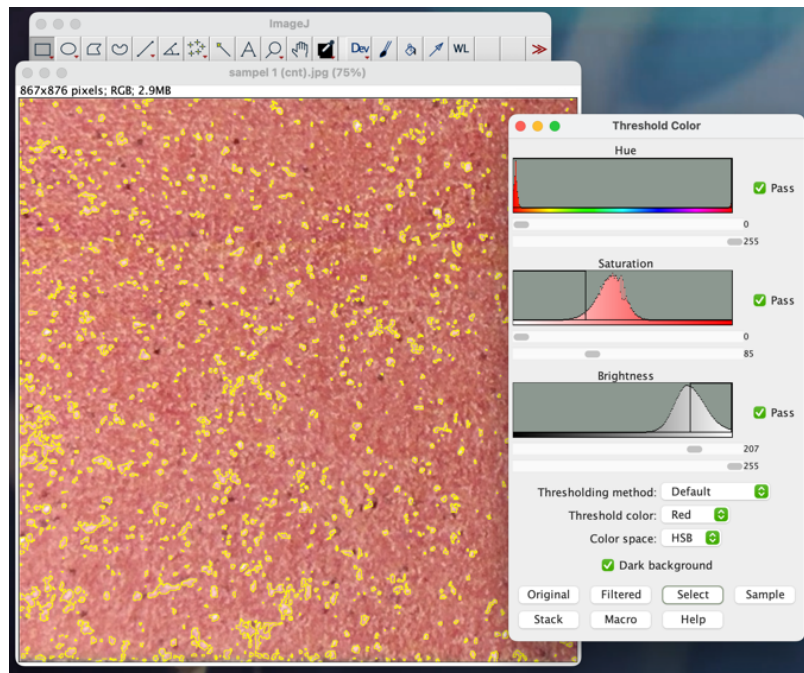
“Overlay Masks” agar *mask* hasil analisis biner (pada menu “Binary”) sebelumnya dapat ditampilkan. Pengaturan ini membantu memvisualisasikan objek yang telah dihitung atau dianalisis oleh ImageJ (Gambar C.8 dan C.9). Hasil analisis (Gambar C.10) akan menampilkan jumlah partikel yang dihitung dalam bentuk angka.



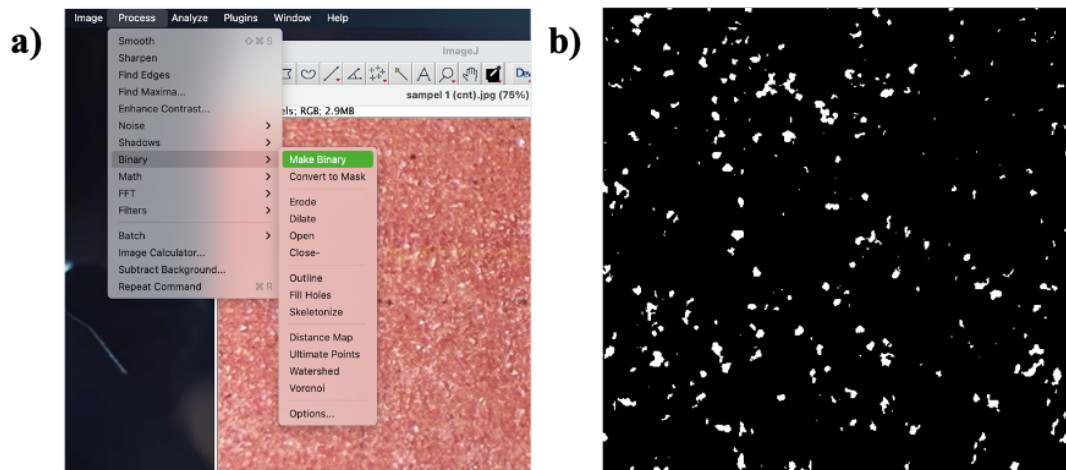
Gambar C.1 Menu “Open” pada “File” Untuk Membuka Citra



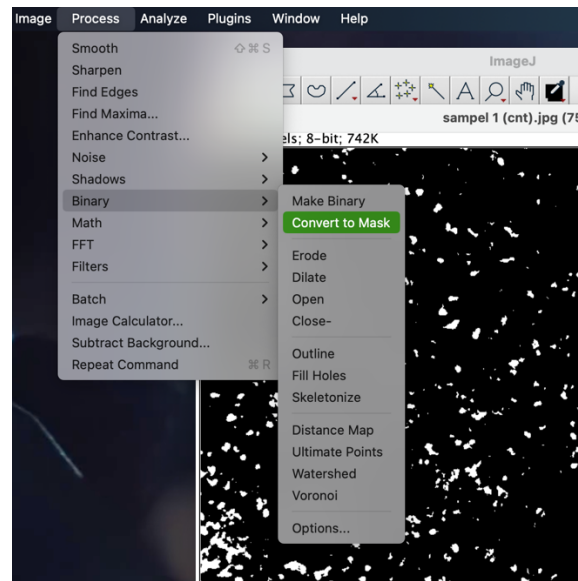
Gambar C.2 Menu “Color Threshold...” pada “Adjust”



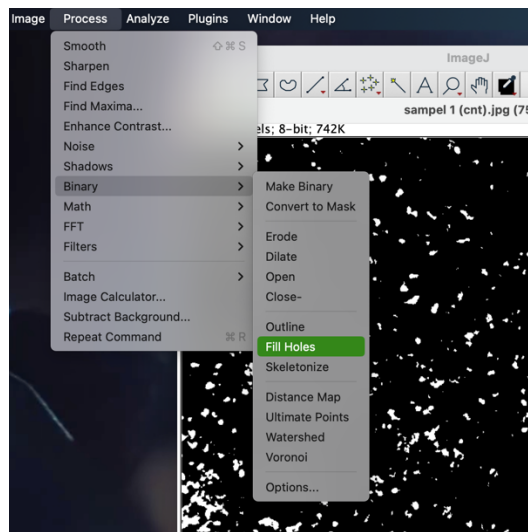
Gambar C.3 Pengaturan “Threshold Color”



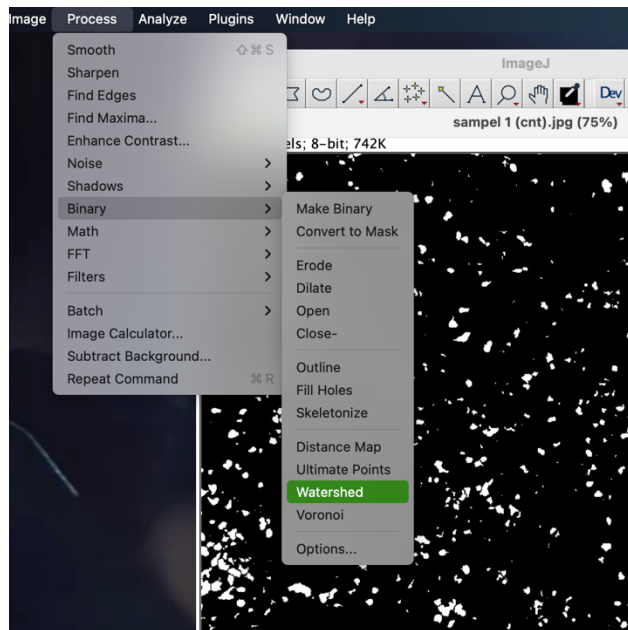
Gambar C.4 a) Menu “Make Binary” pada “Binary”, b) Hasil dari “Make Binary”



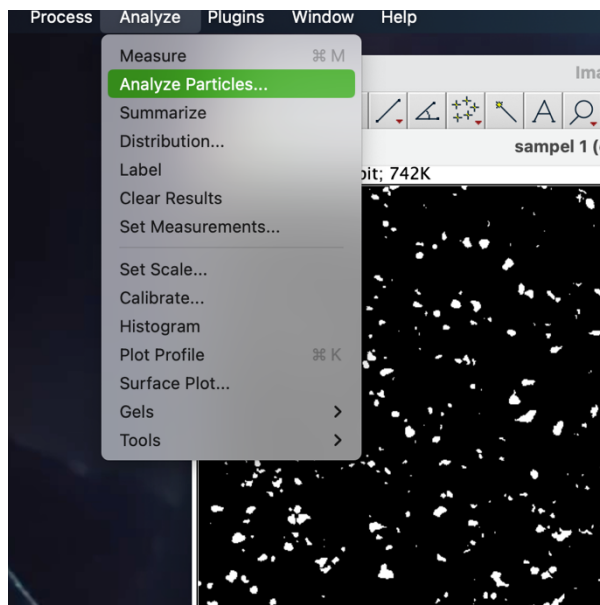
Gambar C.5 Menu “Convert to Mask” pada “Binary”



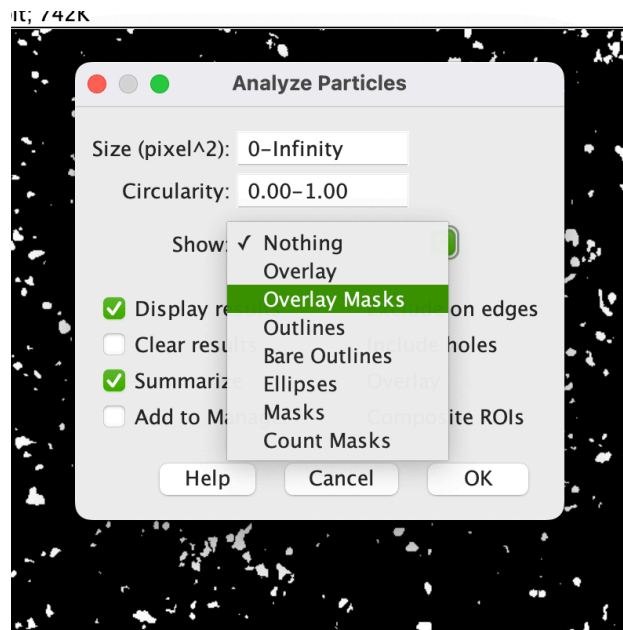
Gambar C.6 Menu “Fill Holes” pada “Binary”



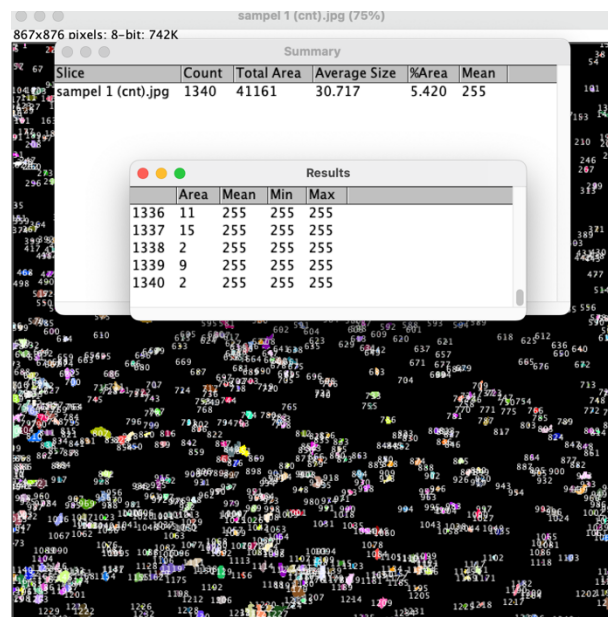
Gambar C.7 Menu “Watershed” pada “Binary”



Gambar C.8 Menu “Analyze Particles...” pada “Analyze”



Gambar C.9 Pengaturan pada “Analyze Particles”



Gambar C.10 Hasil Akhir Analisis *Grain Counting* dengan ImageJ

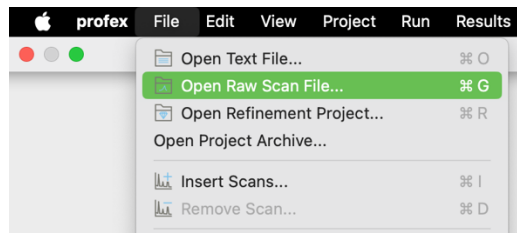
LAMPIRAN D
ANALISIS POLA XRD

LAMPIRAN D

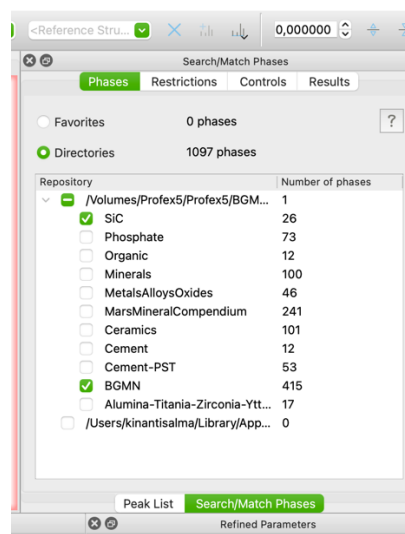
ANALISIS POLA XRD

D.1 Analisis Pola XRD Menggunakan Profex 5.2.5

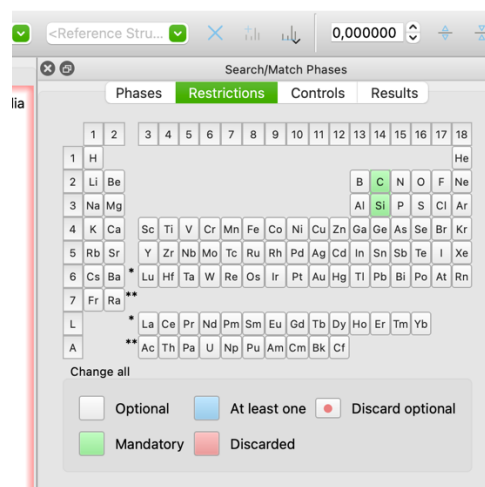
Setelah mendapat pola difraksi XRD sampel SiC, analisis dilakukan menggunakan *software* Profex 5.2.5. Pertama, buka *raw file* pola XRD di Profex dengan memilih menu “File” > “Open Raw Scan File ...” dan pilih file pola XRD yang akan dianalisis (Gambar D.1). Pada kolom “Search/Match Phases”, terdapat menu “Phases”, lalu pilih SiC dan BGM untuk mengklasifikasikan puncak-puncak dengan data base nya (Gambar D.2). Selanjutnya pada menu “Restrictions”, pilih Si dan C sebagai pembatas jenis unsur yang akan dianalisis (Gambar D.3). Lalu pada “Controls” instrument yang dipilih disesuaikan dengan konfigurasi pengujian XRD (Gambar D.4). Setelah itu, pilih menu “Run” > “Run Search-Match” untuk mulai menganalisis. Setelah proses selesai, tampilan Profex akan seperti pada Gambar D.5. Proses Search-Match diulang dengan menandai fasa yang memiliki nilai FoM tertinggi menggunakan tanda panah ke bawah pada kolom “Result”. Proses ini berlanjut hingga fasa yang ditampilkan menunjukkan kecocokan yang rendah dengan database, ditandai dengan nilai FoM yang tidak lagi berwarna hijau (Gambar D.6). Terakhir merupakan “Refinement” dengan memilih menu “Add/remove phase” untuk mendapat hasil seperti Gambar D.7 dan tabel dari *chemical compositions* nya.



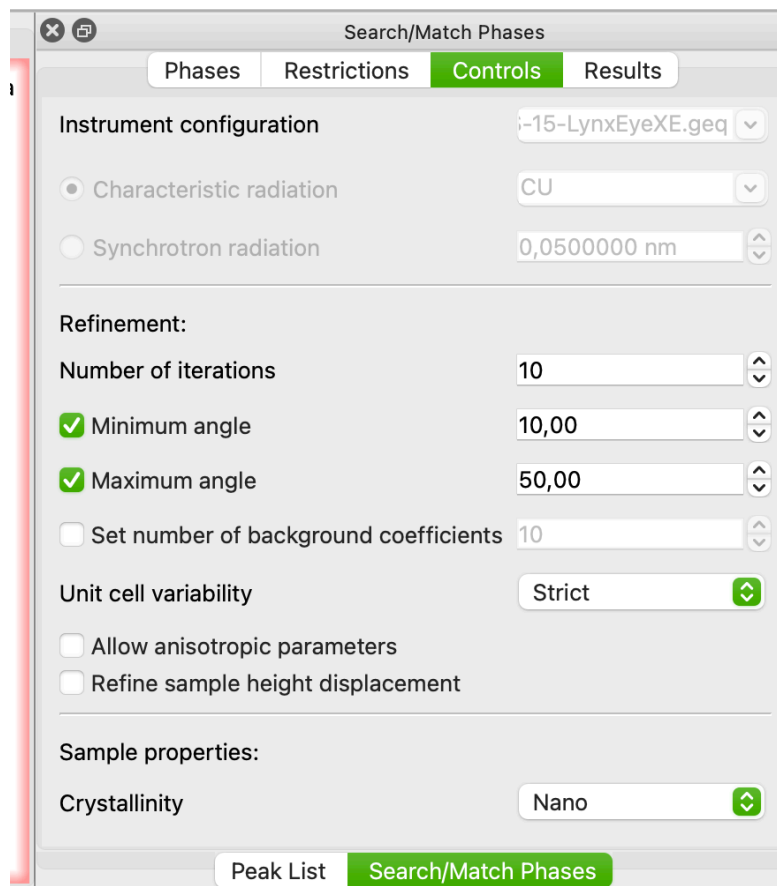
Gambar D.1 Menu “Open Raw Scan File...” pada “File”



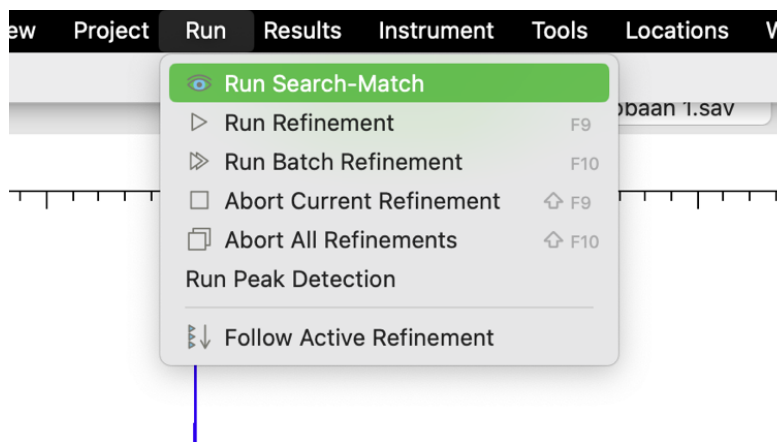
Gambar D.2 “Phases” pada Kolom “Search/Match Phases”



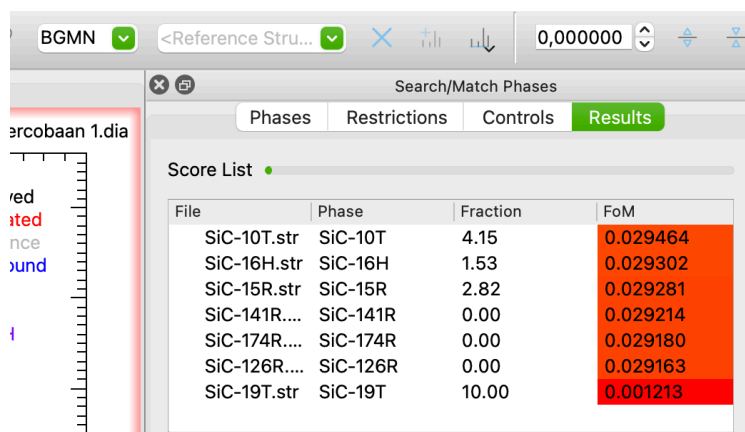
Gambar D.3 “Restrictions” pada Kolom “Search/Match Phases”



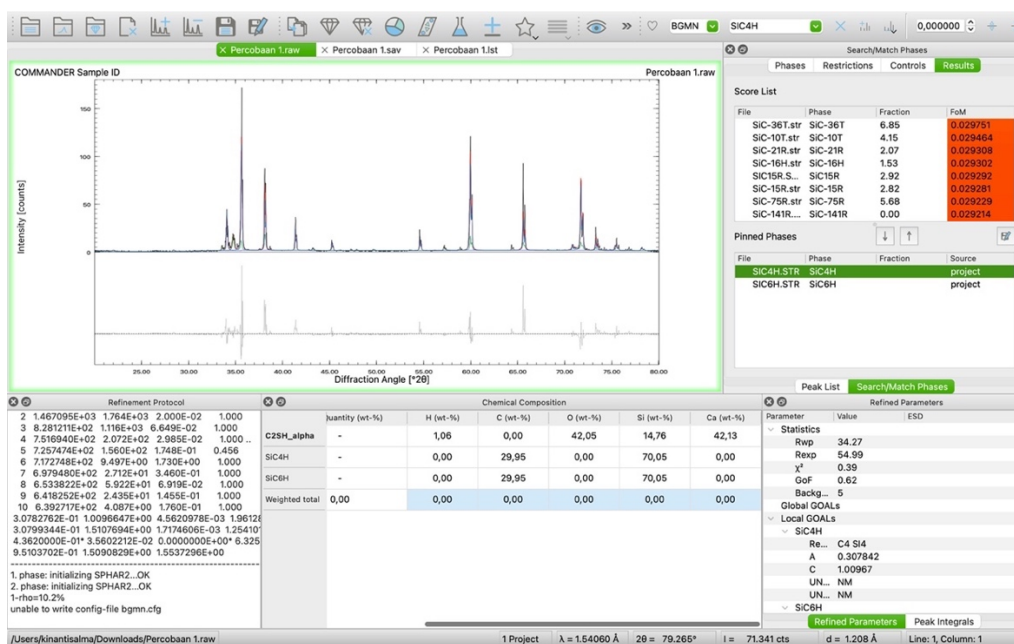
Gambar D.4 “Controls” pada Kolom “Search/Match Phases”



Gambar D.5 Menu “Run Search-Match” pada “Run”



Gambar D.6 “Results” pada kolom “Search/Match Phases”



Gambar D.7 Hasil Akhir dari Analisis Pola XRD

LAMPIRAN E
GAMBAR ALAT DAN BAHAN

LAMPIRAN E
GAMBAR ALAT DAN BAHAN

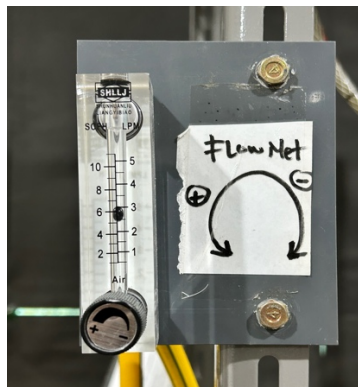
E.1 Gambar Alat



Gambar E.1 *Chopper*



Gambar E.2 Ember



Gambar E.3 *Flowmeter*



Gambar E.4 Gelas kimia 500 mL



Gambar E.5 Kapasitometer



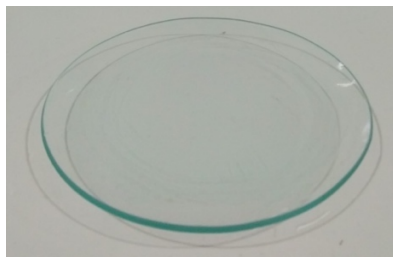
Gambar E.6 Kolom flotasi



Gambar E.7 Kompresor udara



Gambar E.8 Kabel konektor



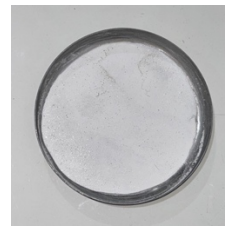
Gambar E.9 Kaca arloji



Gambar E.10 Kaca pembesar



Gambar E.11 *Hand mixer*



Gambar E.12 Nampan Logam



Gambar E.13 Neraca digital



Gambar E.14 *Oven*



Gambar E.15 Screen 100#, 150#,
200#, dan 2230#



Gambar E.16 Stabilizer

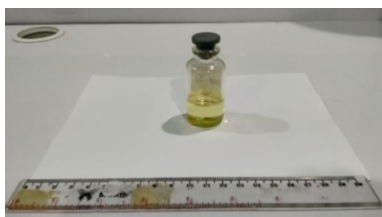


Gambar E.17 Termometer digital

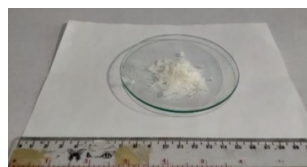


Gambar E.18 Water sprayer

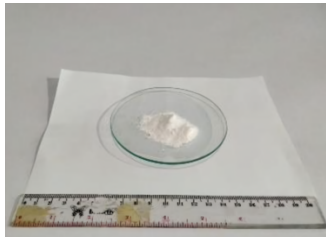
E.2 Gambar Bahan



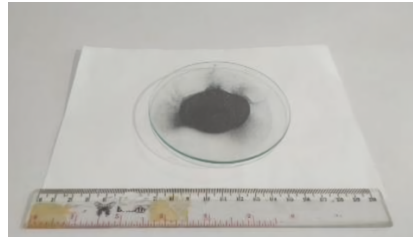
Gambar E.19 Frother pine oil



Gambar E.20 Kolektor *Methyl ester*
sulfonate



Gambar E.21 Kuarsa (SiO₂)



Gambar E.22 SiC