

***MONITORING* PROSES FLOTASI KOLOM MENGGUNAKAN
SINYAL KAPASITANSI PADA PIRIT DENGAN
VARIASI DOSIS KOLEKTOR DAN
PERSEN SOLID**

SKRIPSI

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



Oleh:

Naura Kamila Setiyohadi
3334200093

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

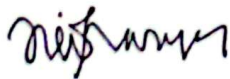
**MONITORING PROSES FLOTASI KOLOM MENGGUNAKAN
SINYAL KAPASITANSI PADA PIRIT DENGAN
VARIASI DOSIS KOLEKTOR DAN
PERSEN SOLID**

SKRIPSI

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

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Dr. Didied Haryono, ST., MT.
NIP. 196705302002121001

Pembimbing II



Bening Nurul Hidayah Kambuna, ST., MT.
NIP. 199008292020122013

LEMBAR PERSETUJUAN

**MONITORING PROSES FLOTASI KOLOM MENGGUNAKAN
SINYAL KAPASITANSI PADA PIRIT DENGAN
VARIASI DOSIS KOLEKTOR DAN
PERSEN SOLID**

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Naura Kamila Setiyohadi

3334200093

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal **13 Januari 2025**

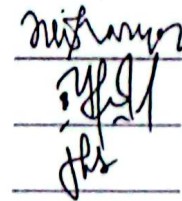
Susunan Dewan Penguji

Tanda Tangan

Penguji I : Dr. Didied Haryono, ST., MT.

Penguji II : Bening Nurul Hidayah Kambuna, ST., MT.

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 menyatakan sebagai penulis skripsi berikut:

Judul : *Monitoring* Proses Flotasi Kolom Menggunakan Sinyal
Kapasitansi pada Pirit dengan Variasi Dosis Kolektor dan
Persen Solid
Nama Mahasiswa : Naura Kamila Setiyohadi
NIM : 3334200093
Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian 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 ini.

Cilegon, Desember 2024



Naura Kamila Setiyohadi
NIM. 3334200093

ABSTRAK

Flotasi merupakan proses pemisahan mineral berharga dengan pengotornya berdasarkan perbedaan sifat permukaan partikel. Performa flotasi kolom biasanya dinyatakan dalam nilai *recovery*. Proses flotasi terdiri dari *rougher* dan *cleaner*; flotasi kolom merupakan salah satu jenis dari flotasi *cleaner*. Teknologi *machine vision* umum digunakan untuk memonitor proses flotasi ini, namun memiliki keterbatasan, karena hanya mengamati fenomena yang terjadi pada permukaan saja (sumbu x dan y), sementara proses utama pemisahan terjadi di *collection zone* atau pada sumbu-z. Penelitian ini bertujuan untuk memantau proses flotasi kolom pada mineral pirit menggunakan sensor kapasitif yang diletakkan pada *collection zone* dengan variasi dosis kolektor dan persen solid. Hasil pantauan ini diharapkan dapat menghitung nilai *recovery* secara *real time*. Sensor kapasitif digunakan untuk mengukur sinyal kapasitansi, yang berkorelasi dengan interaksi partikel mineral dan gelembung udara dalam zona koleksi kolom flotasi. Variasi parameter proses meliputi dosis kolektor potassium amyl xanthate (20, 30, 40, dan 50 ppm) serta persen solid (10%, 15%, 20%, dan 25%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan dosis kolektor mampu meningkatkan *recovery* hingga mencapai nilai optimal sebesar 77,06% pada dosis kolektor 50 ppm yang diikuti dengan nilai kapasitansi sebesar 9,197 pF. Penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kapasitansi yang dihasilkan mempunyai hubungan linear dengan *recovery* yang dihasilkan.

Kata kunci: Flotasi Kolom, Pirit, Sensor Kapasitif, *Recovery*, Kolektor, Persen Solid.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul "*Monitoring* Proses Flotasi Kolom Menggunakan Sinyal Kapasitansi pada Pirit dengan Variasi Dosis Kolektor dan Persen Solid". Skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat kelulusan pada program sarjana di Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis menyadari proses pengerjaan skripsi ini banyak dibantu oleh beberapa pihak, maka dari itu penulis mengucapkan rasa terimakasih rasa terima kasih dengan tulus kepada:

1. Bapak Abdul Aziz., S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Ibu Andinnie Juniarsih, S.T., M.T. selaku Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
3. Bapak Dr. Didied Haryono, S.T., M.T. selaku pembimbing I dan Ibu Bening Kambuna Nurul Hidayah, S.T., M.T. selaku pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktunya, memberikan bimbingan dan masukan sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.
4. Kedua orang tua penulis, Nurkholied Setiyohadi dan Yuliasari yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan selama penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, sehingga kritik dan saran akan penulis nantikan. Besar harapan penulis dengan menyusun skripsi ini untuk menjadi sebuah acuan penelitian dan bermanfaat bagi pembacanya. Atas perhatiaanya, diucapkan terima kasih.

Cilegon, Desember 2024

Naura Kamila Setiyohadi

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Flotasi.....	8
2.2 Flotasi Kolom.....	9
2.3 Reagen Flotasi.....	12
2.3.1 Kolektor	12
2.3.2 <i>Frother</i>	16
2.4 Persen Solid.....	16
2.5 Performa Metalurgi	17
2.6 Sensor Kapasitif	18
2.7 Grain Counting.....	20
BAB III METODE PENELITIAN	23

3.1 Diagram Alir Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan	24
3.2.1 Alat-alat yang Digunakan	24
3.2.2 Bahan-bahan yang Digunakan	25
3.3 Prosedur Penelitian	25
3.3.1 Tahap Preparasi Sampel.....	25
3.3.2 Persiapan Sensor Kapasitansi	28
3.3.3 Persiapan Proses Flotasi	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Percobaan Pendahuluan	31
4.1.1 Pengaruh Ukuran Partikel terhadap <i>Recovery</i>	31
4.2 Pengaruh Dosis Kolektor terhadap Performa Metalurgi.....	32
4.3 Pengaruh Persen Solid terhadap Performa Metalurgi	36
4.4 Hubungan antara Performa Metalurgi dengan Sinyal Kapasitansi	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN A.....	56
LAMPIRAN B	116
LAMPIRAN C.....	139
LAMPIRAN D.....	147

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel A.1 Massa Konsentrat dan <i>Tailing</i> Variasi Dosis Kolektor 20 ppm	57
Tabel A. 2 Massa Konsentrat dan <i>Tailing</i> Variasi Dosis Kolektor 30 ppm	57
Tabel A. 3 Massa Konsentrat dan <i>Tailing</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm	58
Tabel A. 4 Massa Konsentrat dan <i>Tailing</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm	59
Tabel A. 5 Massa Konsentrat dan <i>Tailing</i> Variasi Persen Solid 10%	59
Tabel A. 6 Massa Konsentrat dan <i>Tailing</i> Variasi Persen Solid 15%	60
Tabel A. 7 Massa Konsentrat dan <i>Tailing</i> Variasi Persen Solid 20%	61
Tabel A. 8 Massa Konsentrat dan <i>Tailing</i> Variasi Persen Solid 25%	61
Tabel A. 9 <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 20 ppm	62
Tabel A. 10 <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 30 ppm	63
Tabel A. 11 <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm	65
Tabel A. 12 <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm	66
Tabel A. 13 <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 10%	68
Tabel A. 14 <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15%	69
Tabel A. 15 <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 20%	71
Tabel A. 16 <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 25%	72
Tabel A. 17 Data Kapasitometer Variasi Dosis Kolektor 20 ppm	74
Tabel A. 19 Data Kapasitometer Variasi Dosis Kolektor 40 ppm	76
Tabel A. 20 Data Kapasitometer Variasi Dosis Kolektor 50 ppm	77
Tabel A. 21 Data Kapasitometer Variasi Persen Solid 10%	78
Tabel A. 22 Data Kapasitometer Variasi Persen Solid 15%	79

Tabel A. 23 Data Kapasitometer Variasi Persen Solid 20%.....	80
Tabel A. 24 Data Kapasitometer Variasi Persen Solid 25%.....	81
Tabel B. 1 Penentuan Dosis Kolektor.....	118
Tabel B.2 Kadar FeS_2 pada Variasi Dosis Kolektor 20 ppm.....	119
Tabel B.3 Kadar FeS_2 pada Variasi Dosis Kolektor 30 ppm.....	120
Tabel B. 4 Kadar FeS_2 pada Variasi Dosis Kolektor 40 ppm.....	120
Tabel B. 5 Kadar FeS_2 pada Variasi Dosis Kolektor 50 ppm.....	121
Tabel B. 6 Kadar FeS_2 pada Variasi Persen Solid 10%.....	122
Tabel B. 7 Kadar FeS_2 pada Variasi Persen Solid 15%.....	123
Tabel B. 8 Kadar FeS_2 pada Variasi Persen Solid 20%.....	123
Tabel B. 9 Kadar FeS_2 pada Variasi Persen Solid 25%.....	124
Tabel B. 10 <i>Recovery</i> dan Kumulatif <i>Recovery</i> FeS_2 pada Variasi Dosis Kolektor 20 ppm.....	126
Tabel B. 11 <i>Recovery</i> dan Kumulatif <i>Recovery</i> FeS_2 pada Variasi Dosis Kolektor 30 ppm.....	126
Tabel B. 12 <i>Recovery</i> dan Kumulatif <i>Recovery</i> FeS_2 pada Variasi Dosis Kolektor 40 ppm.....	127
Tabel B. 13 <i>Recovery</i> dan Kumulatif <i>Recovery</i> FeS_2 pada Variasi Dosis Kolektor 50 ppm.....	128
Tabel B. 14 <i>Recovery</i> dan Kumulatif <i>Recovery</i> FeS_2 pada Variasi Persen Solid 10%.....	129
Tabel B. 15 <i>Recovery</i> dan Kumulatif <i>Recovery</i> FeS_2 pada Variasi Persen Solid 15%.....	129
Tabel B. 16 <i>Recovery</i> dan Kumulatif <i>Recovery</i> FeS_2 pada Variasi Persen Solid 20%.....	130
Tabel B. 17 <i>Recovery</i> dan Kumulatif <i>Recovery</i> FeS_2 pada Variasi Persen Solid 25%.....	131

Tabel B. 18 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Dosis Kolektor 20 ppm.....	132
Tabel B. 19 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Dosis Kolektor 30 ppm.....	133
Tabel B. 20 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Dosis Kolektor 40 ppm.....	133
Tabel B. 21 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Dosis Kolektor 50 ppm.....	134
Tabel B. 22 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Persen Solid 10%	135
Tabel B. 23 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Persen Solid 15%	136
Tabel B. 24 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Persen Solid 20%	137
Tabel B. 25 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Persen Solid 25%	137

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Sudut Kontak Fasa Padat, Cair, dan Udara	8
Gambar 2. 2 Flotasi Kolom	10
Gambar 2. 3 Skema Adsorpsi Molekul Kolektor pada Permukaan Mineral.....	13
Gambar 2. 4 Struktur Kolektor Xanthate.	14
Gambar 2. 5 Pengaruh Penambahan Kolektor PAX terhadap <i>Recovery</i> Proses Flotasi Pirit.	15
Gambar 2.6 Kapasitor pelat sejajar.	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar 3.2 <i>Jaw Crusher</i>	26
Gambar 3.3 <i>Ball Mill</i>	27
Gambar 3.4 Ayakan	27
Gambar 3.5 <i>Channel</i> 18 dan <i>Channel</i> 19	28
Gambar 3. 6 Rangkaian <i>Monitoring</i> Flotasi Kolom Skematis.....	29
Gambar 3. 7 Rangkaian <i>Monitoring</i> Flotasi Kolom Aktual.....	30
Gambar 4.1 Kurva Hasil Percobaan Pendahuluan Ukuran Partikel.....	32
Gambar 4.2 Kurva Kadar Rata-Rata pada Variasi Dosis Kolektor.....	33
Gambar 4.3 Kurva <i>Recovery</i> Flotasi Kolom dengan Variasi Dosis Kolektor.....	34
Gambar 4. 4 Mekanisme Adsorpsi Kolektor	35
Gambar 4.5 Kurva Kadar Rata-Rata pada Variasi Persen Solid.....	37
Gambar 4.6 Kurva <i>Recovery</i> pada Variasi Persen Solid.....	38
Gambar 4. 7 Ilustrasi Fenomena Koalesensi.....	39

Gambar 4. 8 Kurva Kadar dan Kapasitansi Variasi Dosis Kolektor a) 20 ppm, b) 30 ppm, c) 40 ppm, d) 50 ppm	41
Gambar 4. 9 Kurva Kadar dan Kapasitansi Variasi Persen Solid a) 10%.....	42
Gambar 4. 10 Kurva <i>Recovery</i> dan Kapasitansi Variasi Persen Solid.....	45
Gambar 4. 11 Kurva <i>Recovery</i> dan Kapasitansi Variasi Dosis Kolektor.....	47
Gambar 4. 12 Hubungan Kapasitansi terhadap <i>Recovery</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm	48
Gambar A. 1 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-60, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9.....	82
Gambar A. 2 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-90, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	82
Gambar A. 3 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-120, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	83
Gambar A. 4 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-150, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	83
Gambar A. 5 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-180, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	84
Gambar A. 6 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-210, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	84
Gambar A. 7 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-240, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	85
Gambar A. 8 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-300, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	85
Gambar A. 9 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-360, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	86
Gambar A. 10 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-420, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	86
Gambar A. 11 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-60, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	87
Gambar A. 12 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-90, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	87

Gambar A. 13 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-120, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	88
Gambar A. 14 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-150, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	88
Gambar A. 15 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-180, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	89
Gambar A. 16 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-210, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	89
Gambar A. 17 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-240, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	90
Gambar A. 18 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-270, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	90
Gambar A. 19 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-300, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	91
Gambar A. 20 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-360, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	91
Gambar A. 21 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-420, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	92
Gambar A. 22 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-480, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	92
Gambar A. 23 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-60, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	93
Gambar A. 24 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-90, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	93
Gambar A. 25 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-120, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	94
Gambar A. 26 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-150, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	94
Gambar A. 27 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-180, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	95
Gambar A. 28 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-210, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	95

Gambar A. 29 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-240, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	96
Gambar A. 30 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-270, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	96
Gambar A. 31 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-300, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	97
Gambar A. 32 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-360, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	97
Gambar A. 33 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-420, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	98
Gambar A. 34 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-480, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	98
Gambar A. 35 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-540, a)	
Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	99
Gambar A. 36 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 10% Detik-60, a) Kotak	
1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	99
Gambar A. 37 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 10% Detik-90, a) Kotak	
1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	100
Gambar A. 38 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 10% Detik-120, a) Kotak	
1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	100
Gambar A. 39 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 10% Detik-150, a) Kotak	
1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	101
Gambar A. 40 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 10% Detik-180, a) Kotak	
1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	101
Gambar A. 41 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 10% Detik-210, a) Kotak	
1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	102
Gambar A. 42 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 10% Detik-240, a) Kotak	
1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	102
Gambar A. 43 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 10% Detik-300, a) Kotak	
1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	103
Gambar A. 44 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 10% Detik-360, a) Kotak	
1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	103

Gambar A. 45 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15% Detik-60, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	104
Gambar A. 46 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15% Detik-90, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	104
Gambar A. 47 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15% Detik-120, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	105
Gambar A. 48 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15% Detik-150, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	105
Gambar A. 49 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15% Detik-180, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	106
Gambar A. 50 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15% Detik-210, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	106
Gambar A. 51 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15% Detik-240, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	107
Gambar A. 52 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15% Detik-270, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	107
Gambar A. 53 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15% Detik-300, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	108
Gambar A. 54 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15% Detik-360, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	108
Gambar A. 55 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15% Detik-420, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	109
Gambar A. 56 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15% Detik-480, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	109
Gambar A. 57 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15% Detik-60, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	110
Gambar A. 58 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 15% Detik-90, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	110
Gambar A. 59 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 20% Detik-60, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	111
Gambar A. 60 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 20% Detik-90, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	111

Gambar A. 61 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 20% Detik-120, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	112
Gambar A. 62 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 20% Detik-150, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	112
Gambar A. 63 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 20% Detik-180, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	113
Gambar A. 64 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 20% Detik-210, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	113
Gambar A. 65 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 20% Detik-240, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	114
Gambar A. 66 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 20% Detik-270, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	114
Gambar A. 67 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 20% Detik-300, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	115
Gambar A. 68 Citra <i>Grain Counting</i> Variasi Persen Solid 20% Detik-360, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9	115
Gambar C. 1 a) “Open” untuk Membuka File Citra, b) Memilih File Citra pada Folder di PC.....	141
Gambar C. 2 Pada Menu “Image”, Pilih “Adjust” dan Pilih “Color Threshold”	141
Gambar C. 3 Atur Interval “Saturation” dan “Brightness” untuk Partikel Pirit..	142
Gambar C. 4 Atur Interval “Saturation” dan “Brightness” untuk Partikel Kuarsa	142
Gambar C. 5 Pada “Process”, pilih “Binary” lalu “Make Binary”	143
Gambar C. 6 Pada “Process”, pilih “Binary” lalu “Convert to Mask”	143
Gambar C. 7 Pada “Process”, pilih “Binary” lalu “Fill Holes”	144
Gambar C. 8 Pada “Process”, pilih “Binary” lalu “Watershed”.....	144
Gambar C. 9 Pada “Analyze”, pilih “Analyze Particles”.....	145
Gambar C. 10 Pilih “Summarize” dan Pilih “OK”	145
Gambar C. 11 Analisis Jumlah Butiran untuk Salah Satu Jenis Bijih.....	146
Gambar E.1 <i>Ball Mill</i>	148

Gambar E.2 <i>Chopper</i>	148
Gambar E.3 Ember.....	148
Gambar E.4 <i>Flowmeter</i>	148
Gambar E.5 Gelas Kimia 500 mL.....	148
Gambar E.6 <i>Jaw Crusher</i>	149
Gambar E.7 Kapasitometer	149
Gambar E.8 Kolom Flotasi	149
Gambar E.9 Kompresor Udara.....	149
Gambar E.10 Kabel Konektor.....	149
Gambar E.11 <i>Hand mixer</i>	149
Gambar E.12 Nampan Logam.....	149
Gambar E.13 Neraca Digital	150
Gambar E.14 Oven.....	150
Gambar E.15 Ayakan 150# dan 200#	150
Gambar E.16 <i>Stabilizer</i>	150
Gambar E.18 <i>Water Sprayer</i>	150
Gambar E.19 <i>Frother Pine Oil</i>	151
Gambar E.20 Kolektor Potassium Amyl Xanthate	151
Gambar E.21 Kuarsa (SiO ₂).....	151
Gambar E.22 FeS ₂	151

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki cadangan bijih besi yang melimpah yang mencapai 2,9 miliar ton dengan persebaran utama di Sumatera, Jawa, Kalimantan, dan Sulawesi [1]. Mineral bijih besi utama yang ditemukan di Indonesia meliputi hematit, magnetit, goethit, dan pirit. Di antara mineral tersebut, pirit (FeS_2) sering kali dianggap kurang bernilai, meskipun memiliki potensi besar sebagai sumber daya bernilai tinggi apabila dikelola dengan proses yang tepat [2]. Dalam pengolahan bijih pirit, salah satu tantangan utama adalah memisahkan pirit dari mineral pengotor, seperti kuarsa. Proses ini memerlukan teknologi konsentrasi yang efektif, yang mampu memanfaatkan perbedaan sifat fisik antara pirit dan kuarsa. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah konsentrasi flotasi, yang memanfaatkan sifat permukaan mineral untuk melakukan pemisahan [3].

Flotasi adalah proses pemisahan mineral berharga dari pengotornya dengan memanfaatkan sifat permukaan mineral yaitu hidrofobik dan hidrofilik. Prinsip kerja flotasi adalah partikel dengan sifat hidrofobik (sukar berinteraksi dengan air) akan menempel pada gelembung udara, terangkat ke permukaan, dan terkumpul sebagai konsentrat. Sementara itu, partikel dengan sifat hidrofilik (mampu berinteraksi dengan air) akan tetap berada di bawah permukaan dan menjadi *tailing*. Flotasi kolom merupakan metode flotasi yang digunakan untuk pemisahan mineral berharga dan pengotornya dengan menciptakan gelembung udara yang dihasilkan

oleh aliran udara melalui *sparger*. Flotasi kolom efektif untuk digunakan karena metode ini menggunakan aliran *conter-current* yang dapat mengurangi partikel mineral yang terjebak akibat kurangnya derajat liberasi [4]. Selain itu, sistem flotasi kolom yang memiliki *wash water* yang dapat mengoptimasi tingkat perolehan mineral berharga tanpa mengurangi kadar yang terkandung di dalamnya. Dalam proses optimasi perolehan mineral berharga pada flotasi kolom, diperlukan metode pemantauan yang akan memberikan data *real-time* untuk mengetahui tingkat perolehan serta kadar mineral berharga. Hal ini penting mengingat dimensi dari flotasi kolom yang memiliki ketinggian 1-13 meter yang membutuhkan waktu cukup lama untuk mengetahui dan menghitung hasil perolehan dalam metode flotasi kolom [5]. Oleh karena itu, salah satu bentuk optimasi metode flotasi kolom adalah dengan memantau karakteristik partikel selama proses flotasi berlangsung. Pengamatan partikel dilakukan dengan meninjau ukuran, bentuk, sifat permukaan, distribusi ukuran, dan viskositas *pulp*.

Sensor berbasis sinyal kapasitansi merupakan sensor yang mendeteksi perubahan nilai kapasitansi listrik yang disebabkan oleh perubahan konstanta dielektrik. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip kapasitansi, pada dua pelat konduktor yang dipisahkan oleh material dielektrik (padat, cair, atau gas). Penggunaan sensor berbasis sinyal kapasitansi dapat menjadi solusi dalam mengetahui karakteristik gelembung yang terbentuk pada flotasi kolom. Sensor berbasis sinyal kapasitansi ini mengukur nilai kapasitansi didasarkan pada perbedaan sifat permitivitas relatif pada material. Berdasarkan hasil penelitian Nugraha tahun 2020, sensor berbasis sinyal kapasitansi menunjukkan hasil yang

baik untuk digunakan dalam proses flotasi kolom [6]. Studi tersebut berhasil mengkarakterisasi efek dosis *frother* dalam proses flotasi kolom menggunakan metode pengukuran kapasitif. Sensor kapasitif yang dipasang di zona *collection* dan mampu mendeteksi perbedaan karakteristik sinyal antara kondisi dengan dan tanpa *frother*, serta perubahan sinyal seiring peningkatan dosis *frother* dan laju alir udara. Hal ini menunjukkan sensitivitas sensor terhadap perubahan kondisi dalam kolom flotasi. Penelitian sebelumnya yang diuraikan oleh Haryono tahun 2020, menjelaskan penggunaan *Electrical Capacitance Volume Tomography* (ECVT) sebagai teknologi sensor berbasis sinyal kapasitansi telah terbukti efektif dalam memantau proses flotasi kolom, peningkatan dosis kolektor berpengaruh terhadap kapasitansi yang diukur selama proses berlangsung [7]. Kolektor berfungsi untuk meningkatkan sifat hidrofobik partikel mineral, nilai kapasitansi menunjukkan adanya peningkatan partikel yang terikat dengan gelembung udara. Peningkatan nilai kapasitansi linear dengan peningkatan *recovery* yang dihasilkan selama proses flotasi. Penelitian yang dilakukan Haryono dkk. pada tahun 2017 mengungkapkan sinyal kapasitansi meningkat dengan bertambahnya persen solid karena lebih banyak partikel mineral dalam kolom yang menyebabkan peningkatan efek polarisasi [8]. Sebaliknya, laju aliran udara yang tinggi menurunkan sinyal kapasitansi karena udara memiliki konstanta dielektrik yang rendah, sehingga mengurangi nilai kapasitansi. Sinyal kapasitansi yang dihasilkan menunjukkan korelasi yang baik dengan *recovery*, dengan melihat korelasi linier antara sinyal kapasitansi dan *recovery* memiliki koefisien determinasi 0,78 untuk 10% padatan, yang menunjukkan bahwa sinyal kapasitansi dapat digunakan untuk memprediksi

kinerja metalurgi secara efektif [8]. Kinerja metalurgi atau performa metalurgi merupakan kemampuan proses pemisahan mineral untuk mencapai hasil yang optimal, seperti *recovery* dan kadar, yang menunjukkan secara kuantitatif seberapa baik nilai mineral berharga dalam *feed* dapat dimanfaatkan dan seberapa murni produk akhir dari pengotor [9].

Dengan pemanfaatan sensor kapasitif sebagai alat peninjau interaksi antara gelembung dan partikel, karakteristik stabilitas gelembung menjadi aspek yang dibutuhkan dalam optimasi proses pemisahan mineral sulfida. Optimasi sistem sensor pemisahan partikel mineral sulfida yang dipantau dengan sensor kapasitif, proses pemisahan menggunakan metode flotasi kolom dilakukan menggunakan variasi dosis kolektor dan persen solid. Variasi dosis kolektor dapat berpengaruh pada performa metalurgi untuk mengubah sifat permukaan mineral menjadi hidrofobik, ketika partikel bertabrakan dengan gelembung, kemungkinan untuk melekat pada gelembung tergantung pada sifat hidrofobik dari permukaan mineral, meskipun mineral sulfida memiliki floatabilitas alami, namun beberapa kondisi seringkali tidak cukup untuk mencapai *recovery* yang tinggi, sehingga perlu dilakukan penambahan kolektor. Terdapat hubungan yang berbanding lurus antara variasi persen solid dan *recovery*. Ketika persen solid meningkat, jumlah partikel dalam sel juga bertambah, sehingga peluang partikel untuk melekat pada gelembung semakin besar dan menghasilkan *recovery* yang lebih tinggi. Pada penelitian ini, diharapkan sensor kapasitif dapat melihat pengaruh penambahan dosis kolektor dan persen solid terhadap performa metalurgi pada bijih pirit pada proses flotasi kolom dan diharapkan dapat memperluas dan menerapkan teknologi

sensor kapasitif untuk memantau proses flotasi kolom.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari latar belakang permasalahan yang telah dipaparkan, terdapat beberapa masalah utama yang diidentifikasi terkait dengan *monitoring* proses flotasi pada pengolahan bijih pirit menggunakan sensor kapasitif. Masalah yang dapat diidentifikasi untuk penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi dosis kolektor dan persen solid terhadap nilai *recovery* flotasi kolom pada bijih pirit serta nilai kapasitansi yang didapatkan dari sensor kapasitif?
2. Bagaimana efektivitas penggunaan sensor kapasitif dalam memonitor proses flotasi kolom untuk bijih pirit secara *real-time*?
3. Bagaimana korelasi antara sinyal kapasitansi dengan nilai *recovery*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui dan memahami *monitoring* proses flotasi kolom menggunakan sensor kapasitif
2. Mengetahui keberhasilan sensor kapasitif dengan memonitor proses flotasi kolom pada pirit.
3. Mengetahui hubungan nilai kurva kapasitansi listrik terhadap nilai persen *recovery* dengan pengaruh dosis kolektor dan persen solid.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan bijih pirit sebagai partikel hidrofobik dan bijih kuarsa sebagai partikel hidrofilik.
2. Preparasi bahan berupa peremukan, penggerusan, dan pengayakan bijih menggunakan ayakan 100# dan 150# yang dilakukan di Laboratorium Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Parameter yang dibuat tetap dalam penelitian ini meliputi:
 - a. Ukuran partikel -100#+150#
 - b. Waktu *conditioning* selama 10 menit.
 - c. *Frother pine oil* digunakan sebanyak 40 ppm
 - d. Laju alir udara yang digunakan 2 L/menit
 - e. pH yang digunakan 10
4. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu dosis kolektor *potassium amyl xanthate* 20; 30; 40; dan 50 ppm serta persen solid 20; 30; 40; dan 50%
5. Analisis kadar dilakukan dengan metode *grain counting* dan perhitungan butir dilakukan dengan ImageJ.
6. Penelitian dilakukan di Laboratorium Metalurgi dan Laboratorium *Advanced Materials and Tomography* Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

1.5 Sistematika Penulisan

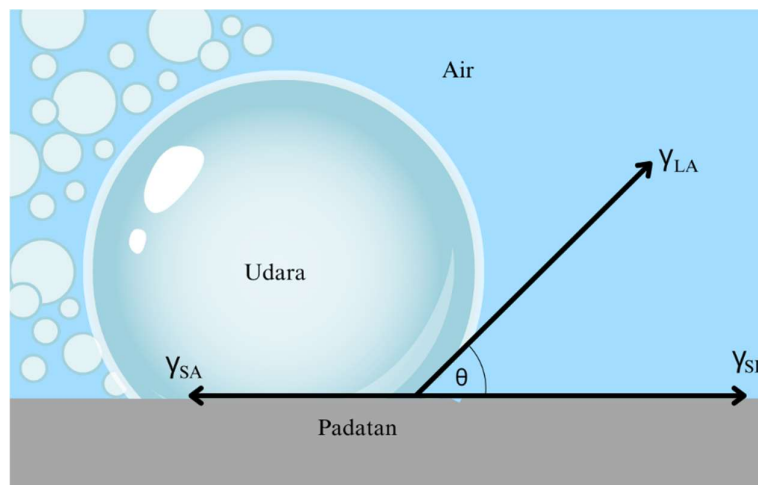
Skripsi ini disusun dalam lima bab. Bab I terdiri dari lima sub-bab, yaitu latar belakang penelitian ini dilakukan, identifikasi masalah dari latar belakang, tujuan penelitian ini dilakukan, batasan terhadap masalah yang akan diteliti, serta sistematika penulisan dari skripsi. Bab II adalah tinjauan pustaka berisi teori yang melandasi penelitian. Bab III merupakan metode penelitian berisi diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, serta prosedur yang dilakukan untuk memperoleh data penelitian. Bab IV berisi analisis dan pembahasan dari data yang diperoleh. Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran aspek yang perlu dikaji lebih lanjut untuk pengembangan penelitian diuraikan di Bab V. Referensi yang digunakan dalam penyusunan skripsi dicantumkan di daftar pustaka. Data penelitian yang diperoleh, contoh perhitungan, prosedur analisis dengan bantuan *software* dan dokumentasi pendukung terdapat pada bagian Lampiran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Flotasi

Flotasi merupakan metode pemisahan mineral berharga dari pengotornya dengan memanfaatkan perbedaan sifat permukaan mineral, yaitu hidrofilik (mampu berinteraksi dengan air) dan hidrofobik (sukar berinteraksi dengan air) [5]. Prinsip dasar flotasi adalah mengapungkan mineral berharga ke permukaan air, sementara mineral pengotor mengendap. Mineral dengan sifat hidrofobik akan menempel pada gelembung udara dan terangkat ke permukaan, dan mineral dengan sifat hidrofilik akan mengendap di dasar kolom. Proses flotasi ini melibatkan tiga fase: padatan, air, dan udara.



Gambar 2. 1 Sudut Kontak Fasa Padat, Cair, dan Udara [3]

Sifat permukaan mineral berkaitan dengan reagen flotasi dalam air dan bergantung pada gaya yang beroperasi pada permukaan tersebut. Gaya yang

cenderung memisahkan partikel dan gelembung ditunjukkan dalam Gambar 2.1. Pada proses flotasi, yang melibatkan tiga fasa (padatan, air, dan udara), dapat diamati pada Gambar 2.1. Ketika ketiga fasa ini, yaitu padat, cair, dan udara, bersentuhan, terbentuk kesetimbangan tegangan antarmuka antara udara-padat, padat-cair, dan cair-udara sebagaimana yang ditunjukkan dalam Persamaan Young-Dupre.

$$\gamma_{SA} = \gamma_{SL} + \gamma_{LA} \cos \theta \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

γ_{SA} = Tegangan permukaan padat-udara

γ_{SL} = Tegangan permukaan padat-cair

γ_{LA} = Tegangan permukaan cair-udara

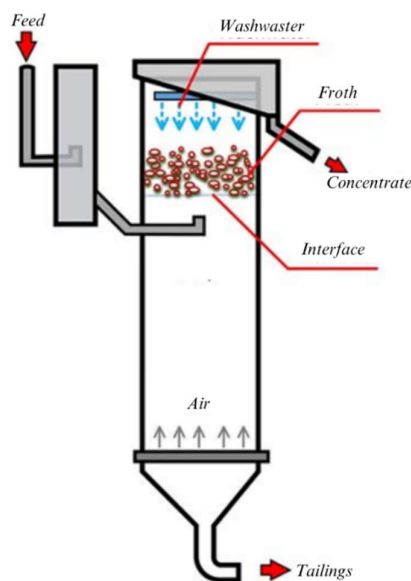
θ = Sudut Kontak

Pada Gambar 2.1 dan persamaan Young-Dupre dapat terlihat bahwa semakin besar sudut kontak, maka akan semakin besar pula kerja adhesi antara partikel dan gelembung. Perubahan sudut kontak ini memengaruhi kekuatan kontak antara bijih dan gelembung udara, yang pada akhirnya mempengaruhi proses pelepasan gelembung dan mineral dengan melibatkan usaha adhesi. Sifat hidrofilik pada permukaan mineral ditandai oleh sudut kontak yang rendah, yaitu kurang dari 90 derajat, sementara sifat hidrofobik ditunjukkan oleh sudut kontak yang lebih dari 90 derajat[9].

2.2 Flotasi Kolom

Teknologi flotasi kolom pertama kali ditemukan oleh Pierre dan Remi,

diperkenalkan dalam industri pada dekade 1980-an. Penerapan umum dari flotasi kolom terjadi terutama pada tahap akhir proses pembersihan bijih seng, tembaga, dan fosfat (Finch dan Dobby, 1991). Kolom flotasi dalam skala industri umumnya berbentuk silinder dengan tinggi 9-14 m dan diameter tidak melebihi 2 m. Berbeda dari flotasi lainnya yang menggunakan agitator sebagai penghasil gelembung udara, pada flotasi kolom gelembung udara dihasilkan melalui *sparger*. Bijih dalam bentuk *pulp* dimasukkan dari bagian atas kolom (sekitar 2/3 tinggi kolom) seperti yang terlihat dalam Gambar 2.3. Pada flotasi kolom terdiri dari dua zona yang berbeda, yaitu *collection zone* dan *froth zone*. *Collection zone* terletak pada bagian bawah flotasi kolom, di bagian partikel akan naik ke permukaan kolom karena bersetuhan dengan gelembung udara yang dihasilkan oleh *sparger* di dasar kolom, sedangkan pada *froth zone* terjadi pemisahan antara gelembung udara dengan partikel.



Gambar 2. 2 Flotasi Kolom [3]

Efektivitas metode flotasi kolom ditinjau dari penggunaan aliran *counter-current* yang dapat mengurangi partikel mineral yang terjebak akibat kurangnya derajat liberasi, serta sistem flotasi kolom yang memiliki *wash water* dapat mengoptimasi tingkat *recovery* berharga tanpa mengurangi kadar yang terkandung di dalamnya. Pada aliran *counter current*, *feed* yang telah di-*conditioning* dimasukan pada kolom flotasi dan pada ketinggian 2/3 tinggi kolom akan bercampur dan berinteraksi dengan gelembung gas yang dialiri dari bagian bawah kolom atau *sparger* [10]. Ketika aliran *counter current* terjadi, gerakan partikel dengan gelembung gas menentukan seberapa besar kemungkinan partikel menempel pada gelembung, seberapa banyak gelembung dapat membawa partikel, dan seberapa cepat proses flotasi terjadi. Hal ini karena *counter-current* mengurangi kecepatan naik gelembung gas ke permukaan. Akibatnya, gelembung gas akan berinteraksi dengan partikel mineral dalam *pulp* lebih lama yang menghasilkan jumlah udara yang perlu dimasukkan ke dalam kolom untuk menghasilkan gelembung gas menjadi lebih sedikit, sehingga efisiensi penggunaan udara meningkat, dan kolom flotasi bekerja lebih efisien [10]. Dalam *froth zone*, seringkali terjadi mineral pengotor akan naik ke permukaan kolom dan berpengaruh pada nilai persen *recovery* yang dihasilkan, sehingga penggunaan *washwater* dapat mengatasi mineral pengotor yang akan naik ke permukaan kolom. *Washwater* terletak pada bagian atas kolom dan berfungsi untuk membersihkan mineral pengotor yang terbawa oleh gelembung udara yang mengangkut mineral berharga dari *froth zone* menuju wadah konsentrat.

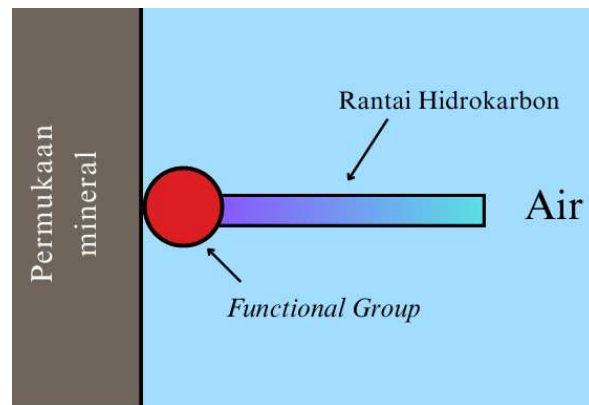
2.3 Reagen Flotasi

Penerapan proses konsentrasi mineral sulfida menggunakan proses flotasi dilakukan dengan penambahan reagen ke dalam *pulp*. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengubah sifat permukaan mineral sulfida dan dapat mengontrol proses flotasi. Umumnya, reagen yang digunakan adalah kolektor sebagai pengubah sifat permukaan pada mineral sulfida dan membantu mineral untuk merekat pada gelembung, *frother* sebagai pembentuk gelembung yang akan meningkatkan laju tumbukan, serta *modifier* yang berfungsi untuk mengaktivasi dan menurunkan partikel mineral yang tersematkan pada gelembung udara serta mengontrol penyebaran dan pH pada *pulp*.

2.3.1 Kolektor

Proses konsentrasi mineral sulfida dilakukan dengan mengubah sifat permukaan mineral menjadi hidrofobik. Kolektor ditambahkan pada *pulp* sebagai pengubah sifat permukaan mineral. Kolektor yang ditambahkan akan mengurangi lapisan air yang menyelimuti permukaan mineral. Akibatnya, mineral menjadi lebih mudah menempel pada gelembung udara. Kolektor yang digunakan dalam proses flotasi umumnya bersifat heteropolar. Hal ini karena molekul pada kolektor memiliki dua bagian, yaitu gugus non-polar berupa rantai hidrokarbon yang akan mengubah sifat permukaan partikel mineral sulfida, serta gugus polar tidak bermuatan. Gambar 2.3 menunjukkan skematik molekul kolektor dalam mengubah sifat permukaan mineral akibat teradsorpsinya molekul dan menghasilkan gugus non-polar hidrokarbon yang mengarah ke air sehingga partikel bersifat

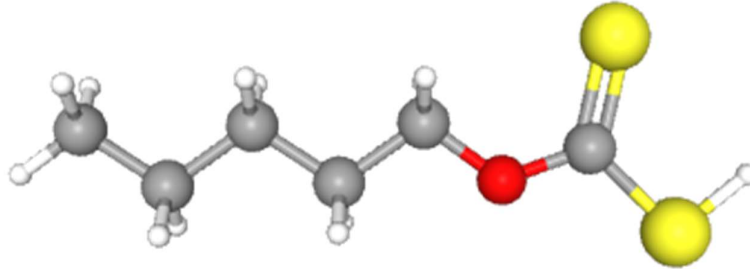
hidrofobik.



Gambar 2. 3 Skema Adsorpsi Molekul Kolektor pada Permukaan Mineral [11]

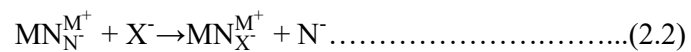
Apabila menyesuaikan dengan jenis mineral yang digunakan dalam proses konsentrasi menggunakan flotasi, kolektor yang bersifat mengionisasi terbagi kedalam jenis anionik dan kationik. Aplikasi mineral sulfida dan non-sulfida sebagai bahan baku dalam proses flotasi digunakan kolektor dengan jenis anionik dan kationik. Kolektor anionik yang digunakan pada mineral sulfida adalah sulfhydryl. Jenis-jenis kolektor yang umum digunakan dalam mineral sulfida seperti galena, sphalerit, kalkopirit, dan pirit merupakan jenis xanthate. Selain xanthate, kolektor lain yang dapat digunakan dalam proses flotasi bijih pirit meliputi dithiophosphate dan dithiocarbamate. *Xanthate* memiliki rantai alkil dari C_2 hingga C_6 [3]. Rantai alkil *xanthate* yang umum adalah etil, isopropil, isobutil, dan amil. Berikut struktur kolektor *xanthate* dapat dilihat pada Gambar 2.4, Saat *xanthate* dilarutkan dalam air, *xanthate* cenderung terurai atau rusak. Proses penguraian ini menjadi lebih cepat ketika larutan semakin asam.

Sebaliknya, *xanthate* akan lebih stabil dalam larutan yang bersifat basa.



Gambar 2. 4 Struktur Kolektor *Xanthate* [12].

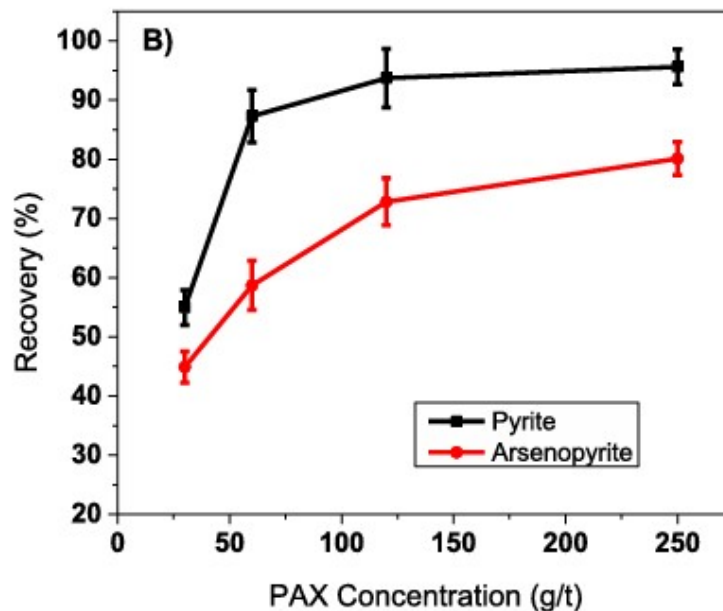
Penggunaan kolektor jenis *xanthate* pada dasarnya mempengaruhi peningkatan konsentrasi anion sulfur/sulfida pada mineral dan terganti dengan anion pada sisa kolektor akibat penurunan anion molekul *xanthate* seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.2 [13].



Penggunaan kolektor sebagai reagen utama proses flotasi digunakan dapat mempengaruhi nilai persen *recovery* yang diperoleh. Utamanya, semakin banyak jumlah kolektor yang digunakan, maka nilai persen *recovery* yang diperoleh akan semakin tinggi. Namun, nilai persen *recovery* juga akan menurun apabila penambahan jumlah kolektor ditingkatkan pada penambahan jumlah kolektor yang berlebih. Hal tersebut dikarenakan dengan penambahan lebih banyak kolektor akan mengubah sifat permukaan partikel mineral sulfida menjadi lebih hidrofobik.

Dalam penelitian ini, penambahan kolektor potassium amyl xanthate (PAX) yang digunakan adalah 20, 30, 40, dan 50 ppm untuk

mengetahui pengaruhnya terhadap *recovery* proses flotasi hingga titik optimal tertentu. Gambar 2.5 menjelaskan mengenai penelitian yang dilakukan oleh Forson tahun 2021, bahwa peningkatan konsentrasi PAX dari 30 ppm hingga 120 ppm dapat meningkatkan flotasi pirit secara signifikan [14]. Namun, pada konsentrasi yang lebih tinggi dari 120 ppm, peningkatan *recovery* cenderung melambat, bahkan dapat menurun karena adanya efek kejenuhan permukaan partikel. Hal ini disebabkan oleh penumpukan kolektor berlebih yang dapat mengurangi selektivitas flotasi dan meningkatkan adsorpsi pada partikel *gangue*. Pada konsentrasi kolektor yang sangat tinggi, interaksi hidrofobik antar partikel dapat menyebabkan penggumpalan (aglomerasi), yang mengurangi efisiensi proses flotasi.



Gambar 2. 5 Pengaruh Penambahan Kolektor PAX terhadap *Recovery* Proses Flotasi Pirit [14].

2.3.2 *Frother*

Frother termasuk kedalam jenis surfaktan yang aktif dalam *interface* antara padatan dan cairan. *Frother* pada dasarnya akan menyebabkan teradsorpsinya *interface* tersebut sehingga menurunkan tegangan permukaan air. Oleh karena itu, pengaplikasian *frother* sebagai reagen dalam *pulp* flotasi akan membentuk gelembung yang stabil. Selain itu, pengaplikasian *frother* akan mempertahankan jumlah gelembung yang terbentuk dengan menjaga ukurannya tetap kecil dan menurunkan kecepatan gelembung yang mengapung naik. Penambahan *frother* pada *pulp* flotasi akan menyebabkan dipol pada air bergabung dengan tetap mempertahankan reaksi pada kolektor kelompok hidrokarbon sehingga peran dari kolektor tidak tergantikan [5]. Salah satu *frother* yang biasa digunakan dalam proses flotasi dengan menggunakan *pine oil*. *Pine oil* terbukti sebagai *frother* yang paling aktif secara permukaan, kemampuan dalam menurunkan tegangan permukaan secara signifikan menonjol dibandingkan dengan *frother* lain, karakteristik ini menunjukkan bahwa *pine oil* memiliki afinitas yang kuat terhadap antarmuka udara-air [15]. Hal ini yang merupakan sifat penting dalam pembentukan dan stabilitas gelembung.

2.4 Persen Solid

Persen Solid berpengaruh terhadap nilai persen *recovery*, nilai *recovery* yang diperoleh akan meningkat apabila persen solid ditingkatkan. Hal tersebut

dikarenakan lebih banyak partikel yang bertumbuk dan menempel pada gelembung dan mengapung bersama gelembung. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Yianatos tahun 2013 menjelaskan bahwa persen solid yang lebih tinggi dapat meningkatkan kemungkinan tumbukan antar partikel pirit dengan gelembung udara yang berpotensi meningkatkan *recovery* [16]. Namun apabila ditinjau dari literatur, penambahan persen solid lebih dari 40% akan menimbulkan kondisi *over-crowding* yang mengindikasikan hubungan antara luas permukaan dan jumlah partikel yang akan menempel berbanding terbalik secara drastis. Selain itu, dengan penambahan jumlah padatan yang diumpankan akan berpotensi menurunkan dispersi pada partikel sehingga kinerja reagen dalam mengadsorpsi partikel menjadi berkurang [17]. Faktor yang menyebabkan menghambatnya efektivitas proses flotasi mineral akibat persen padatan yang tinggi adalah terbentuknya gelembung udara yang berlebihan dan pelekatan mineral yang terlalu banyak pada gelembung udara, yang mengakibatkan pecahnya gelembung sehingga mineral tidak dapat terangkat ke permukaan buih [18]. Oleh karena itu, penggunaan persen solid apabila dibandingkan dengan jumlah gelembung yang terbentuk harus linear sehingga tidak menimbulkan penurunan persen *recovery* dari mineral berharga itu sendiri.

2.5 Performa Metalurgi

Performa metalurgi yang digunakan merupakan efisiensi suatu proses pengolahan mineral dengan menghitung nilai *recovery* dan kadar dalam tiap proses. *Recovery* merupakan banyaknya mineral berharga yang dapat diambil dalam suatu proses, sedangkan kadar merupakan persentase total logam yang terkandung dalam

bijih yang berhasil dipisahkan ke dalam konsentrat. Konsentrat merupakan bijih yang mengandung mineral berharga dengan sebagian kecil mineral pengotor. Tujuan dari melakukan perhitungan ini untuk menentukan distribusi nilai logam yang terkandung dalam *input* di antara produk pemisahan [9]. Performa metalurgi dapat dihitung menggunakan rumus *recovery* dan Persamaan 2.3 dengan total mineral berharga dalam bijih yang berhasil diambil dalam suatu keadaan [9].

$$R = \frac{C \times c}{F \times f} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

2.6 Sensor Kapasitif

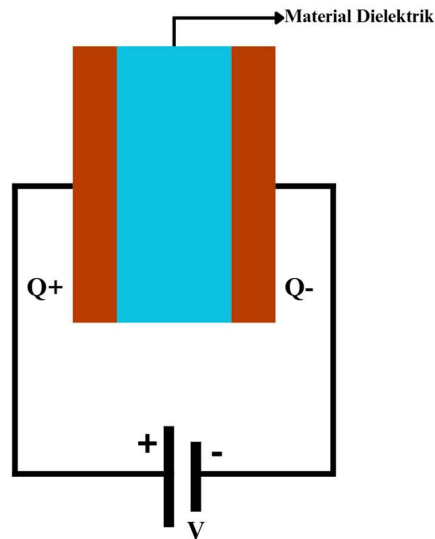
Kapasitor merupakan komponen listrik yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik. Kapasitor memiliki muatan positif dan negatif yang menempel di masing-masing pelat. Muatan yang terdapat di dalam kapasitor bersifat sementara, karena fungsi dari kapasitor berguna untuk membuat arus yang mengalir menjadi stabil [19]. Salah satu jenis kapasitor adalah kapasitor pelat sejajar yang terdiri dari dua pelat konduktor ditempatkan berdekatan yang dipisahkan oleh bahan isolator. Penambahan bahan dielektrik di antara kedua pelat kapasitor, penambahan ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitansi kapasitor. Bahan dielektrik (isolator) tersebut dapat berupa mika, udara, karet maupun bahan lainnya [20].

Kapasitor pelat sejajar yang masing-masing memiliki luas (A) dan dipisahkan oleh jarak (d) dengan menempatkan bahan dielektrik yang memiliki konstanta dielektrik (K) diantara kedua pelat sejajar maka nilai kapasitansi kapasitor dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$C = K \epsilon_0 \frac{A}{d} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana ϵ_0 adalah konstanta permitivitas vakum yang bernilai $8,85 \times 10^{-12}$ F/m.

Ukuran dari kemampuan suatu kapasitor untuk menyimpan muatan listrik disebut kapasitansi [21]. Satuan kapasitansi adalah Farad (F). Dilihat dari Persamaan 2.4, nilai kapasitansi akan meningkat jika material dielektrik yang digunakan memiliki nilai konstanta dielektrik makin besar, luas penampang pelat kapasitor makin besar, dan jarak antar kedua pelat diperkecil. Material dielektrik merupakan suatu material yang dapat bereaksi ketika diberi aliran listrik. Ketika listrik dialirkan, atom-atom dan molekul mengalami suatu proses yang disebut polarisasi, yaitu muatan positif dan negatif yang awalnya berada pada posisi yang sama akan saling menjauh dan fenomena ini hanya terjadi saat ada aliran listrik.



Gambar 2.6 Kapasitor pelat sejajar [22].

Kapasitor memiliki aplikasi lain yaitu dapat dimanfaatkan sebagai sensor kapasitif. Sensor merupakan alat yang digunakan untuk merubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu

[21]. Sensor kapasitif bekerja berdasarkan metode kapasitif yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan komposisi bahan dielektrik dengan menentukan nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik. Energi yang tersimpan dalam kapasitor dengan beda potensial tetap akan bertambah jika tetapan dielektrik materialnya bertambah [20]. Semakin besar permitivitas suatu material, semakin besar kapasitansi yang dihasilkan. Sebagai contoh, udara vakum memiliki permitivitas 1; udara 1,00058986; minyak 2,1; garam 15; silikon 11; gliserin 41; air 80 [23]. Sensor kapasitif terdiri dari dua pelat konduktor yang berperan sebagai *transmitter* (pemancar sinyal) dan *receiver* (penerima sinyal). Sensor kapasitif merupakan salah satu implementasi dari teknik tomografi untuk mendeteksi perubahan komposisi bahan dielektrik.

2.7 Grain Counting

Metode *grain counting* merupakan teknik yang digunakan untuk menghitung jumlah butiran mineral dalam suatu sampel dengan tujuan untuk menentukan kadar dan *recovery* dari proses pengolahan mineral. Dalam praktiknya, metode ini dapat dilakukan secara manual menggunakan mikroskop optik, di mana butiran mineral diidentifikasi satu per satu oleh operator. Namun, pendekatan manual ini memiliki keterbatasan signifikan, seperti proses yang memakan waktu, membutuhkan keahlian khusus, serta rentan terhadap kesalahan akibat kelelahan operator.

Dalam praktiknya, perhitungan butiran mineral dapat dilakukan menggunakan berbagai metode, seperti *ribbon counting*, di mana butiran dihitung dalam pita-pita tertentu yang dipilih secara acak, dan *cluster counting*, teknik

terbaru yang mengurangi kesalahan penghitungan dengan distribusi yang lebih representatif dari seluruh sampel [24]. Dalam setiap *cluster*, sejumlah butiran dipilih secara acak dan dihitung untuk menghasilkan perkiraan yang lebih representatif terhadap keseluruhan sampel.

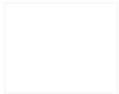
Keunggulan utama dari *cluster counting* adalah kemampuannya untuk mengurangi bias dalam perhitungan dan meningkatkan kesesuaian antara hasil penghitungan dan proporsi mineral yang sebenarnya dalam sampel [24]. Kesalahan dalam metode *grain counting* dapat timbul akibat heterogenitas spasial dalam distribusi butiran mineral, sehingga pemilihan metode perhitungan yang tepat sangat penting untuk mendapatkan hasil yang representatif dan signifikan secara statistik. Dengan meningkatnya kemajuan dalam teknologi pemrosesan citra dan analisis data, metode perhitungan berbasis digital kini juga digunakan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam analisis *grain counting*.

Sistem penghitungan butir berbasis citra terdiri dari tiga komponen utama, yaitu unit akuisisi citra, unit analisis citra, dan unit pendukung. Unit akuisisi citra melibatkan kamera digital, sumber cahaya, dan kartu akuisisi citra [25]. Kamera digital menangkap gambar partikel yang telah disebar merata menggunakan mekanisme getaran untuk meminimalkan tumpang tindih antarbutir. Sumber cahaya seragam diperlukan untuk memastikan pencahayaan yang konsisten, sehingga meningkatkan kualitas gambar yang diambil. Dalam penelitian ini, *grain counting* dilakukan menggunakan *software* ImageJ, yang menyediakan berbagai fitur analisis citra untuk menghitung jumlah butir secara akurat.

Proses analisis citra diawali dengan transformasi citra berwarna (RGB)

menjadi citra *grayscale*. Transformasi ini dilakukan untuk mengurangi kompleksitas data dengan hanya mempertahankan informasi intensitas cahaya. Selanjutnya, proses denoising dilakukan menggunakan metode *median filtering* untuk menghilangkan *noise* tanpa mengurangi detail penting pada tepi gambar. Setelah itu, citra *grayscale* diubah menjadi citra biner menggunakan teknik binarisasi [25].

Langkah penting berikutnya adalah pelabelan komponen terhubung pada citra biner. Setiap area terhubung dalam citra diberi label unik, yang memungkinkan sistem untuk menghitung jumlah objek yang ada [25]. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode ini mampu menghitung jumlah butir dengan akurasi tinggi dan kesalahan minimal. Keunggulan utama teknologi ini adalah efisiensinya dalam mengurangi beban kerja manual dan meningkatkan akurasi dibandingkan metode tradisional. Selain itu, teknologi ini juga dapat diterapkan untuk analisis lebih lanjut, seperti klasifikasi dan pengukuran kualitas biji-bijian.

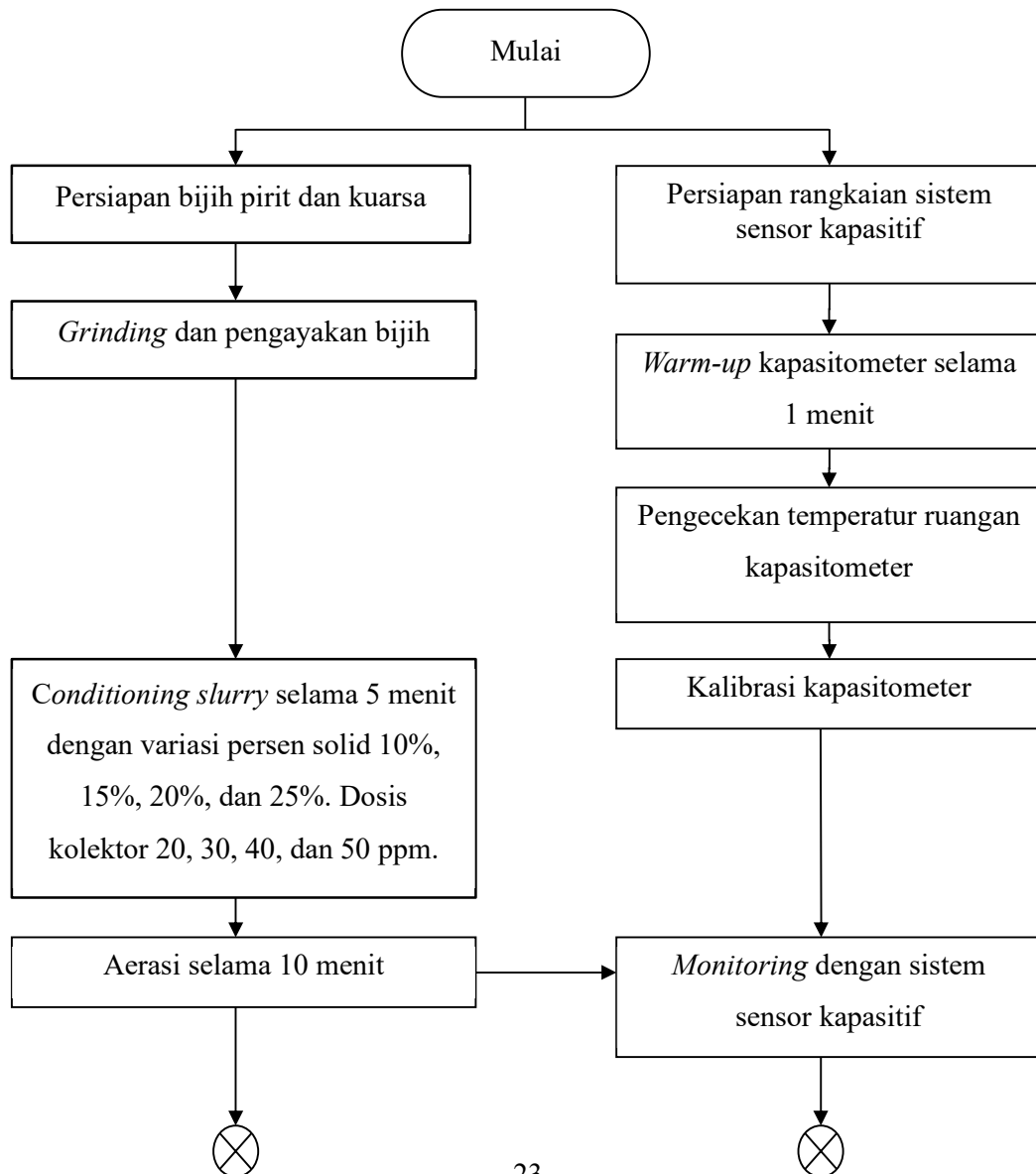


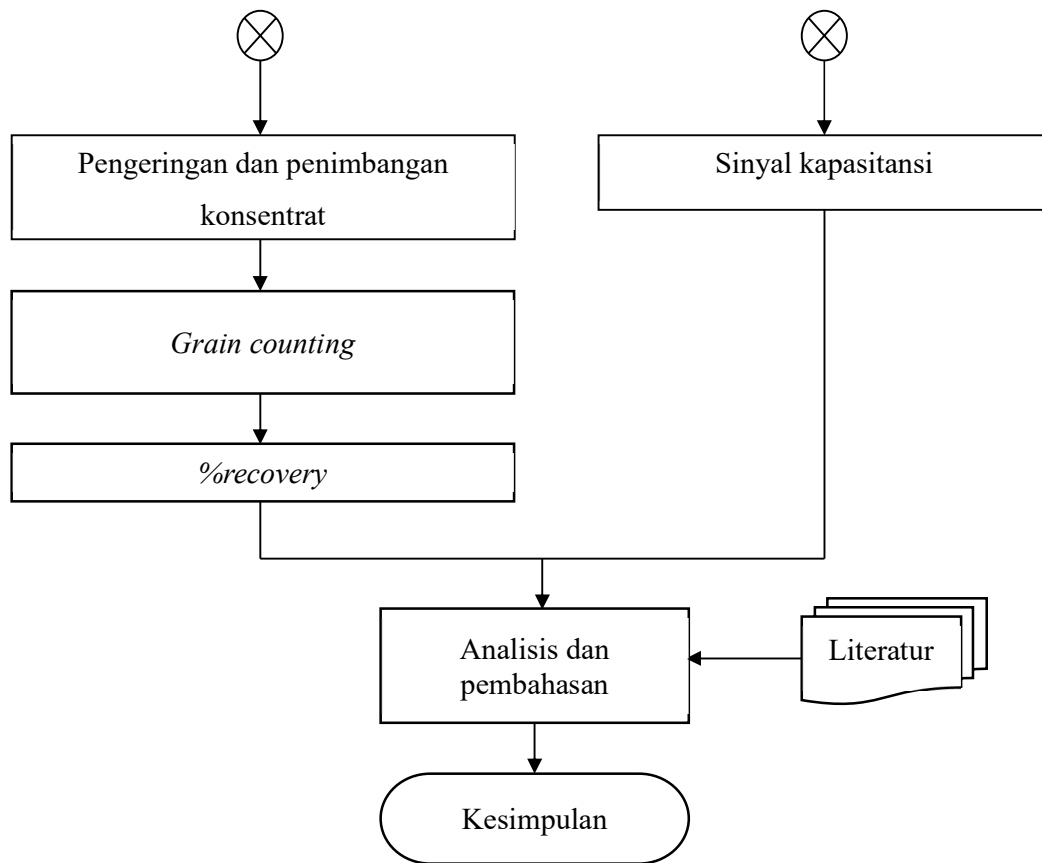
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun prosedur percobaan yang dilakukan pada penelitian dapat dijelaskan secara singkat dalam diagram alir pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat-alat yang Digunakan

Berikut ini merupakan alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Ember
- b. Gelas Beker 100 mL
- c. Kamera digital
- d. Kolom flotasi
- e. Kompresor

- f. *Mixer*
- g. Oven
- h. Neraca digital
- i. *Screen* ukuran 150# dan 200#
- j. Kapasitometer

3.2.2 Bahan-bahan yang Digunakan

Berikut ini merupakan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Air
- b. *Aquades*
- c. Pirit
- d. *Collector potassium amyl xanthate* (PAX)
- e. *Frother pine oil*

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan proses yang meliputi tahap preparasi sampel, karakterisasi awal bijih, proses flotasi kolom dengan proses *monitoring* menggunakan kapasitometer, dan analisis hasil konsentrat dan *tailing*. Pada tahap preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Metalurgi, Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Proses flotasi dan *monitoring* flotasi dilakukan di Laboratorium *Advance Materials and Tomography*, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

3.3.1 Tahap Preparasi Sampel

Tahap preparasi sampel merupakan tahapan awal penelitian dalam menyiapkan sampel untuk dilakukan proses flotasi. Preparasi sampel yang

dilakukan adalah proses kominusi dengan tujuan mereduksi ukuran dan proses *sizing* untuk menyeragamkan ukuran bijih sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

a) Peremukan (*Crushing*)

Peremukan bijih pirit menggunakan *jaw crusher*. Peremukan dilakukan untuk mereduksi ukuran agar memenuhi syarat ukuran untuk penggerusan. Peremukan dilakukan di Laboratorium Metalurgi FT Untirta.



Gambar 3.2 *Jaw Crusher*

b) Penggerusan (*Grinding*)

Penggerusan bijih pirit bertujuan untuk mengecilkan ukuran bijih agar sesuai dengan ukuran untuk proses flotasi. Proses *grinding* dilakukan pada alat *ball mill*. Penggerusan dilakukan di Laboratorium Metalurgi FT Untirta.



Gambar 3.3 *Ball Mill*

c) Pengayakan

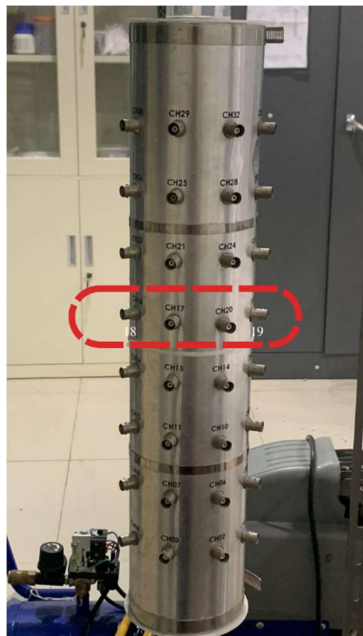
Pengayakan merupakan proses *sizing* dengan tujuan menyeragamkan ukuran agar memiliki fraksi ukuran yang seragam untuk diteruskan pada proses flotasi. Pengayakan menggunakan alat ayakan dengan ukuran 150# dan 200# untuk menghasilkan fraksi ukuran -150#+200#. Ukuran +150# (*oversize*) akan digerus kembali menggunakan *ball mill*.



Gambar 3.4 Ayakan

3.3.2 Persiapan Sensor Kapasitansi

Tahapan ini merupakan tahap awal dalam proses *monitoring* proses flotasi. Kapasitometer dengan merk CAP 3201 2CH C-Tech Labs Edwar Technology dihubungkan ke *stabilizer* untuk menstabilkan tegangan listrik yang masuk ke alat kapasitometer. Setelah itu, menghubungkan kabel konektor dari kapasitometer CAP 3201 2CH C-Tech Labs Edwar Technology ke *channel* sistem sensor ECVT. *Channel* yang digunakan yaitu 2 *channel* di level 4 dengan nomor *channel*-18 dan *channel*-19. Setelah semua rangkaian telah tersusun, dilakukan *warm-up* sekitar 5 menit.



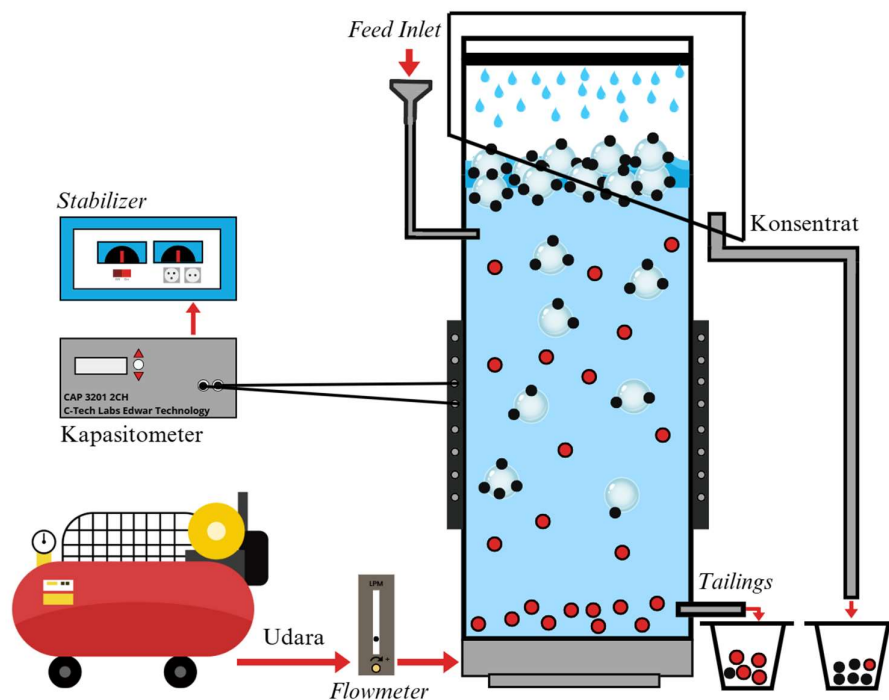
Gambar 3.5 *Channel* 18 dan *Channel* 19

3.3.3 Persiapan Proses Flotasi

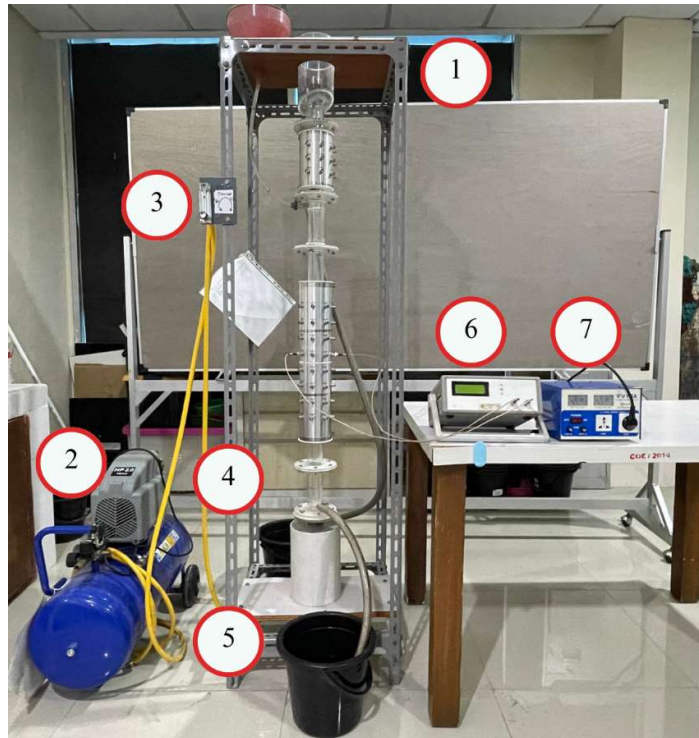
Proses flotasi kolom yang dilakukan diawali dengan *conditioning* bijih. Bijih pirit dilarutkan dalam aquades dengan variasi persen solid

sebanyak 10%, 15%, 20%, 25%, *frother* 40 ppm, dan variasi dosis kolektor sebanyak 20, 30, 40, 50 g/ton ditambahkan ke dalam *pulp*. *Pulp* diaduk dengan *mixer* selama 5 menit. Setelah proses pengadukan selesai, *pulp* dimasukkan kedalam penampungan *feed*.

Proses aerasi dilakukan pada sistem flotasi yang telah tersusun dengan sesuai dan dilengkapi dengan wadah penampung yang diletakkan pada ujung selang konsentrat dan *tailing*. Setelah *pulp* dimasukkan ke dalam kolom dan tangki udara diisi dengan udara yang berasal dari kompresor, kemudian laju alir udara diatur pada *flowmeter* sebesar 2 l/menit. Proses aerasi dilakukan selama 10 menit. Wadah penampung yang terisi konsentrat dipindahkan ke nampan untuk lakukan proses pengeringan.



Gambar 3. 6 Rangkaian *Monitoring* Flotasi Kolom Skematis



Gambar 3. 7 Rangkaian *Monitoring* Flotasi Kolom Aktual

Keterangan :

1. Flotasi kolom dengan sensor 32-channel pada *collection zone*
2. Kompresor
3. *Flowmeter*
4. Konsentrat
5. *Tailing*
7. Kapasitometer
8. *Stabilizer*

BAB IV

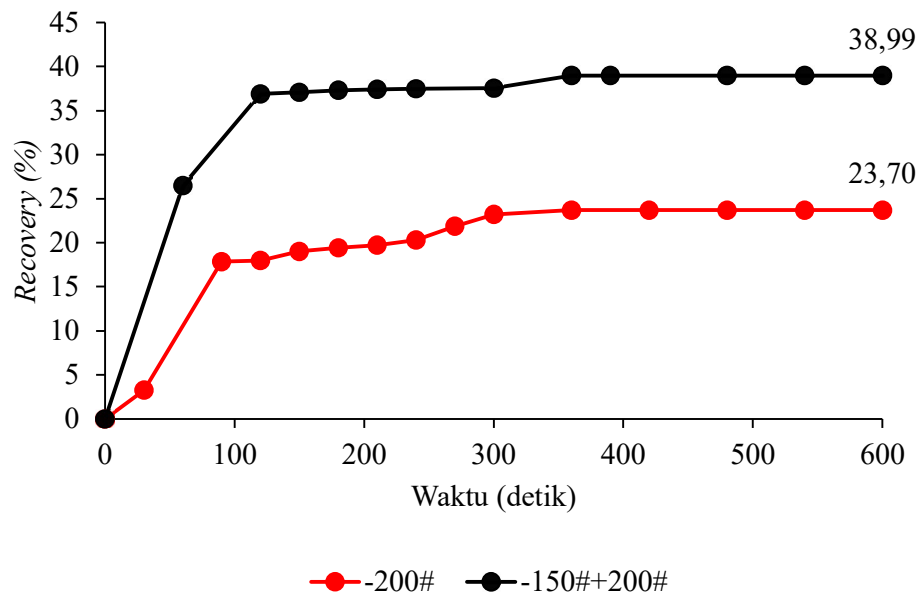
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Percobaan Pendahuluan

4.1.1 Pengaruh Ukuran Partikel terhadap *Recovery*

Karakterisasi awal sinyal kapasitansi dengan melakukan percobaan karakterisasi tiga fasa (air, udara, dan bijih) untuk mengetahui sistem *monitoring* proses flotasi dapat berjalan baik dengan sensor kapasitansi dan untuk menentukan fraksi ukuran yang akan digunakan dalam percobaan. Dalam percobaan pendahuluan dilakukan dengan membandingkan fraksi ukuran -200# dan -150#+200#, variasi tetap persen solid 25%, *frother* yang digunakan *pine oil* 50 ppm, kolektor PAX 30 ppm, dengan laju alir 2 L/m, waktu aerasi selama 10 menit, dengan *conditioning* selama 5 menit. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 *recovery* yang didapatkan pada fraksi ukuran -200# adalah 23,7% dan *recovery* yang didapatkan pada fraksi ukuran -150#+200# adalah 47,28%. Hasil ini menunjukkan bahwa fraksi ukuran -150#+200# memberikan *recovery* yang lebih tinggi dibandingkan dengan fraksi ukuran -200#. Fraksi ukuran -150#+200# memiliki ukuran partikel yang optimal, partikel dengan ukuran yang lebih kasar -150#+200# menunjukkan nilai *recovery* yang lebih tinggi. Ukuran partikel yang optimal memberikan keseimbangan antara massa partikel dan luas permukaan kontak dengan gelembung, sehingga meningkatkan terikatnya partikel berharga pada gelembung. Namun, jika ukuran partikel terlalu kasar, kemungkinan partikel

untuk tenggelam dan tidak terikat pada gelembung. Dengan demikian, hasil ini menjadi alasan bahwa pemilihan fraksi ukuran yang optimal dalam proses flotasi untuk memaksimalkan *recovery*. Percobaan awal ini menjadi dasar untuk menetapkan fraksi ukuran -150#+200# sebagai ukuran partikel yang akan digunakan dalam penelitian selanjutnya.

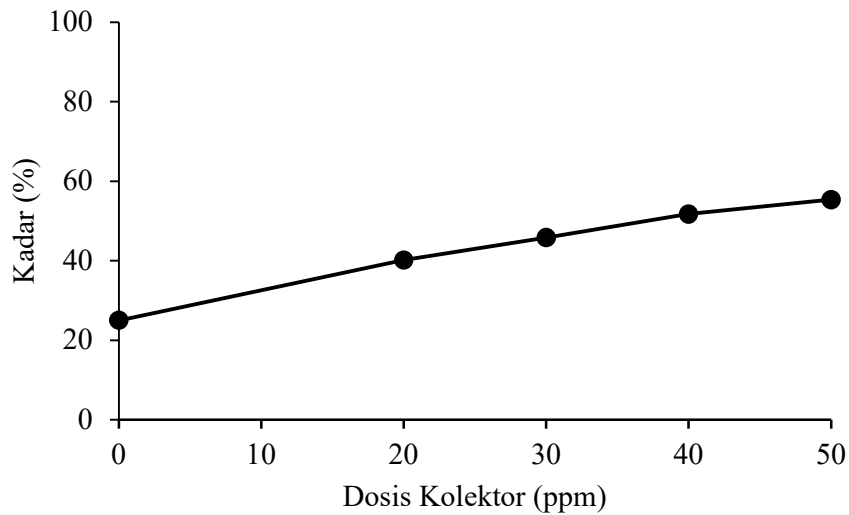


Gambar 4.1 Kurva Hasil Percobaan Pendahuluan Ukuran Partikel

4.2 Pengaruh Dosis Kolektor terhadap Performa Metalurgi

Dalam proses pemisahan mineral untuk mengetahui performa metalurgi dan efisiensi dalam suatu proses dapat menghitung kadar dan *recovery*. Variasi dosis kolektor yang digunakan dalam penelitian ini adalah 20, 30, 40, dan 50 ppm digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi dosis kolektor terhadap performa metalurgi. Gambar 4.2 menampilkan kurva kadar dengan variasi dosis kolektor, dosis kolektor 20 ppm menghasilkan kadar 40,19%. Dengan peningkatan dosis

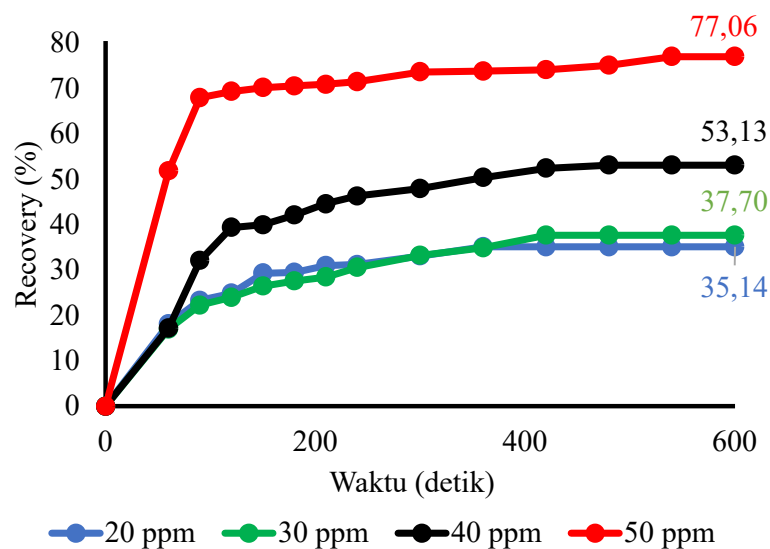
kolektor menjadi 30 ppm, kadar meningkat menjadi 45,83%. Lalu, pada dosis kolektor 40 ppm, menghasilkan kadar 51,7%, dan pada dosis kolektor 50 ppm menghasilkan kadar 55,35%.



Gambar 4.2 Kurva Kadar Rata-Rata pada Variasi Dosis Kolektor

Pada Gambar 4.3 menunjukkan kurva *recovery* dengan variasi dosis kolektor dengan rentang dosis kolektor yang berbeda. Pada sumbu-y menyatakan persentase *recovery*, sementara pada sumbu-x adalah waktu aerasi proses flotasi. Kurva *recovery* memiliki tren peningkatan pada detik-0 hingga detik-200. Fenomena ini karena ketika proses *feeding, pulp* belum sepenuhnya memasuki kolom, sehingga partikel pirit dapat terangkat oleh gelembung udara secara selektif. Hal ini yang mengakibatkan kenaikan *recovery* yang signifikan selama 200 detik pertama. Pada detik-200 hingga detik-600, tren mengalami peningkatan yang melambat, namun karena telah terjadi pemisahan pada seluruh partikel pirit maka *recovery* bertambah secara konsisten hingga menit akhir.

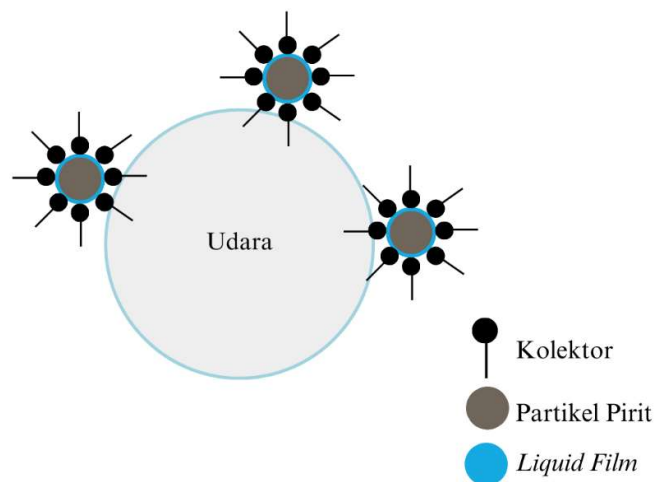
Dalam penelitian ini, ditemukan adanya korelasi antara variasi dosis kolektor dengan nilai *recovery* yang didapatkan sesuai dengan Gambar 4.3. Pada dosis kolektor 20 ppm, *recovery* mencapai 35,14%, *recovery* ini menunjukkan bahwa dosis kolektor belum efektif meningkatkan hidrofobisitas partikel pirit. Pada dosis kolektor 30 ppm *recovery* meningkat menjadi 37,7%, menunjukkan adanya peningkatan *recovery* dalam jumlah relatif kecil. Selanjutnya, pada dosis kolektor 40 ppm, *recovery* mencapai 53,13%, yang menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan dosis sebelumnya dan menghasilkan interaksi maksimal antara kolektor dan permukaan mineral. Puncaknya, pada dosis kolektor 50 ppm, *recovery* mencapai 77,06%, yang menunjukan bahwa peningkatan dosis kolektor seiring waktu terhadap peningkatan *recovery*.



Gambar 4.3 Kurva *Recovery* Flotasi Kolom dengan Variasi Dosis Kolektor

Penelitian ini menunjukkan bahwa dosis kolektor yang lebih tinggi berpotensi meningkatkan efisiensi proses flotasi. Hal ini dikarenakan jenis kolektor

yang digunakan kolektor anionik berfokus pada mekanisme adsorpsi kimia, molekul kolektor membentuk ikatan kuat dengan ion logam pada permukaan pirit melalui gugus fungsi sulfur yang menciptakan lapisan hidrofobik tipis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 [11]. Jumlah kolektor yang semakin banyak akan membuat lapisan pada permukaan mineral tersebut semakin tebal. Dengan terciptanya lapisan hidrofobik pada partikel pirit, partikel tersebut dapat dengan mudah menempel pada gelembung udara dan diangkut ke permukaan sel flotasi.



Gambar 4. 4 Mekanisme Adsorpsi Kolektor

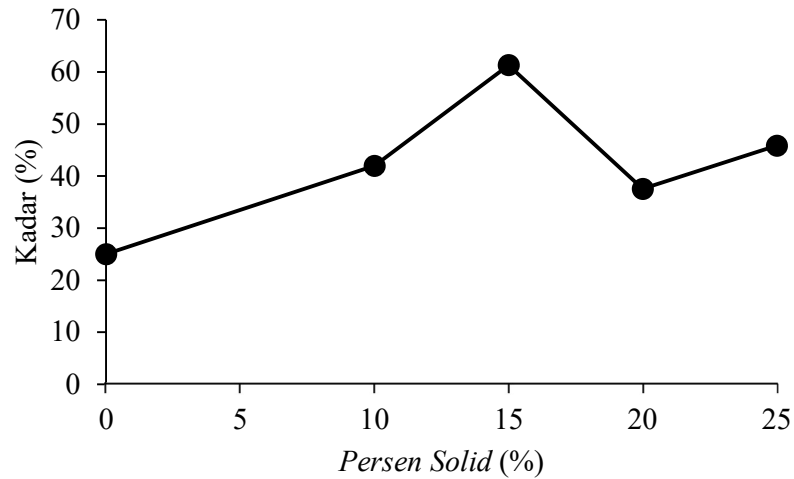
Peningkatan dosis kolektor dalam proses flotasi dapat sangat berpengaruh terhadap interaksi antara gelembung dan partikel mineral. Pada dosis yang lebih rendah, kolektor akan menempel pada permukaan partikel mineral, meningkatkan sifat hidrofobiknya dan mempermudah keterikatan partikel dengan gelembung. Hal ini memungkinkan partikel untuk terperangkap dalam gelembung dan meningkatkan efisiensi flotasi. Namun, ketika dosis kolektor ditambahkan dalam jumlah yang lebih besar, lebih banyak molekul kolektor yang menempel pada

permukaan gelembung, yang dapat mempengaruhi struktur gelembung secara keseluruhan. Proses ini dapat menyebabkan terjadinya pengelompokan gelembung (*bubble clustering*), yaitu gelembung-gelembung saling berhubungan dan mengurangi ketahanan gelembung yang menjadi tidak stabil [26]. Fenomena pengelompokan gelembung terjadi ketika konsentrasi kolektor dalam *pulp* meningkat hingga titik tertentu, dan partikel yang sangat hidrofobik menempel pada dua atau lebih gelembung kecil [27]. Akibatnya, luas permukaan gelembung udara yang tersedia untuk pengumpulan partikel menjadi berkurang. Fenomena pengelompokan gelembung terjadi ketika dosis kolektor dalam *pulp* meningkat hingga titik tertentu, partikel yang sangat hidrofobik menempel pada dua atau lebih gelembung dengan ukuran kecil, membentuk jembatan partikel (*particle bridging*) [28]. Akibat fenomena ini, luas permukaan spesifik gelembung udara yang tersedia untuk pengumpulan partikel menurun secara signifikan, sehingga berdampak terhadap muatan gelembung.

4.3 Pengaruh Persen Solid terhadap Performa Metalurgi

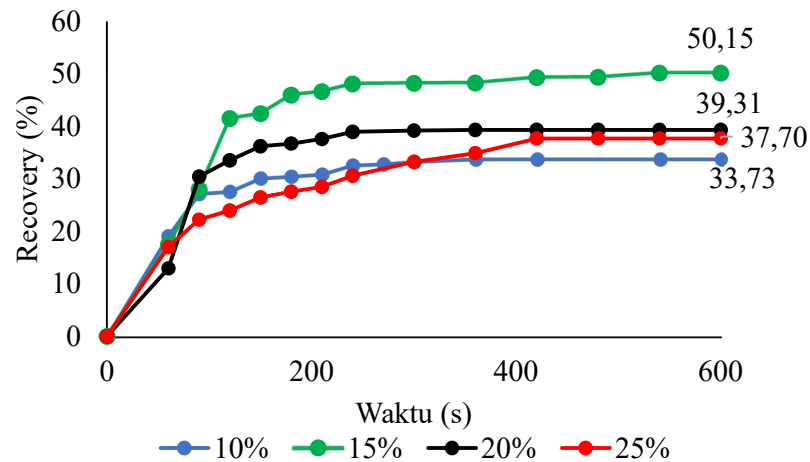
Dalam proses pemisahan mineral dengan tujuan efisiensi dalam suatu proses, parameter persen solid dapat divariasikan untuk meningkatkan performa metalurgi. Dalam penelitian ini, variasi persen solid yang digunakan adalah 10%, 15%, 20%, dan 25%. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada persen solid 10%, kadar yang dihasilkan adalah sebesar 41,98%. Peningkatan persen solid 15% memberikan kadar tertinggi sebesar 61,32%. Pada persen solid 20% mengalami penurunan kadar menjadi 37,57%. Pada persen solid 25% menghasilkan kadar sebesar 45,83%. Hal

ini menjelaskan terdapat pengaruh persen solid terhadap performa metalurgi yang dihasilkan.



Gambar 4.5 Kurva Kadar Rata-Rata pada Variasi Persen Solid

Dalam penelitian ini, ditemukan pengaruh antara variasi persen solid dengan nilai *recovery* yang didapatkan sesuai dengan Gambar 4.4. Pada persen solid 10%, *recovery* mencapai 33,73%, *recovery* ini menunjukkan bahwa pada persen solid rendah belum efektif untuk meningkatkan interaksi antara partikel pirit dan gelembung. Pada persen solid 15%, *recovery* meningkat menjadi 50,15%, menunjukkan adanya peningkatan signifikan yang disebabkan oleh kondisi *pulp* yang optimal untuk proses flotasi. Selanjutnya, pada persen solid 20%, *recovery* menurun menjadi 39,31%. Penurunan lebih lanjut terjadi pada persen solid 25%, *recovery* hanya mencapai 37,7%, menunjukkan bahwa viskositas *pulp* yang terlalu tinggi menghambat proses interaksi partikel dan gelembung. Penelitian ini menunjukkan bahwa persen solid memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi flotasi, nilai persen solid 15% menghasilkan kondisi optimal untuk *recovery* pirit.

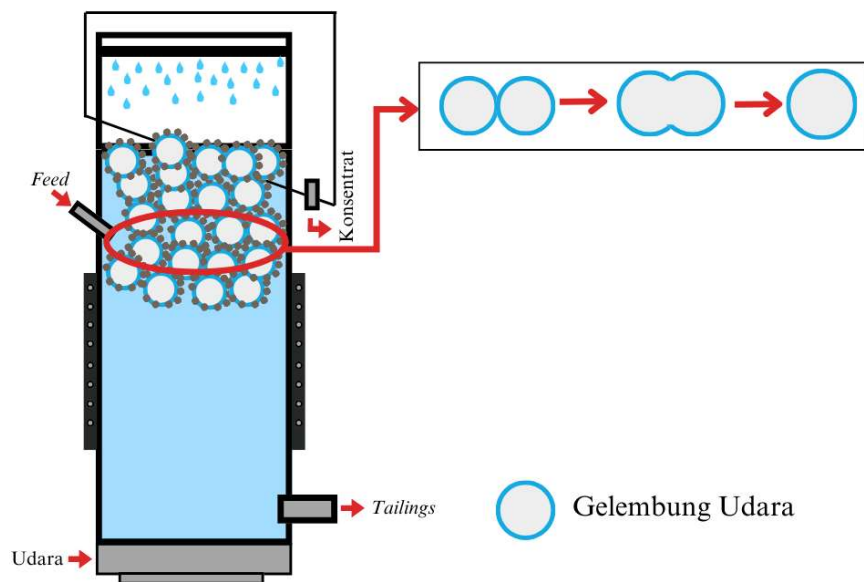


Gambar 4.6 Kurva *Recovery* pada Variasi Persen Solid

Persen solid sangat berhubungan dengan viskositas *pulp*, peningkatan persen solid akan meningkatkan viskositas *pulp*. Hal ini linear dengan teori yang menyatakan bahwa persen solid memengaruhi viskositas *pulp*, yang memengaruhi pergerakan partikel pirit dengan gelembung. Pada persen solid yang rendah, seperti 10%, partikel pirit dalam *pulp* sulit untuk menciptakan interaksi yang optimal dengan gelembung, sehingga *recovery* rendah. Namun, pada persen solid yang tinggi, seperti 20% dan 25% terdapat penurunan *recovery*. Penurunan *recovery* dapat dianalisis karena fenomena *bubble overloading*, gelembung yang terlalu banyak membawa partikel akan mengalami pemecahan gelembung sebelum mencapai permukaan pada kolom, hal ini yang menyebabkan partikel pirit yang akan terangkut ke konsentrat akan jatuh ke *tailing* di dasar kolom [29].

Fenomena *bubble overloading* menyebabkan partikel yang menempel pada gelembung, sehingga menyebabkan gelembung sulit untuk menuju permukaan kolom, gelembung dan partikel terhimpun yang menyebabkan fenomena koalesensi

[30]. Hal ini juga menyebabkan penurunan *recovery* yang dikaitkan dengan fenomena koalesensi gelembung yang terjadi pada persen solid yang tinggi. Koalesensi terjadi ketika gelembung-gelembung udara di dalam kolom flotasi menyatu menjadi gelembung yang lebih besar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Pada persen solid yang tinggi, jumlah partikel dalam *pulp* meningkat secara signifikan, dan akan membuat tekanan yang lebih tinggi pada gelembung [31]. Tekanan ini mengakibatkan lapisan cairan tipis yang memisahkan gelembung menjadi tidak stabil, sehingga gelembung-gelembung tersebut lebih mudah bergabung. Selain itu, viskositas *pulp* yang lebih tinggi pada persen solid yang tinggi menghambat pergerakan gelembung dan akan menyebabkan tabrakan antar gelembung, yang pada akhirnya memicu koalesensi.



Gambar 4. 7 Ilustrasi Fenomena Koalesensi

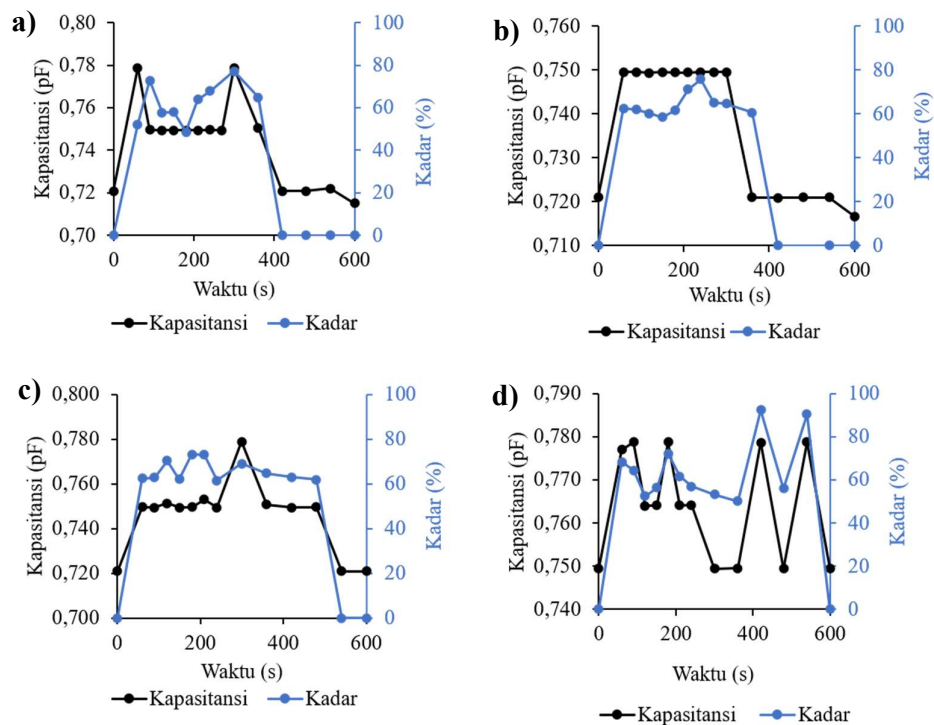
4.4 Hubungan antara Performa Metalurgi dengan Sinyal Kapasitansi

Pada penelitian ini telah dilakukan *monitoring* proses flotasi menggunakan sinyal kapasitansi, sehingga mendapatkan hasil nilai kapasitansi. Nilai kapasitansi didapatkan dengan sensor kapasitometer CAP 3201 2CH C-Tech Labs Edwar Technology yang dipasang pada bagian tengah kolom pada *collection zone*, hal ini dikarenakan *collection zone* merupakan daerah interaksi antara gelembung dan partikel pirit. *Monitoring* dilakukan dengan sensor berjumlah 32 *channel* dengan 8 tingkatan, pada penelitian ini menggunakan 2 *channel*, *channel*-18 dan *channel*-19. *Channel* 18 dan 19 dipilih karena terletak ditengah kolom yang tidak akan mempengaruhi sinyal kapasitansi akibat udara yang dimasukkan melalui *sparger* dan tidak berpengaruh pada proses *feeding*.

4.4.1 Hubungan antara Kadar dengan Sinyal Kapasitansi

Hubungan antara kadar dan sinyal kapasitansi dianalisis untuk memahami perubahan kadar selama proses flotasi kolom dan mengevaluasi efektivitas sinyal kapasitansi dalam merepresentasikan kadar. Variasi dosis kolektor yang digunakan dalam penelitian ini adalah 20, 30, 40, dan 50 ppm digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi dosis kolektor terhadap performa metalurgi, sedangkan untuk variasi persen solid yang digunakan dalam penelitian ini 10%, 15%, 20%, 25%. Pada Gambar 4.8 kadar mineral menunjukkan tren fluktuatif yang menunjukkan perubahan kadar mineral selama proses berlangsung. Sinyal kapasitansi yang terhubung dengan sensor kapasitif memperlihatkan variasi yang berkorelasi dengan perubahan kadar mineral. Pada awal proses (0–600 detik), kadar mineral dan nilai kapasitansi

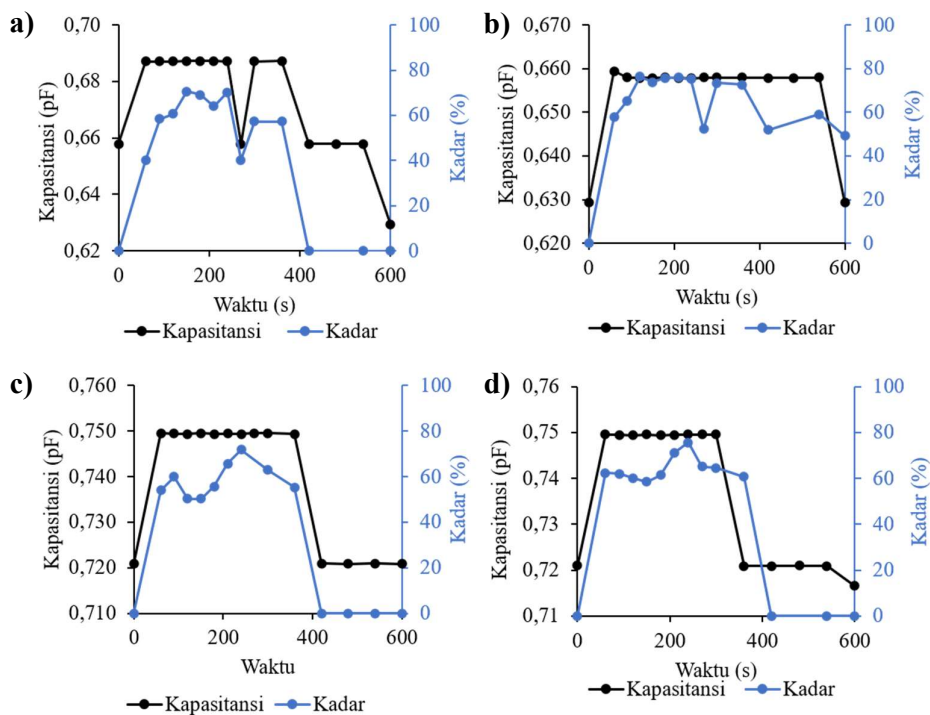
mengalami peningkatan. Tren kenaikan ini menunjukkan partikel-partikel mineral mulai terdeteksi oleh sensor kapasitif seiring dengan berlangsungnya proses. Hal ini menjelaskan proses *feeding* pada saat partikel mineral yang mulai mendominasi kolom. Pada detik-400 hingga detik-600 kadar cenderung menurun, penurunan ini karena adanya pengurangan partikel mineral yang terdeteksi oleh sensor kapasitif. Partikel mineral telah melewati proses flotasi, sehingga terdapat pada wadah konsentrat dan *tailing*.



Gambar 4. 8 Kurva Kadar dan Kapasitansi Variasi Dosis Kolektor a) 20 ppm, b) 30 ppm, c) 40 ppm, d) 50 ppm

Dosis kolektor 20 ppm dan 30 ppm menghasilkan kadar pirit yang rendah karena hanya sebagian kecil permukaan pirit yang terlapis oleh

kolektor, sehingga interaksinya dengan gelembung udara menjadi terbatas. Pada proses *monitoring*, sinyal kapasitansi akan menghasilkan nilai kapasitansi yang rendah, karena partikel pirit yang terflotasi dan terdeteksi oleh sensor kapasitif jumlahnya terbatas. Ketika dosis kolektor ditingkatkan pada 40 ppm dan 50 ppm, kadar pirit dalam konsentrat meningkat. Peningkatan ini diikuti oleh peningkatan nilai kapasitansi, yang mengindikasikan bahwa lebih banyak partikel pirit yang berhasil diangkat ke permukaan kolom flotasi dan terdeteksi oleh sensor kapasitif.



Gambar 4. 9 Kurva Kadar dan Kapasitansi Variasi Persen Solid a) 10%

b) 15% c) 20% d) 25%

Persen solid memengaruhi sifat fisik *pulp*, seperti viskositas, densitas, dan distribusi partikel dalam kolom flotasi, yang berpengaruh

terhadap interaksi antara partikel pirit dan gelembung udara. Pada persen solid 10% dan 15%, rata rata kadar bijih pirit cenderung lebih tinggi, karena viskositas *pulp* yang rendah akan mendistribusikan partikel yang lebih merata dan interaksi antara partikel pirit dan gelembung udara lebih optimal. Kondisi ini ditunjukkan pada sinyal kapasitansi yang stabil dan meningkat, karena partikel mineral seperti pirit, mendominasi area deteksi sensor kapasitif. Lalu dengan peningkatan persen solid 20% dan 25% viskositas *pulp* menjadi lebih tinggi, menyebabkan distribusi partikel menjadi kurang merata dan menurunkan efisiensi proses flotasi. Pada kondisi ini, kadar pirit yang terflotasi cenderung menurun, sementara sinyal kapasitansi menjadi lebih fluktuatif. Fluktuatif ini terjadi karena keberadaan partikel padat yang lebih tinggi mengganggu kestabilan sel flotasi, yang memengaruhi kemampuan sensor kapasitif dalam proses flotasi.

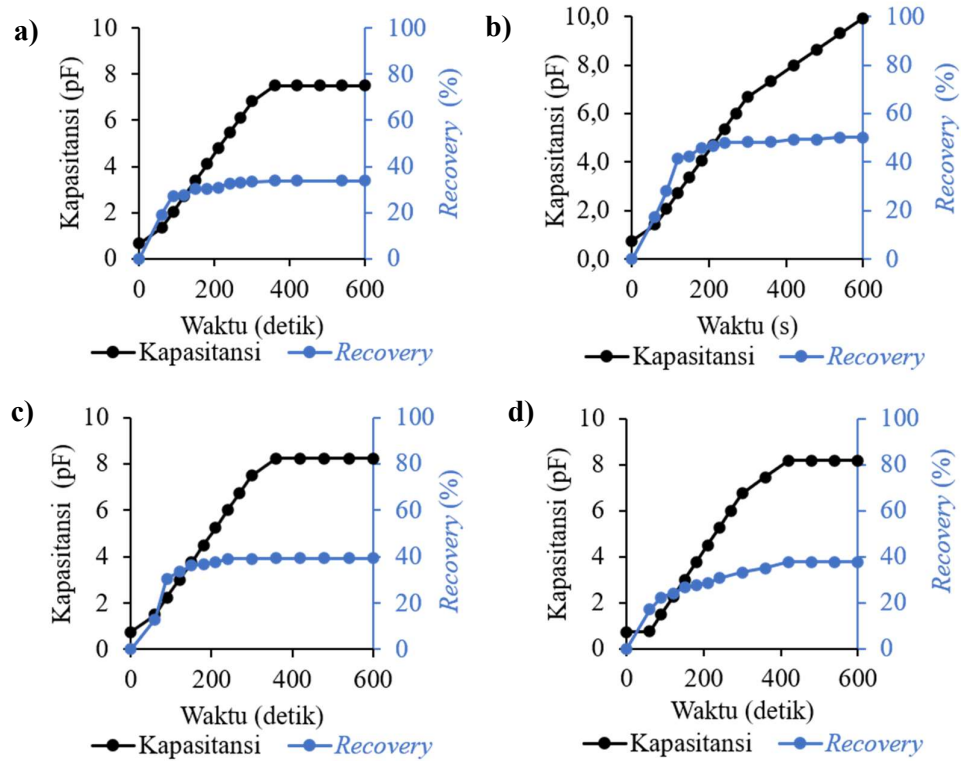
4.4.2 Hubungan antara *Recovery* dengan Sinyal Kapasitansi

Variasi Persen Solid memengaruhi interaksi antara partikel mineral dengan gelembung serta pemisahan yang terjadi di dalam kolom flotasi, karena ratio massa padatan dengan total massa *pulp* akan mempengaruhi nilai *recovery* dan nilai kapasitansi. Nilai kapasitansi didapatkan dari sensor kapasitometer CAP 3201 2CH C-Tech Labs Edwar Technology yang mendeteksi partikel pirit pada flotasi kolom, sedangkan nilai *recovery* didapatkan dari perhitungan berdasarkan massa konsentrat dan *tailing* yang dihasilkan selama proses flotasi. Pada Gambar 4.7 menyajikan kurva *recovery* dan nilai kapasitansi dari variasi persen solid, terdapat korelasi antara

kapasitansi dan *recovery*, peningkatan nilai *recovery* linear dengan peningkatan nilai kapasitansi pada proses flotasi. Hubungan ini juga dapat dikaitkan dengan *recovery* pada proses flotasi. Data pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa *recovery* tertinggi sebesar 50,15% terjadi pada persen solid 15% dengan nilai kapasitansi kumulatif sebesar 9,93 pF. Sementara itu, pada persen solid 20% dan 25%, nilai kapasitansi kumulatif masing-masing sebesar 8,24 pF dan 8,18 pF dengan *recovery* lebih rendah, yaitu 39,31% dan 37,70%. Pada Persen Solid 10%, *recovery* hanya mencapai 33,73% dengan nilai kapasitansi dengan nilai kapasitansi kumulatif sebesar 7,50 pF.

Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa peningkatan nilai kapasitansi dapat memonitor atau memprediksi nilai *recovery*. Nilai kapasitansi yang lebih tinggi umumnya menunjukkan peningkatan jumlah partikel mineral meningkatkan efek polarisasi, yang ditandai dengan konstanta dielektrik yang lebih besar dan peningkatan sinyal kapasitansi yang terukur [4]. Namun, pada persen solid 20% dan 25%, *recovery* mengalami penurunan meskipun kapasitansi masih cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya *pulp* yang menghambat pergerakan gelembung dan mengurangi efisiensi proses pengangkatan partikel mineral ke permukaan [29]. Nilai kapasitansi dapat digunakan sebagai indikator untuk memonitor kinerja *recovery* pada proses flotasi. Sinyal kapasitansi memberikan gambaran *real-time* mengenai distribusi partikel mineral dalam *pulp*. Dalam penelitian ini, *recovery* optimal tercapai pada persen solid 15% dengan nilai kapasitansi tertinggi, menunjukkan bahwa kapasitansi efektif sebagai

parameter pemantauan dalam proses flotasi.



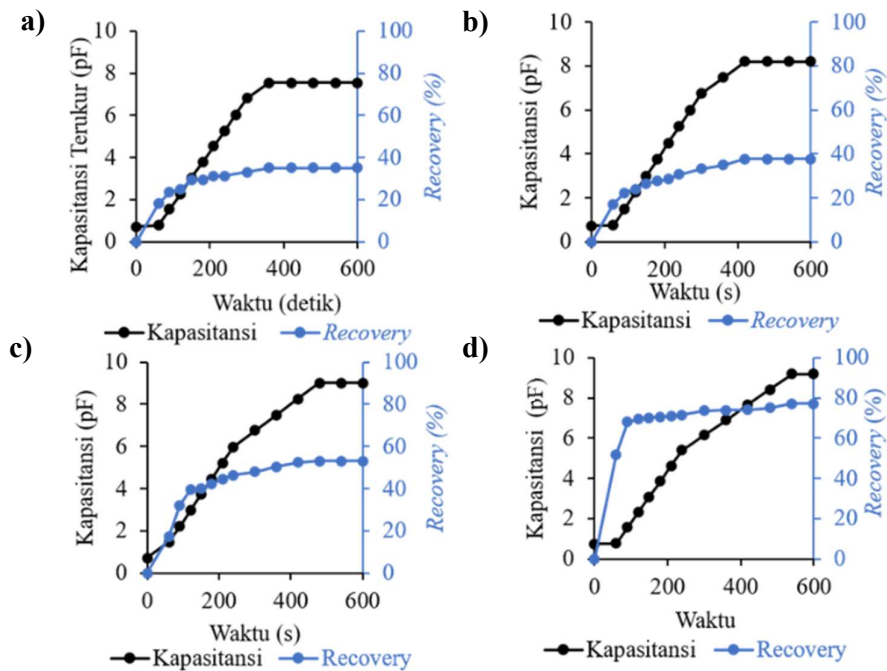
Gambar 4. 10 Kurva *Recovery* dan Kapasitansi Variasi Persen Solid

a) 10%, b) 15%, c) 20%, d) 25%

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat ditinjau bahwa terdapat tren kurva yang sama pada semua variasi dosis kolektor. Meningkatnya dosis kolektor akan meningkatkan kemampuan kolektor untuk mengadsorpsi partikel pirit, sehingga proses pemisahan menjadi lebih efisien. *Recovery* mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan meningkatnya dosis kolektor dan nilai kapasitansi juga menunjukkan tren kenaikan secara perlahan hingga mencapai titik optimum. Setelah titik optimum, *recovery* dan nilai kapasitansi tidak mengalami kenaikan karena proses pemisahan partikel pirit telah

selesai. Pada detik-0 hingga detik-200, kurva mengalami tren kenaikan yang signifikan, karena terdapat interaksi antara partikel pirit dengan gelembung secara selektif ketika *pulp* belum sepenuhnya memasuki kolom.

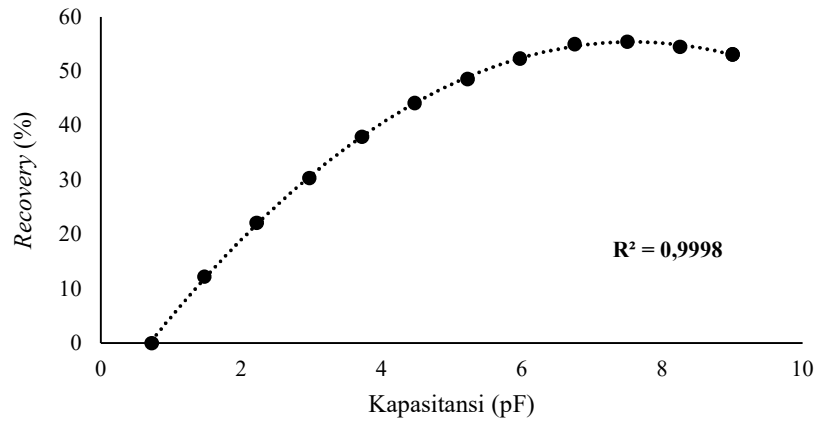
Ditinjau dari Gambar 4.5 rata-rata nilai kapasitansi terendah didapatkan pada variasi dosis kolektor 30 ppm dengan nilai 0,7378 dengan nilai tertinggi pada dosis kolektor 50 ppm dengan nilai 0,76398. Peningkatan nilai kapasitansi ini seiring dengan peningkatan dosis kolektor dapat dijelaskan melalui interaksi antara senyawa PAX dalam proses flotasi. Peningkatan dosis PAX berhubungan langsung dengan peningkatan permitivitas relatif sistem, karena PAX mengandung grup polar yang berinteraksi dengan air (aquades), yang dapat meningkatkan kemampuan material untuk pembentukan medan listrik [32]. Dengan meningkatnya permitivitas relatif, kapasitas bahan untuk menyimpan muatan listrik juga meningkat, yang berpengaruh pada peningkatan nilai kapasitansi. Pada dosis kolektor 30 ppm, nilai kapasitansi yang lebih rendah menunjukkan permitivitas relatif yang lebih rendah, sementara pada dosis kolektor 50 ppm, peningkatan dosis PAX menyebabkan peningkatan permitivitas relatif dan kapasitas bahan untuk menyimpan energi listrik, sehingga menghasilkan nilai kapasitansi yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa dosis PAX yang lebih tinggi meningkatkan nilai kapasitansi pada proses flotasi.



Gambar 4. 11 Kurva *Recovery* dan Kapasitansi Variasi Dosis Kolektor

a) 20 ppm, b) 30 ppm, c) 40 ppm, d) 50 ppm

Kurva kapasitansi dari dosis kolektor dilakukan pendekatan matematis, kurva kapasitansi yang memiliki tren paling mendekati kurva *recovery* yaitu pada variasi dosis kolektor 40 ppm. Pemilihan dosis 40 ppm ini didasarkan tren hubungan antara *recovery* dan kapasitansi menunjukkan keseimbangan yang optimal tanpa mengalami tren mendatar seperti pada dosis 50 ppm dan tidak terlalu rendah seperti pada dosis 20 ppm atau 30 ppm. Nilai kapasitansi diplot pada sumbu x dan nilai *recovery* pada sumbu y, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. Pada Gambar 4.9 menghasilkan pendekatan regresi polinomial pada Persamaan 4.1. Kurva tersebut memperlihatkan bahwa *recovery* meningkat seiring dengan bertambahnya nilai kapasitansi (pF).



Gambar 4. 12 Hubungan Kapasitansi terhadap *Recovery* Variasi
Dosis Kolektor 40 ppm

$$y = -1,1696x^2 + 17,724x - 11,751 \dots \dots \dots (4.1)$$

Pendekatan persamaan menggunakan polinomial orde 2 pada kurva hubungan kapasitansi terhadap *recovery* dipilih karena nilai koefisien determinasi R^2 yang dihasilkan mendekati 1, yaitu sebesar 0,9998. Hal ini menunjukkan bahwa model tersebut memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi dalam merepresentasikan data eksperimen dan 99,98% variasi data *recovery* dapat dijelaskan oleh model tersebut. Ketika variabel x (kapasitansi) disubstitusi dengan nilai 0, yang merepresentasikan kondisi saat sensor mengukur kolom hanya berisi udara, nilai *recovery* yang dihasilkan mendekati 0. Jika persamaan regresi menghasilkan prediksi *recovery* yang jauh dari 0 pada kondisi kapasitansi 0, maka model tersebut dianggap kurang akurat untuk memprediksi *recovery*. Pemilihan polinomial orde 2 didasarkan pada tingkat kecocokan data R^2 yang tinggi dan juga pada kemampuan persamaan untuk memberikan hasil prediksi yang mendekati kondisi aktual.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian *monitoring* flotasi kolom menggunakan sistem sensor kapasitif didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Sensor kapasitif dapat digunakan untuk memonitor proses flotasi kolom secara *real-time*. Pemantauan performa flotasi yang terjadi di dalam *collection zone* mampu dideteksi dengan baik, yang ditunjukkan dengan rentang nilai kapasitansi antara 7,5 pF-9,93 μ F pada variasi persen solid 10-15%
2. Sensor kapasitif berhasil mendeteksi pengaruh variasi parameter operasi terhadap performa flotasi pirit. Pada dosis kolektor 40 ppm, *recovery* mencapai 53,13% dengan nilai kapasitansi 9,00 pF, sedangkan pada dosis kolektor 50 ppm, menghasilkan nilai *recovery* 77,06% menghasilkan nilai kapasitansi 9,917 pF.
3. Nilai kapasitansi berkorelasi dengan *recovery* yang dapat diprediksi dengan persamaan $y = -1,1696x^2 + 17,724x - 11,751$. Y merepresentasikan nilai *recovery*, sedangkan X merepresentasikan nilai nilai kapasitansi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai *monitoring* flotasi kolom menggunakan sistem sensor kapasitif, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan dan penerapan lebih lanjut:

- a. Menerapkan variasi kolektor yang berbeda untuk mengetahui nilai optimum variasi kolektor untuk proses flotasi bijih pirit.
- b. Menggunakan mineral selain pirit untuk mengetahui kinerja sensor kapasitif pada berbagai jenis mineral sulfida maupun oksida.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian ESDM RI, 'Besi Indonesia', *Peluang Investasi Besi Indones.*, p. 42, 2022.
- [2] E. Forbes, M. Jefferson, U. Yenial-Arslan, C. Curtis-Morar, and R. O'Donnell, 'Solving the mystery of natural pyrite flotation – A mineralogy-based approach', *Miner. Eng.*, vol. 207, no. October 2023, p. 108544, 2024, doi: 10.1016/j.mineng.2023.108544.
- [3] B. A. Wills and J. A. Finch, 'Froth Flotation', *Wills' Miner. Process. Technol.*, no. 1984, pp. 265–380, 2016, doi: 10.1016/b978-0-08-097053-0.00012-1.
- [4] D. Haryono *et al.*, 'Investigation of column flotation process on sulphide ore using 2-electrode capacitance sensor: The effect of air flow rate and solid percentage', *AIP Conf. Proc.*, vol. 1945, pp. 2–7, 2018, doi: 10.1063/1.5030267.
- [5] B. A. Wills and J. A. Finch, 'Froth Flotation', in *Wills' Mineral Processing Technology*, no. 1984, 2016, pp. 265–380.
- [6] H. Nugraha, A. N. Fitriani, D. Haryono, M. Al Huda, W. P. Taruno, and S. Harjanto, 'Signal characterization of frother dosage effect in two- phase column flotation process using capacitive measurement method', *AIP Conf. Proc.*, vol. 2232, no. April, 2020, doi: 10.1063/5.0001979.
- [7] D. Haryono, I. Darmabakti, S. Oediyani, and S. Harjanto, 'Monitoring of Column Flotation Process in Collection Zone using ECVT with the Effect of Collector and Frother Doses to Recovery', *Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 1–7, 2020, doi: 10.25105/ms.v11i1.7442.

- [8] D. Haryono, S. Harjanto, H. Nugraha, M. Al Huda, and W. P. Taruno, 'Column flotation monitoring based on electrical capacitance volume tomography: A preliminary study', *AIP Conf. Proc.*, vol. 1805, 2017, doi: 10.1063/1.4974436.
- [9] C. K. Gupta, *Chemical Metallurgy Principles and Practice*. 2003.
- [10] R. Prakash, S. K. Majumder, and A. Singh, 'Flotation technique: Its mechanisms and design parameters', *Chem. Eng. Process. - Process Intensif.*, vol. 127, pp. 249–270, 2018, doi: 10.1016/j.cep.2018.03.029.
- [11] B. A. Wills and J. A. Finch, 'Froth Flotation', *Wills' Miner. Process. Technol.*, no. 1984, pp. 265–380, 2016, doi: 10.1016/b978-0-08-097053-0.00012-1.
- [12] National Center for Biotechnology Information, 'PubChem Compound Summary for CID 493949, Potassium pentylxanthate', *PubChem*, 2024. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Potassium-pentylxanthate> (accessed Dec. 18, 2024).
- [13] D. Wang, 'Flotation reagents', in *Applied Surface Chemistry on Minerals Flotation and Energy Resources Beneficiation: Volume 1: Functional Principle*, 2016, pp. 1–382.
- [14] P. Forson, M. Zanin, W. Skinner, and R. Asamoah, 'Differential flotation of pyrite and arsenopyrite: Effect of hydrogen peroxide and collector type', *Miner. Eng.*, vol. 163, no. December 2020, p. 106808, 2021, doi: 10.1016/j.mineng.2021.106808.
- [15] G. Güven, B. Tunç, B. Aydın, and G. Bulut, 'Effects of frothers on bubbles size and flotation performance of hydrophobic minerals', *J. Cent. South Univ.*, vol. 31, no. 7, pp. 2280–2299, 2024, doi: 10.1007/s11771-024-5685-5.

- [16] J. Yianatos, C. Carrasco, L. Vinnett, and I. Rojas, 'Pyrite recovery mechanisms in rougher flotation circuits', *Miner. Eng.*, vol. 66, pp. 197–201, 2014, doi: 10.1016/j.mineng.2014.03.020.
- [17] A. Azizi, 'Influence of collector dosage and pulp chemistry on copper flotation', *Geosystem Eng.*, vol. 17, no. 6, pp. 311–316, 2014, doi: 10.1080/12269328.2014.994787.
- [18] S. Bahtiar, W. Muzakki, R. Desiasni, F. Widyawati, and S. Hidayat, 'Pengaruh Ukuran Partikel, Persen Padatan, dan pH pada Proses Flotasi Terhadap Perolehan Kembali Tembaga', *J. Pijar Mipa*, vol. 16, no. 3, pp. 406–410, 2021, doi: 10.29303/jpm.v16i3.1308.
- [19] S. M. Siagian, G. W. Jaya, and I. Nurhidayati, 'Analisis Jumlah Muatan Listrik Serta Energi Pada Kapasitor Berdasarkan Konstanta Dielektrik Suatu Material', *ORBITA J. Kajian, Inov. dan Apl. Pendidik. Fis.*, vol. 7, no. 1, p. 176, 2021, doi: 10.31764/orbita.v7i1.4420.
- [20] M. Sidi, B. P. Lapanporo, and Y. Arman, 'Perbandingan Kapasitansi dari Beberapa Jenis Bahan Menggunakan Kapasitor Silinder', *Prism. Fis.*, vol. 8, no. 2, p. 128, 2020, doi: 10.26418/pf.v8i2.42528.
- [21] B. E. Cahyono, M. Misto, and F. Hasanah, 'Karakterisasi Sensor Kapasitif Untuk Penentuan Level Aquades', *Rekayasa Energi Manufaktur*, vol. 1, no. 2, p. 9, 2016, doi: 10.21070/r.e.m.v1i2.583.
- [22] F. Ningsih, F. Fitrianingsih, and L. A. Didik, 'Analisis Pengaruh Lama Penggerusan Terhadap Resistivitas Dan Konstanta Dielektrik Pada Pasir Besi Yang Disintesis Dari Kabupaten Bima', *Indones. Phys. Rev.*, vol. 2, no. 3, pp. 92–98, 2019, doi: 10.29303/ipr.v2i3.31.
- [23] A. Yusuf, W. Widada, and W. P. Taruno, 'Determine of the Time Constant of Capacitance Applied to Electrical Capacitance Tomography', *2022 Int.*

Conf. Informatics Electr. Electron. ICIEE 2022 - Proc., pp. 1–6, 2022, doi: 10.1109/ICIEE55596.2022.10010084.

- [24] J. Maitre, K. Bouchard, and L. P. Bédard, ‘Computers and Geosciences Mineral grains recognition using computer vision and machine learning’, *Comput. Geosci.*, vol. 130, no. May, pp. 84–93, 2019, doi: 10.1016/j.cageo.2019.05.009.
- [25] W. Wang and L. Wang, ‘An Image Processing Method for Grains Counting’, pp. 181–185, 2012.
- [26] M. Ostadrahimi, S. Farrokhpay, K. Gharibi, A. Dehghani, and M. Aghajanloo, ‘Effects of flotation operational parameters on froth stability and froth recovery’, *J. South. African Inst. Min. Metall.*, vol. 121, no. 1, pp. 11–20, 2021, doi: 10.17159/2411-9717/1272/2021.
- [27] A. Eskanolou, M. R. Khalesi, M. Abdollahy, and M. H. Chegeni, ‘Interactional effects of bubble size, particle size, and collector dosage on bubble loading in column flotation’, *J. Min. Environ.*, vol. 9, no. 1, pp. 107–116, 2017, doi: 10.22044/jme.2017.5815.1393.
- [28] A. Eskanolou, M. R. Khalesi, M. Abdollahy, and M. H. Chegeni, ‘Interactional effects of bubble size, particle size, and collector dosage on bubble loading in column flotation’, *J. Min. Environ.*, no. September, 2017, doi: 10.22044/jme.2017.5815.1393.
- [29] S. Oediyani, A. Muttaqin, D. Haryono, and R. F. Suwandana, ‘Metallurgical performance of column and mechanical flotation as a rougher circuit in sphalerite ore flotation with %solid and frother dose variation’, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 909, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/909/1/012010.
- [30] R. Soltanpour, M. Irannajad, and F. Nakhaei, ‘Investigation of effective

operating parameters on carrying capacity in column flotation of copper sulfide minerals', *Part. Sci. Technol.*, vol. 37, no. 6, pp. 677–684, 2019, doi: 10.1080/02726351.2018.1435593.

- [31] A. Uribe-Salas, P. de Lira-Gómez, R. Pérez-Garibay, F. Nava-Alonso, L. Magallanes-Hernández, and C. Lara-Valenzuela, 'Overloading of gas bubbles in column flotation of coarse particles and effect upon recovery', *Int. J. Miner. Process.*, vol. 71, no. 1–4, pp. 167–178, 2003, doi: 10.1016/S0301-7516(03)00036-X.
- [32] D. Haryono, H. Nugraha, M. Al Huda, W. P. Taruno, and S. Harjanto, 'The Effect of Flotation Reagents Addition (MIBC and PAX) on the Relative Permittivity Value Using 2-Electrode Capacitance Sensor', *Procedia Eng.*, vol. 170, pp. 369–372, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.059.

LAMPIRAN A

DATA PENELITIAN

A.1 Hasil Flotasi Kolom

Tabel A.1 Massa Konsentrat dan *Tailing* Variasi Dosis Kolektor 20 ppm

Waktu (detik)	Massa konsentrat (g)
0	0,00
60	6,54
90	1,33
120	0,51
150	1,43
180	0,07
210	0,44
240	0,06
300	0,46
360	0,59
420	0,04
480	0,00
540	0,00
600	0,00
<i>Tailing</i>	63,53

Tabel A. 2 Massa Konsentrat dan *Tailing* Variasi Dosis Kolektor 30 ppm

Waktu (detik)	Massa konsentrat (g)
0	0,00
60	5,75
90	1,78
120	0,60
150	0,90

180	0,38
210	0,26
240	0,59
300	1,41
360	0,56
420	0,00
480	0,00
540	0,00
600	0,00
<i>Tailing</i>	71,61

Tabel A. 3 Massa Konsentrat dan *Tailing* Variasi Dosis Kolektor 40 ppm

Waktu (detik)	Massa konsentrat (g)
0	0,00
60	6,27
90	5,39
120	2,35
150	0,21
180	0,67
210	0,77
240	0,64
300	0,55
360	0,85
420	0,74
480	0,24
540	0,00
600	0,00

<i>Tailing</i>	72,20
----------------	-------

Tabel A. 4 Massa Konsentrat dan *Tailing* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm

Waktu (detik)	Massa konsentrat (g)
0	0,00
60	10,27
90	3,39
120	0,35
150	0,21
180	0,07
210	0,07
240	0,14
300	0,55
360	0,05
420	0,04
480	0,24
540	0,29
600	0,00
<i>Tailing</i>	38,51

Tabel A. 5 Massa Konsentrat dan *Tailing* Variasi Persen Solid 10%

Waktu (detik)	Massa konsentrat (g)
0	0,00
60	10,67
90	3,05
120	0,16
150	0,80
180	0,11

210	0,13
240	0,56
300	0,11
360	0,18
420	0,00
480	0,00
540	0,00
600	0,00
<i>Tailing</i>	73,21

Tabel A. 6 Massa Konsentrat dan *Tailing* Variasi Persen Solid 15%

Waktu (detik)	Massa konsentrat (g)
0	0,00
60	6,62
90	3,51
120	3,88
150	0,27
180	1,03
210	0,19
240	0,43
300	0,04
360	0,02
420	0,32
480	0,01
540	0,29
600	0,01
<i>Tailing</i>	70,82

Tabel A. 7 Massa Konsentrat dan *Tailing* Variasi Persen Solid 20%

Waktu (detik)	Massa konsentrat (g)
0	0,00
60	4,75
90	5,78
120	1,20
150	1,07
180	0,18
210	0,26
240	0,39
300	0,06
360	0,04
420	0,00
480	0,00
540	0,00
600	0,00
<i>Tailing</i>	65,45

Tabel A. 8 Massa Konsentrat dan *Tailing* Variasi Persen Solid 25%

Waktu (detik)	Massa konsentrat (g)
0	0,00
60	5,75
90	1,78
120	0,60
150	0,90

180	0,38
210	0,26
240	0,59
300	0,85
360	0,56
420	0,00
480	0,00
540	0,00
600	0,00
<i>Tailing</i>	71,61

Tabel A. 9 *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 20 ppm

Waktu (detik)	Jenis Partikel	Kotak 1	Kotak 3	Kotak 5	Kotak 7	Kotak 9	Rata- rata
0	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
60	FeS ₂	621	590	937	414	345	581,4
	SiO ₂	1155	1289	990	627	786	969,4
90	FeS ₂	653	694	742	930	274	658,6
	SiO ₂	844	741	942	1172	661	872
120	FeS ₂	461	436	1056	1153	2632	1147,6
	SiO ₂	559	1009	1096	1015	779	891,6
150	FeS ₂	978	521	811	451	203	592,8
	SiO ₂	843	706	685	521	421	635,2

180	FeS ₂	146	82	100	161	1079	313,6
	SiO ₂	490	664	841	450	571	603,2
210	FeS ₂	996	575	1454	96	1447	913,6
	SiO ₂	884	1285	993	599	925	937,2
240	FeS ₂	925	1118	1009	1060	344	891,2
	SiO ₂	856	909	955	666	444	766
300	FeS ₂	2195	955	534	868	742	1058,8
	SiO ₂	726	762	420	294	642	568,8
360	FeS ₂	648	1320	534	149	256	581,4
	SiO ₂	730	389	942	501	291	570,6
420	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
480	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
540	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
600	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0

Tabel A. 10 *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 30 ppm

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

0	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
60	FeS ₂	371	287	300	358	487	360,6
	SiO ₂	296	403	411	388	470	393,6
90	FeS ₂	288	746	620	1091	230	595
	SiO ₂	351	932	887	643	500	662,6
120	FeS ₂	599	545	915	564	675	659,6
	SiO ₂	1184	954	693	660	461	790,4
150	FeS ₂	487	409	905	1015	1327	828,6
	SiO ₂	945	757	1064	1027	1526	1063,8
180	FeS ₂	1736	2194	835	482	557	1160,8
	SiO ₂	2767	1483	602	900	845	1319,4
210	FeS ₂	262	585	363	253	224	337,4
	SiO ₂	303	318	275	126	213	247
240	FeS ₂	507	300	544	1052	786	637,8
	SiO ₂	183	278	241	820	335	371,4
300	FeS ₂	302	163	910	1588	421	676,8
	SiO ₂	519	323	572	1413	459	657,2
360	FeS ₂	937	1256	631	135	348	661,4
	SiO ₂	666	861	710	413	637	657,4
420	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0

480	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
540	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
600	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0

Tabel A. 11 *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 40 ppm

Waktu (detik)	Jenis Partikel	Kotak 1	Kotak 3	Kotak 5	Kotak 7	Kotak 9	Rata- rata
0	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
60	FeS ₂	947	871	532	1308	850	901,6
	SiO ₂	1141	1406	658	1083	622	982
90	FeS ₂	1196	481	292	649	578	639,2
	SiO ₂	636	801	676	613	709	687
120	FeS ₂	1403	1681	945	1306	950	1257
	SiO ₂	747	981	1107	1106	877	963,6
150	FeS ₂	511	330	624	332	640	487,4
	SiO ₂		411	688	463	600	540,5
180	FeS ₂	597	1037	825	573	382	682,8
	SiO ₂	523	677	407	410	258	455

210	FeS ₂	1252	449	944	249	486	676
	SiO ₂	492	502	472	290	504	452
240	FeS ₂	485	378	237	471	560	426,2
	SiO ₂	564	406	227	585	634	483,2
300	FeS ₂	870	621	549	687	637	672,8
	SiO ₂	567	781	603	440	685	615,2
360	FeS ₂	588	552	176	836	401	510,6
	SiO ₂	292	427	225	723	407	414,8
420	FeS ₂	446	834	765	1301	347	738,6
	SiO ₂	800	503	752	1044	546	729
480	FeS ₂	625	741	452	707	541	613,2
	SiO ₂	1216	301	746	583	410	651,2
540	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
600	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0

Tabel A. 12 *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm

Waktu (detik)	Jenis Partikel	Kotak 1	Kotak 3	Kotak 5	Kotak 7	Kotak 9	Rata- rata
0	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0

60	FeS ₂	1039	331	1552	504	352	755,6
	SiO ₂	814	523	1007	229	587	632
90	FeS ₂	432	925	764	579	279	595,8
	SiO ₂	817	405	1012	156	588	595,6
120	FeS ₂	150	197	407	246	180	236
	SiO ₂	361	297	426	502	346	386,4
150	FeS ₂	1026	396	1715	672	903	942,4
	SiO ₂	1100	1125	1803	1393	1194	1323
180	FeS ₂	807	1101	492	247	1153	760
	SiO ₂	421	647	296	629	640	526,6
210	FeS ₂	418	199	390	688	481	435,2
	SiO ₂	471	344	525	677	431	489,6
240	FeS ₂	264	294	682	499	652	478,2
	SiO ₂	487	338	699	857	888	653,8
300	FeS ₂	175	475	391	290	263	318,8
	SiO ₂	479	307	295	1188	266	507
360	FeS ₂	343	94	175	481	78	234,2
	SiO ₂	484	109	335	651	528	421,4
420	FeS ₂	67	52	88	43	65	63
	SiO ₂	185	266	421	112	161	229
480	FeS ₂	408	205	353	203	461	326
	SiO ₂	243	312	463	217	149	276,8

540	FeS ₂	63	28	84	43	47	53
	SiO ₂	116	111	406	357	132	224,4
600	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0

Tabel A. 13 *Grain Counting* Variasi Persen Solid 10%

Waktu (detik)	Jenis Partikel	Kotak 1	Kotak 3	Kotak 5	Kotak 7	Kotak 9	Rata- rata
0	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
60	FeS ₂	35	376	335	238	133	223,4
	SiO ₂	624	729	840	397	438	605,6
90	FeS ₂	593	331	293	552	155	384,8
	SiO ₂	503	444	474	518	550	497,8
120	FeS ₂	423	554	405	661	387	486
	SiO ₂	662	684	585	623	310	572,8
150	FeS ₂	466	1002	683	212	870	646,6
	SiO ₂	922	514	415	244	345	488
180	FeS ₂	312	530	343	451	139	355
	SiO ₂	167	328	468	263	208	286,8
210	FeS ₂	487	438	331	382	314	390,4
	SiO ₂	289	594	291	296	516	397,2

240	FeS ₂	437	591	479	636	243	477,2
	SiO ₂	454	503	362	340	175	366,8
300	FeS ₂	38	251	200	272	1213	394,8
	SiO ₂	1009	1197	736	1493	864	1059,8
360	FeS ₂	830	1564	770	970	1623	1151,4
	SiO ₂	971	2192	2024	1016	1598	1560,2
420	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
480	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
540	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
600	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0

Tabel A. 14 *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15%

Waktu (detik)	Jenis Partikel	Kotak 1	Kotak 3	Kotak 5	Kotak 7	Kotak 9	Rata- rata
0	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
60	FeS ₂	319	373	504	231	677	420,8
	SiO ₂	729	494	687	326	548	556,8

90	FeS ₂	405	692	799	343	390	525,8
	SiO ₂	339	914	637	279	359	505,6
120	FeS ₂	766	554	367	630	391	541,6
	SiO ₂	357	328	393	202	242	304,4
150	FeS ₂	548	568	518	226	627	497,4
	SiO ₂	257	305	379	201	463	321
180	FeS ₂	1192	377	829	523	481	680,4
	SiO ₂	455	340	476	388	311	394
210	FeS ₂	746	444	612	382	296	496
	SiO ₂	366	275	244	396	150	286,2
240	FeS ₂	485	906	979	433	624	685,4
	SiO ₂	281	334	626	334	476	410,2
300	FeS ₂	421	339	671	735	168	466,8
	SiO ₂	668	727	1025	810	637	773,4
360	FeS ₂	1245	779	981	572	456	806,6
	SiO ₂	799	552	521	481	288	528,2
420	FeS ₂	308	395	314	313	534	372,8
	SiO ₂	139	335	221	281	297	254,6
480	FeS ₂	383	685	759	417	687	586,2
	SiO ₂	309	262	290	294	831	397,2
540	FeS ₂	604	369	454	665	604	539,2
	SiO ₂	310	2880	321	365	643	903,8

600	FeS ₂	110	684	208	711	368	416,2
	SiO ₂	373	694	382	437	293	435,8

Tabel A. 15 *Grain Counting* Variasi Persen Solid 20%

Waktu (detik)	Jenis Partikel	Kotak 1	Kotak 3	Kotak 5	Kotak 7	Kotak 9	Rata- rata
0	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
60	FeS ₂	356	212	311	276	411	313,2
	SiO ₂	485	351	500	545	530	482,2
90	FeS ₂	365	711	870	484	355	557
	SiO ₂	286	983	932	595	566	672,4
120	FeS ₂	126	315	358	569	304	334,4
	SiO ₂	211	937	809	638	411	601,2
150	FeS ₂	578	437	778	808	694	659
	SiO ₂	407	699	1259	1271	1129	953
180	FeS ₂	424	949	398	605	977	670,6
	SiO ₂	754	701	342	303	478	515,6
210	FeS ₂	269	646	323	249	329	363,2
	SiO ₂	470	520	326	164	231	342,2
240	FeS ₂	603	456	393	859	696	601,4
	SiO ₂	198	260	451	664	555	425,6

300	FeS ₂	630	552	255	473	842	550,4
	SiO ₂	910	787	552	280	401	586
360	FeS ₂	695	407	494	624	532	550,4
	SiO ₂	822	1031	782	687	713	807
420	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
480	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
540	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
600	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0

Tabel A. 16 *Grain Counting* Variasi Persen Solid 25%

Waktu (detik)	Jenis Partikel	Kotak 1	Kotak 3	Kotak 5	Kotak 7	Kotak 9	Rata- rata
0	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
60	FeS ₂	371	287	300	358	487	360,6
	SiO ₂	296	403	411	388	470	393,6
90	FeS ₂	288	746	620	1091	230	595
	SiO ₂	351	932	887	643	500	662,6

120	FeS ₂	599	545	915	564	675	659,6
	SiO ₂	1184	954	693	660	461	790,4
150	FeS ₂	487	409	905	1015	1327	828,6
	SiO ₂	945	757	1064	1027	1526	1063,8
180	FeS ₂	1736	2194	835	482	557	1160,8
	SiO ₂	2767	1483	602	900	845	1319,4
210	FeS ₂	262	585	363	253	224	337,4
	SiO ₂	303	318	275	126	213	247
240	FeS ₂	507	300	544	1052	786	637,8
	SiO ₂	183	278	241	820	335	371,4
300	FeS ₂	302	163	910	1588	421	676,8
	SiO ₂	519	323	572	1413	459	657,2
360	FeS ₂	937	1256	631	135	348	661,4
	SiO ₂	666	861	710	413	637	657,4
420	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
480	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
540	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0
600	FeS ₂	0	0	0	0	0	0
	SiO ₂	0	0	0	0	0	0

A.3 Hasil Monitoring dengan Kapasitometer CAP 3201 2CH C-Tech Edwar

Labs Technology

Tabel A. 17 Data Kapasitometer Variasi Dosis Kolektor 20 ppm

Waktu (detik)	Kapasitansi	Kapasitansi	Tegangan	Tegangan
	Terukur CX	Referensi	Terukur VX	Referensi
	(pF)	CR (pF)	(mV)	VR (mV)
0	2,723	2,899	984	3957
60	2,723	2,912	1023	3974
90	2,72307	2,89861	1023	3957
120	2,72307	2,91147	1023	3965
150	2,72307	2,89347	1023	3950
180	2,72307	2,89682	1023	3954
210	2,72307	2,91046	1023	3954
240	2,72307	2,90319	1023	3963
300	2,72307	2,89067	1063	3946
360	2,72307	2,8995	1023	3951
420	2,72307	2,90744	1023	3969
480	2,72307	2,90711	1023	3968
540	2,72307	2,91571	984	3980
600	2,72307	2,91359	984	3977

Tabel A. Data Kapasitometer Variasi Dosis Kolektor 30 ppm

Waktu (detik)	Kapasitansi	Kapasitansi	Tegangan	Tegangan
	Terukur CX	Referensi	Terukur VX	Referensi
	(pF)	CR (pF)	(mV)	VR (mV)
0	2,61900	2,916	984	3980
60	2,61913	2,89045	1023	3945
90	2,72307	2,89391	1023	3950
120	2,72307	2,89928	1023	3958
150	2,72307	2,89112	1023	3946
180	2,72307	2,90308	1023	3963
210	2,72307	2,90543	1023	3966
240	2,72307	2,89850	1023	3956
300	2,72307	2,89481	1023	3951
360	2,61913	2,89336	1023	3949
420	2,61913	2,91068	984	3973
480	2,61913	2,89883	984	3957
540	2,61913	2,91527	984	3979
600	2,72307	2,91806	984	3983

Tabel A. 18 Data Kapasitometer Variasi Dosis Kolektor 40 ppm

Waktu (detik)	Kapasitansi	Kapasitansi	Tegangan	Tegangan
	Terukur CX	Referensi	Terukur VX	Referensi
	(pF)	CR (pF)	(mV)	VR (mV)
0	2,723	2,899	984	3957
60	2,723	2,912	1023	3974
90	2,72307	2,89861	1023	3957
120	2,72307	2,91147	1023	3965
150	2,72307	2,89347	1023	3950
180	2,72307	2,89682	1023	3954
210	2,72307	2,91046	1023	3954
240	2,72307	2,90319	1023	3963
300	2,72307	2,89067	1063	3946
360	2,72307	2,8995	1023	3951
420	2,72307	2,90744	1023	3969
480	2,72307	2,90711	1023	3968
540	2,72307	2,91571	984	3980
600	2,72307	2,91359	984	3977

Tabel A. 19 Data Kapasitometer Variasi Dosis Kolektor 50 ppm

Waktu (detik)	Kapasitansi	Kapasitansi	Tegangan	Tegangan
	Terukur CX	Referensi	Terukur VX	Referensi
	(pF)	CR (pF)	(mV)	VR (mV)
0	2,723	2,901	1023	3960
60	2,723	2,901	1063	3969
90	2,72307	2,91739	1063	3982
120	2,72307	2,91761	1043	3983
150	2,72307	2,91135	1043	3974
180	2,72307	2,89157	1063	3947
210	2,72307	2,89649	1043	3954
240	2,72307	2,90722	1043	3968
300	2,72307	2,89939	1023	3958
360	2,72307	2,90353	1023	3963
420	2,72307	2,8957	1063	3953
480	2,72307	2,89514	1023	3952
540	2,72307	2,89302	1063	3949
600	2,72307	2,90498	1023	3965

Tabel A. 20 Data Kapasitometer Variasi Persen Solid 10%

Waktu (detik)	Kapasitansi	Kapasitansi	Tegangan	Tegangan
	Terukur CX	Referensi	Terukur VX	Referensi
	(pF)	CR (pF)	(mV)	VR (mV)
0	2,39048	2,89716	898	3955
60	2,49441	2,89313	938	3949
90	2,49441	2,91135	938	3974
120	2,49441	2,89235	938	3948
150	2,49441	2,90275	938	3962
180	2,49441	2,90051	938	3959
210	2,49441	2,91079	938	3973
240	2,49441	2,89883	938	3957
300	2,39048	2,90096	898	3960
360	2,28655	2,91482	938	3979
420	2,28655	2,91739	938	3982
480	2,39048	2,89570	898	3953
540	2,39048	2,91527	898	3979
600	2,39048	2,90610	898	3967

Tabel A. 21 Data Kapasitometer Variasi Persen Solid 15%

Waktu (detik)	Kapasitansi	Kapasitansi	Tegangan	Tegangan
	Terukur CX	Referensi	Terukur VX	Referensi
	(pF)	CR (pF)	(mV)	VR (mV)
0	2,619	2,888	859	3942
60	2,39048	2,88816	898	3933
90	2,39048	2,91884	898	3984
120	2,39048	2,90051	898	3959
150	2,39048	2,91258	898	3976
180	2,39048	2,90878	898	3970
210	2,39048	2,91113	898	3974
240	2,39048	2,90442	898	3965
300	2,39048	2,908	898	3969
360	2,39048	2,91169	898	3974
420	2,39048	2,91169	898	3974
480	2,39048	2,90398	898	3964
540	2,39048	2,91113	898	3974
600	2,39048	2,91683	898	3981

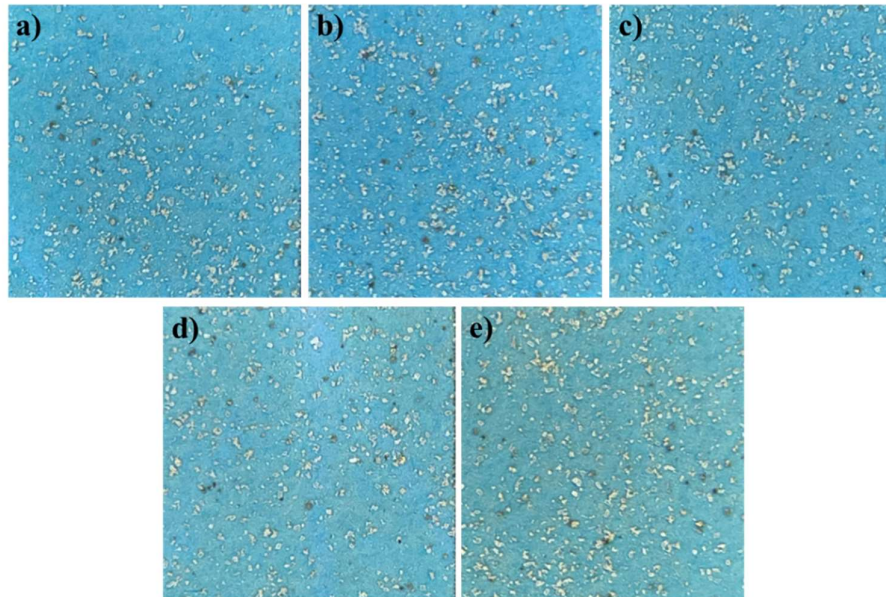
Tabel A. 22 Data Kapasitometer Variasi Persen Solid 20%

Waktu (detik)	Kapasitansi	Kapasitansi	Tegangan	Tegangan
	Terukur CX	Referensi	Terukur VX	Referensi
	(pF)	CR (pF)	(mV)	VR (mV)
0	2,723	2,892	984	3948
60	2,72307	2,89045	1023	3945
90	2,72307	2,89391	1023	3950
120	2,72307	2,90889	1023	3971
150	2,72307	2,91314	1023	3976
180	2,72307	2,90308	1023	3963
210	2,72307	2,89526	1023	3952
240	2,72307	2,89201	1023	3948
300	2,72307	2,89481	1023	3951
360	2,72307	2,90498	1023	3965
420	2,72307	2,89134	1023	3947
480	2,61913	2,91292	984	3976
540	2,61913	2,90834	984	3970
600	2,61913	2,91806	984	3983

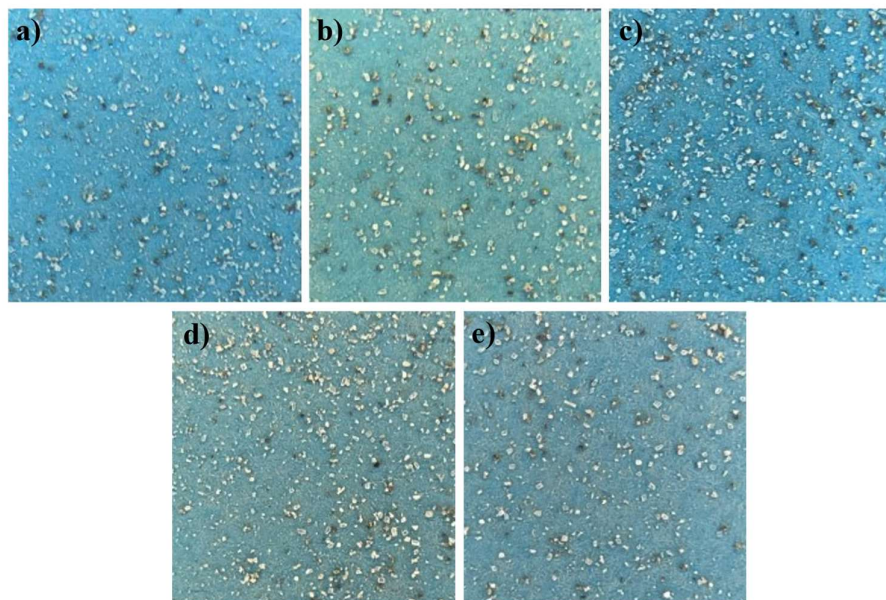
Tabel A. 23 Data Kapasitometer Variasi Persen Solid 25%

Waktu (detik)	Kapasitansi	Kapasitansi	Tegangan	Tegangan
	Terukur CX	Referensi	Terukur VX	Referensi
	(pF)	CR (pF)	(mV)	VR (mV)
0	2,619	2,916	984	3980
60	2,61913	2,89045	1023	3945
90	2,72307	2,89391	1023	3950
120	2,72307	2,89928	1023	3958
150	2,72307	2,89112	1023	3946
180	2,72307	2,90308	1023	3963
210	2,72307	2,90543	1023	3966
240	2,72307	2,89850	1023	3956
300	2,72307	2,89481	1023	3951
360	2,61913	2,89336	1023	3949
420	2,61913	2,91068	984	3973
480	2,61913	2,89883	984	3957
540	2,61913	2,91527	984	3979
600	2,72307	2,91806	984	3983

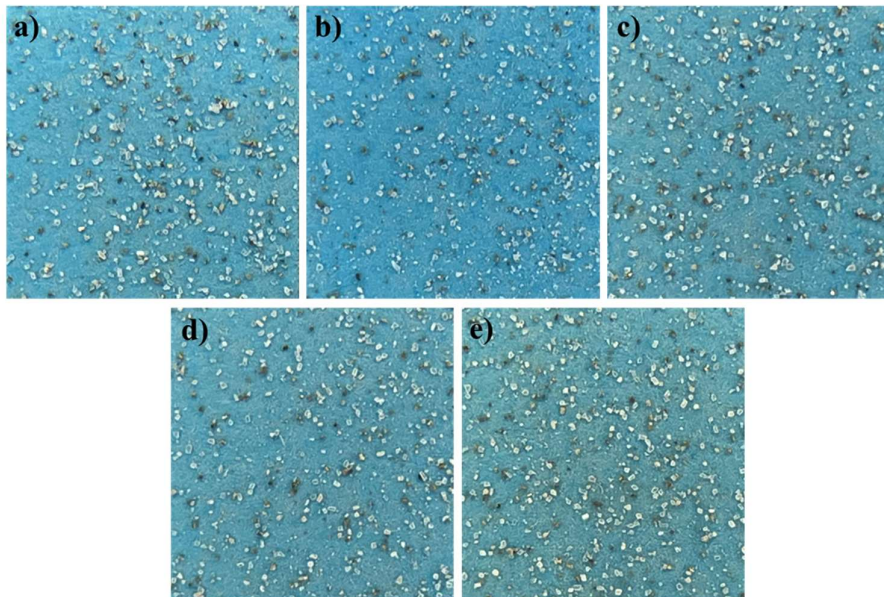
A.4 *Grain Counting* Konsentrat



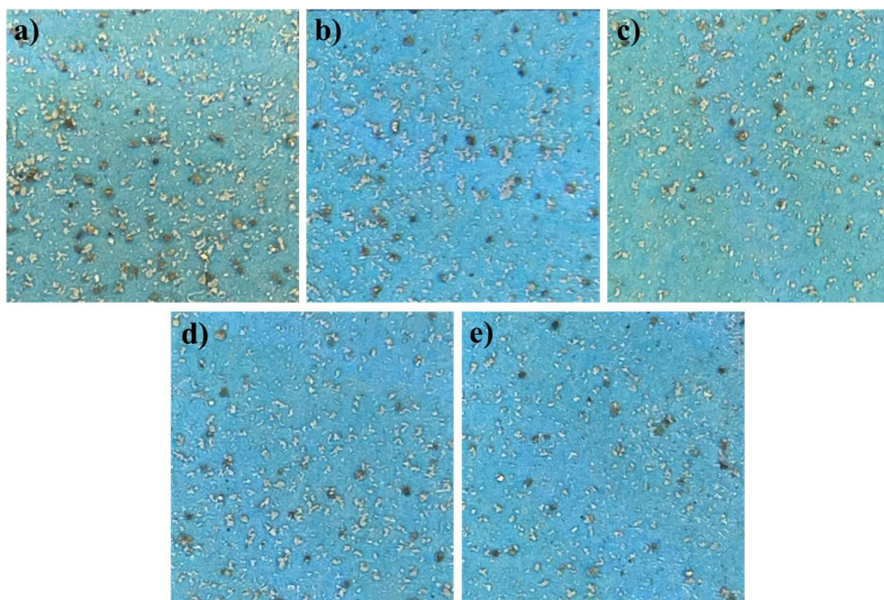
Gambar A. 1 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-60, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



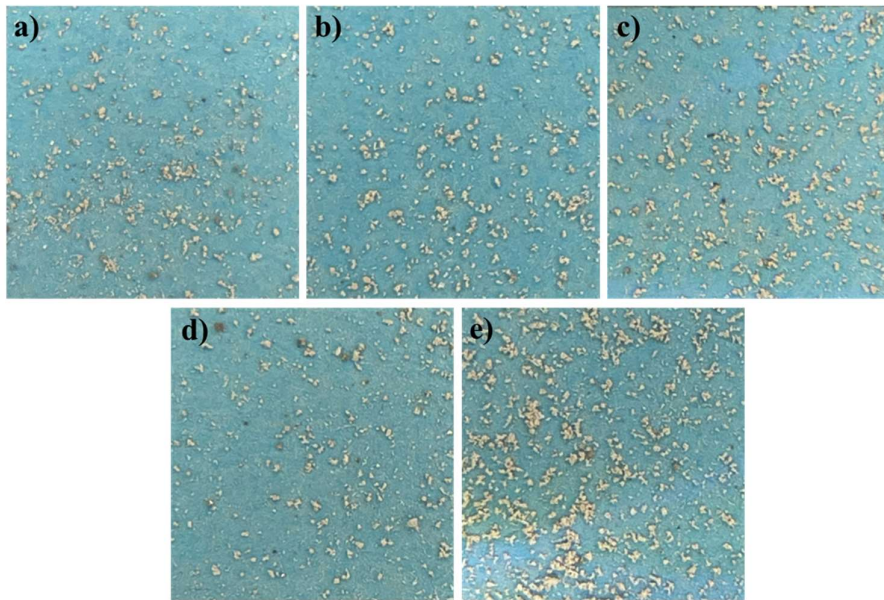
Gambar A. 2 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-90, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



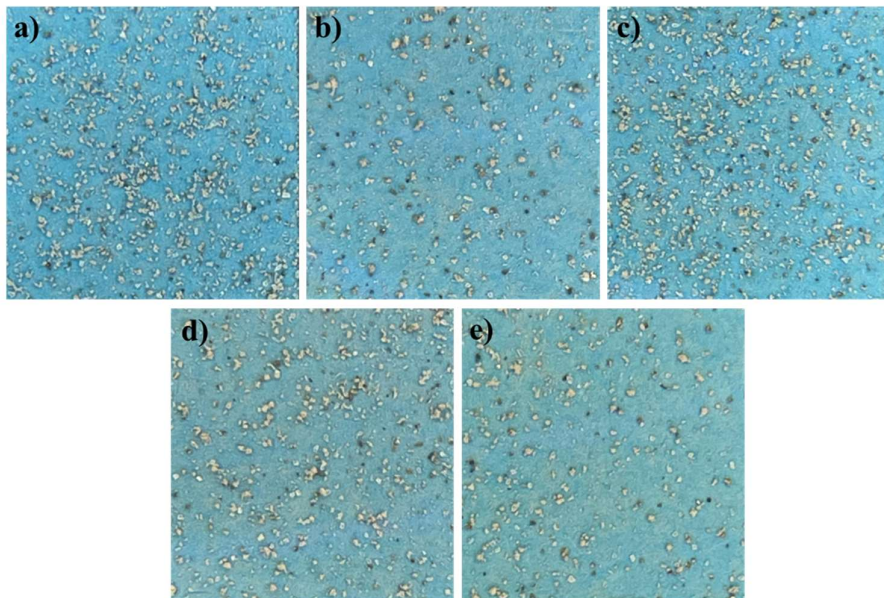
Gambar A. 3 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-120, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



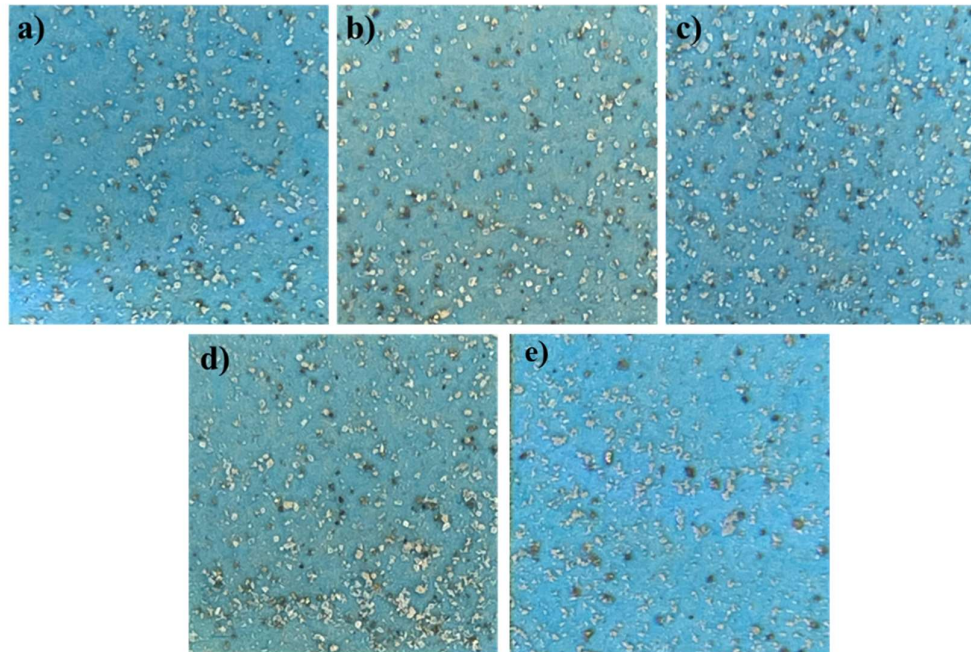
Gambar A. 4 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-150, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



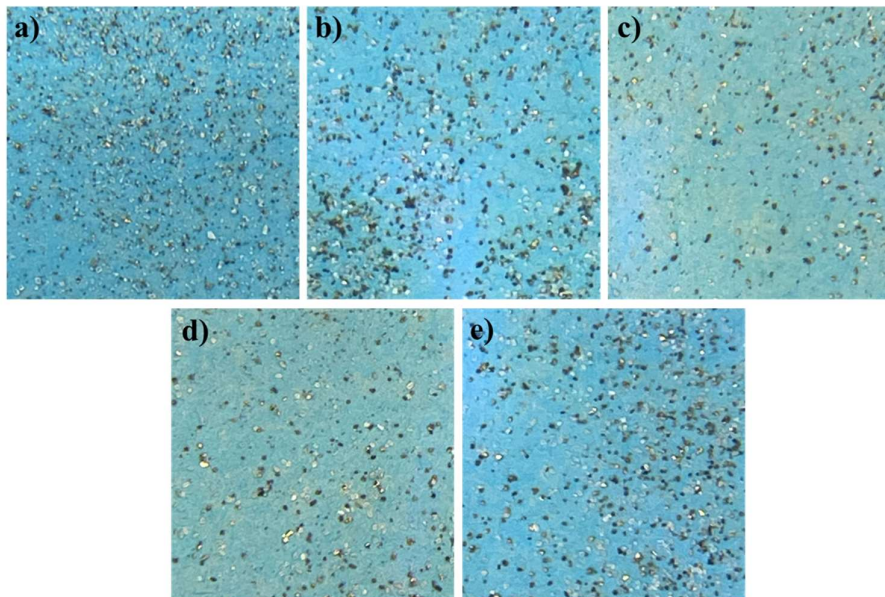
Gambar A. 5 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-180, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



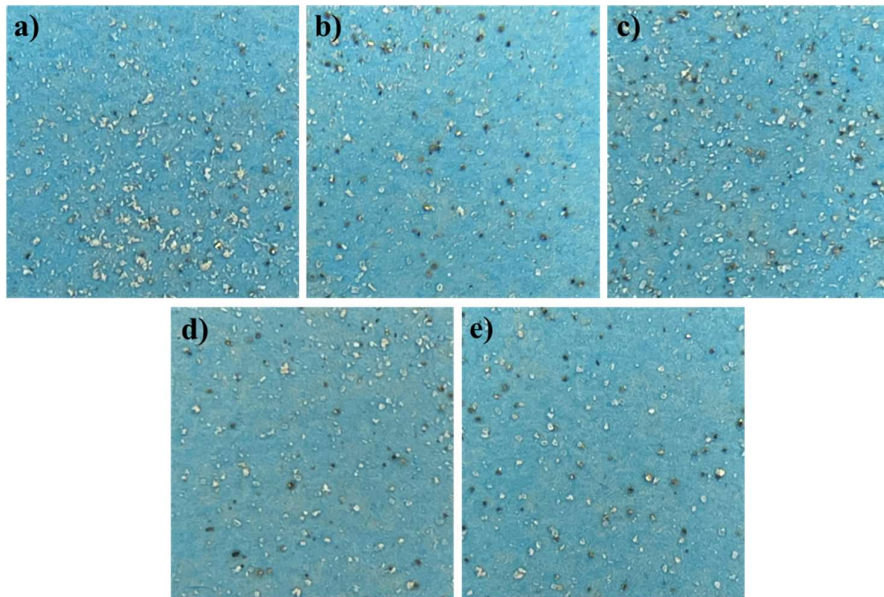
Gambar A. 6 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-210, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



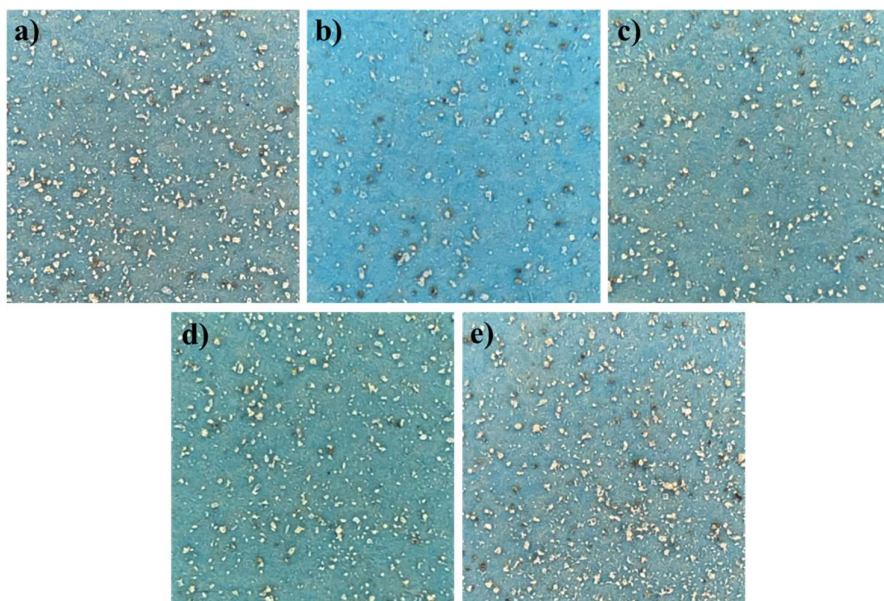
Gambar A. 7 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-240, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



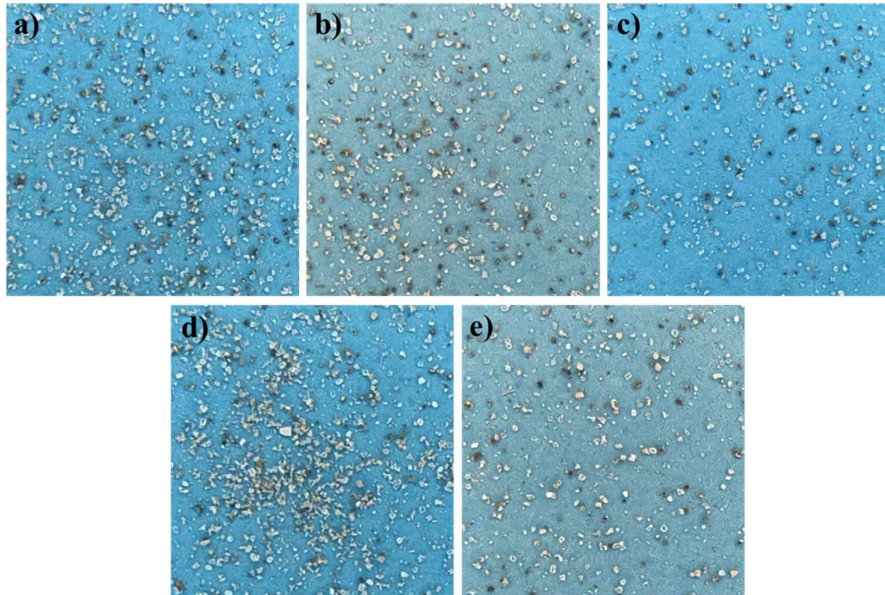
Gambar A. 8 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-300, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



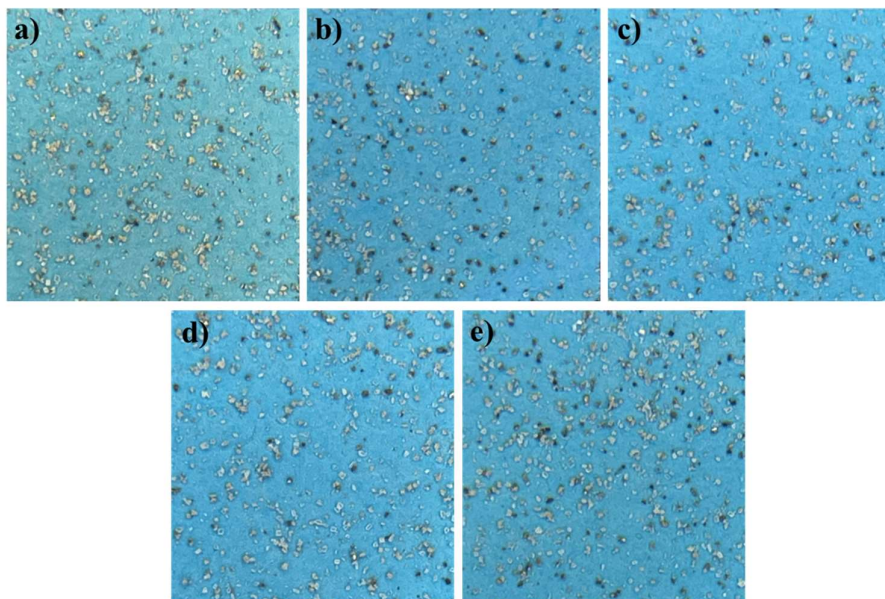
Gambar A. 9 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-360, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



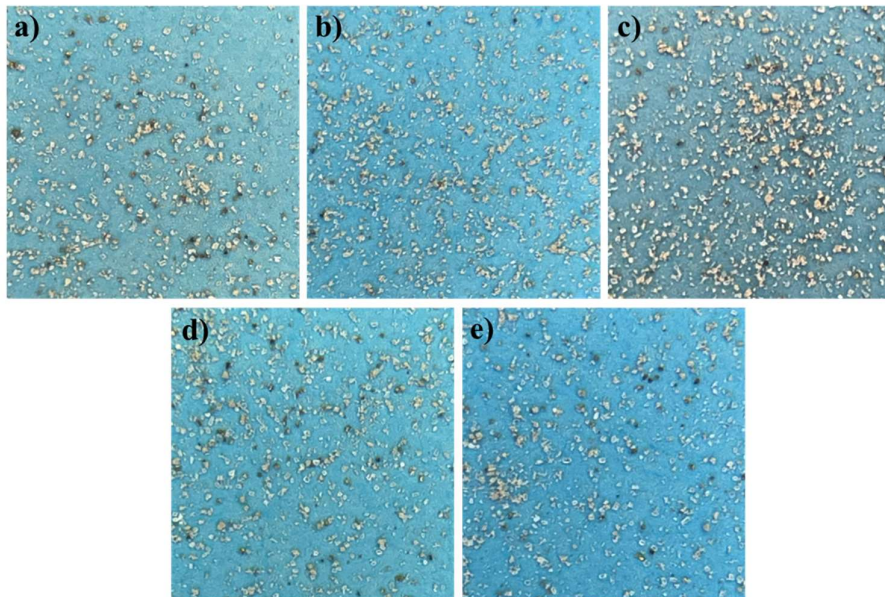
Gambar A. 10 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 20 ppm detik-420, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



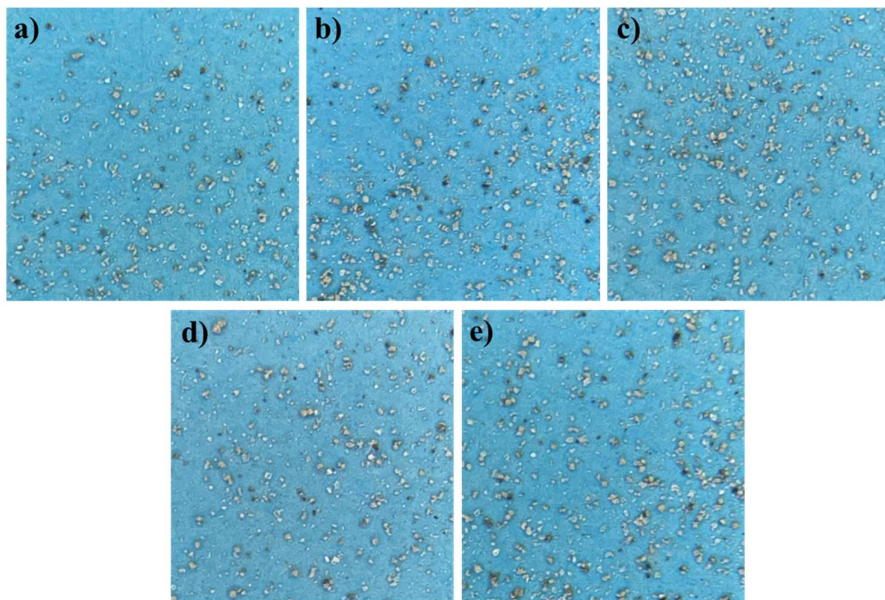
Gambar A. 11 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-60, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



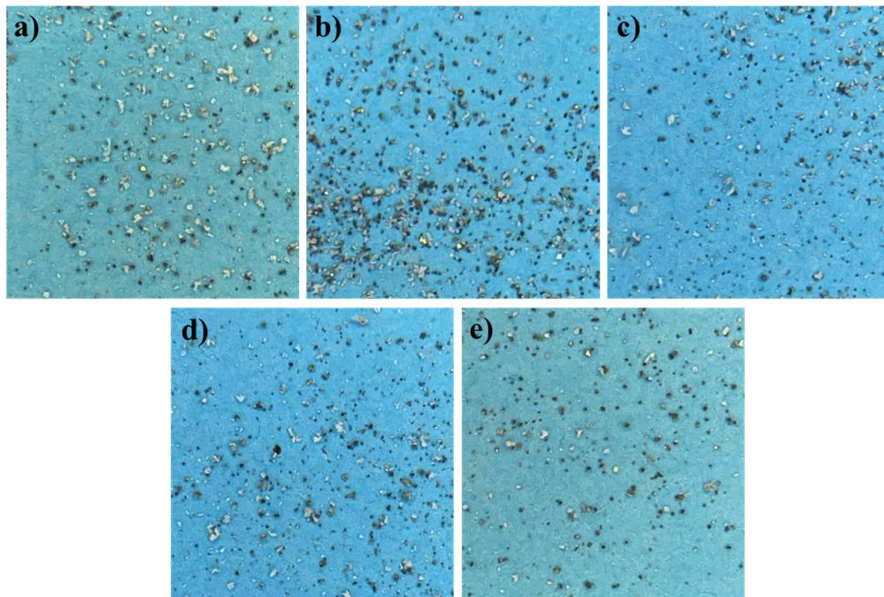
Gambar A. 12 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-90, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



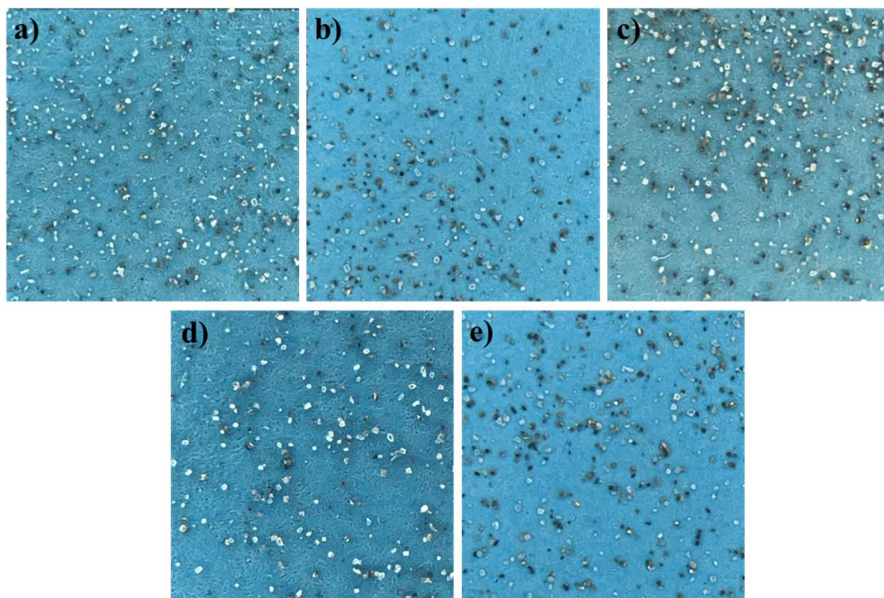
Gambar A. 13 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-120, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



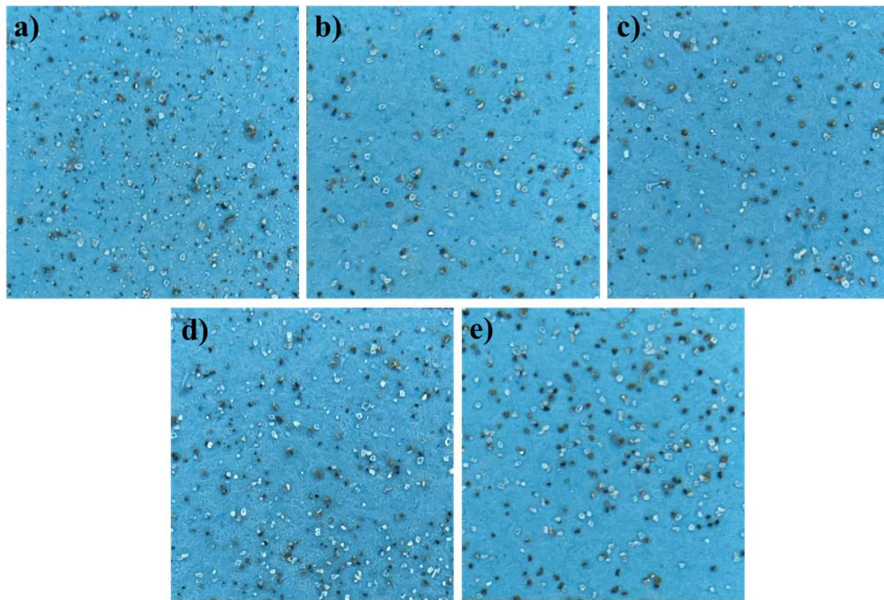
Gambar A. 14 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-150, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



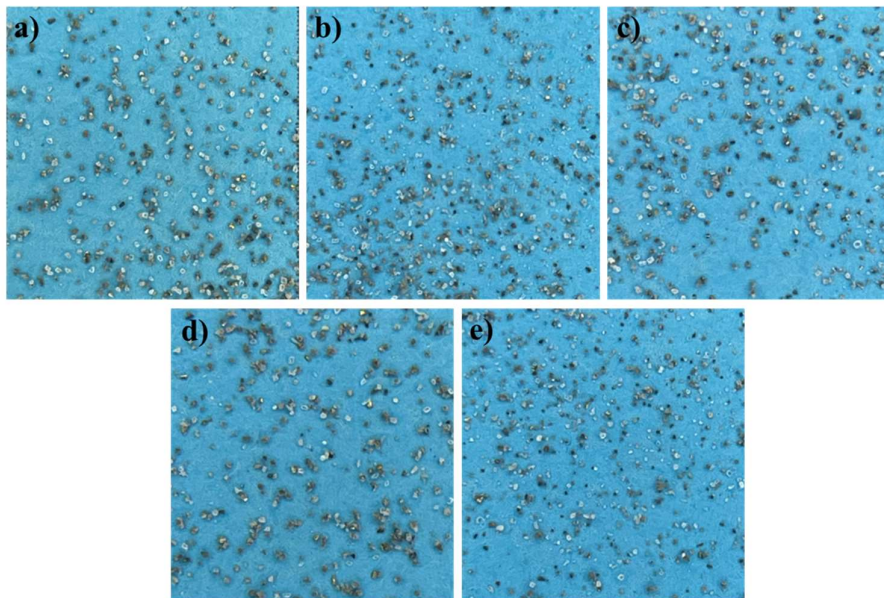
Gambar A. 15 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-180, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



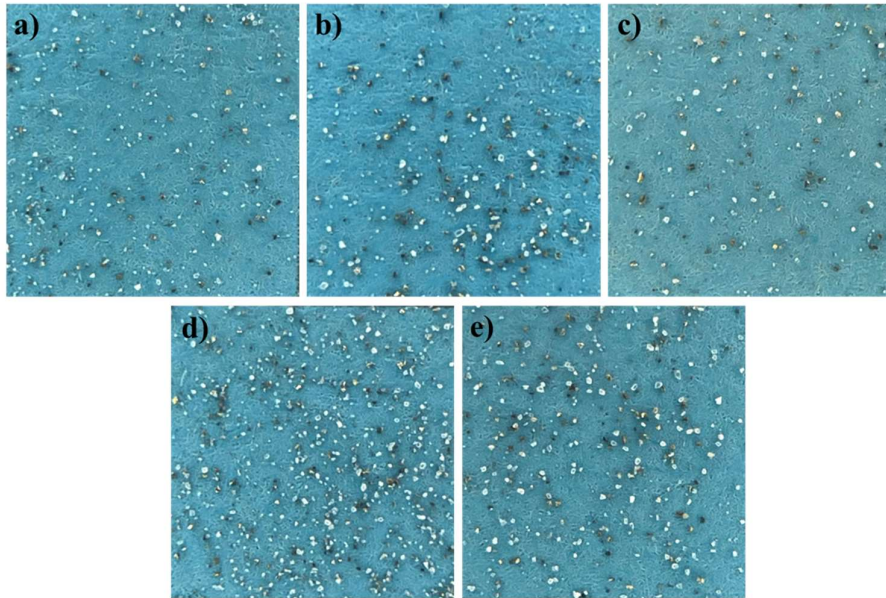
Gambar A. 16 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-210, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



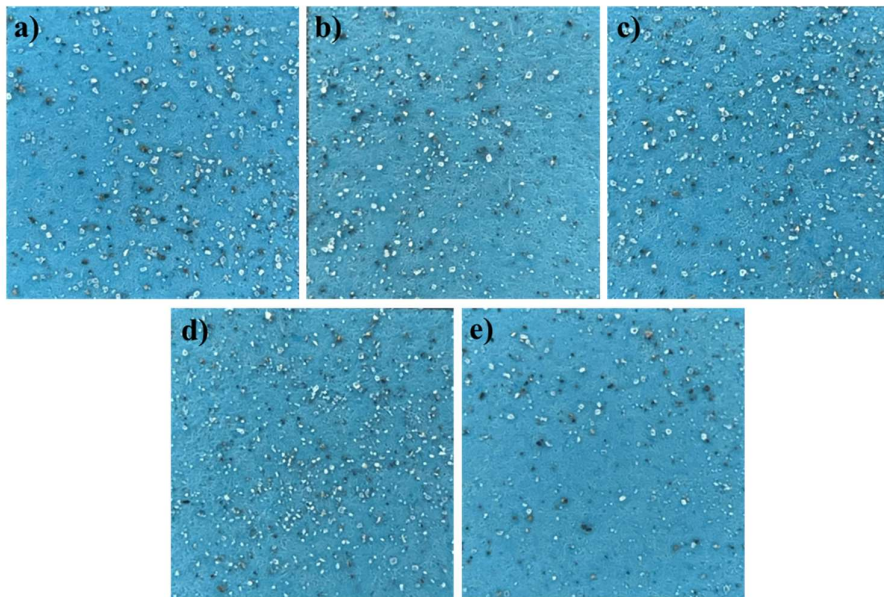
Gambar A. 17 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-240, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



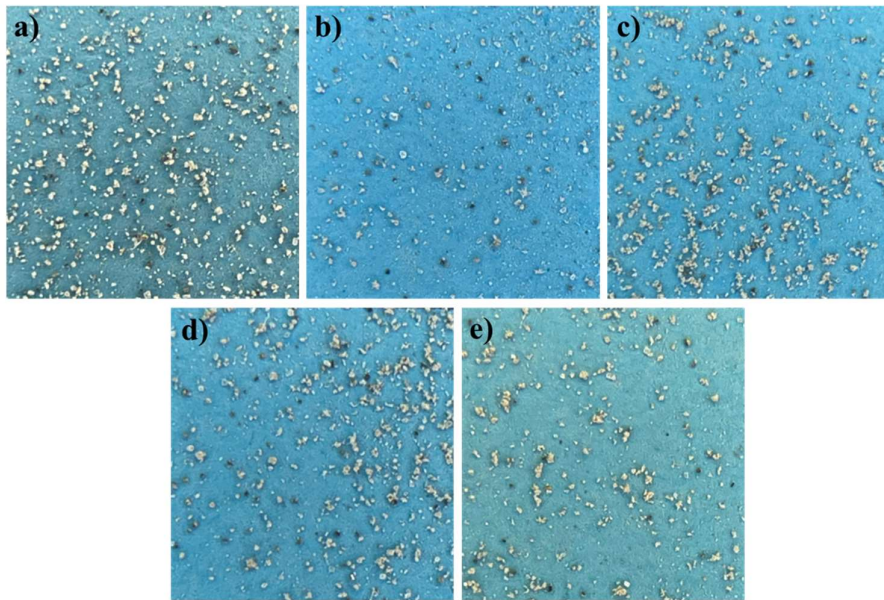
Gambar A. 18 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-270, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



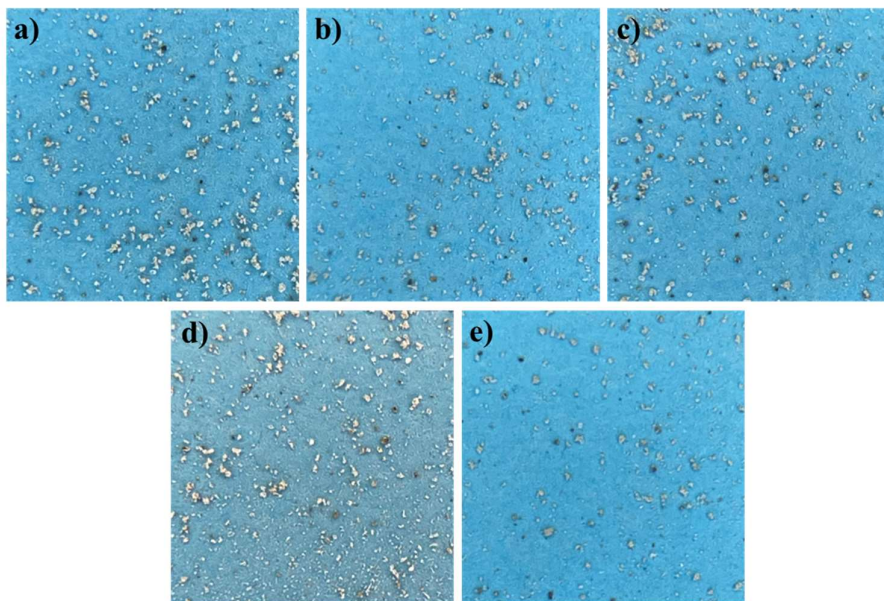
Gambar A. 19 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-300, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



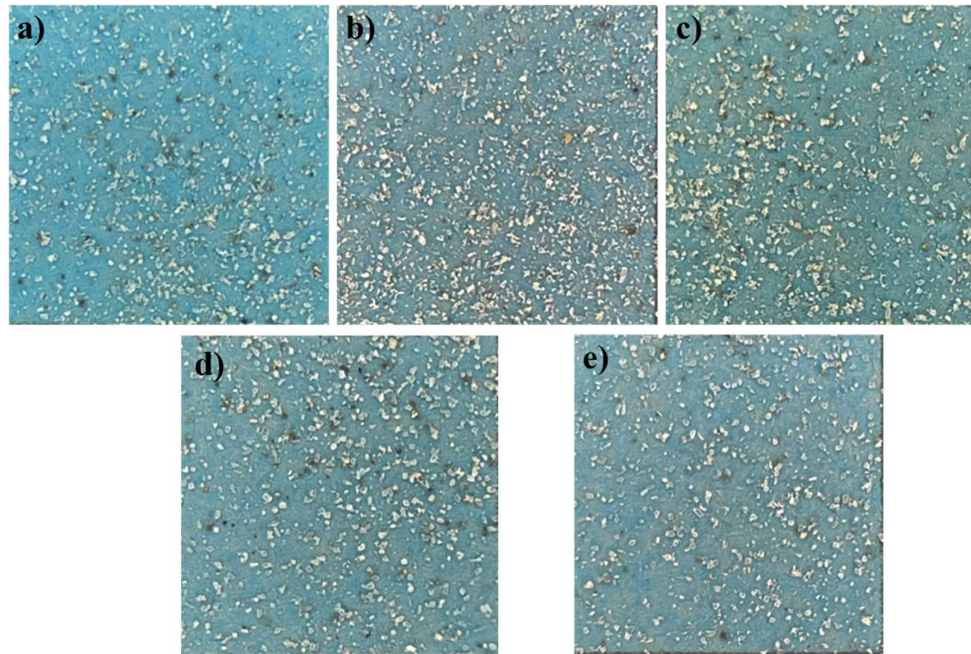
Gambar A. 20 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-360, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



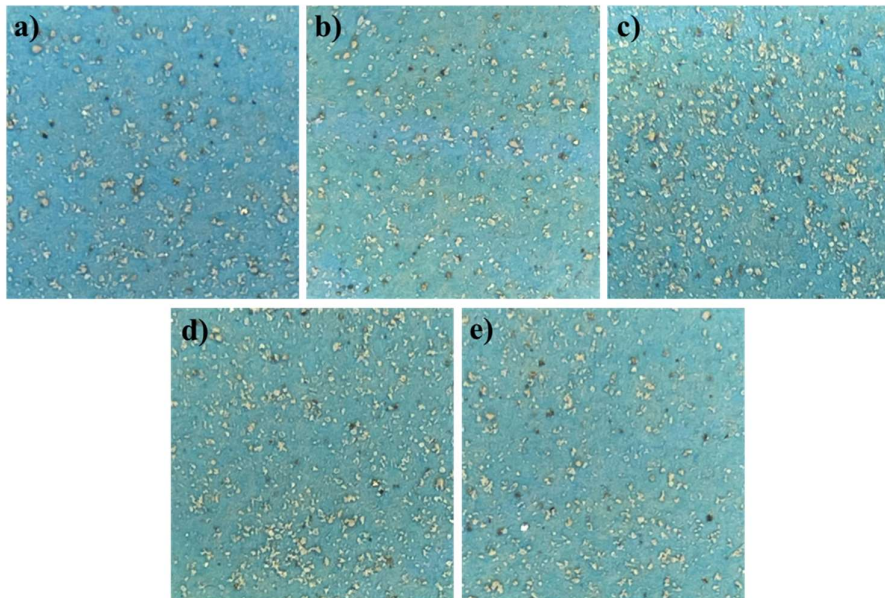
Gambar A. 21 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-420, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



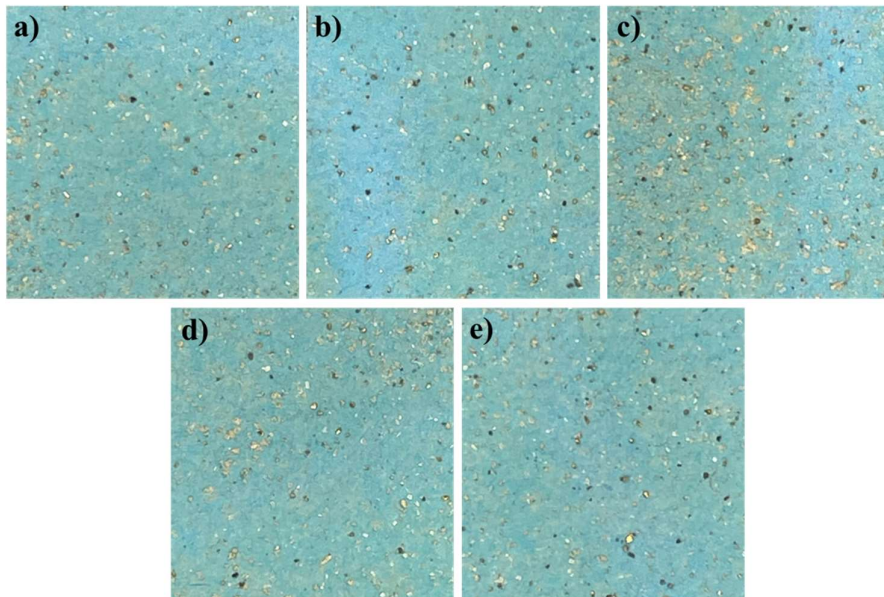
Gambar A. 22 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 40 ppm detik-480, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



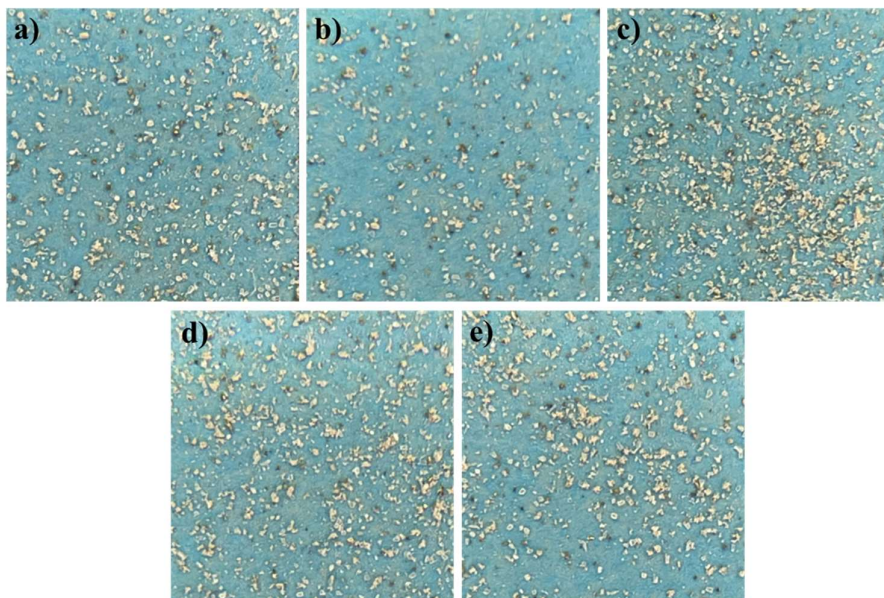
Gambar A. 23 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-60, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



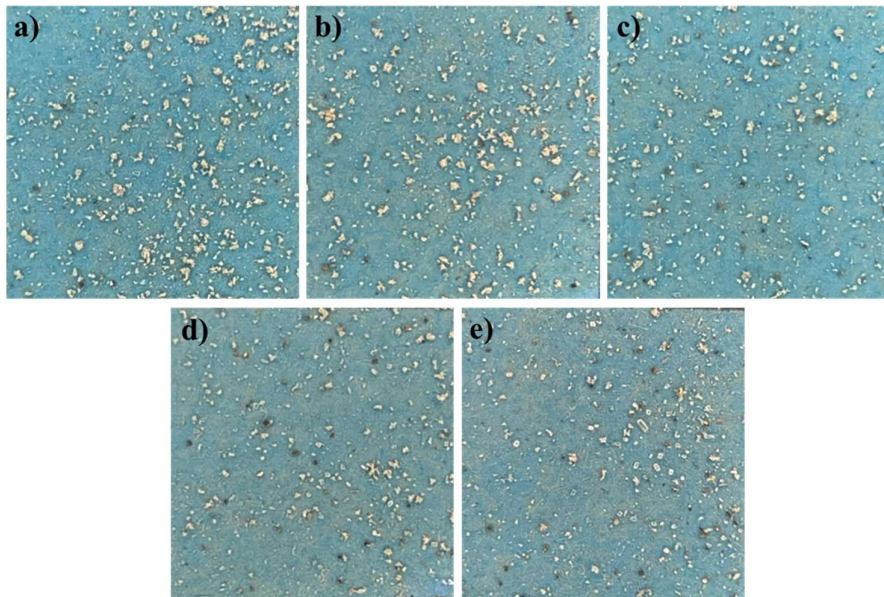
Gambar A. 24 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-90, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



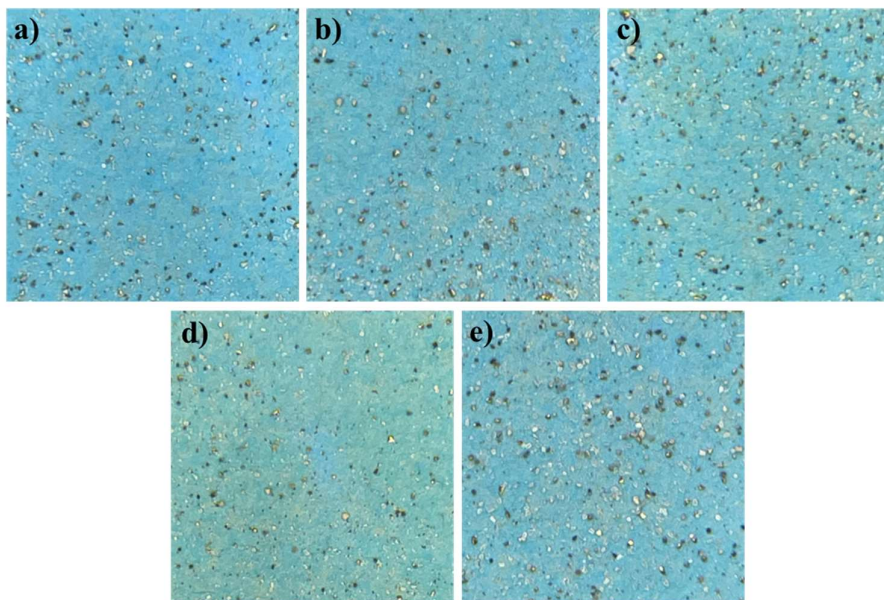
Gambar A. 25 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-120, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



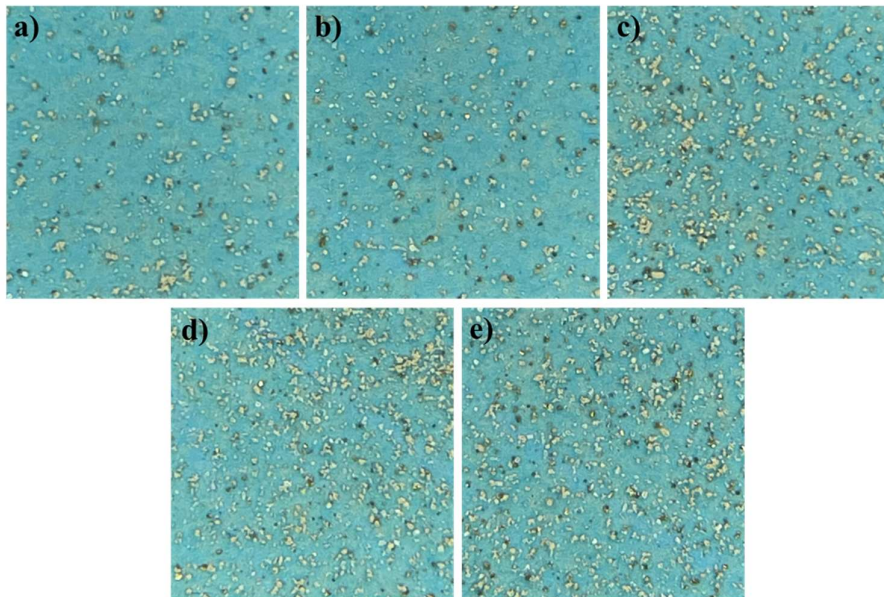
Gambar A. 26 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-150, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



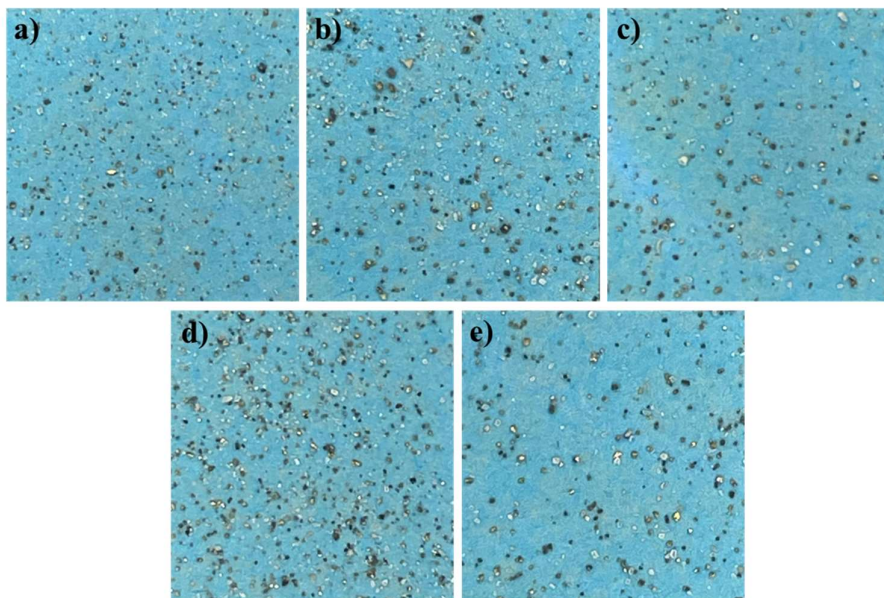
Gambar A. 27 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-180, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



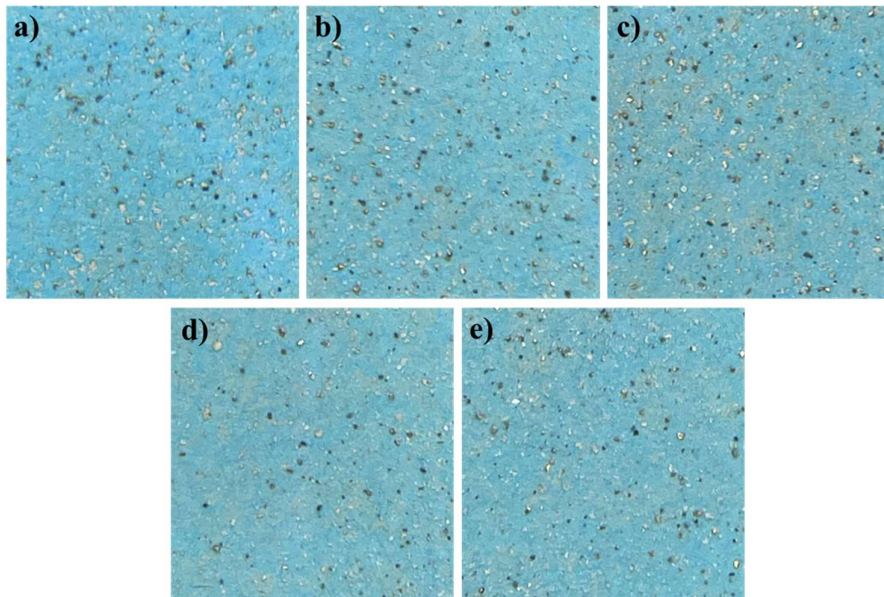
Gambar A. 28 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-210, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



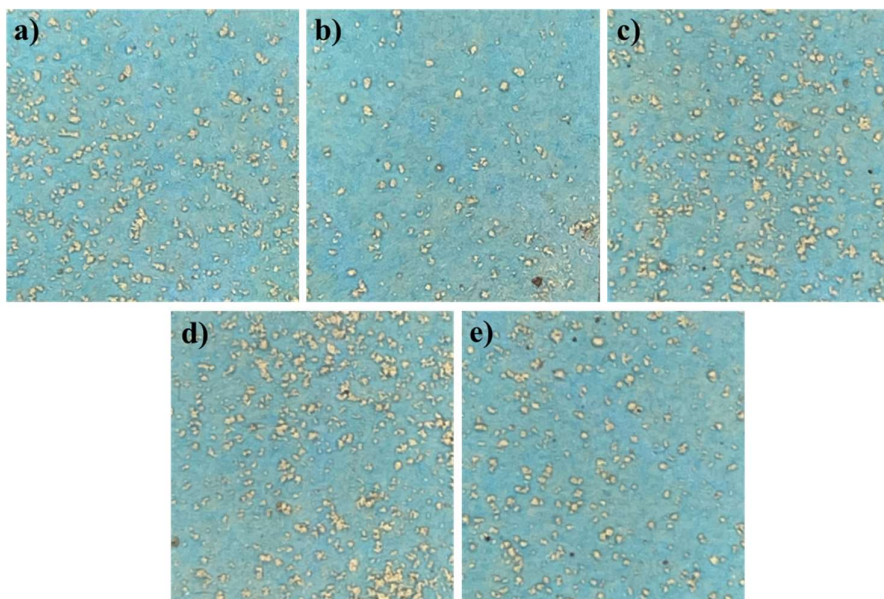
Gambar A. 29 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-240, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



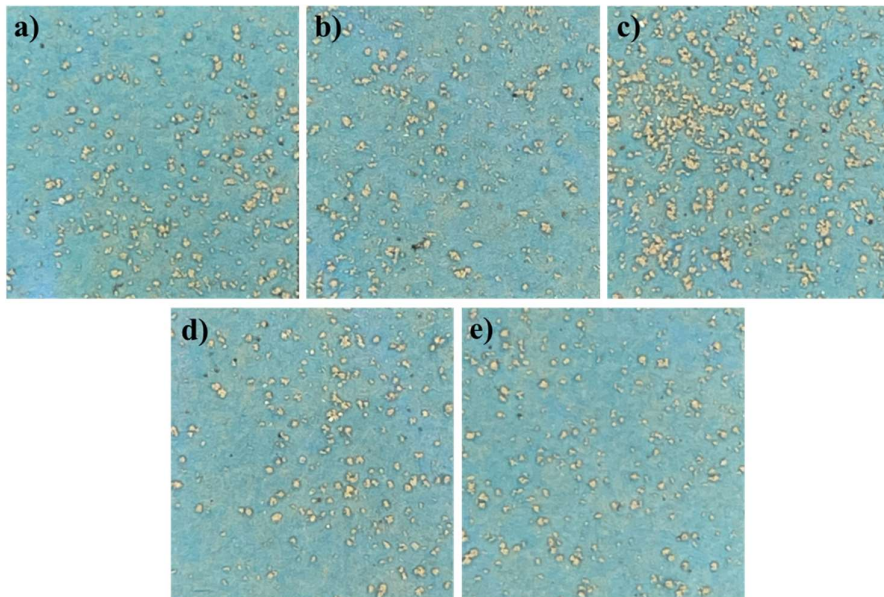
Gambar A. 30 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-270, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



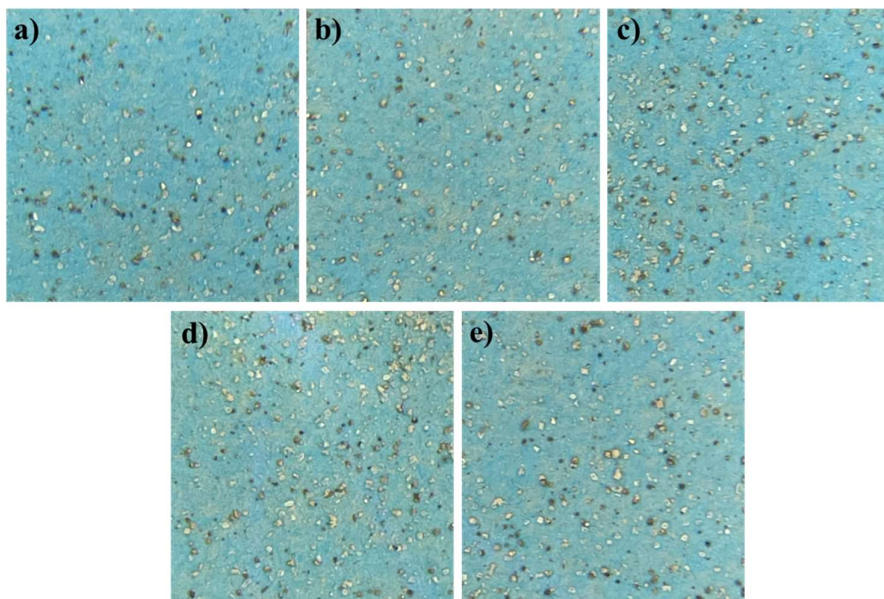
Gambar A. 31 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-300, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



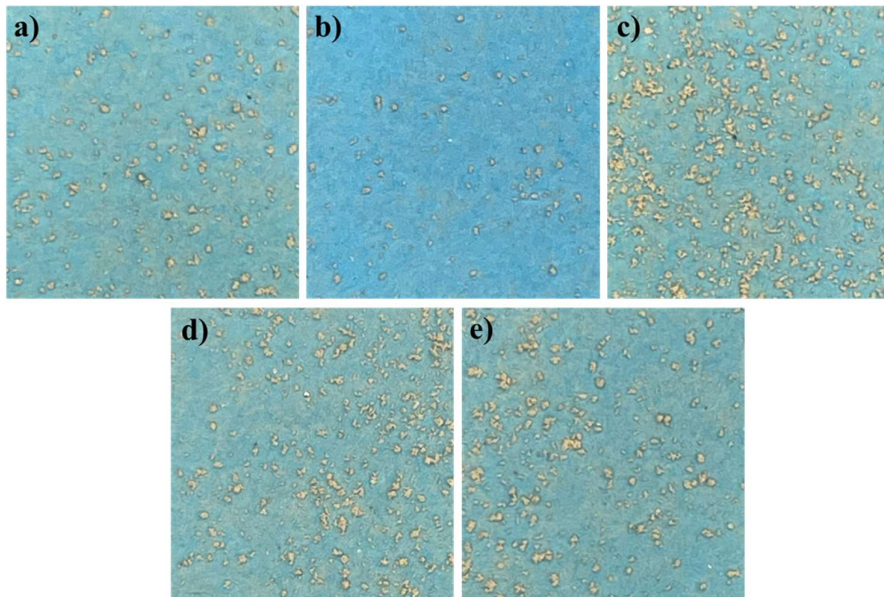
Gambar A. 32 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-360, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



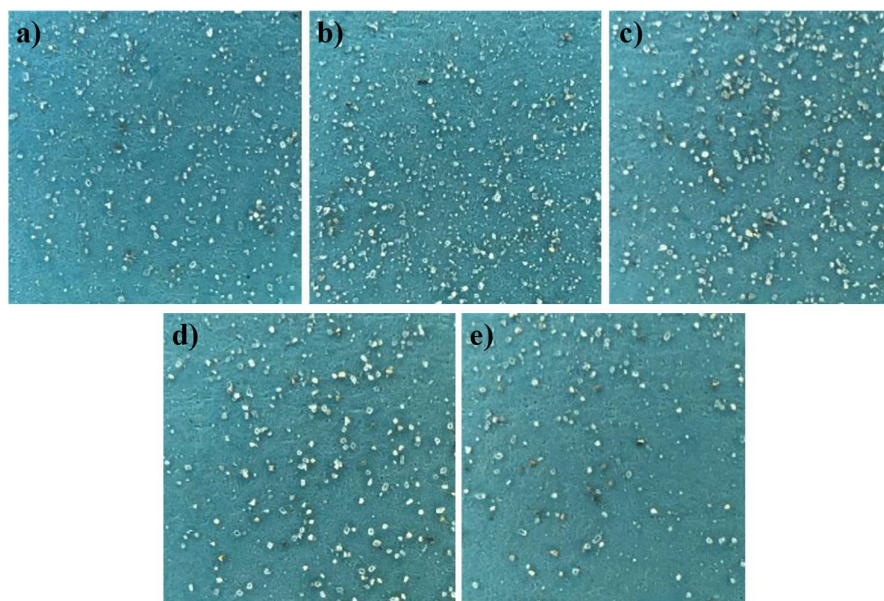
Gambar A. 33 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-420, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



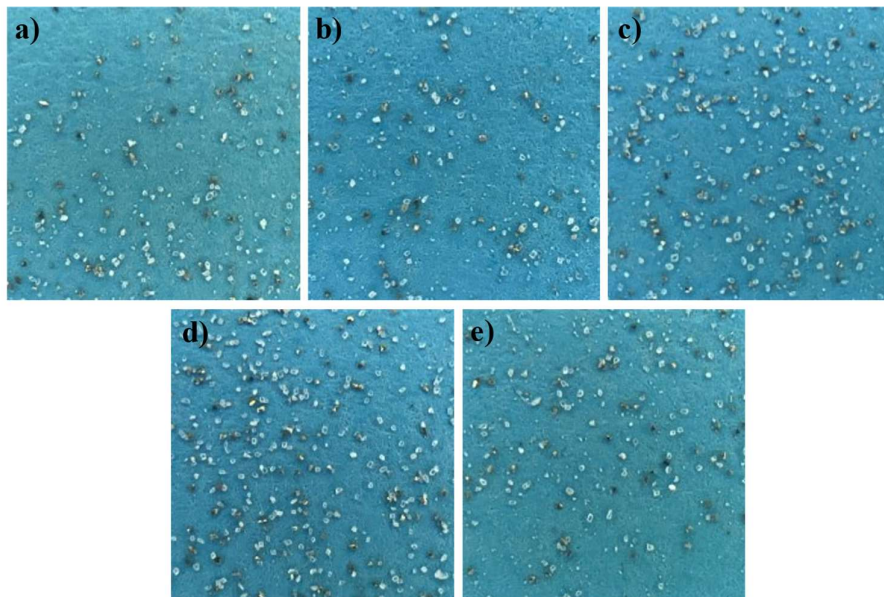
Gambar A. 34 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-480, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



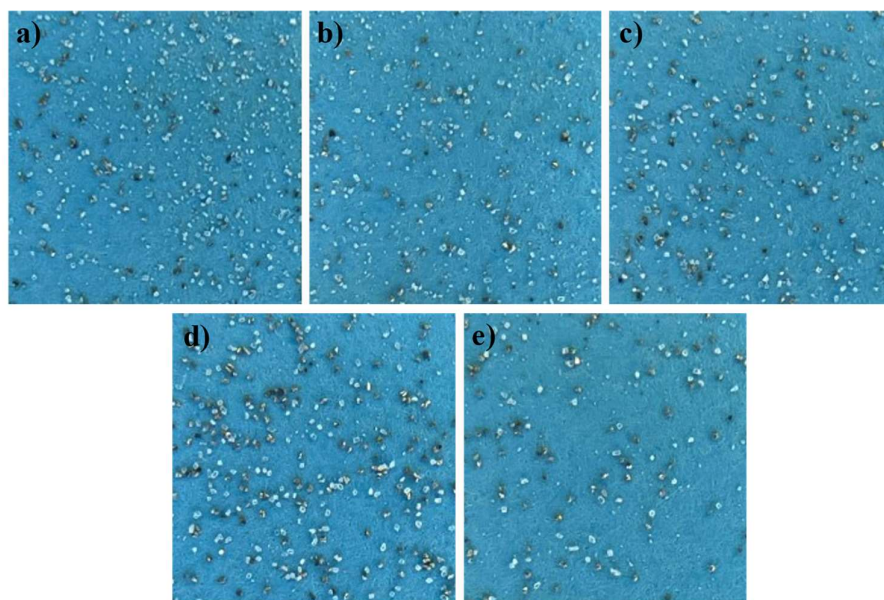
Gambar A. 35 Citra *Grain Counting* Variasi Dosis Kolektor 50 ppm detik-540, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



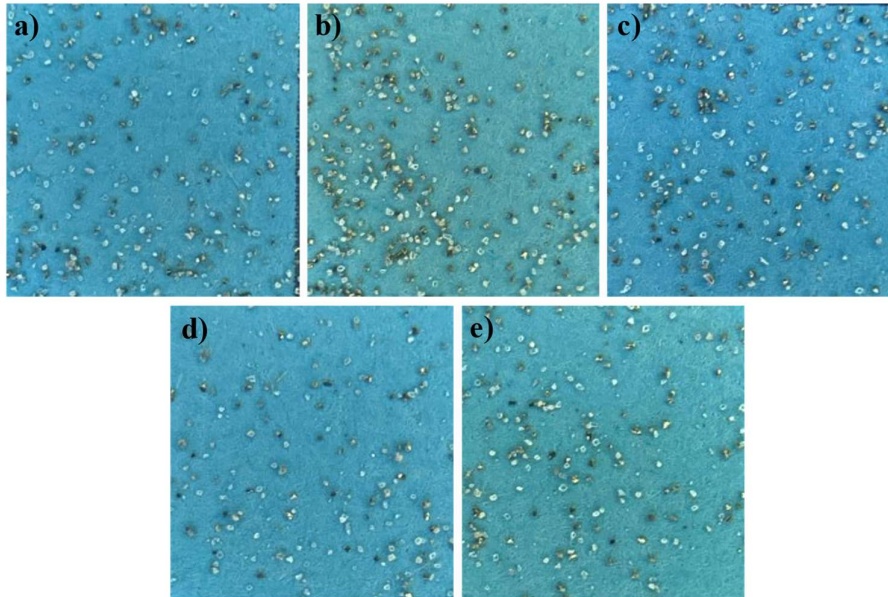
Gambar A. 36 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 10% Detik-60, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



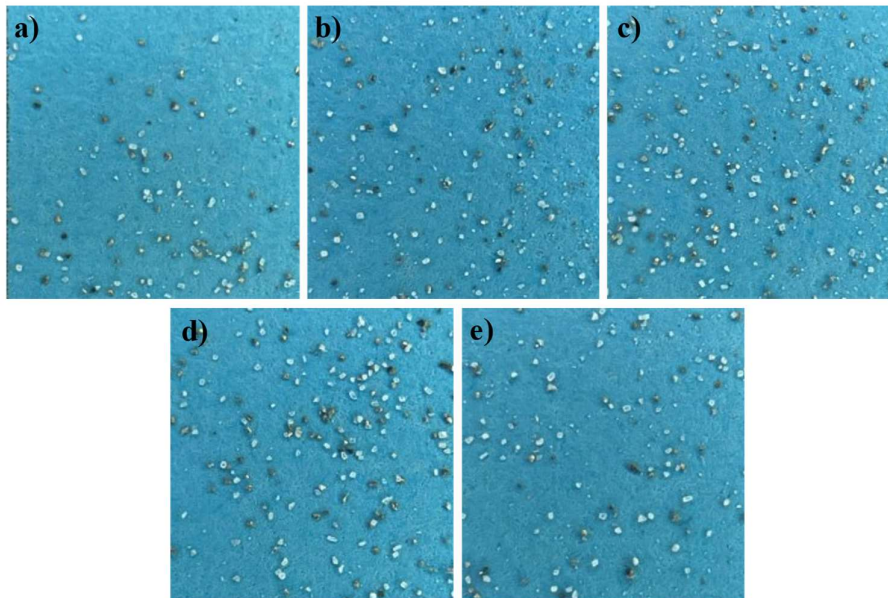
Gambar A. 37 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 10% Detik-90, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



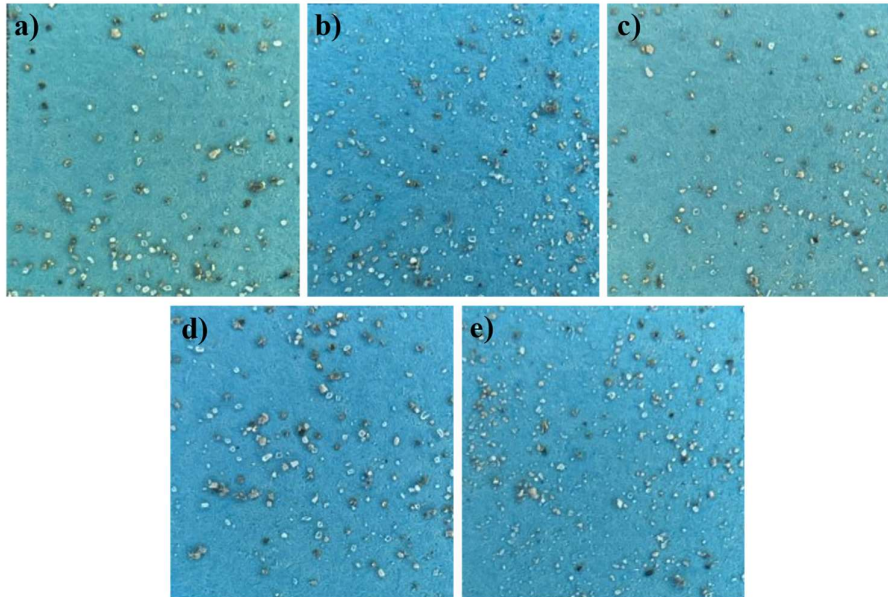
Gambar A. 38 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 10% Detik-120, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



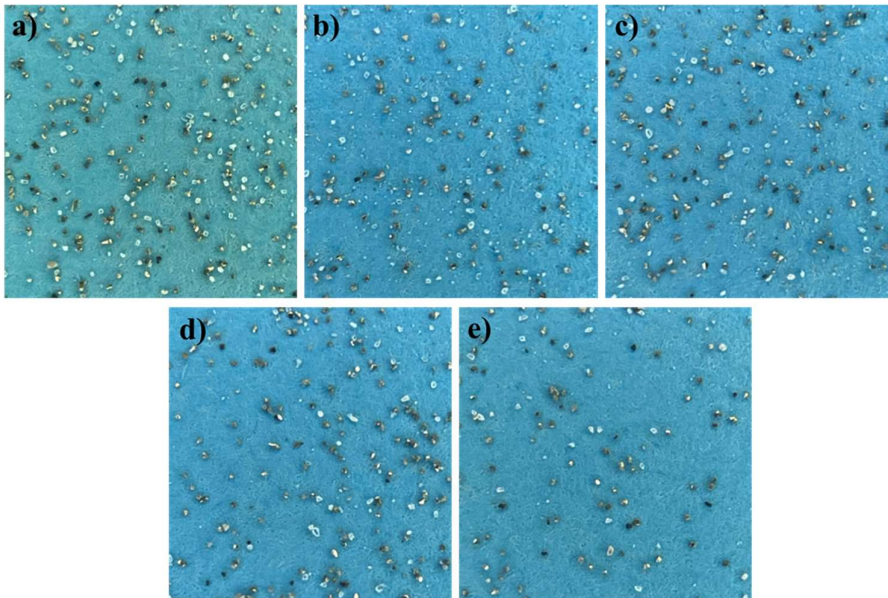
Gambar A. 39 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 10% Detik-150, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



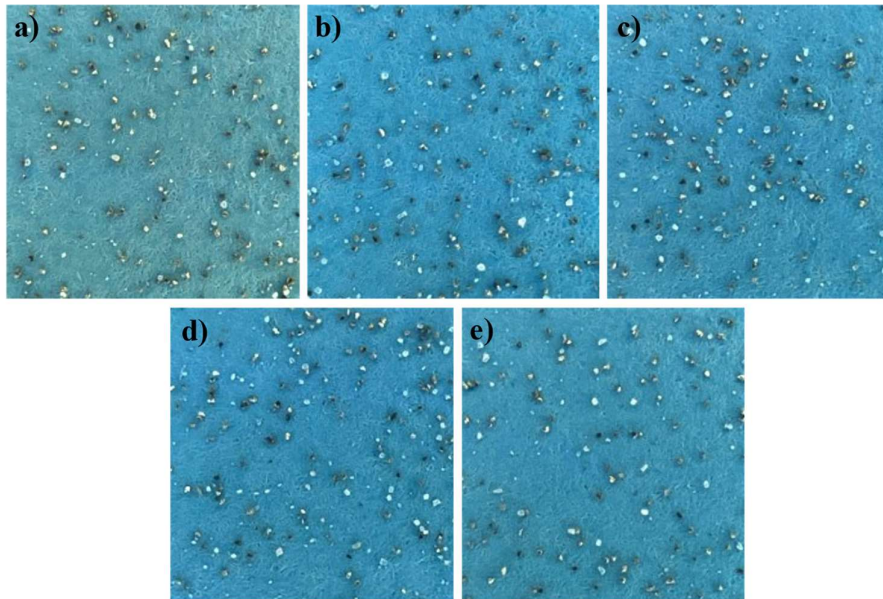
Gambar A. 40 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 10% Detik-180, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



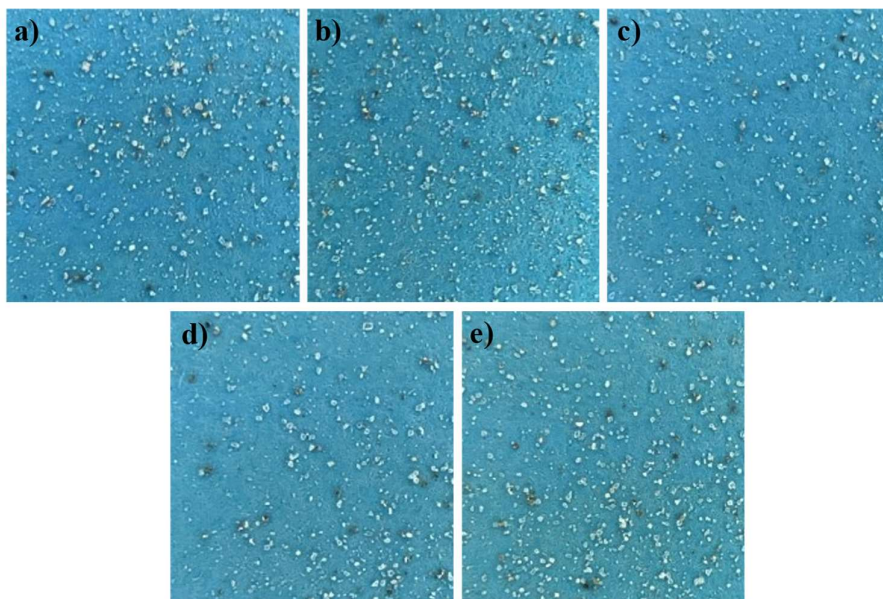
Gambar A. 41 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 10% Detik-210, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



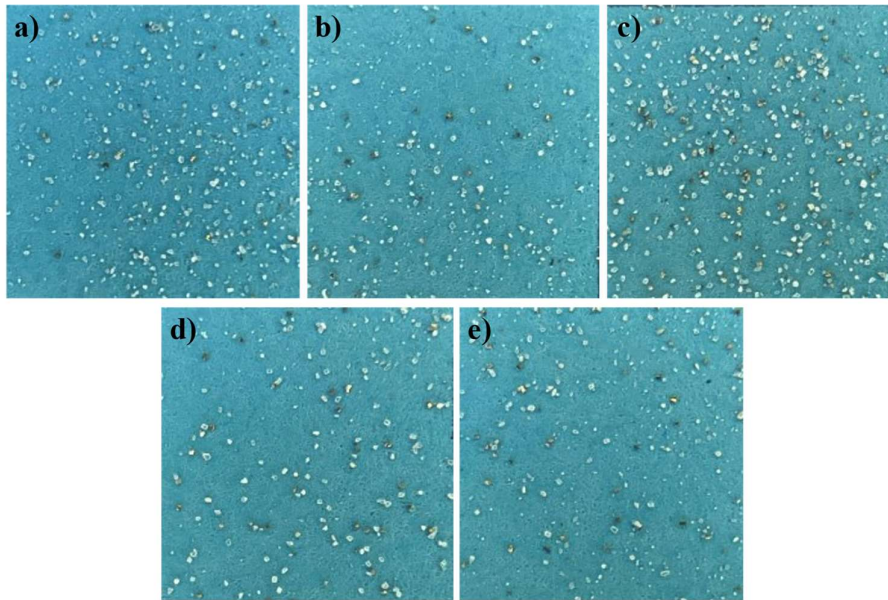
Gambar A. 42 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 10% Detik-240, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



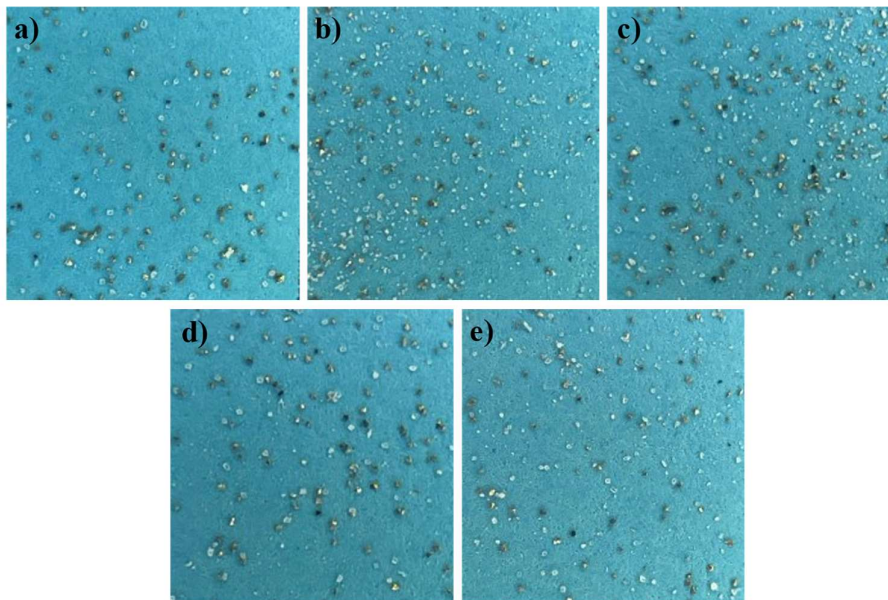
Gambar A. 43 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 10% Detik-300, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



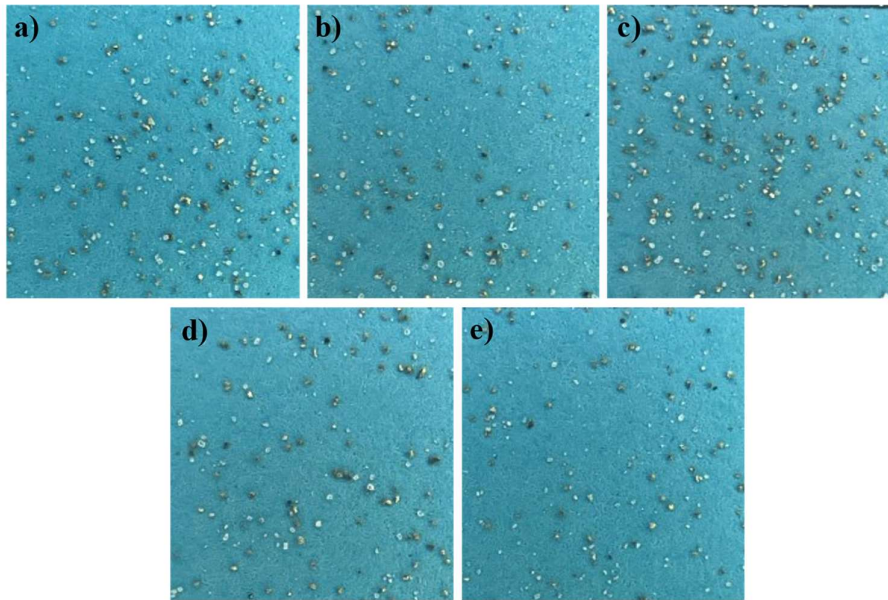
Gambar A. 44 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 10% Detik-360, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



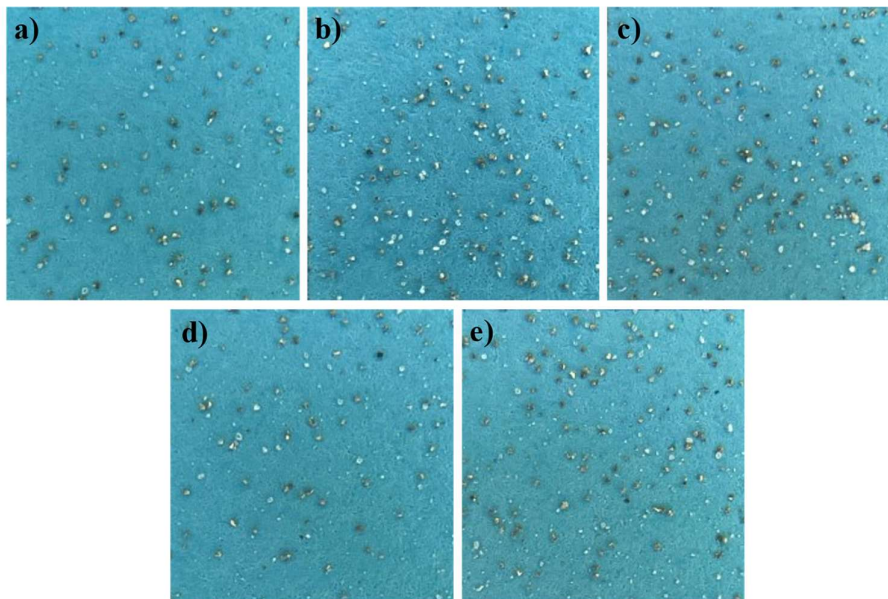
Gambar A. 45 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15% Detik-60, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



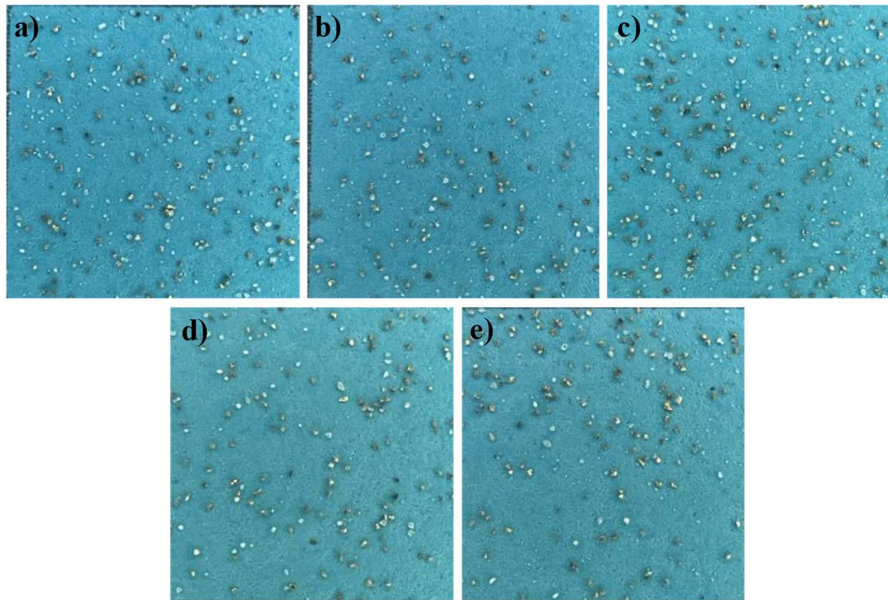
Gambar A. 46 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15% Detik-90, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



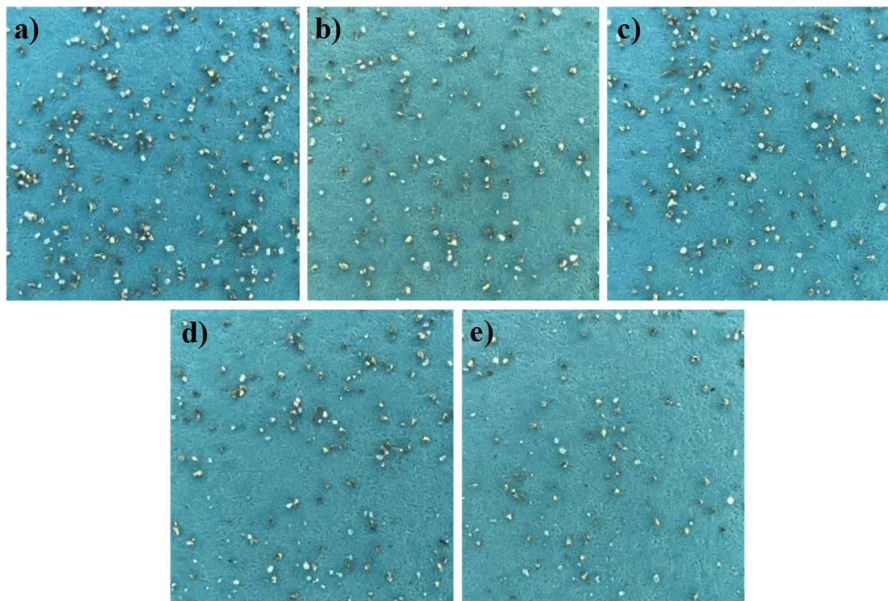
Gambar A. 47 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15% Detik-120, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



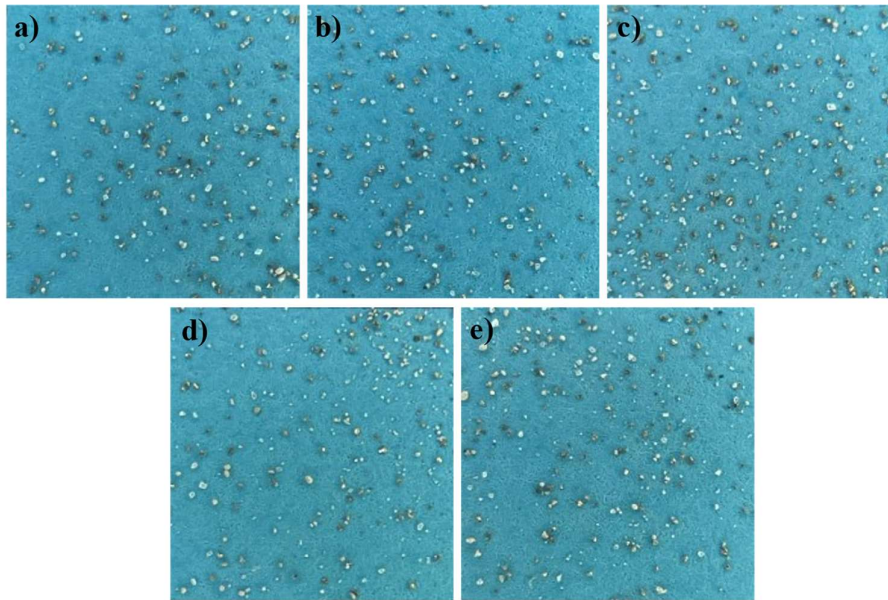
Gambar A. 48 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15% Detik-150, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



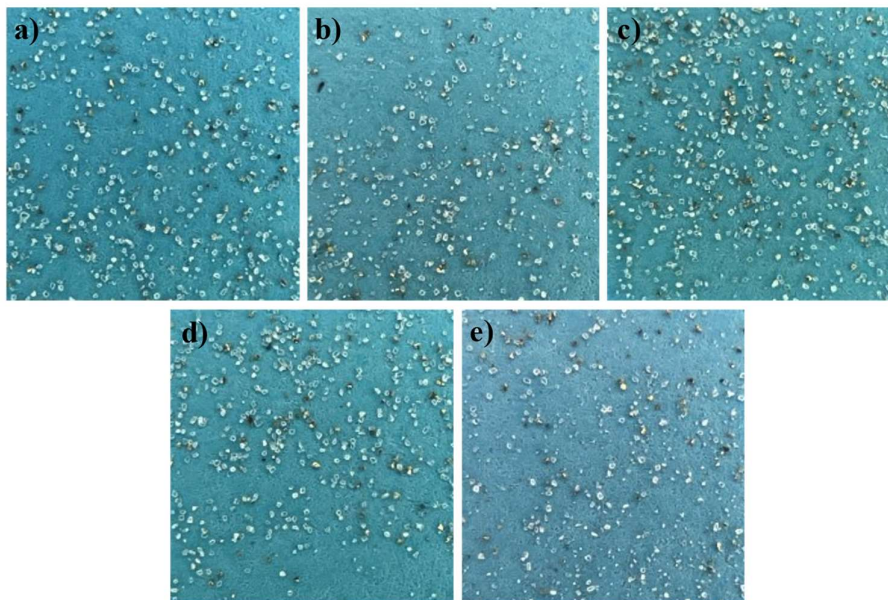
Gambar A. 49 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15% Detik-180, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



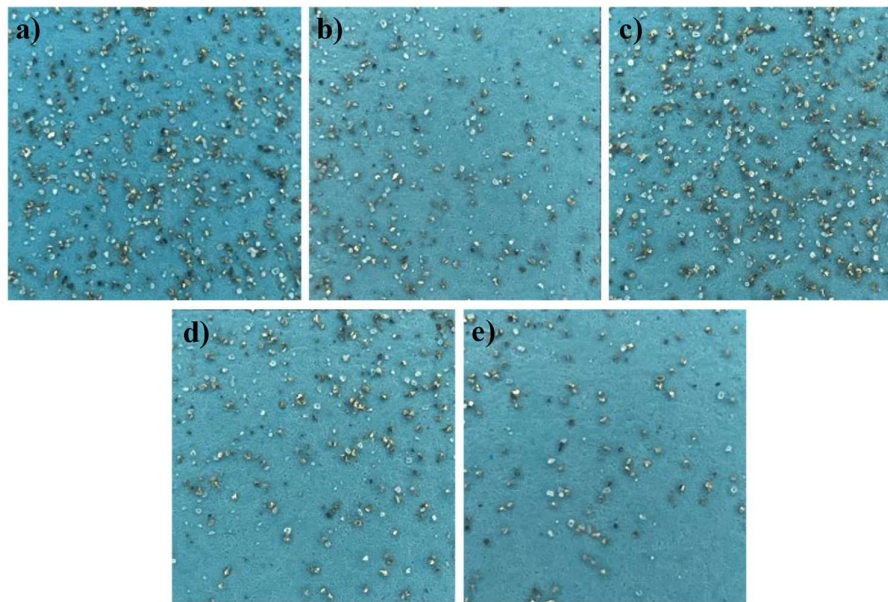
Gambar A. 50 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15% Detik-210, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



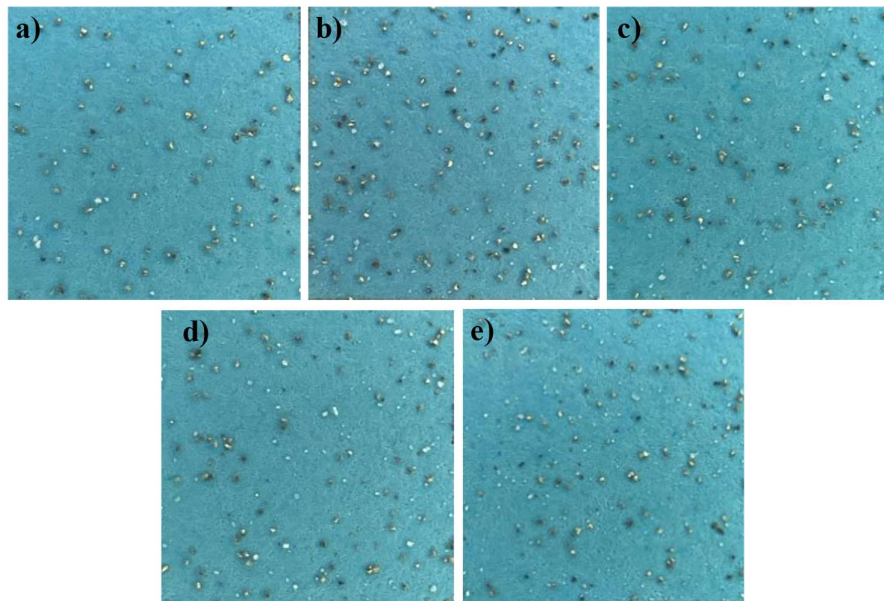
Gambar A. 51 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15% Detik-240, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



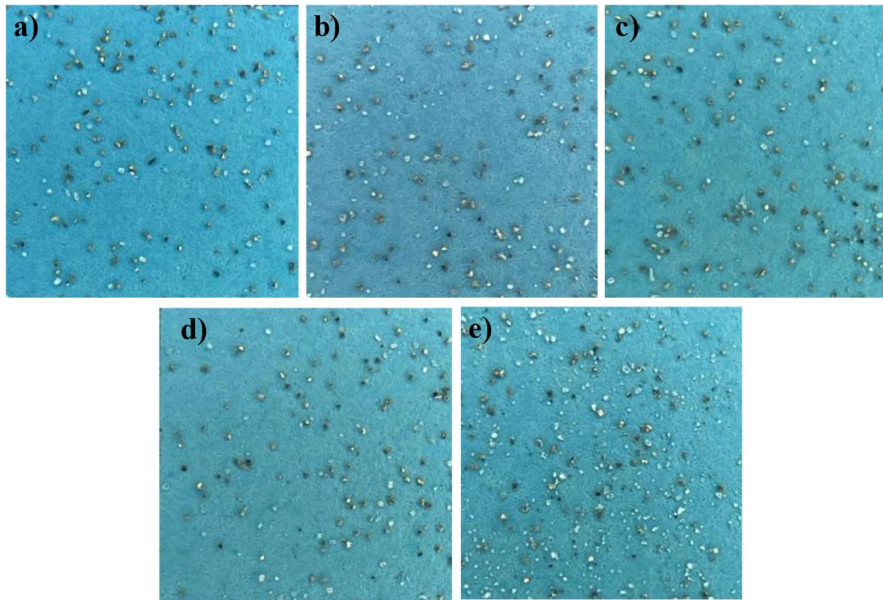
Gambar A. 52 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15% Detik-270, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



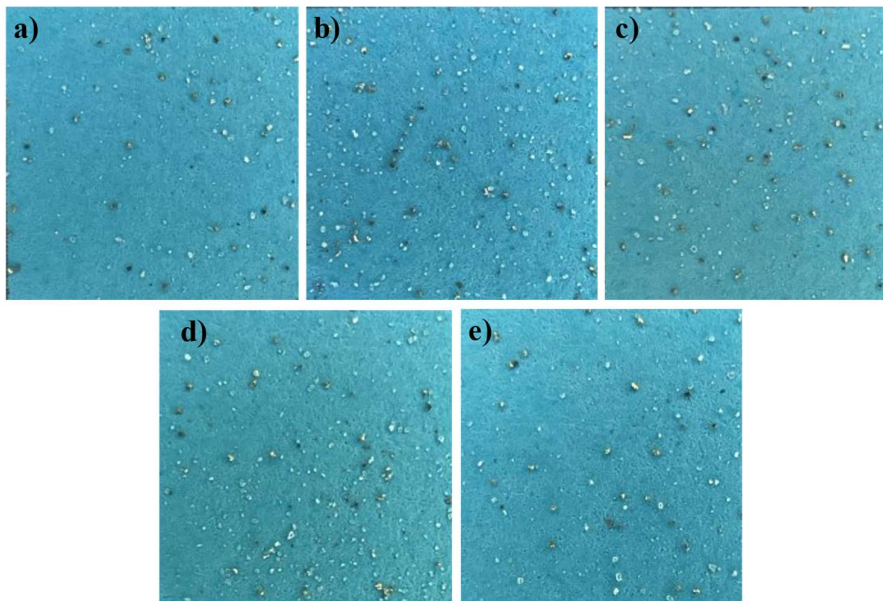
Gambar A. 53 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15% Detik-300, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



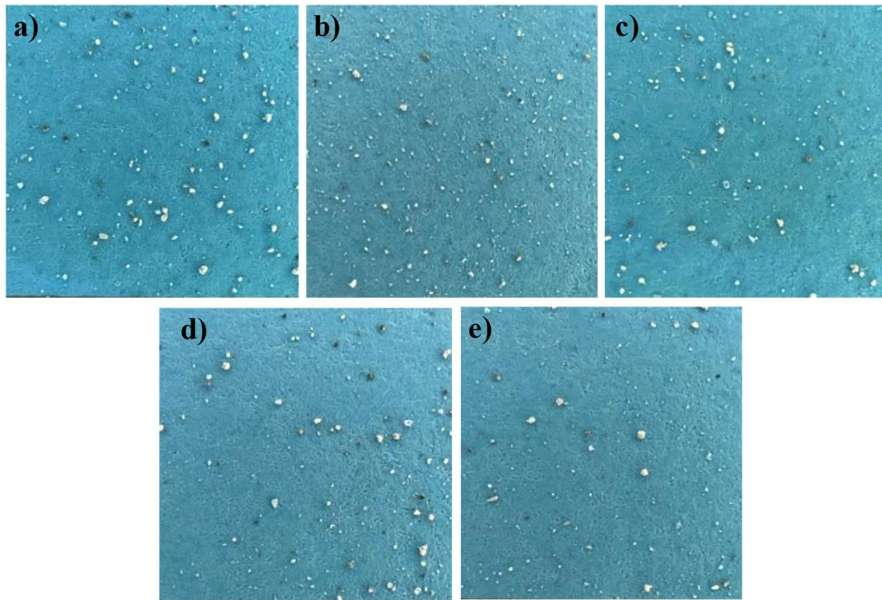
Gambar A. 54 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15% Detik-360, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



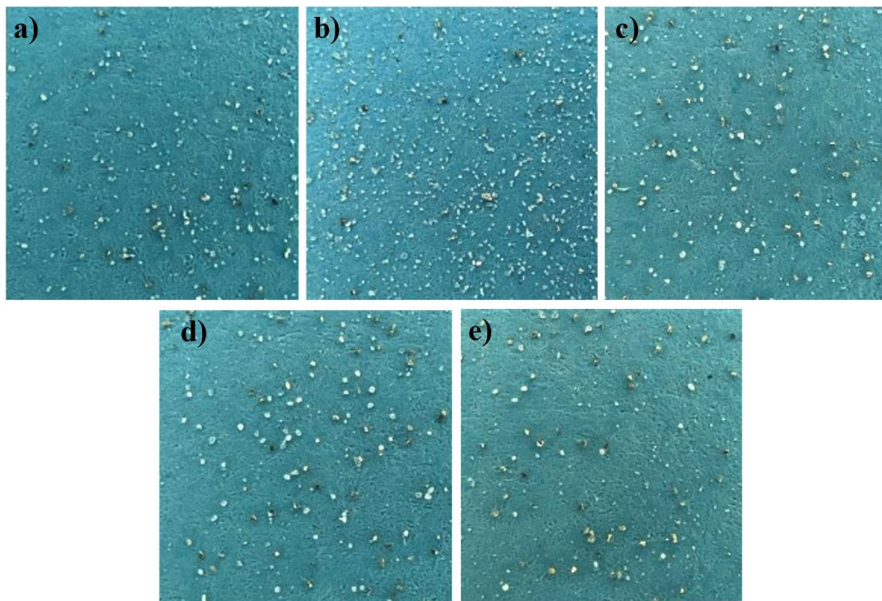
Gambar A. 55 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15% Detik-420, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



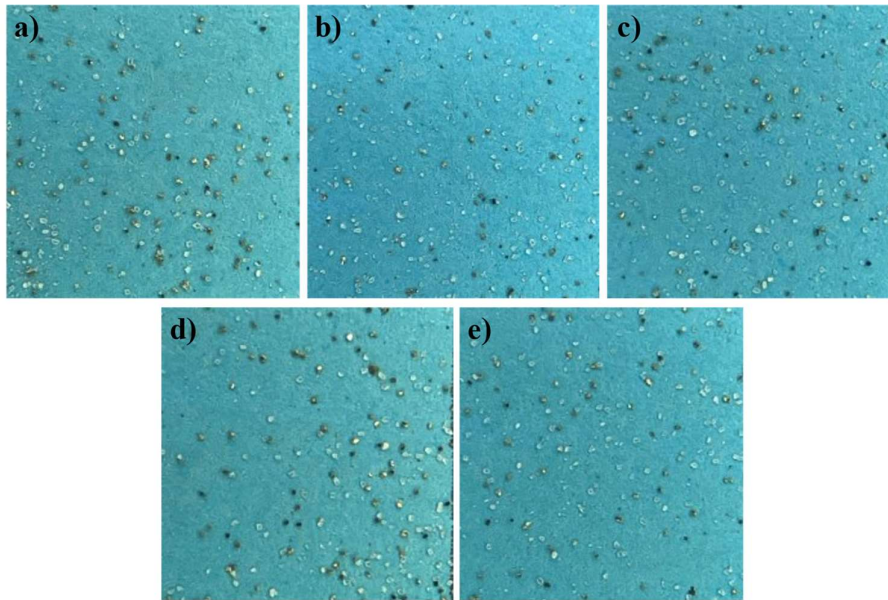
Gambar A. 56 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15% Detik-480, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



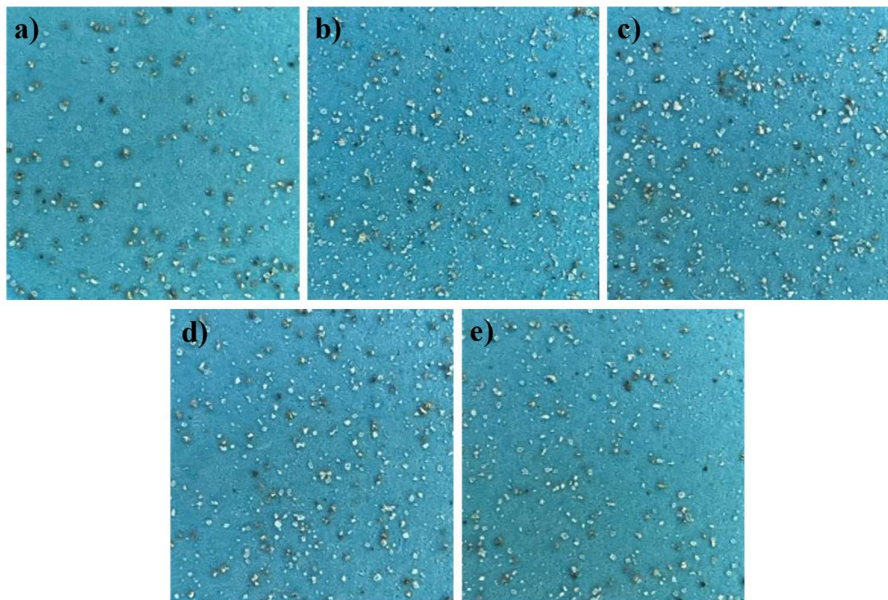
Gambar A. 57 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15% Detik-60, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



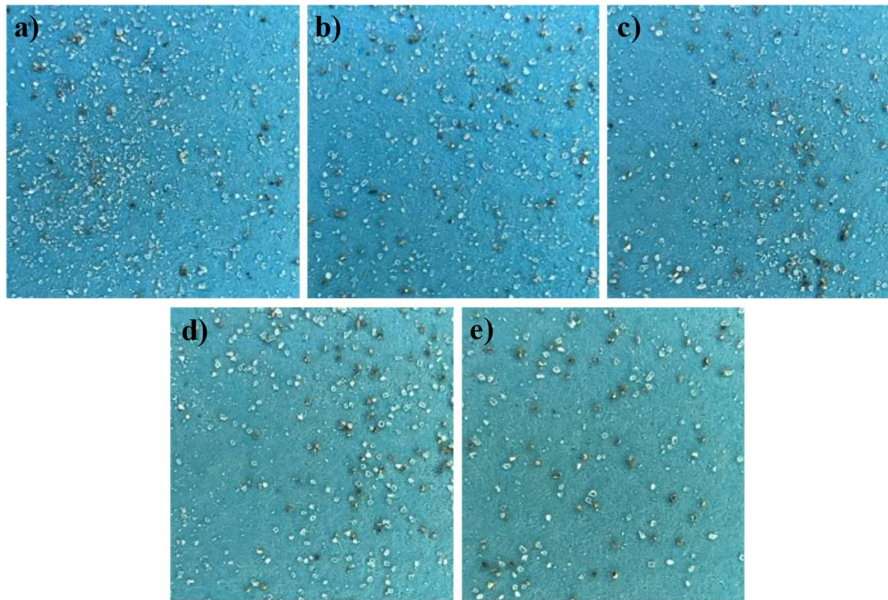
Gambar A. 58 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 15% Detik-90, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



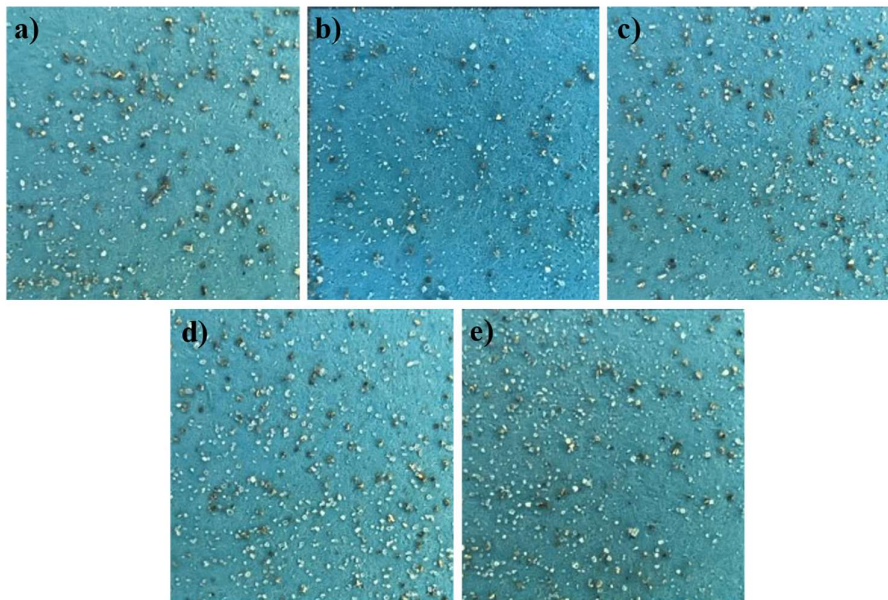
Gambar A. 59 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 20% Detik-60, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



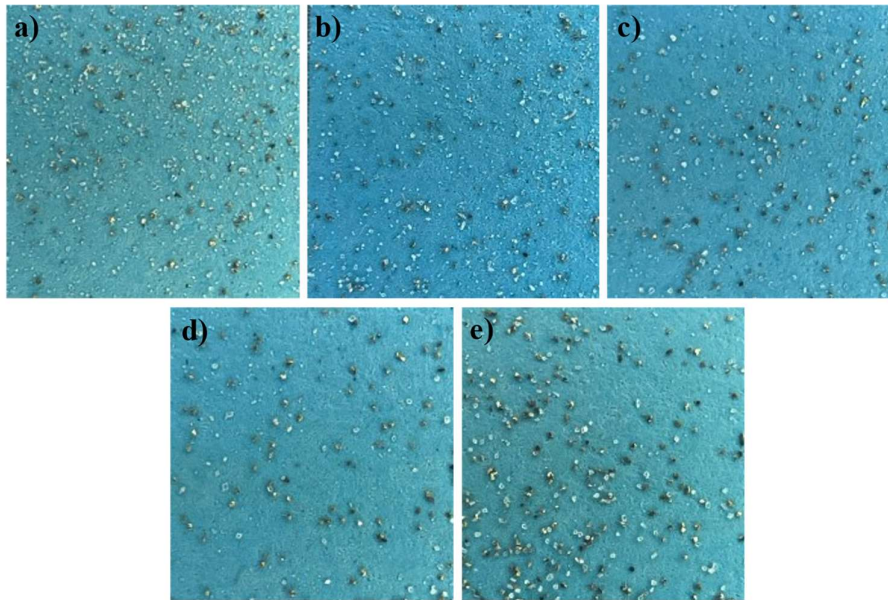
Gambar A. 60 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 20% Detik-90, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



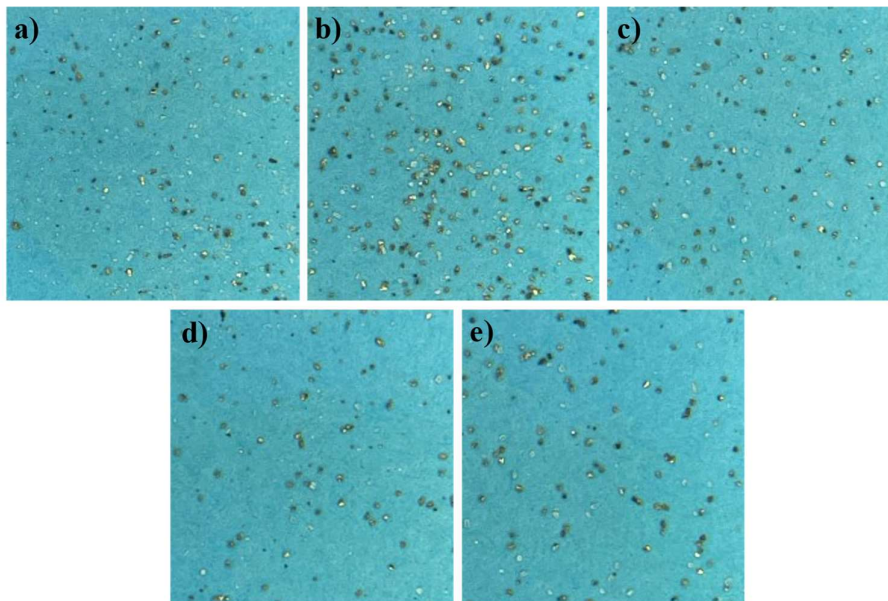
Gambar A. 61 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 20% Detik-120, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



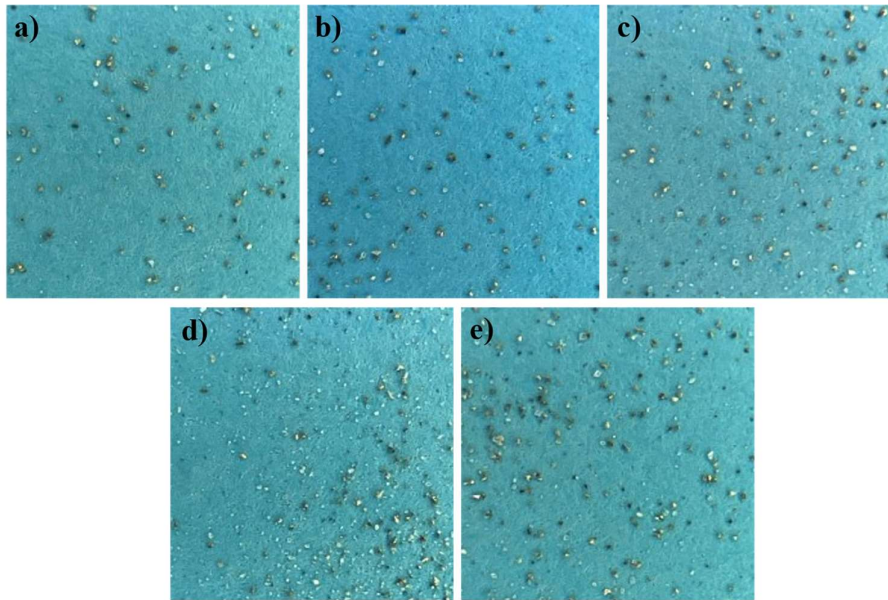
Gambar A. 62 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 20% Detik-150, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



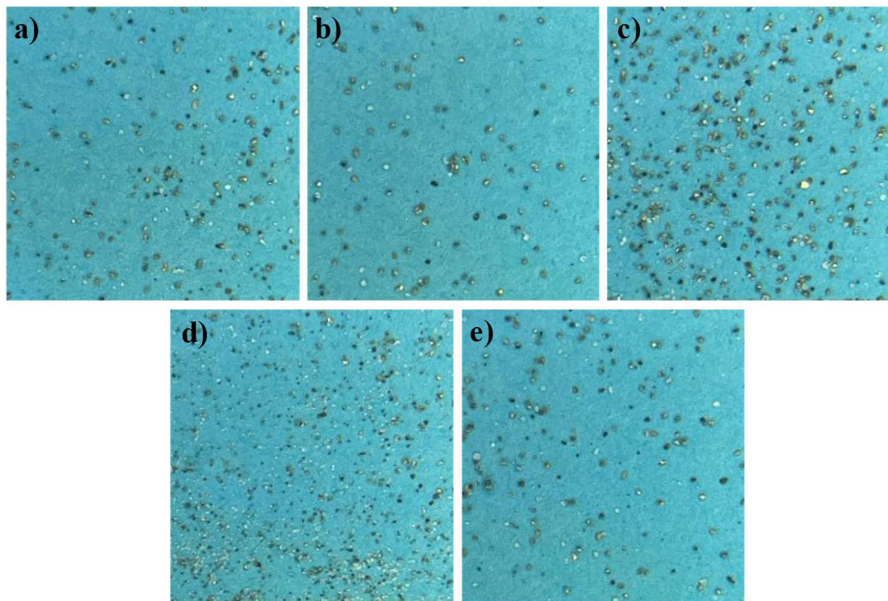
Gambar A. 63 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 20% Detik-180, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



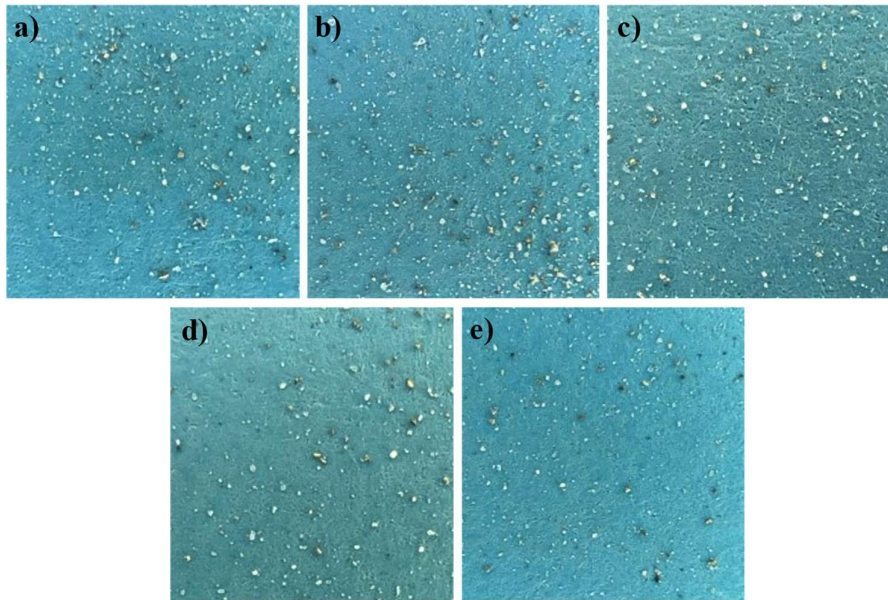
Gambar A. 64 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 20% Detik-210, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



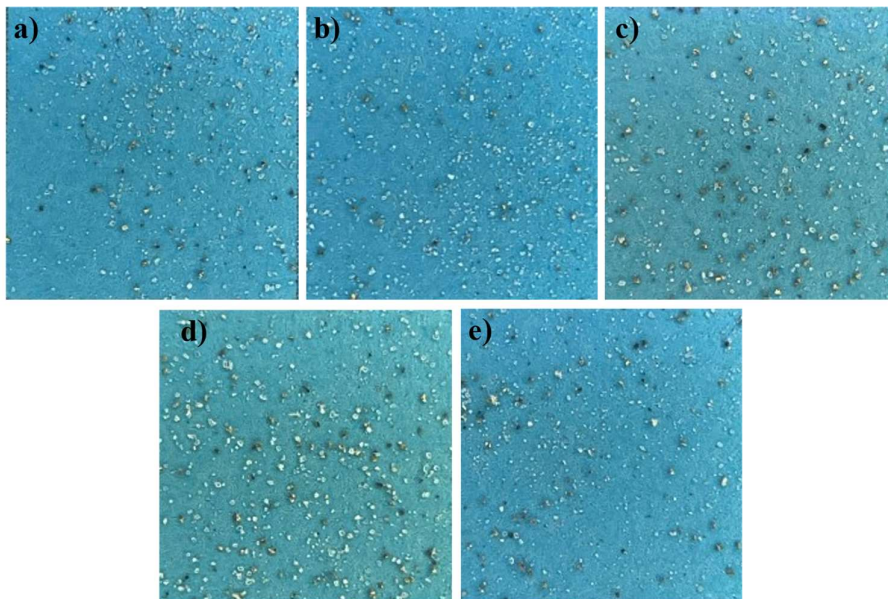
Gambar A. 65 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 20% Detik-240, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



Gambar A. 66 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 20% Detik-270, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



Gambar A. 67 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 20% Detik-300, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9



Gambar A. 68 Citra *Grain Counting* Variasi Persen Solid 20% Detik-360, a) Kotak 1, b) Kotak 3, c) Kotak 5, d) Kotak 7, e) Kotak 9

LAMPIRAN B

CONTOH PERHITUNGAN

B.1 Perhitungan Kadar *Feed*

Penelitian ini dilakukan menggunakan FeS_2 dengan kadar 25% dari total *feed* yang digunakan sebesar 100 g. Sehingga diperlukan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Kadar FeS}_2 = \frac{\text{Massa FeS}_2}{\text{Massa Feed}} \times 100\% \dots \dots \dots (\text{B.1})$$

$$\text{Massa FeS}_2 = \frac{25\% \times 100 \text{ g}}{100\%} = 25 \text{ g}$$

$$\text{Massa kuarsa} = \text{Massa feed} - \text{massa FeS}_2 \dots \dots \dots (\text{B.2})$$

$$\text{Massa kuarsa} = 100 \text{ g} - 25 \text{ g}$$

$$\text{Massa kuarsa} = 80 \text{ g}$$

B.2 Perhitungan Persen Solid

Perhitungan Persen Solid dilakukan untuk menentukan jumlah massa air atau jumlah massa padatan yang diperlukan dalam penelitian ini. Dengan persentase *solid* sebesar 20% dan massa *feed* sebanyak 100 gram, maka air yang dibutuhkan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Persen Solid} =$$

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

$$25\% = \frac{100 \text{ g}}{100 \text{ g} + \text{massa air}} \times 100\%$$

$$100 \text{ g} + \text{massa air} = \frac{100 \text{ g}}{25\%} \times 100\%$$

$$100 \text{ g} + \text{massa air} = 400 \text{ g}$$

$$\text{Massa air} = 400 - 100 \text{ g} = 300 \text{ g}$$

$$\text{Massa air} = 300 \text{ g} = 300 \text{ mL}$$

B.3 Perhitungan Dosis Reagen

Perhitungan dosis reagen dilakukan untuk menentukan jumlah reagen kolektor dan *frother* yang sesuai dengan variasi yang telah ditetapkan. Massa campuran *feed* dan air yang digunakan dalam penelitian ini adalah 500 gram. Dengan variasi dosis kolektor sebesar 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, dan 50 ppm, dan dosis *frother* sebesar 30 ppm. massa kolektor dan *frother* yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

$$30 \text{ ppm} = \frac{\text{Massa reagen}}{500 \text{ gram}} \times 10^6$$

$$\text{Massa Reagen} = \frac{30 \times 500 \text{ gram}}{10^6} = 0,015 \text{ gram}$$

Tabel B. 1 Penentuan Dosis Reagen

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

B.4 Perhitungan Kadar Konsentrat

Perhitungan kadar konsentrat dilakukan untuk menentukan efisiensi pemisahan mineral berharga dari pengotornya. Dalam perhitungan ini, massa partikel pirit dan kuarsa dikonversikan menjadi massa jenis untuk digunakan dalam rumus kadar konsentrat. Volume partikel dianggap konstan karena berada dalam fraksi ukuran yang sama. Perhitungan dilakukan pada setiap interval waktu

menggunakan persamaan dengan contoh hasil dari perhitungan untuk kadar partikel dosis kolektor 20 ppm waktu 120 detik berikut:

$$\text{Kadar FeS}_2 = \frac{\text{Jumlah partikel FeS}_2 \times \rho \text{ FeS}_2}{(\text{Jumlah partikel FeS}_2 \times \rho \text{ FeS}_2) + (\text{Jumlah partikel SiO}_2 \times \rho \text{ SiO}_2)} \times 100 \dots\dots\dots (\text{B.5})$$

$$\text{Kadar FeS}_2 \text{ pada konsentrat} = \frac{1147,6 \times 4,8}{(1147,6 \times 4,8) + (891,6 \times 2,65)} \times 100\%$$

$$\text{Kadar FeS}_2 \text{ pada konsentrat} = 57,77\%$$

Tabel B.2 Kadar FeS₂ pada Variasi Dosis Kolektor 20 ppm

Waktu (detik)	Kadar FeS ₂
0	0,00
60	52,07
90	72,72
120	57,77
150	57,92
180	48,50
210	63,84
240	67,82
300	77,13
360	64,86
420	0,00
480	0,00
540	0,00

600	0,00
-----	------

Tabel B.3 Kadar FeS₂ pada Variasi Dosis Kolektor 30 ppm

Waktu (detik)	Kadar FeS ₂
0	0,00
60	62,40
90	61,93
120	60,18
150	58,52
180	61,44
210	71,22
240	75,67
300	65,10
360	64,57
420	60,65
480	0,00
540	0,00
600	0,00

Tabel B. 4 Kadar FeS₂ pada Variasi Dosis Kolektor 40 ppm

Waktu (detik)	Kadar FeS ₂
0	0,00

60	62,45
90	62,76
120	70,26
150	62,03
180	73,11
210	73,04
240	61,50
300	69,04
360	64,73
420	63,04
480	61,91
540	0,00
600	0,00

Tabel B. 5 Kadar FeS₂ pada Variasi Dosis Kolektor 50 ppm

Waktu (detik)	Kadar FeS ₂
0	0,00
60	68,41
90	64,44
120	52,52
150	56,34
180	72,33
210	61,69

240	56,99
300	53,25
360	50,17
420	92,38
480	55,99
540	90,44
600	0,00

Tabel B. 6 Kadar FeS₂ pada Variasi Persen Solid 10%

Waktu (detik)	Kadar FeS ₂
0	0,00
60	40,05
90	58,34
120	60,58
150	70,59
180	69,16
210	64,03
240	70,21
300	40,29
360	57,21
420	57,21
480	0,00
540	0,00

600	0,00
-----	------

Tabel B. 7 Kadar FeS₂ pada Variasi Persen Solid 15%

Waktu (detik)	Kadar FeS ₂
0	0,00
60	57,79
90	65,32
120	76,32
150	73,73
180	75,78
210	75,84
240	75,16
300	52,23
360	73,45
420	72,62
480	51,94
540	59,10
600	49,17

Tabel B. 8 Kadar FeS₂ pada Variasi Persen Solid 20%

Waktu (detik)	Kadar FeS ₂
0	0,00

60	54,05
90	60,01
120	50,19
150	50,19
180	55,61
210	65,78
240	71,91
300	62,98
360	55,26
420	0,00
480	0,00
540	0,00
600	0,00

Tabel B. 9 Kadar FeS₂ pada Variasi Persen Solid 25%

Waktu (detik)	Kadar FeS ₂
0	0,00
60	62,40
90	61,93
120	60,18
150	58,52
180	61,44
210	71,22

240	75,67
300	65,10
360	64,57
420	60,65
480	0,00
540	0,00
600	0,00

B. 5 Perhitungan *Recovery* dan Kumulatif *Recovery*

Recovery adalah persentase mineral berharga yang berhasil diambil atau dipisahkan dari total jumlah mineral berharga yang terkandung dalam suatu kondisi tertentu. *Recovery* merupakan parameter penting yang digunakan untuk mengukur efisiensi proses konsentrasi dan performa metalurgi, sedangkan kumulatif *Recovery* adalah perhitungan untuk mengetahui peningkatan nilai *Recovery* hingga detik terakhir.

$$\% Recovery = \frac{\text{Kadar } FeS_2 \times \text{Massa konsentrat}}{\text{Kadar } feed \times \text{Massa } feed} \times 100\% \dots \dots \dots (B.6)$$

$$\% \text{ Kumulatif } Recovery = \% Recovery + \% Recovery \text{ sebelumnya} \dots (B.7)$$

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

$$\% Recovery = \frac{62,4 \% \times 5,75 \text{ gram}}{25\% \times 84,24 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$\% Recovery = 17,03\%$$

Tabel B. 10 *Recovery* dan Kumulatif *Recovery* FeS₂ pada Variasi Dosis Kolektor 20 ppm

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	Kumulatif <i>Recovery</i> (%)
0	0,000	0
60	18,162	18,16
90	5,158	23,32
120	1,571	24,89
150	4,417	29,31
180	0,181	29,49
210	1,498	30,99
240	0,217	31,21
300	1,892	33,10
360	2,041	35,14
420	0,000	35,14
480	0,000	35,14
540	0,000	35,14
600	0,000	35,14

Tabel B. 11 *Recovery* dan Kumulatif *Recovery* FeS₂ pada Variasi Dosis Kolektor 30 ppm

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	Kumulatif <i>Recovery</i> (%)
0	0,000	0
60	17,037	17,04
90	5,234	22,27

120	1,715	23,99
150	2,501	26,49
180	1,109	27,59
210	0,879	28,47
240	2,120	30,59
300	2,627	33,22
360	1,717	34,94
420	2,765	37,70
480	0,000	37,70
540	0,000	37,70
600	0,000	37,70

Tabel B. 12 *Recovery* dan Kumulatif *Recovery* FeS₂ pada Variasi Dosis Kolektor 40 ppm

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	Kumulatif <i>Recovery</i> (%)
0	0,000	0
60	17,234	17,23
90	14,889	32,12
120	7,268	39,39
150	0,573	39,96
180	2,156	42,12
210	2,475	44,59
240	1,732	46,33

300	1,671	48,00
360	2,422	50,42
420	2,053	52,47
480	0,654	53,13
540	0,000	53,13
600	0,000	53,13

Tabel B. 13 *Recovery* dan Kumulatif *Recovery* FeS₂ pada Variasi Dosis Kolektor 50 ppm

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	Kumulatif <i>Recovery</i> (%)
0	0,000	0
60	51,869	51,87
90	16,127	68,00
120	1,357	69,35
150	0,873	70,23
180	0,374	70,60
210	0,319	70,92
240	0,589	71,51
300	2,162	73,67
360	0,185	73,86
420	0,273	74,13
480	0,992	75,12
540	1,936	77,06

600	0,000	77,06
-----	-------	-------

Tabel B. 14 *Recovery* dan Kumulatif *Recovery* FeS₂ pada Variasi Persen Solid 10%

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	Kumulatif <i>Recovery</i> (%)
0	0,00	0
60	19,17	19,17
90	7,98	27,15
120	0,43	27,59
150	2,53	30,12
180	0,34	30,46
210	0,36	30,82
240	1,76	32,59
300	0,20	32,79
360	0,46	33,25
420	0,49	33,73
480	0,00	33,73
540	0,00	33,73
600	0,00	33,73

Tabel B. 15 *Recovery* dan Kumulatif *Recovery* FeS₂ pada Variasi Persen Solid 15%

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	Kumulatif <i>Recovery</i> (%)
0	0,00	0,00

60	17,48	17,48
90	10,48	27,95
120	13,53	41,48
150	0,91	42,39
180	3,57	45,96
210	0,66	46,62
240	1,48	48,09
300	0,10	48,19
360	0,07	48,26
420	1,06	49,32
480	0,02	49,34
540	0,78	50,12
600	0,02	50,15

Tabel B. 16 *Recovery* dan Kumulatif *Recovery* FeS₂ pada Variasi Persen Solid 20%

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	Kumulatif <i>Recovery</i> (%)
0	0,00	0,00
60	12,96	12,96
90	17,51	30,47
120	3,04	33,51
150	2,71	36,22
180	0,51	36,73

210	0,86	37,59
240	1,42	39,00
300	0,19	39,20
360	0,11	39,31
420	0,00	39,31
480	0,00	39,31
540	0,00	39,31
600	0,00	39,31

Tabel B. 17 *Recovery* dan Kumulatif *Recovery* FeS₂ pada Variasi Persen Solid 25%

Waktu (detik)	<i>Recovery</i> (%)	Kumulatif <i>Recovery</i> (%)
0	0,00	0,00
60	17,04	17,04
90	5,23	22,27
120	1,71	23,99
150	2,50	26,49
180	1,11	27,59
210	0,88	28,47
240	2,12	30,59
300	2,63	33,22
360	1,72	34,94
420	2,76	37,70

480	0,00	37,70
540	0,00	37,70
600	0,00	37,70

B.6 Perhitungan Kapasitansi dan Kumulatif Kapasitansi

Nilai kapasitansi didapatkan dari sensor kapasitometer CAP 3201 2CH C-Tech Labs Edwar Technology. Nilai kapasitansi dikumulatifkan untuk melihat peningkatan nilai kapasitansi hingga detik terakhir.

Tabel B. 18 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Dosis Kolektor 20 ppm

Waktu (detik)	Kapasitansi Terukur (pF)	Kumulatif Kapasitansi (pF)
0	0,72080	0,72080
60	0,77878	0,77878
90	0,74952	1,52830
120	0,74939	2,27768
150	0,74944	3,02713
180	0,74941	3,77653
210	0,74939	4,52592
240	0,74946	5,27538
300	0,74937	6,02475
360	0,77871	6,80346
420	0,75050	7,55396
480	0,72079	7,55396

540	0,72081	7,55396
600	0,72189	7,55396

Tabel B. 19 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Dosis Kolektor 30 ppm

Waktu (detik)	Kapasitansi Terukur (pF)	Kumulatif Kapasitansi (pF)
0	0,721	0,721
60	0,750	0,750
90	0,749	1,499
120	0,749	2,248
150	0,750	2,998
180	0,749	3,747
210	0,749	4,497
240	0,750	5,246
300	0,750	5,996
360	0,750	6,745
420	0,721	7,466
480	0,721	8,187
540	0,721	8,187
600	0,721	8,187

Tabel B. 20 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Dosis Kolektor 40 ppm

Waktu (detik)	Kapasitansi Terukur (pF)	Kumulatif Kapasitansi (pF)
---------------	--------------------------	----------------------------

0	0,721	0,721
60	0,750	1,470
90	0,749	2,220
120	0,751	2,971
150	0,749	3,720
180	0,749	4,470
210	0,753	5,223
240	0,749	5,972
300	0,779	6,751
360	0,751	7,502
420	0,749	8,251
480	0,749	9,001
540	0,721	9,001
600	0,721	9,001

Tabel B. 21 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Dosis Kolektor 50 ppm

Waktu (detik)	Kapasitansi Terukur (pF)	Kumulatif Kapasitansi (pF)
0	0,749	0,749
60	0,777	0,777
90	0,779	1,556
120	0,764	2,320
150	0,764	3,084

180	0,779	3,863
210	0,764	4,627
240	0,764	5,391
300	0,749	6,140
360	0,750	6,890
420	0,779	7,669
480	0,749	8,418
540	0,779	9,197
600	0,750	9,197

Tabel B. 22 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Persen Solid 10%

Waktu (detik)	Kapasitansi Terukur (pF)	Kumulatif Kapasitansi (pF)
0	0,65781	0,65781
60	0,68720	1,34501
90	0,68718	2,03219
120	0,68719	2,71938
150	0,68722	3,40660
180	0,68721	4,09382
210	0,68722	4,78104
240	0,68716	5,46820
300	0,65784	6,12604
360	0,68713	6,81318

420	0,68722	7,50040
480	0,65781	7,50040
540	0,65793	7,50040
600	0,65785	7,50040

Tabel B. 23 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Persen Solid 15%

Waktu (detik)	Kapasitansi Terukur (pF)	Kumulatif Kapasitansi (pF)
0	0,629	0,749
60	0,659	1,409
90	0,658	2,067
120	0,658	2,725
150	0,658	3,383
180	0,658	4,040
210	0,658	4,698
240	0,658	5,356
300	0,658	6,014
360	0,658	6,672
420	0,658	7,330
480	0,658	7,988
540	0,658	8,646
600	0,658	9,304

Tabel B. 24 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Persen Solid 20%

Waktu (detik)	Kapasitansi Terukur (pF)	Kumulatif Kapasitansi (pF)
0	0,721	0,749
60	0,750	1,499
90	0,749	2,248
120	0,749	2,998
150	0,750	3,747
180	0,749	4,497
210	0,749	5,246
240	0,749	5,996
300	0,750	6,745
360	0,750	7,495
420	0,749	8,244
480	0,721	8,244
540	0,721	8,244
600	0,721	8,244

Tabel B. 25 Kapasitansi Terukur dan Kumulatif Kapasitansi pada Variasi Persen Solid 25%

Waktu (detik)	Kapasitansi Terukur (pF)	Kumulatif Kapasitansi (pF)
0	0,721	0,721
60	0,750	0,750
90	0,749	1,499

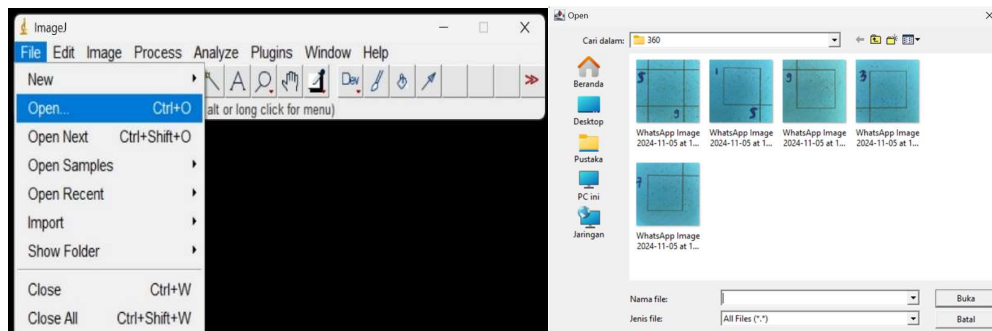
120	0,749	2,248
150	0,750	2,998
180	0,749	3,747
210	0,749	4,497
240	0,750	5,246
300	0,750	5,996
360	0,750	6,745
420	0,721	7,466
480	0,721	8,187
540	0,721	8,187
600	0,721	8,187

LAMPIRAN C

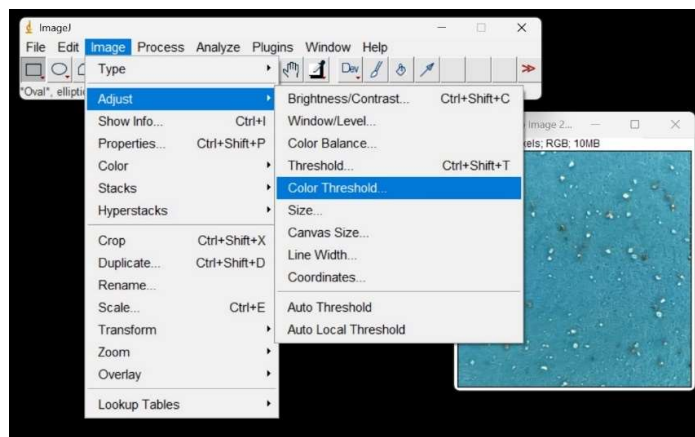
ANALISIS *GRAIN COUNTING*

C.1 Tahapan Analisis *Grain Counting* Menggunakan ImageJ 1.54g

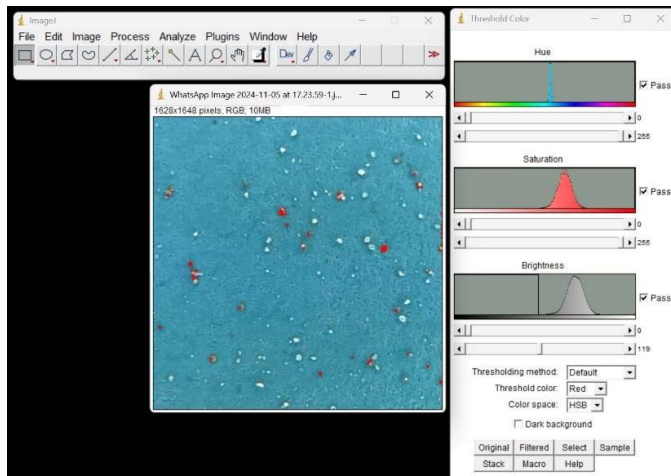
Citra partikel pada konsentrat yang akan dianalisis diolah dan dihitung menggunakan perangkat lunak ImageJ versi 1.54g. Citra partikel dibuka dengan perangkat lunak ImageJ dengan memilih menu “File” kemudian “Open...” (Gambar C.1). Pilih file citra yang ingin dianalisis. Setelah citra terbuka, klik menu “Image”, lalu “Adjust”, dan pilih “Color Threshold...” (Gambar C.2). Pada jendela yang muncul, atur parameter “Hue”, “Saturation”, dan “Brightness” untuk menyesuaikan tampilan citra sehingga partikel yang akan dianalisis dapat terlihat jelas. Partikel kuarsa, sesuaikan nilai *saturation* dan *brightness* sehingga area partikel dominan warna putih (Gambar C.3), untuk partikel pirit, atur *brightness* sehingga area partikel dominan warna hitam (Gambar C.4). Setelah warna citra sesuai, pilih menu “Process”, kemudian “Binary”, dan pilih “Make Binary” untuk mengubah citra menjadi hitam-putih (Gambar C.5). Dalam pembuatan masker dan penyempurnaan citra, klik menu “Process”, pilih “Binary”, lalu pilih “Convert to Mask” untuk membuat area partikel lebih tegas (Gambar C.6). Ulangi menu “Process” > “Binary” dan pilih “Fill Holes” untuk mengisi rongga putih di dalam area hitam (Gambar C.7). Gunakan fungsi “Watershed” untuk memisahkan partikel yang saling menempel. Caranya, pilih menu “Process” > “Binary” > “Watershed” (Gambar C.8). Garis putih tipis akan muncul untuk memisahkan partikel-partikel yang bersentuhan. Dalam menghitung jumlah partikel dengan klik menu “Analyze”, lalu pilih “Analyze Particles...” (Gambar C.9). Pada jendela yang muncul, centang opsi “Summarize”, kemudian klik “OK”. Hasil analisis jumlah partikel akan ditampilkan dalam bentuk tabel di kolom “Count” (Gambar C.10).



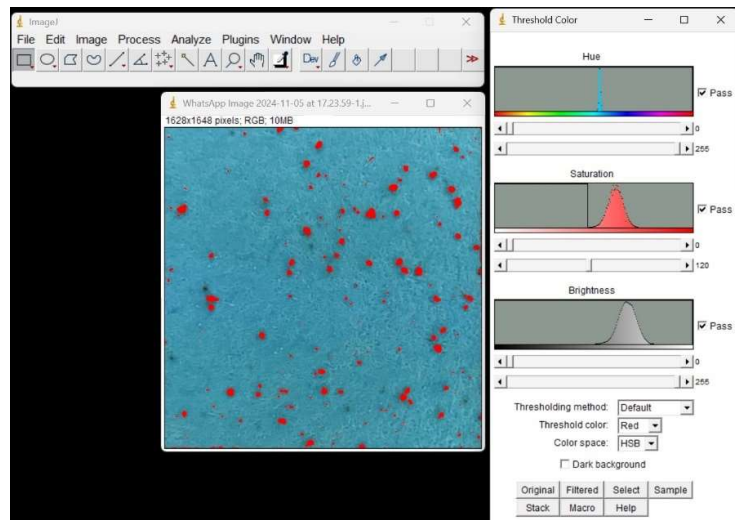
Gambar C. 1 a) “Open” untuk Membuka File Citra, b) Memilih File Citra pada Folder di PC



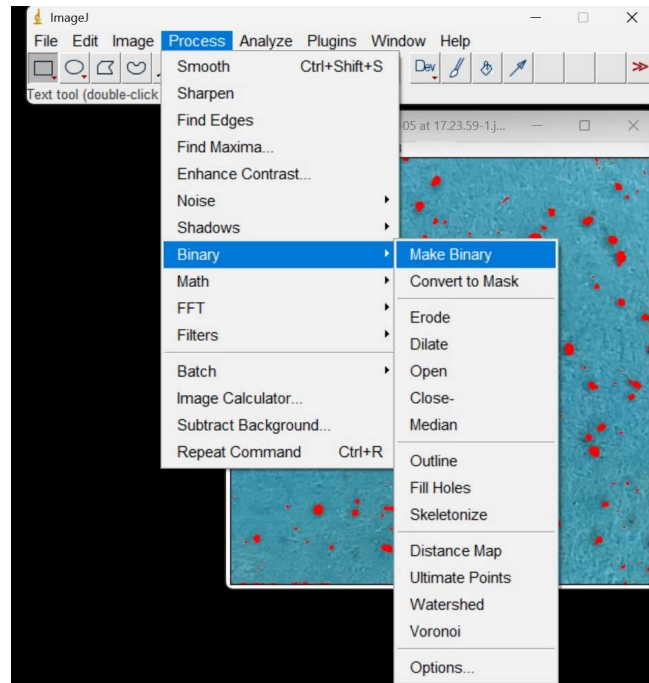
Gambar C. 2 Pada Menu “Image”, Pilih “Adjust” dan Pilih “Color Threshold”



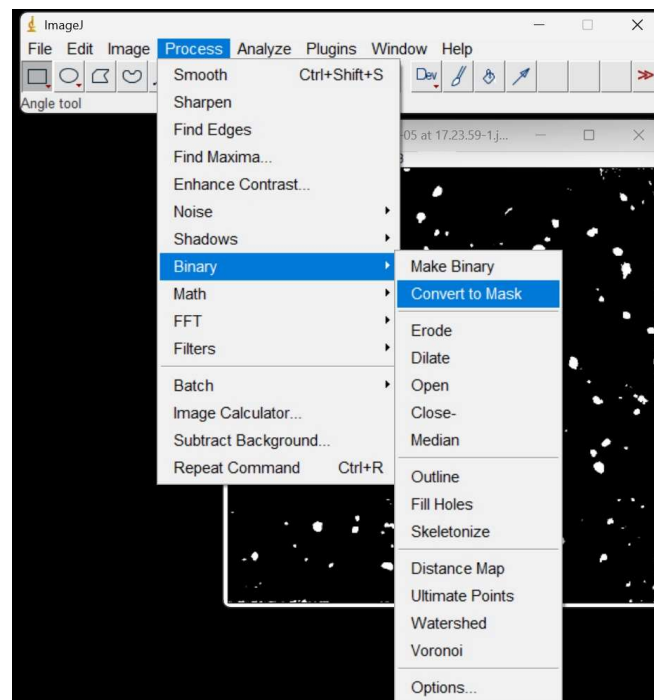
Gambar C. 3 Atur Interval “Saturation” dan “Brightness” untuk Partikel Pirit



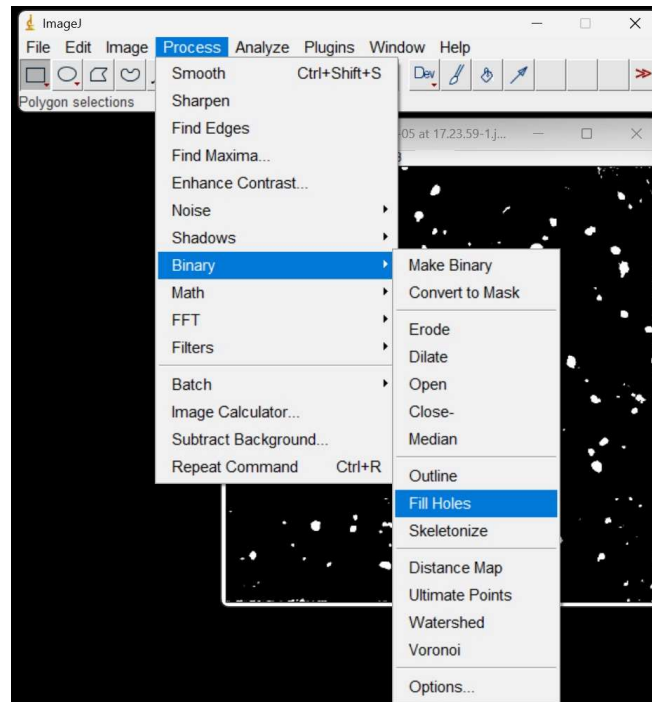
Gambar C. 4 Atur Interval “Saturation” dan “Brightness” untuk Partikel Kuarsa



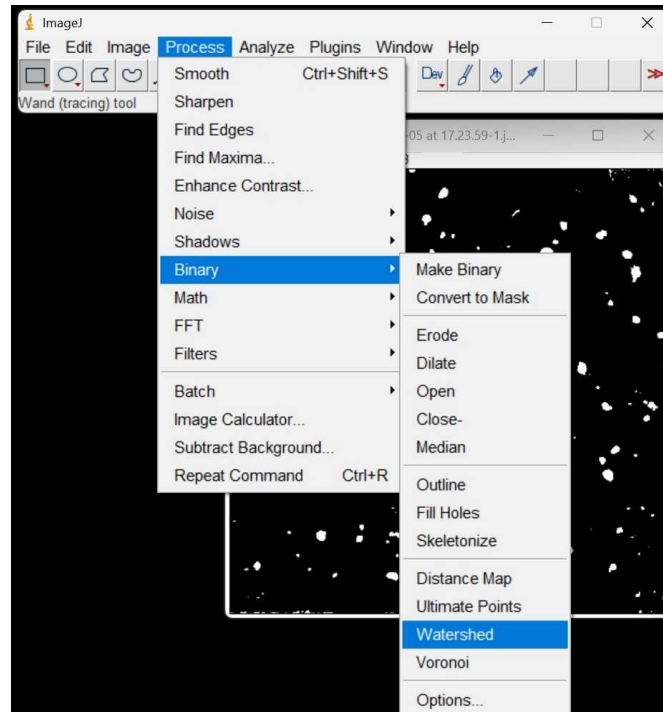
Gambar C. 5 Pada “Process”, pilih “Binary” lalu “Make Binary”



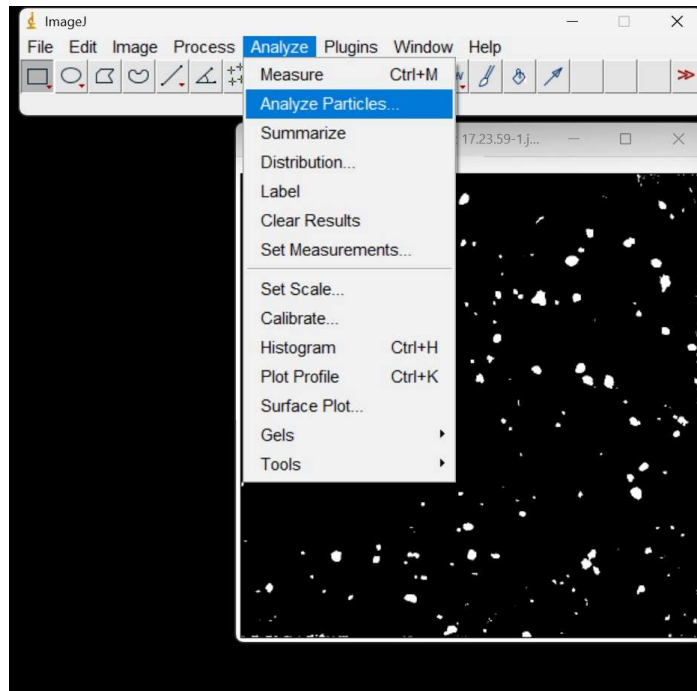
Gambar C. 6 Pada “Process”, pilih “Binary” lalu “Convert to Mask”



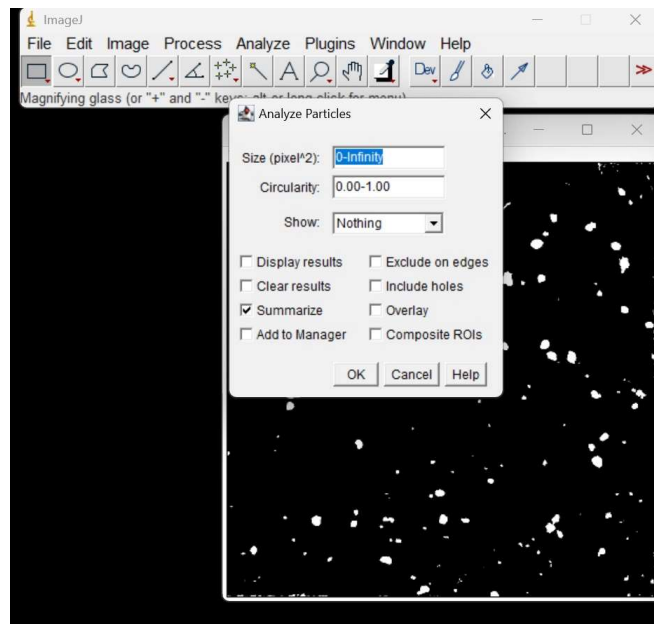
Gambar C. 7 Pada “Process”, pilih “Binary” lalu “Fill Holes”



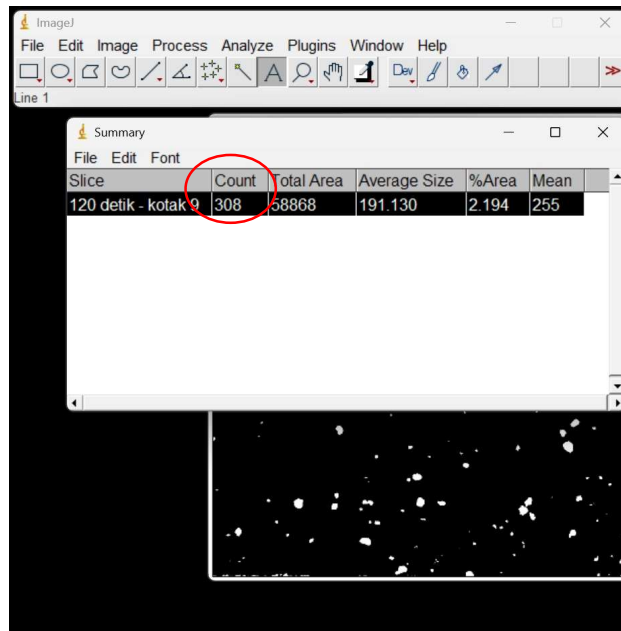
Gambar C. 8 Pada “Process”, pilih “Binary” lalu “Watershed”



Gambar C. 9 Pada “Analyze”, pilih “Analyze Particles”



Gambar C. 10 Pilih “Summarize” dan Pilih “OK”



Gambar C. 11 Analisis Jumlah Butiran untuk Salah Satu Jenis Bijih

LAMPIRAN D

GAMBAR ALAT DAN BAHAN

E.1 Gambar Alat



Gambar E.1 *Ball Mill*



Gambar E.2 *Chopper*



Gambar E.3 *Ember*



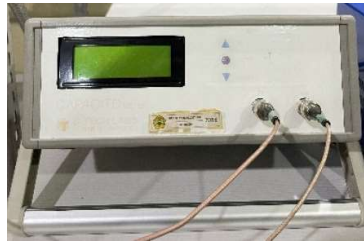
Gambar E.4 *Flowmeter*



Gambar E.5 *Gelas kimia 500 mL*



Gambar E.6 *Jaw Crusher*



Gambar E.7 Kapasitometer



Gambar E.8 Kolom Flotasi



Gambar E.9 Kompresor Udara



Gambar E.10 Kabel Konektor



Gambar E.11 *Hand Mixer*



Gambar E.12 Nampan Logam



Gambar E.13 Neraca Digital



Gambar E.14 Oven



**Gambar E.15 Screen 150# dan
200#**



Gambar E.16 Stabilizer



Gambar E.18 Water Sprayer

E.2 Gambar Bahan



Gambar E.19 *Frother Pine Oil*



Gambar E.20 Kolektor *Potassium*

Amyl Xanthate



Gambar E.21 Kuarsa (SiO_2)



Gambar E.22 FeS_2