

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir Kuarsa

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

2.2 Silikon Karbida

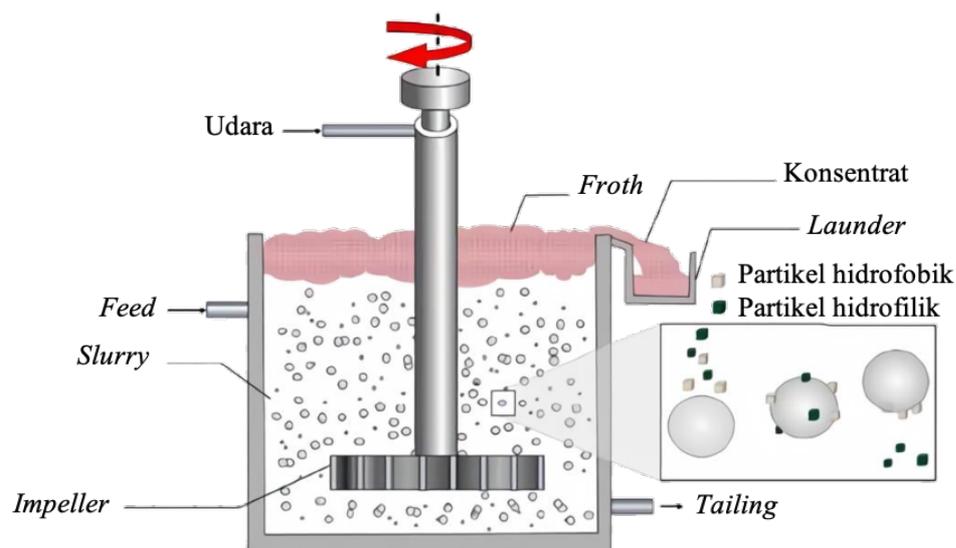
Silikon karbida (SiC) atau Carborundum adalah senyawa keramik non-oksida yang terbuat dari silikon (Si) dan karbon (C). Material ini memiliki ikatan kovalen yang sangat kuat antara atom silikon dan karbon, yang memberikan sifat mekanik dan termal yang luar biasa, seperti titik leleh yang sangat tinggi,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

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

2.3 Flotasi

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

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

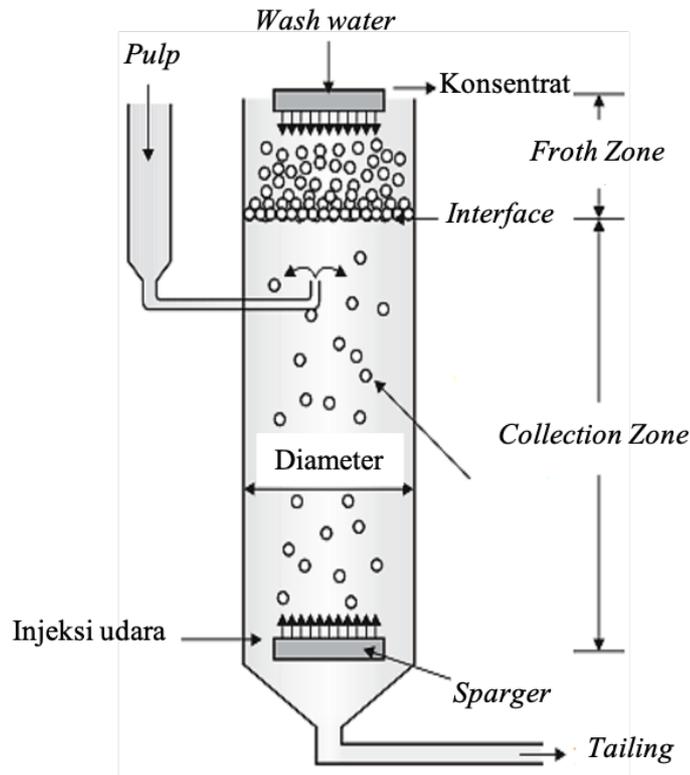


Gambar 2.1 Mekanisme Flotasi [3]

2.4 Flotasi Kolom

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

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



Gambar 2.2 Skema Flotasi Kolom [6]

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

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

1. *Collection zone*

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

2. *Froth zone*

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

2.5 Kolektor

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

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

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

2.6 Frother

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

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

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

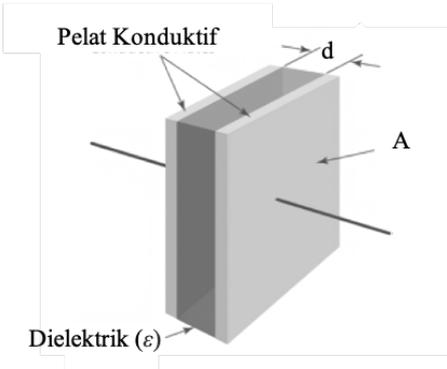
cenderung tidak mudah pecah dengan menciptakan lapisan pada permukaan gelembung udara [12].

2.7 Kapasitor

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

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

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



Gambar 2.3 Struktur Fisik Kapasitor Pelat Sejajar [15]

2.8 Kapasitansi

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

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

Dimana:

Q = Muatan elektron dalam C (*Columbs*)

C = Nilai kapasitansi dalam F (Farad)

V = Besar tegangan dalam V (volt)

2.9 Kapasitometer

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

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



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

2.10 Sensor Kapasitif

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

2.11 Grain Counting

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

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

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

2.12 ImageJ

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

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