

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH	1
1.2 PERMASALAHAN	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 BATASAN PENELITIAN	4
1.5 MANFAAT PENELITIAN	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. LEMPUNG	5
2.2. KOMPOSISI LEMPUNG	12
2.2.1. Komposisi kimia	12
2.2.2. Mineral tambahan	13
2.2.3. Bahan organik	13
2.3. SIFAT FISIKA LEMPUNG	14
2.3.1. Distribusi ukuran partikel	14
2.4. PERSAMAAN YANG DIGUNAKAN DALAM PERHITUNGAN DAN ANALISA LEMPUNG	16
2.4.1. Hukum Stokes	16
2.4.2. Penggunaan kurva Dietrich.	20
2.4.3. Perhitungan distribusi ukuran butiran	26
2.4.4. Teori Pengukuran Mekanik Lempung	28
2.4.4.1. Pengujian Tarik	28
2.4.4.2. Pengujian kekuatan patah (Bending strength)	30
2.4.5. Difraksi Sinar-X	31

2.5. STRUKTUR KRISTAL	36
2.6. SEM-EDAX (<i>Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray Analysis</i>)	45
BAB III. METODE PENELITIAN	48
3.1. BAHAN PENELITIAN	48
3.1.1. Bahan utama	48
3.1.2. Bahan Pendukung Dan Alat Yang Digunakan	48
3.2. METODE PENENTUAN DISTRIBUSI UKURAN PARTIKEL	48
3.3. METODE PENCETAKAN	50
3.4. METODE PENGERINGAN	51
3.5. METODE PENENTUAN KEKUATAN PATAH	51
3.6. PENGUKURAN DENGAN XRD	52
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 DISTRIBUSI DIAMETER PARTIKEL LEMPUNG KASONGAN	53
4.2 PENGARUH UKURAN BUTIRAN TERHADAP KARAKTERISTIK KIMIA	61
4.3 NILAI KEKUATAN PATAH BERDASARKAN ANALISA	63
4.4 HASIL DIFRAKSI LEMPUNG KASONGAN	63
4.5 MORFOLOGI LEMPUNG KASONGAN	65
BAB V. KESIMPULAN	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Kuliah keramik jenjang studi strata satu di Universitas merupakan mata kuliah pilihan untuk khusus mahasiswa Fakultas Matematika Dan Pengetahuan Alam, Jurusan Fisika, peminatan Fisika Material. Dalam mempelajari keramik salah satunya komponen yang dipelajari menyangkut komponen utama yaitu lempung.

Agar mahasiswa benar-benar memahami masalah lempung ini, maka dalam buku ini akan diberikan contoh menghitung distribusi ukuran partikel secara sederhana menggunakan fisika sederhana yang dikombinasikan melalui percobaan Andersen pipet dan hasilnya cukup diolah dengan Excel.

Lempung merupakan jenis tanah lunak yang berbutir halus, mempunyai plastisitas yang tinggi dan perubahan kembang susut yang relative besar dimana dalam kondisi kadar airnya bertambah maka volumenya mengembang dan begitu pula sebaliknya akan menyusut dan pecah-pecah apabila dalam keadaan kering. Plastisitas adalah sifat yang memungkinkan tanah berubah bentuk tanpa terjadinya perubahan isi. Selain itu tanah lempung juga memiliki sifat kohesif yaitu rekatan antar sesama partikel.

Tanah yang dalam keadaan plastis, besarnya jaringan gaya antar partikel akan sedemikian hingga partikel bebas untuk relatif menggelincir antara yang satu dengan lainnya, dengan kohesi antaranya tetap dipelihara. Di alam sangat banyak tanah berbutir halus yang dalam keadaan plastis.

Ditinjau dari ukuran butirannya, lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0.002 mm (Das, 1995). Namun demikian, partikel berukuran antara 0,002mm sampai 0,005mm juga masih di golongkan sebagai partikel lempung. Sifat-sifat dan perilaku lempung ini sangat bergantung pada komposisi mineral-mineralnya, unsur-unsur kimianya, tekstur lempung, dan partikel-partikelnya serta pengaruh lingkungan di sekitarnya.

Pada buku referensi ini akan diberikan fenomena cara menghitung ukuran partikel secara sederhana berdasarkan hukum Stoke dengan metode percobaan Andersen pipet, dimana mengambil salah satu contoh lempung yaitu lempung Kasongan. Pembuktian dari percobaan ini juga akan sedikit dilustrasikan pengaruh distribusi ukuran partikel terhadap kekuatan, morfologi (permukaan) dengan uji Scanning Electron Mikroskopi, Struktur kristal dengan uji X-ray Diffraction (XRD). Diharapkan dari cara sederhana ini

mahasiswa memahami secara menyeluruh pengukuran-pengukuran yang dilakukan dalam fisika zat padat, khusus pada matakuliah keramik.

1.2 PERMASALAHAN

Distribusi ukuran partikel adalah sifat yang sangat penting dan dapat mempengaruhi sifat-sifat lain seperti plastisitas dan kekuatan patah. Distribusi ukuran partikel dapat diukur dengan menggunakan mikroskop dan mikroskop elektron yang memberikan nilai ukuran absolut. Metode yang sering digunakan adalah analisa rata-rata dengan metode sedimentasi. Metode sedimentasi adalah menghitung partikel kemudian dikonversi dengan hukum Stokes. Diasumsikan bahwa partikel-partikel adalah individual dan persamaan tingkat pengendapan sama dengan equivalent spheres (persamaan lingkaran). Metode memploting hasil analisa distribusi ukuran partikel yang sederhana untuk lempung adalah dengan memplot persen kehalusan vs logaritmik ukuran. Selain hukum Stoke juga digunakan eksperimen sederhana yaitu pipet Andersen, tergantung dari densitas cairan dalam tabung, waktu tinggal larutan, tinggi larutan sebagai fungsi waktu, viskositas dan densitas benda. Contoh sampel yang digunakan adalah lempung Kasongan.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

- 1 Mengetahui karakteristik bahan baku keramik kasongan yang meliputi distribusi diameter partikel, morfologi, struktur kristal dan morfologi.
- 2 Mengetahui perhitungan ukuran partikel lempung Kasongan menggunakan metode pipet Andersen.
- 3 Mengetahui bentuk grafik distribusi ukuran partikel dari metode pipet Andersen.

1.4 BATASAN PENELITIAN

Penelitian ini hanya dibatasi pada masalah ukuran partikel menggunakan dasar hukum Stoke dan metode pipet Andersen pada lempung Kasongan.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

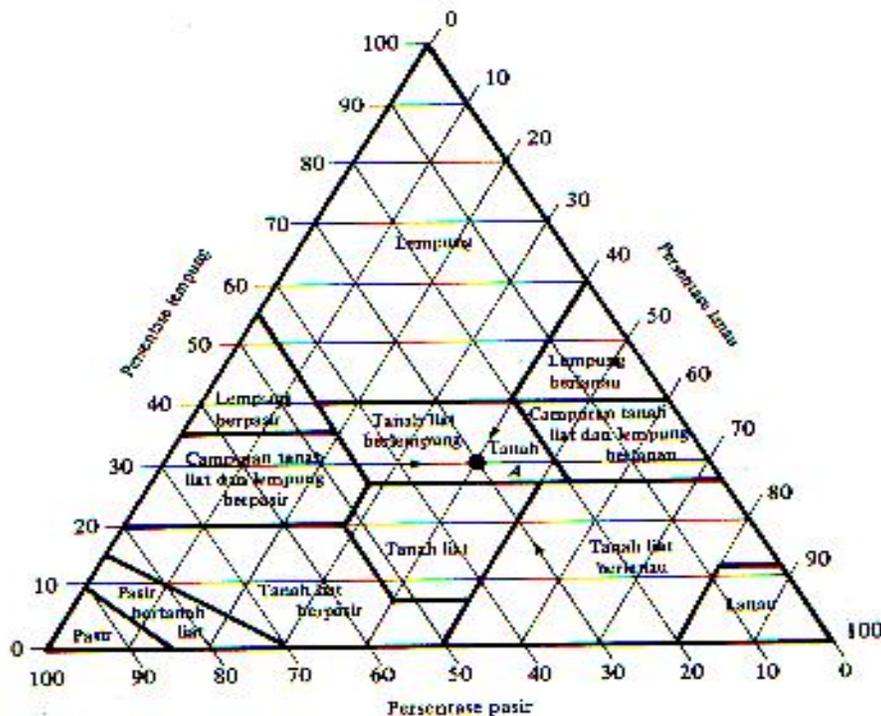
Penelitian ini dilakukan agar mahasiswa yang mengambil mata kuliah keramik dapat menerapkan hukum-hukum dalam fisika dasar, sebagai dasar perhitungan dan acuan dalam menerapkan metode perhitungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. LEMPUNG

Yang dimaksud dengan tekstur tanah adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Tanah dibagi dalam beberapa kelompok : kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*) dan lempung (*clay*) atas dasar ukuran butir-butirnya.



Gambar 2.1 Bagan klasifikasi tekstur tanah menurut Departemen Pertanian

Pada umumnya tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda.

Dalam sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya, misalnya lempung berpasir (*sandy clay*), lempung berlanau (*silty clay*) dan seterusnya.

Sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (*USDA*), system ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah, yaitu:

-) Pasir : butiran dengan diameter 2,0 – 0,05 mm
-) Lanau : butiran dengan diameter 0,05 – 0,002 mm
-) Lempung : butiran dengan diameter < 0,002 mm

Contoh pemakaian bagan, yaitu : apabila diketahui distribusi ukuran butir **tanah A** adalah : 30 % pasir, 40 % lanau dan 30 % lempung (< 0,002 mm), maka klasifikasi tektur tanah dapat ditentukan dengan cara seperti yang ditunjukkan dengan anak panah dalam **Gambar 1.1**. Jadi jenis **tanah A** termasuk dalam daerah *lempung tanah liat*.

Perhatikan bahwa bagan ini hanya digunakan untuk tanah yang lolos ayakan No. 10 saja, oleh karena itu jika tanah mengandung butiran berdiameter (> 2 mm) dalam persentase tertentu, maka perlu diadakan koreksi.

Sebagai contoh : **tanah B** mempunyai pembagian ukuran butiran 20 % kerikil, 10 % pasir, 30 % lanau dan 40 % lempung. Maka komposisi tekstural dikoreksi menjadi :

$$) \text{ Pasir} : \frac{10}{100} \times 100\% \times 12,50\%$$

$$) \text{ Lanau} : \frac{30}{100} \times 100\% \times 37,5\%$$

$$) \text{ Lempung} : \frac{40}{100} \times 100\% \times 50\%$$

Berdasarkan pada persentase butiran setelah dikoreksi, maka system klasifikasi berdasarkan tekstur menunjukkan bahwa **tanah B** adalah termasuk tanah *lempung*. Tapi karena persentase kerikil yang dikandung oleh **tanah B** cukup besar, maka tanah tersebut dapat dinamakan sebagai lempung berkerikil (*gravelly clay*).

Keramik menurut pengetahuan umum hanyalah lempung (tanah liat) yang telah diolah. Hal sebenarnya lempung merupakan bahan dasar produk keramik yang selanjutnya masih dicampur dengan bahan lain seperti karet,

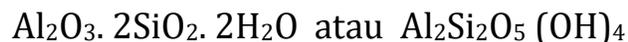
logam, plastik dan lain-lain. Lempung mengandung beberapa oksida antara lain oksida silika, oksida besi dan oksida aluminium.

Komposisi lempung di suatu tempat dapat berubah untuk waktu yang berbeda. Perbedaan keadaan lempung tersebut disebabkan karena perbedaan dalam proses pembentukannya masing-masing dan perbedaan kandungan mineral-mineralnya.

Mineral-mineral yang terkandung dalam lempung terutama terdiri dari mineral lempung kaolinit dan sejenisnya adalah ikatan aluminium silikat dan air hidrat. Lempung adalah produk pencucian dari feldspar.

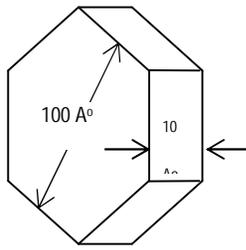


Pada proses ini berlangsung pembilasan hidrasi dengan air dan pembuangan silika sehingga terjadi lempung kaolinit.

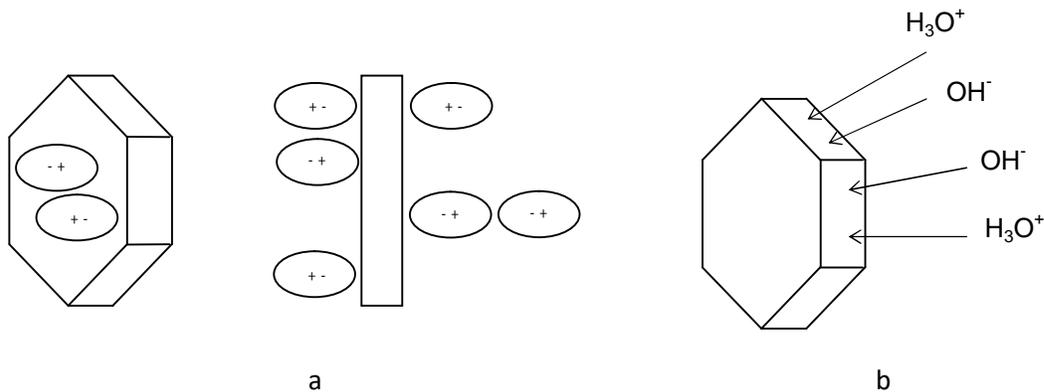


Lempung memberikan sifat pembentukan yang memungkinkan bubuk keramik diubah dari bentuk kering menjadi *slurry*. Setelah struktur lempung diketahui, peranan lempung dapat diganti dengan bahan lain.

Lempung berbeda dengan bahan lain karena berbentuk partikel lembaran berukuran kecil sekali.



Gambar 2.2 Partikel Lempung (Hartomo, 1994)



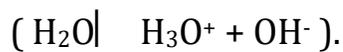
Gambar 2.3 (a) : Air terjerap (fisik) pada permukaan partikel lempung

(b) : Air terjerap (kimia) pada tepi partikel lempung
(Hartomo,1994)

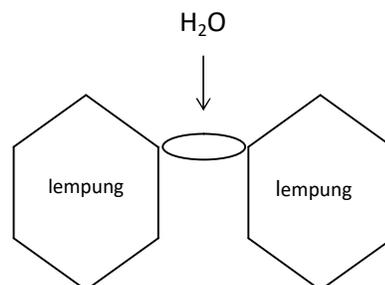
Ukuran partikel lempung berskala atom, terdiri dari lima lapis atom yang menyusun tebal partikel lempung. Platelet Lempung dengan rumus kimia $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ memiliki tebal sangat terbatas. Permukaan partikel lempung bertegangan residu karena terlalu luas. Atom-atom permukaan cenderung ke luar sehingga memperkecil energi permukaan, akan tetapi karena tipisnya partikel, ion-ion tidak dapat ditarik ke dalam, sehingga menjadi terkutub, memberi muatan positif-negatif pada permukaan. Muatan ini diimbangi oleh

serapan fisik molekul air, yang dapat membentuk dwikutub dengan air tertaut dan tak lagi mudah bergerak.

Partikel lempung dapat tumbuh menyamping, searah bidang. Bagian tepi partikel merupakan ikatan putus sehingga dapat diimbangi (secara kimia) dengan menarik air.

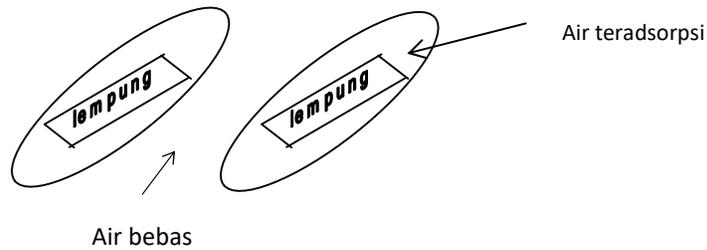


Lempung mempunyai permukaan sangat luas dengan ukuran sangat kecil. Akibatnya lempung sanggup mengikat (fisik/kimia) air di seputarnya. Air itu tidak mudah dipisahkan dari lempung kecuali dengan dipanaskan diatas 1000°C. Sistem lempung air merupakan cara pembentukan keramik. Pada kandungan air sedikit (tak sampai 10%), tidak cukup air untuk mengimbangi muatan (dwikutub) fisik/kimia pada partikelnya. Partikel-partikel air bersaing memperebutkan air sehingga saling menempel kuat.



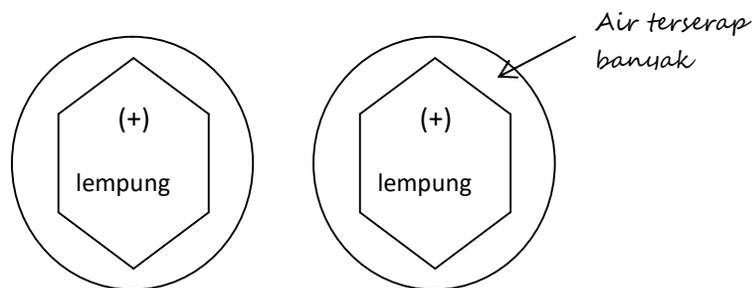
Gambar 2.4 : Partikel lempung disatukan oleh air (Hartomo,1994)

Bila kandungan air dalam tingkat sedang (15-25% berat) maka airnya cukup untuk mengimbangi muatan partikel bahkan ada kelebihan sedikit yang dapat berfungsi sebagai pelumas bagi platelet lempungnya.



Gambar 2.5 : Air lebih bertindak selaku pelumas antar platelet (Hartomo,1994)

Pada kandungan air tinggi (di atas 50%), air terperap (kimia/fisik) membentuk sampul di seputar partikel dan bermuatan.



Gambar 2.6: Partikel lempung bersampul kandungan air tinggi (Hartomo,1994)

2.2. KOMPOSISI LEMPUNG

Deposit lempung berbeda satu sama lain dalam hal ukuran partikel, kemurnian bahan induknya dan adanya mineral tambahan. Komposisi lempung di suatu tempat berbeda-beda disebabkan oleh aneka proses geologis. Lempung dapat diklasifikasikan dalam berbagai tipe yaitu, *residual clay*, *ball clay*, *fire clay*, dan *brick clay* (Worrall, 1975). Pada umumnya lempung di Indonesia diklasifikasikan pada tipe *ball clay* (lempung plastis). Mineral dalam lempung *ball clay* ini banyak mengandung aluminium-silikat sehingga dikategorikan mineral lempung kaolinit.

Pengetahuan komposisi lempung berguna dalam menentukan nilai serta penggunaan yang lebih spesifik. Informasi penggunaannya merupakan kombinasi dengan sifat fisika. Komposisi kimia meliputi analisa kimia, mineral tambahan, dan bahan organik.

2.2.1 Komposisi kimia

Analisa kimia dengan jumlah besar untuk tipe lempung dapat digunakan sebagai referensi ketika mempelajari lempung baru. Pada umumnya jumlah lempung akan berkurang bila dikombinasikan dengan air, dan jumlahnya menjadi besar bila dikombinasikan dengan cairan seperti $(CaO+MgO+K_2O+$

$\text{Na}_2\text{O}+\text{Fe}_2\text{O}_3$) dan akan matang pada temperatur rendah (Norton, 1975). Analisa komposisi kimia lempung meliputi komposisi SiO_2 80% dan Al_2O_3 15%. Komposisi kimia berbagai jenis lempung disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2.1. Analisis kimia keramik lempung (Worral, 1975)

Oksida	Range variasi (%)
SiO_2	40,00 - 60,00
Al_2O_3	25,00 - 40,00
Fe_2O_3	0,25 - 4,00
Na_2O	0,00 - 0,75
K_2O	0,50 - 4,00

2.2.2 Mineral tambahan

Lempung alami memiliki tipe seperti kristal hal ini bukan bahan baku lempung melainkan sebagai mineral tambahan. Mineral tambahan memiliki arti besar dalam menentukan harga atau nilai sebuah lempung. Pada umumnya mineral tambahan yang terdapat dalam lempung terdiri dari kuarsa, felspar, mika dan mineral besi.

2.2.3 Bahan organik

Kandungan beberapa bahan organik dalam lempung sangat sedikit dalam residu kaolin tetapi sangat besar jumlahnya pada *ball clay*. Bahan organik meliputi batu bara, lilin atau tersusun dari *humica acid*. Bahan organik pada lempung penting pengaruhnya pada sifat plastik dan pengeringan.

Kandungan bahan organik *ball clay*, seperti pada tipe lignit, yaitu meliputi

Carbon	:	68,52%
Hidrogen	:	5,10%
Nitrogen	:	0,68%
Sulfur	:	4,67%
Oksigen	:	21,03%

2.3. SIFAT FISIKA LEMPUNG

Sifat bahan menentukan penggunaannya dan prasyarat tertentu seperti ukuran partikel, plastisitas, densitas, susut kering, susut bakar, daya serap air dan kekuatan patah merupakan prasyarat sifat fisika yang dimiliki oleh keramik lempung. Sifat-sifat fisika lempung di atas dijelaskan sebagai berikut.

2.3.1 Distribusi ukuran partikel

Distribusi ukuran partikel adalah sifat yang sangat penting dan dapat mempengaruhi sifat-sifat lain seperti plastisitas dan kekuatan patah. Distribusi ukuran partikel dapat diukur dengan menggunakan mikroskop dan mikroskop elektron yang memberikan nilai ukuran absolut. Metode yang sering digunakan adalah analisa rata-rata dengan metode sedimentasi. Metode sedimentasi adalah menghitung partikel kemudian dikonversi dengan hukum *Stokes*. Diasumsikan bahwa partikel-partikel adalah individual dan persamaan tingkat pengendapan sama dengan *equivalent spheres* (persamaan lingkaran). Metode memploting hasil analisa distribusi ukuran partikel yang sederhana untuk lempung adalah dengan memplot persen kehalusan vs logaritmik ukuran.

Lempung tipe *ball clay* mengandung distribusi ukuran partikel halus (ukuran $< 1 \mu\text{m}$) dalam komposisi yang besar. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada lempung *ball clay* di Inggris ditemukan bahwa jumlah partikel halus bervariasi antara 5,2% hingga 81,1%. Secara lengkap rata-rata distribusi ukuran partikel di Inggris disajikan pada tabel 2.2. Tingginya jumlah partikel halus mempengaruhi karakteristik lainnya.

Tabel 2.2. Rata-rata distribusi ukuran partikel tipe *ball clay* (Worral, 1975)

Sumber	Distribusi material (μm) dalam %						
	<0,05	0,05-0,10	0,10-0,25	0,25-0,50	0,50-0,75	0,75-1,0	Total
North Devon	12,0	12,5	74,4	29,2	3,7	19,5	5,2
South Devon	15,4	5,5	9,6	17,9	81,9	24,7	2,9
Dorset	24,3	4,7	15,7	5,8	15,7	13,1	81,1

2.4. PERSAMAAN YANG DIGUNAKAN DALAM PERHITUNGAN DAN ANALISA LEMPUNG

Persamaan yang digunakan dalam pengukuran distribusi ukuran menggunakan metode Andersen pipet adalah sesuai dengan hukum Stoke gaya gesek antara permukaan benda padat yang bergerak dalam fluida akan sebanding dengan kecepatan relatif gerak benda tersebut, dapat dijelaskan teori tersebut sebagai berikut terhadap fluidanya.

2.4.1. Hukum Stokes

Hukum Stokes digunakan dalam analisa distribusi partikel. Dalam hukum Stokes disebutkan bahwa bila fluida yang viskositasnya nol mengalir melewati sebuah bola, atau apabila sebuah bola bergerak dalam suatu fluida yang diam, garis-garis arusnya akan membentuk suatu bola yang simetris sempurna disekeliling bola itu. Tekanan sembarang titik pada permukaan bola yang

menghadap arah aliran datang sama dengan tekanan terhadap titik lawan. Titik tersebut pada permukaan bola yang menghadap ke arah hilir aliran, dan gaya resultan terhadap bola adalah nol. Apabila fluida memiliki kekentalan, maka ada seretan kekentalan terhadap bola (seretan kekentalan dialami oleh benda berbentuk apapun, tetapi pada bentuk bola seretan mudah dihitung).



Gambar 2.7. Ilustrasi Hukum Stoke Yang Mendasari Metode Andersen Pipet
 Besaran-besaran yang mempengaruhi gaya itu adalah viskositas fluida (η), diameter bola (d) dan kecepatan (v) relatif terhadap fluida. Persamaan gaya kekentalan adalah (Sears dan Zemansky, 1982)

$$F_s = 6\pi r \eta v \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Penyelesaian Hukum Stoke berasal dari penyederhanaan Persamaan 4 untuk kasus sebuah bidang kecil. Koefisien dorongan dari bidang telah ditemukan

menjadi fungsi dari sejumlah nomor non dimensional, partikel bilangan Reynolds, $R_D = uD/\nu$, dimana u , D , dan ν adalah kecepatan, diameter bidang, dan viskositas kinematik. Partikel Reynolds digunakan untuk menunjukkan apakah lapisan batas di sekitar partikel adalah turbulen atau laminar, dan hambatan yang diberikan akan bergantung pada hal ini. Catatan memberikan hubungan antara koefisien dorongan dan partikel bilangan Reynolds untuk lingkungan.

Bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia (ρv^2) terhadap gaya viskos (μ/L) yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar dan turbulen.

Bilangan Reynold merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang paling penting dalam mekanika fluida dan digunakan, seperti halnya dengan bilangan tak berdimensi lain, untuk memberikan kriteria untuk menentukan dynamic similitude. Jika dua pola aliran yang mirip secara geometris, mungkin pada fluida yang berbeda dan laju alir yang berbeda pula, memiliki nilai bilangan tak berdimensi yang relevan, keduanya disebut memiliki kemiripan dinamis.

Untuk bilangan Reynolds partikel kecil ($RD < 0.5$, $RD \ll 1$);

Dengan mengganti koefisien hambatan untuk bidang (Persamaan 5) ke dalam Persamaan 4 kita mendapatkan hukum pengendapan untuk partikel-rendahnya jumlah Reynolds ($RD \gg 1$);

Jika kita selanjutnya mengasumsikan bahwa partikel adalah bidang yang ideal, istilah geometris penyederhanaan: $VD/A = (2D^2)/3$ ini dapat disederhanakan untuk memperoleh Hukum Stoke tentang Pembentukan perlakuan untuk butiran kecil yang bentuknya mendekati bidang:

Untuk bidang, $RD < 0.5$:

Untuk air ($\nu \approx 0.01 \text{ cm}^2 / \text{s}$), partikel bilangan Reynolds adalah $RD = uD/\nu \approx 100$ ($\text{s}/(\text{cm}^2) uD$). Ukuran ini bisa kurang dari 0.5, $uD < 0.005 \text{ cm}^2/\text{s}$. Bahkan kecepatan butiran-butiran kecil akan melebihi ini. Sebagai contoh, sedimen berukuran $0.01 \text{ cm} = D$ memiliki kecepatan pengendapan $w_s = 0.075 \text{ cm/s}$. Ini kisaran Stoke ($Dw_s = 0.075 \text{ [cm]}^2/\text{s} > 0.005 \text{ [cm]}^2/\text{s}$). Sedimen berukuran $3.5 \text{ } \emptyset$ mendekati kisaran Stoke, karena sedimen, $D = 0.0088 \text{ cm}$ dan $w_s = 0.0053 \text{ cm/s}$, memberikan $Dw_s \approx 0.0053 \text{ [cm]}^2/\text{s}$. Jadi, di dalam air, kisaran Stoke termasuk sedimen yang berukuran $3.5 \text{ } \emptyset$ dan halus. Hukum Stoke adalah dasar untuk mengukur "diameter efektif" dari partikel yang mengendap. Kecepatan pengendapan telah diukur, dan kemudian diameter dari lapisan yang seimbang didukung dari Persamaan 2.2.

Untuk meringkas, dalam kisaran Stoke, ($R_D < 0,5$; $R_D \ll 1$); kecepatan pengendapan meningkat dengan D^2 (Persamaan 7). Di atas kisaran Stoke ($10^3 \leq R_D \leq 10^5$), ada

porsi yang signifikan yaitu dari kurva C_D vs. R_D di mana C_D tetap konstan.

Di sini, $w_s \propto \sqrt{D}$ 2.2

2.4.2. Penggunaan kurva Dietrich.

Banyak partikel alami terlalu kasar untuk diselesaikan dengan Hukum Stoke, dan partikel alami tidak selalu berbentuk bidang. Partikel alam cenderung memiliki kecepatan pengendapan yang lebih rendah dari kecepatan bidang bulat sempurna. Partikel alami akan cenderung memiliki kecepatan pengendapan yang rendah karena kedua penurunan kebulatan dan peningkatan kekakuan karena kekurusan cenderung mengurangi kecepatan pengendapan. Partikel lonjong lebih (kurang bulat) cenderung memiliki kecepatan pengendapan lebih rendah karena (1) area yang lebih luas - berpetak-petak cenderung diarahkan tegak lurus untuk mengangkut jalan, (2) pemisahan aliran (meningkat dorong) adalah lebih mungkin terjadi untuk partikel non-bulat, dan (3) lonjong partikel dapat memutar, bergoyang-goyang mengikuti jalan, dll karena mereka mengendap. Partikel bersiku-siku juga cenderung memiliki kecepatan pengendapan lebih rendah dari yang

bulat, karena peningkatan kekasaran permukaan partikel menambah silang untuk partikel yang berukuran biasa.

Cara tradisional untuk memperkirakan kecepatan pengendapan adalah dengan menggunakan Persamaan 4, dengan asumsi bahwa koefisien hambatan dapat diperkirakan dengan hubungkitari lingkungan, dan kemudian menerapkan faktor koreksi untuk penyimpangan kebulatan dan kekurusan. Untuk melakukan ini, Kita bisa menebak kecepatan pengendapan, dengan menggunakannya bilangan Reynolds ($R_D = (W_s D) / \nu$), Menggunakan bilangan Reynolds dan grafik untuk memperkirakan koefisien hambatan, dan kemudian menghitung kecepatan pengendapan menggunakan Persamaan 4. Perbaikan kecepatan pengendapan akan digunakan pada pengulangan berikutnya, dan proses bisa berlanjut sampai kecepatan pengendapan konvergen. Kemudian, faktor koreksi akan diterapkan untuk memperhitungkan variasi bentuk.

Dietrich (1982) mencatat bahwa ini aneh, dan menyarankan lebih mudah cara memperkirakan pengendapan kecepatan. Dia lebih jauh mencatat bahwa banyak dari kita sangat prihatin dengan partikel alam dan membatasi data dalam menggunakan analisis untuk menyelesaikan kecepatan yang diperoleh untuk lingkungan dan alam seperti partikel sedimen. Ia mengusulkan

menggunakan nomor non-dimensi lainnya (W_* , yang meliputi pengendapan kecepatan, dan D_* , yang termasuk diameter butiran) untuk memetakan hubungan antara pengendapan kecepatan dan ukuran butir. The non-dimensi kecepatan pengendapan, W_* ini adalah rasio dari partikel bilangan Reynolds

$$\text{dengan koefisien dorongan; } W_* = 4/3 R_D / C_D ;$$

Ketika ukuran butir non-dimensi ($D_* = 3/4 C_D R_D^2$) membandingkan dorongan dan gaya gravitasi pada partikel:

Dietrich melaporkan data yang tersedia, dan mencatat bahwa sedimen alami cenderung lebih bervariasi sehubungan dengan kebulatan (seperti dinyatakan oleh Corey Shape Factor) lebih banyak mereka melakukan kekurusan. Gambar-Nya 8 (catatan disediakan) memberikan berbagai plot W_* vs. D_* untuk sedimen berukuran alami, sebagai fungsi dari CSF.

Faktor Rumit

Analisis di atas mengasumsikan bahwa partikel tunggal mengendap di air, dan tidak terpengaruh oleh partikel lain di dalam air. Ini juga mengasumsikan bahwa koefisien parameterizes dorongan pada partikel diperkirakan oleh koefisien hambatan untuk permukaan. Di lingkungan laut, dimana butiran lanau dan tanah liat yang hadir, asumsi ini tidak dapat dipegang.

Pertama, partikel dapat terflokulasi dan menjadi besar, kurang padat, kelompok partikel. Kecepatan pengendapan ini akan lebih besar daripada butiran yang terlihat jika biji-bijian tetap dipisahkan dalam kolom air .

Kedua, pada konsentrasi tinggi, kembalinya aliran air di sekitar partikel dapat membuat hambatan ke atas pada partikel tetangga. Dalam endapan yang terhalang, ini menjadi cukup besar untuk menjaga cairan sedimen, dan untuk mencegah pengendapan. Pengendapan yang terhalang sering dicatat dengan memperkirakan sebuah kecepatan pengendapan sebenarnya, w_s^* ; dimana , $w_s^* = w_s (1 - cs)n$. Di sini , cs adalah volume – konsentrasi sedimen, dan n adalah parameter yang tergantung pada partikel bilangan Reynolds (biasanya $n \approx 2.3$): ,

Contoh Soal 1 :

Dari diagram distribusi butiran terdapat 3 (tiga) lempung, dengan data distribusi butiran sebagai berikut :

- a. **Lempung A**, didapat harga : $D_{10} = 0,02$ mm, $D_{30} = 0,60$ mm, $D_{60} = 8,5$ mm
- b. **Lempung B**, didapat harga : $D_{10} = 0,021$ mm, $D_{30} = 0,04$ mm, $D_{60} = 1,0$ mm
- c. **Lempung C**, didapat harga : $D_{10} = 0,35$ mm, $D_{30} = 0,65$ mm, $D_{60} = 0,80$ mm

Tentukan harga C_u dan C_c untuk setiap lempung.

Penyelesaian :

a. Lempung A :

$$C_u \times \frac{D_{60}}{D_{10}} \times \frac{8,5}{0,02} \times 4,25$$

$$C_c \times \frac{fD_{30} \text{ \AA}}{fD_{10} \text{ \AA} fD_{60} \text{ \AA}} \times \frac{f0,6 \text{ \AA}}{f0,02 \text{ \AA} | 8,5 \text{ \AA}} \times 2,1$$

Karena $C_u > 15$ dan C_c diantara 1 dan 3, lempung termasuk bergradasi baik.

b. Lempung B :

$$C_u \times \frac{D_{60}}{D_{10}} \times \frac{1,0}{0,021} \times 47,6$$

$$C_c \times \frac{fD_{30} \text{ \AA}}{fD_{10} \text{ \AA} fD_{60} \text{ \AA}} \times \frac{f0,04 \text{ \AA}}{f0,021 \text{ \AA} | 1,0 \text{ \AA}} \times 0,076$$

Lempung termasuk bergradasi buruk, karena tidak memenuhi criteria koefisien gradasi $C_c < 1$ ($0,076 < 1$).

c. Lempung C :

$$C_u \times \frac{D_{60}}{D_{10}} \times \frac{0,8}{0,35} \times 2,29$$

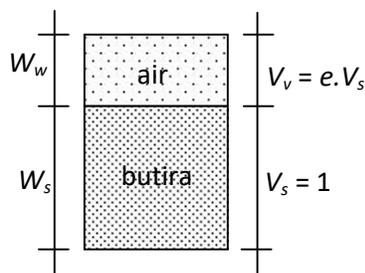
$$C_c \times \frac{fD_{30} \text{ \AA}}{fD_{10} \text{ \AA} fD_{60} \text{ \AA}} \times \frac{f0,65 \text{ \AA}}{f0,35 \text{ \AA} | 0,80 \text{ \AA}} \times 1,51$$

Lempung termasuk bergradasi buruk; walau $C_c > 1$, tetapi harga C_u sangat kecil.

Contoh Soal 2 :

Data dari pengujian di laboratorium pada benda uji jenuh menghasilkan angka pori $e = 0,45$ dan berat jenis $G_s = 2,65$. Untuk keadaan ini, tentukan berat volume basah (x_b) dan kadar airnya (w).

Penyelesaian :



Benda uji dalam kondisi jenuh. Jadi, seluruh ruang pori terisi dengan air.

$$e \times \frac{V_v}{V_s} \times 0,45$$

Tapi V_v dan V_s belum diketahui, pada **Gambar C 1.3**, dengan menganggap $V_s = 1$, maka untuk kondisi jenuh :

$$V_v = V_w = e.V_s = e$$

$$w \times \frac{W_w}{W_s} \times \frac{0,45}{2,65} \times 17\%$$

$$V = V_s + e.V_s = 1 + (0,45 \times 1) = 1,45 \text{ m}^3 \text{ jadi, tanah ini mempunyai}$$

$$W_s = V_s.G_s.x_w = 1 \times 2,65 \times 1 = 2,65 \text{ ton} \quad \text{berat volume basah } (\hat{1}_b)$$

=

$$W_w = V_w \cdot X_w = 0,45 \times 1 = 0,45 \text{ ton} \quad 2,14 \text{ t/m}^3 \text{ dan kadar air}$$

(w)

$$W = W_s + W_w = 2,65 + 0,45 = 3,1 \text{ ton} \quad = 17 \%$$

$$x_b \times \frac{W}{V} \times \frac{3,1}{1,45} \times 2,14 \text{ t/m}^3$$

2.4.3. Perhitungan distribusi ukuran butiran

Penerapan dari hukum Stoke adalah pada perhitungan distribusi ukuran butiran lempung Kasongan, Pengukuran distribusi ukuran partikel menggunakan metode Andersen pipet. Secara skematis alat Andersen pipet yang digunakan dapat dijelaskan melalui gambar 2.8.

Berdasarkan gambar tersebut maka persamaan yang berlaku pada metode Andersen pipet adalah melalui persamaan diameter partikel yang terambil dalam waktu t dihitung dengan hukum Stokes untuk partikel bulat (Mulyadi, 1992)

$$\text{Diameter Partikel yang terambil dalam waktu } t \times 10.000 \sqrt{\frac{18 \gamma l}{g f \dots g - \dots a \dots t}} \dots \dots \dots 2.3$$

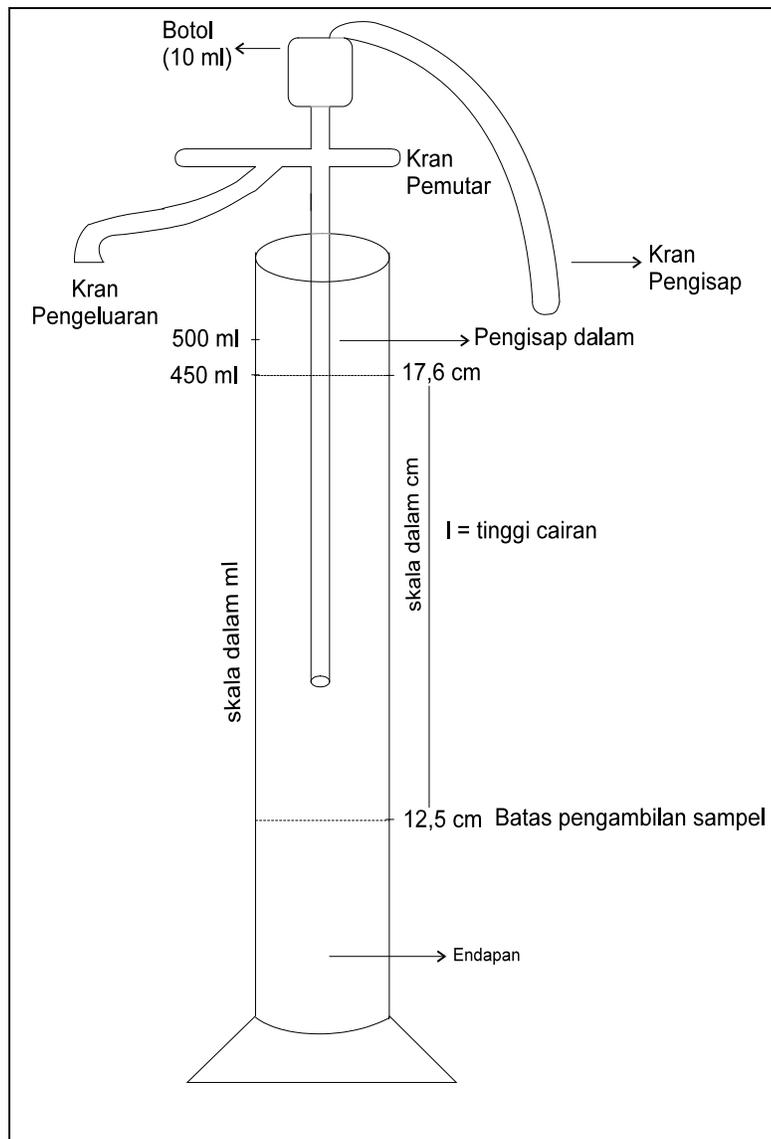
dengan

- ∂_a : densitas cairan dalam tabung (gr/cm³) pada suhu 26°C
- t : waktu tinggal larutan dalam pipet Andersen (menit)
- l : tinggi larutan sebagai fungsi waktu (cm)

→ : viskositas (gr/cm.detik) pada suhu 26°C

g : 980 (cm/s²)

ρ_w : densitas benda (gr/cm³)



Gambar 2.8. Skema alat uji metode Andersen pipet (Mulyadi, 1992)

2.4.4. Teori Pengukuran Mekanik Lempung

2.4.4.1. Pengujian Tarik

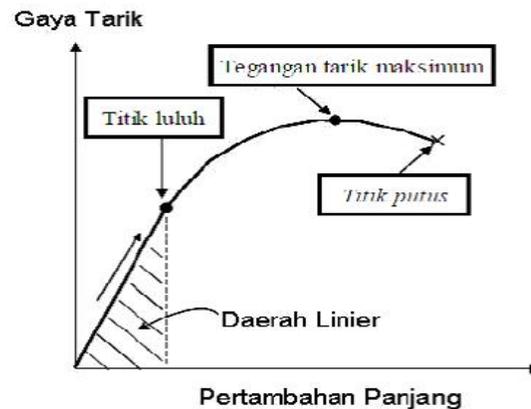
Pengujian material merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengetahui sifat mekanik suatu material. Jenis pengujian material yang biasa digunakan diantaranya uji tarik (*tensile test*), uji tekan (*compression test*), uji puntir (*torsion test*) dan lain-lain. Dari beberapa jenis pengujian material tersebut, uji tarik merupakan pengujian material yang paling banyak digunakan.

Pengujian tarik dapat menghasilkan beberapa sifat material dibandingkan dengan jenis pengujian material yang lain. Beberapa sifat mekanik material yang dihasilkan dari pengujian tarik antara lain elastisitas, kekuatan luluh, dan kekuatan tarik.

Prinsip Kerja Pengujian Tarik

Secara umum prinsip kerja pengujian tarik adalah menarik sebuah spesimen dengan alat penarik yang dilengkapi alat pencatat data, sampai spesimen tersebut putus. Pencatatan data dilakukan mulai spesimen ditarik sampai spesimen tersebut putus.

Pada dasarnya data yang dicatat pada proses pengujian tarik adalah gaya tarik dan perpanjangan. Data gaya tarik dan perpanjangan jika digambarkan dalam koordinat kartesian akan terlihat seperti gambar 2.9.

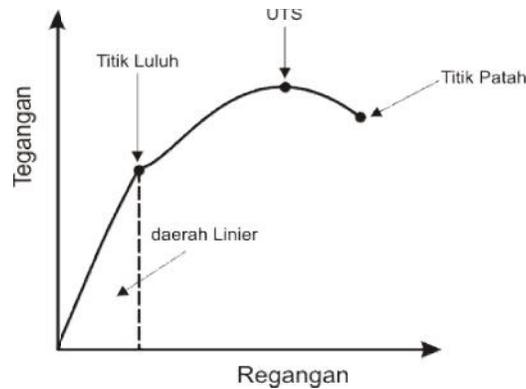


Gambar 2.9 Grafik gaya tarik terhadap pertambahan panjang

Kurva Uji tarik

Uji tarik sering digunakan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Benda uji tarik diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara kontinyu. Kurva yang diperoleh dari uji tarik pada umumnya digambarkan sebagai kurva tegangan-regangan. Bentuk kurva tegangan regangan dapat dilihat pada gambar 2.10.

Tegangan yang digambarkan pada kurva diperoleh dengan cara membagi beban dengan luas awal penampang benda uji. Persamaan tegangan dapat dilihat pada persamaan 2.1.



Gambar 2.10. Kurva Tegangan Regangan

$$S = \frac{P}{A_0} \dots\dots\dots (2.4)$$

Regangan yang digambarkan pada kurva diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur benda uji dengan panjang awal benda uji.

Persamaan regangan ditunjukkan pada persamaan 2.2.

$$e = \frac{L - L_0}{L_0} \dots\dots\dots (2.5)$$

Beberapa sifat mekanik yang dapat diperoleh dari kurva tegangan regangan adalah modulus elastisitas, kekuatan luluh, dan kekuatan tarik.

2.4.4.2. Pengujian kekuatan patah (*Bending strength*)

Pengukuran nilai kekuatan patah digunakan perangkat alat uji model PSB0400. Nilai kekuatan patah dihitung dengan persamaan yang disesuaikan dengan bentuk keramik yang dibentuk. Pada eksperimen ini akan dibentuk keramik balok maka persamaan yang dipakai adalah (Andrews, 1920)

$$\text{Kekuatan Patah} \propto \frac{3FL}{2ba^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan

F : gaya pada puncak pembebanan (N) b : lebar sampel (cm)

L : jarak antara dua tumpuan (cm) a: tebal sampel (cm)

2.4.5. Difraksi Sinar-X

Difraksi sinar-X (XRD) merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin dalam material dan untuk menganalisis sifat-sifat struktur (seperti ukuran butir, fasa komposisi, orientasi kristal, dan cacat kristal) dari tiap fasa dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Ketika suatu material dikenai sinar-X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Atom-atom tersebut tersusun secara

periodik dan teratur pada suatu kisi sehingga hamburan yang dihasilkan oleh atom-atom tersebut memiliki fasa tertentu yang berhubungan dengan atom-atom pada kisi tersebut. Berkas sinar-X yang dihamburkan ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama.

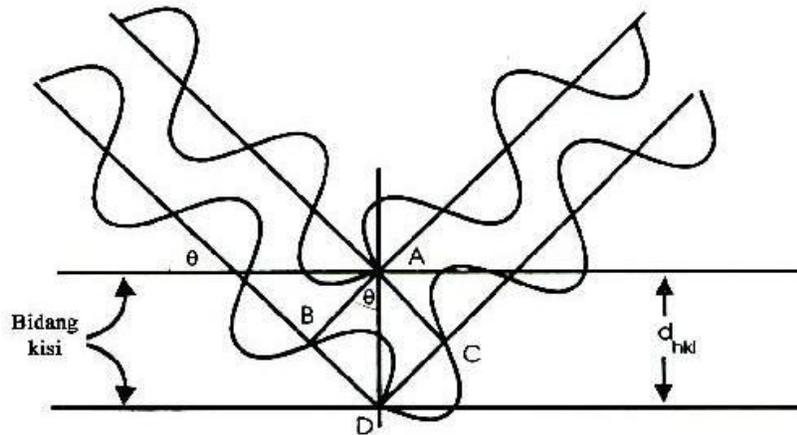
Persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan merupakan berkas difraksi dikenal sebagai hukum Bragg. Bragg memandang bahwa peristiwa difraksi berasal dari hamburan sinar-X oleh bidang-bidang kristal. Di mana pada bidang-bidang itu terdapat atom-atom. Bidang-bidang kristal ini bisa dinamai melalui indeks Miller (*Miller Index*).

Penggambaran sederhana hukum Bragg bisa dilihat pada gambar 2.11. Pada gambar itu terdapat 2 bidang kristal dengan jarak antar bidang adalah d_{hkl} [18].

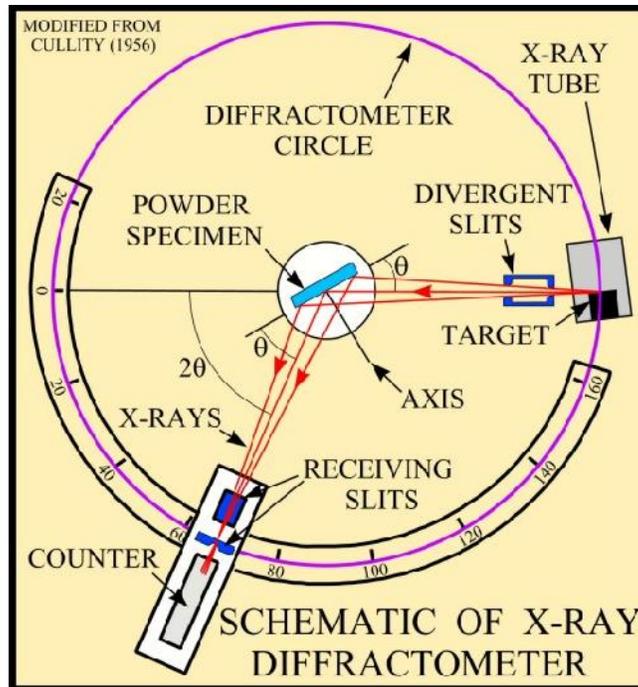
Dua hal yang perlu diingat mengenai fakta geometri dalam hukum Bragg adalah; 1) sinar datang, bidang normal refleksi dan berkas sinar yang didifraksikan berada pada satu bidang, 2) sudut antara berkas sinar yang didifraksikan dengan sinar yang ditransmisikan itu besarnya selalu 2θ . Nilai 2θ inilah yang dikenal sebagai sudut difraksi dan terukur oleh alat dalam eksperimen difraksi sinar-X. Pola difraksi sinar-X yang terjadi akan mengikuti hukum Bragg yang dirumuskan

$$2d_k \sin \theta = n \lambda \quad (2.6)$$

Dengan d adalah jarak antar bidang, θ adalah sudut difraksi, λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan dan n adalah bilangan bulat yang menyatakan orde difraksi [19].

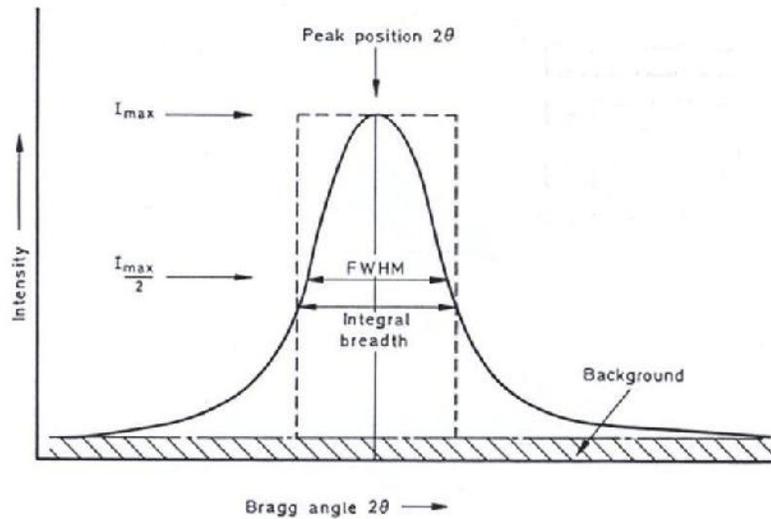


Gambar 2.11. Pemantulan berkas sinar-X monokromatis oleh dua bidang kisi dalam kristal, dengan sudut sebesar θ dan jarak antara bidang kisi sebesar d_{hkl} [18].



Gambar 2.12. Skema alat difraktometer [19].

Penulis pada kesempatan ini menggunakan alat X-Ray Difraktometer. Skematik alat X-Ray Difraktometer dapat dilihat pada gambar 2.12. Pada alat tersebut sumber sinar-X yang digunakan bersifat monokromatik dengan sampel polikristalin yang dapat berupa serbuk (*powder*) atau lempengan. Detektor akan menangkap intensitas hasil difraksi yang berada pada sudut tertentu (sudut difraksi) seperti yang diperlihatkan gambar 2.13.



Gambar 2.13. Grafik pola difraksi sinar-x 1 puncak ^[19].

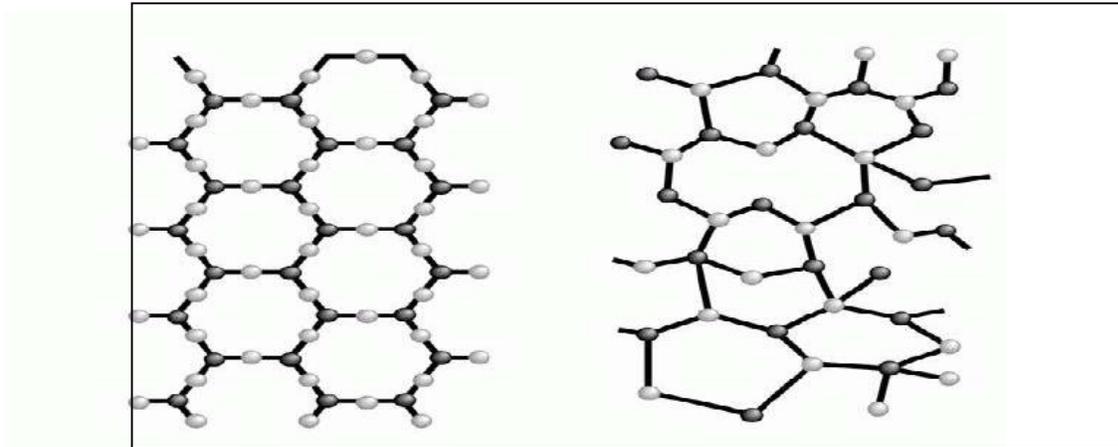
Difraktometer yang dijalankan pada satu range sudut tertentu akan menghasilkan sederet puncak-puncak intensitas difraksi seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.13 setiap puncak intensitas difraksi untuk setiap sudut difraksi itu mewakili bidang-bidang kisi kristal yang mendifraksikan sinar-X yang datang pada kristal. Pola-pola difraksi berbagai material yang telah diidentifikasi oleh manusia, sebagian telah disimpan dalam berbagai database pola difraksi. Ada banyak data base pola difraksi diantaranya ada database ICDD (*International Center for Diffraction Database*), COD (*Crystallographic Open Database*) dan ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*).

2.5. STRUKTUR KRISTAL

Struktur kristal adalah suatu susunan khas atom-atom dalam suatu kristal. Sebuah kristal ideal disusun oleh satuan-satuan struktur yang identik secara berulang-ulang yang tak hingga di dalam ruang. Semua struktur kristal dapat digambarkan atau dijelaskan dalam istilah-istilah *lattice* (kisi) dan sebuah basis yang ditempelkan pada setiap titik *lattice* (kisi). *Lattice* (kisi) adalah sebuah susunan titik yang teratur dan periodik di dalam ruang, sedangkan basis adalah sekumpulan atom-atom, dengan jumlah atom dalam sebuah basis dapat berisi satu buah atom atau lebih. Setiap struktur kristal memiliki sel unit konvensional yang biasanya dipilih agar kisi yang dihasilkan simetris. Meski begitu, sel unit konvensional tidak selalu pilihan terkecil yang mungkin. Suatu sel unit primitif dari suatu struktur kristal merupakan sel unit terkecil yang mungkin yang dapat dibangun, sehingga ketika disusun, akan mengisi spasi/ruang secara sempurna (Wertheim, 2004).

Jika dalam struktur kristal atom-atomnya tersusun secara teratur, maka amorf (*amorphous*), merupakan definisi struktural dari suatu material, dimana atom-atomnya tersusun secara tidak teratur, sehingga panjang dan sudut ikatan antar atom juga tidak teratur. Kasus inilah yang diketahui sebagai bentuk penyimpangan struktural. Susunan partikel dalam padatan amorf sebagian teratur dan sedikit agak mirip dengan padatan kristalin yang

dapat dijelaskan pada Gambar 2.14. Namun, keteraturan ini, terbatas dan tidak muncul di keseluruhan padatan. Banyak padatan amorf di sekitar kita, seperti gelas, karet dan polietena memiliki keteraturan sebagian.



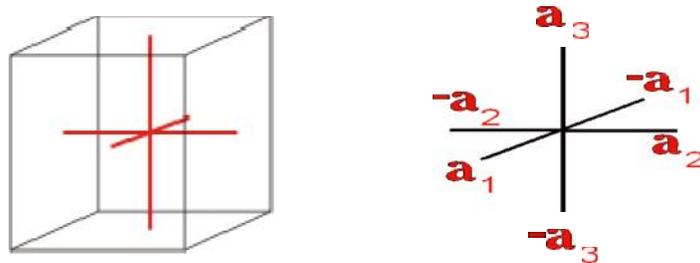
Gambar 2.14 (a) Padatan kristalin dan (b) amorf

Terdapat perbedaan besar dalam keteraturan partikel penyusun material yang berstruktur kristal dan berstruktur amorf. Sudut dan panjang ikatan antar atom pada struktur amorf sangat tidak teratur (Gambar 2.14). Akibat ketidakteraturan ini, beberapa teori zat padat menjadi tidak berlaku (Misalnya Teorema Bloch, Efek Hall, dll). Oleh karena itu, analisa sifat-sifatnya sebagian besar menggunakan metode pendekatan material kristalinnya dengan mengacu pada hasil-hasil pengukuran eksperimental (Borsoum, 2003).

Dalam struktur kristal terdapat 7 sistem kristal yang dikelompokkan berdasarkan sudut antar bidang dan panjangnya sumbu-sumbu kristal serta jumlah sumbu dan nilai sumbu kristal yaitu sistem kubik, tetragonal, orthorombik, trigonal, heksagonal, monoklinik, dan triklinik (Okasatria, 2008). Adapun ketujuh sistem kristal tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

a. Sistem Isometrik

Sistem Isometrik juga disebut sistem kristal regular, atau dikenal pula dengan sistem kristal kubus atau kubik. Jumlah sumbu kristalnya ada 3 dan saling tegak lurus satu dengan yang lainnya. Dengan perbandingan panjang yang sama untuk masing-masing sumbunya. Sistem Isometrik dapat dilihat berdasarkan Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Sistem Isometrik (Pellant, 1992)

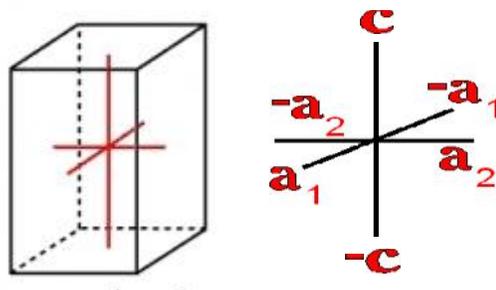
Pada kondisi sebenarnya, sistem kristal Isometrik memiliki *axial ratio* (perbandingan sumbu $a = b = c$, yang artinya panjang sumbu a sama dengan sumbu b dan sama dengan sumbu c dan memiliki sudut

kristalografi $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Hal ini berarti, pada sistem ini, semua sudut kristalnya (α , β dan γ) tegak lurus satu sama lain (90°))(Pellant, 1992).

b. Sistem Tetragonal

Sama dengan sistem Isometrik, sistem kristal Tetragonal mempunyai 3 sumbu kristal yang masing-masing saling tegak lurus. Sumbu a dan b mempunyai satuan panjang sama. Sedangkan sumbu c berlainan, dapat lebih panjang atau lebih pendek tetapi pada umumnya lebih panjang.

Pada kondisi sebenarnya, Tetragonal memiliki *axial ratio* (perbandingan sumbu) $a = b \neq c$, yang artinya panjang sumbu a sama dengan sumbu b tapi tidak sama dengan sumbu c dan memiliki sudut kristalografi $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Hal ini berarti, pada sistem ini, semua sudut kristalografinya (α , β dan γ) tegak lurus satu sama lain (90°) seperti yang terlihat dari Gambar 2.16 berikut :

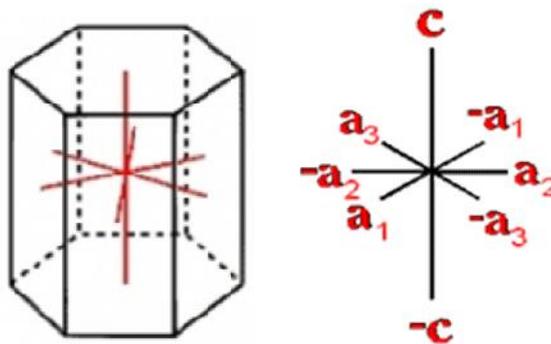


Gambar 2.16 Sistem Tetragonal (Pellant, 1992)

c. Sistem Heksagonal

Sistem Heksagonal mempunyai 4 sumbu kristal, dimana sumbu c tegak lurus terhadap ketiga sumbu lainnya. Sumbu a, b, dan d masing-masing membentuk sudut 120° terhadap satu sama lain. Sumbu a, b, dan d memiliki panjang sama. Sedangkan panjang c berbeda, dapat lebih panjang atau lebih pendek (umumnya lebih panjang).

Pada kondisi sebenarnya, sistem kristal Heksagonal memiliki *axial ratio* (perbandingan sumbu) $a = b = d \neq c$, yang artinya panjang sumbu a sama dengan sumbu b dan sama dengan sumbu d, tapi tidak sama dengan sumbu c dan memiliki sudut kristalografi $\alpha = \beta = 90^\circ$; $\gamma = 120^\circ$. Hal ini berarti, pada sistem ini, sudut α dan β saling tegak lurus dan membentuk sudut 120° terhadap sumbu γ). Adapun gambar dari sistem heksagonal ini dapat dilihat pada Gambar 2.17.



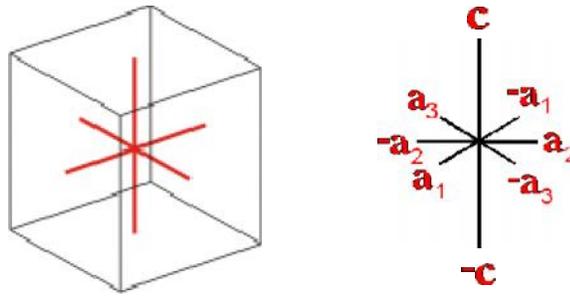
Gambar 2.17 Sistem Heksagonal (Pellant, 1992)

d. Sistem Trigonal

Sistem Trigonal mempunyai nama lain yaitu Rhombohedral, selain itu beberapa ahli memasukkan sistem ini kedalam sistem kristal Heksagonal. Demikian pula cara penggambarannya juga sama. Perbedaannya, bila pada sistem Trigonal setelah terbentuk bidang dasar, yang terbentuk segienam, kemudian dibentuk segitiga dengan menghubungkan 2 titik sudut yang melewati 1 titik sudutnya.

Pada kondisi sebenarnya, Trigonal memiliki *axial ratio* (perbandingan sumbu) $a = b = d \neq c$, yang artinya panjang sumbu a sama dengan sumbu b dan sama dengan sumbu d, tapi tidak sama dengan sumbu c dan memiliki sudut kristalografi $\alpha = \beta = 90^\circ$; $\gamma = 120^\circ$. Hal ini berarti, pada sistem ini, sudut α dan β saling tegak lurus dan membentuk sudut 120° terhadap sumbu γ . Adapun gambar dari sistem trigonal seperti Gambar 2.18:

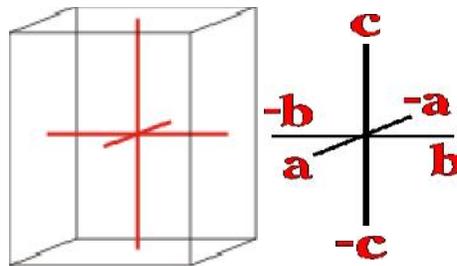
Beberapa ahli memasukan sistem ini ke dalam sistem Heksagonal. Demikian pula dengan cara penggambarannya sama. Perbedaannya bila pada Trigonal setelah terbentuk bidang dasar yang berbentuk segienam kemudian dibuat segitiga dengan menghubungkan 2 titik sudut yang melewati 1 titik sudutnya sama seperti sistem hexagonal (Pellant, 1992).



Gambar 2.18 Sistem Trigonal (Pellant, 1992)

e. Sistem Orthorhombik

Sistem ini disebut juga sistem Rhombis dan mempunyai 3 sumbu simetri kristal yang saling tegak lurus satu dengan yang lainnya. Ketiga sumbu tersebut mempunyai panjang yang berbeda. Sistem Orthorhombik ini dapat dilihat berdasarkan Gambar 2.19.



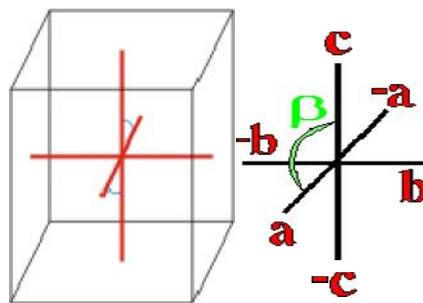
Gambar 2.19 Sistem Orthorhombik (Pellant, 1992)

Pada kondisi sebenarnya, sistem kristal Orthorhombik memiliki *axial ratio* (perbandingan sumbu) $a \neq b \neq c$, yang artinya panjang sumbu-sumbunya

tidak ada yang sama panjang atau berbeda satu sama lain dan memiliki sudut kristalografi $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Hal ini berarti, pada sistem ini, ketiga sudutnya saling tegak lurus (90°))(Pellant, 1992).

f. Sistem Monoklin

Monoklin artinya hanya mempunyai satu sumbu yang miring dari tiga sumbu yang dimilikinya. Sumbu a tegak lurus terhadap sumbu b, b tegak lurus terhadap sumbu c, tetapi sumbu c tidak tegak lurus terhadap sumbu a. Ketiga sumbu tersebut mempunyai panjang yang tidak sama, umumnya sumbu c yang paling panjang dan sumbu b paling pendek. Sistem Monoklinik ini dapat dilihat berdasarkan Gambar 2.20.



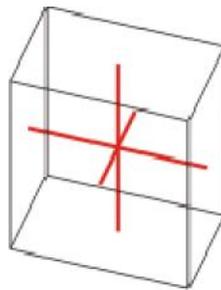
Gambar 2.20 Sistem Monoklin (Pellant, 1992)

Pada kondisi sebenarnya, sistem Monoklin memiliki *axial ratio* (perbandingan sumbu) $a \neq b \neq c$, yang artinya panjang sumbu-sumbunya tidak ada yang sama panjang atau berbeda satu sama lain dan memiliki sudut kristalografi $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$. Hal ini berarti, pada sistem ini, sudut α

dan β saling tegak lurus (90°), sedangkan γ tidak tegak lurus (miring)(Pellant, 1992).

g. Sistem Triklin

Sistem Triklin mempunyai 3 sumbu simetri yang satu dengan yang lainnya tidak saling tegak lurus. Demikian juga panjang masing-masing sumbu tidak sama, seperti pada Gambar 2.21.

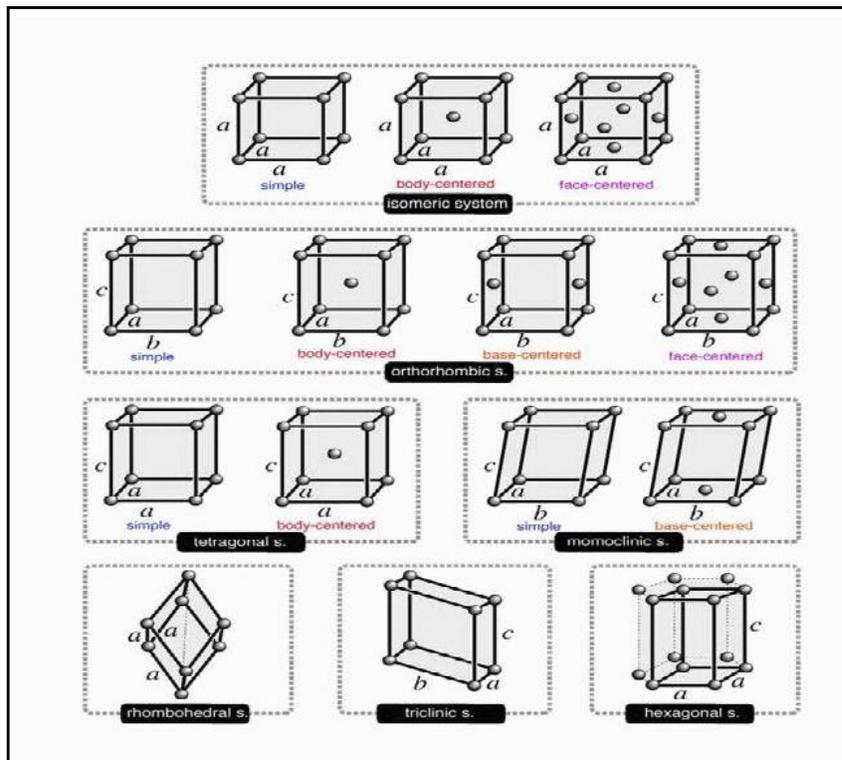


Gambar 2.21 Sistem Triklin (Pellant, 1992)

Pada kondisi sebenarnya, sistem kristal Triklin memiliki *axial ratio* (perbandingan sumbu) $a \neq b \neq c$, yang artinya panjang sumbu-sumbunya tidak ada yang sama panjang atau berbeda satu sama lain dan memiliki sudut kristalografi $\alpha = \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$. Hal ini berarti, pada sistem ini, sudut α , β dan γ tidak saling tegak lurus satu dengan yang lainnya(Pellant, 1992).

Di tahun 1848, kristalografer Perancis Auguste Bravais (1811-1863) mengklasifikasikan kisi kristal berdasarkan simetrinya, dan menemukan

bahwa terdapat 14 jenis kisi kristal yang disebut dengan **kisi bravais**. Keempat belas kisi bravais ini diklasifikasikan menjadi 7 sistem kristal. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.22 dibawah ini :



Gambar 2.22 Kisi bravais dari sistem kristal (Kittel, 1991)

2.6. SEM-EDAX (*Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray Analysis*)

SEM merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan dalam ilmu pengetahuan material. SEM banyak digunakan karena memiliki kombinasi

yang unik, persiapan spesimen yang simpel dan mudah, dan kapabilitas tampilan yang bagus serta fleksibel.

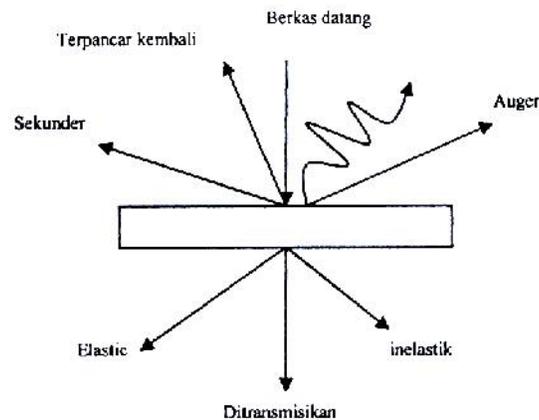
EDAX adalah salah satu teknik analisis, yaitu analisis kuantitatif dan kualitatif bahan. Analisis kualitatif untuk menganalisis jenis unsur atau mineral yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif untuk menentukan jumlah atau proporsi dari tiap-tiap jenis unsur atau mineral yang terkandung dalam bahan (Sudarman, 2010).

SEM-EDAX merupakan suatu sistem analisis yang menggabungkan SEM dan EDAX menjadi 1 unit. Penggunaan SEM sebagai alat karakterisasi bahan yang disertai dengan EDAX akan memberikan informasi mengenai topografi, morfologi, dan komposisi. Analisa topografi yaitu menganalisa permukaan dan tekstur, analisa morfologi yaitu menganalisa bentuk dan ukuran, serta analisa komposisi yaitu menganalisa jenis unsur atau mineral dari permukaan sampel secara kuantitatif dan kualitatif (Sudarman, 2010).

Prinsip kerja dari alat ini, yaitu sebuah elektron diemisikan dari katoda tungsten dan diarahkan ke suatu anoda sehingga akan menghasilkan suatu berkas sinar elektron (*electron beam*). Kemudian berkas sinar elektron tersebut diarahkan ke permukaan sampel melalui lensa kondenser dan komponen-komponen lainnya pada tabung vakum. Ketika berkas sinar

elektron menumbuk permukaan sampel maka akan terjadi 2 pantulan yaitu pantulan elastis dan pantulan inelastis. Pantulan elastis akan menghasilkan sinyal *backscattered* elektron, sedangkan pantulan inelastis akan menghasilkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar-X.

Kata kunci dari prinsip kerja SEM adalah *scanning* yang berarti bahwa berkas elektron diarahkan dari titik ke titik pada permukaan sampel. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik yang lain pada permukaan sampel menyerupai gerakan membaca sehingga dihasilkan sinyal elektron sekunder yang ditangkap oleh *secondary electron detector* dan selanjutnya diubah dan diperkuat menjadi sinyal-sinyal listrik untuk ditampilkan dalam bentuk gambar pada layar *Cathode Ray Tube (CRT)* (Oktaviana, 2009).



Gambar 2.23. Hasil interaksi berkas elektron dengan material (Smallman 1991)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 BAHAN PENELITIAN

3.1.1 Bahan utama

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ; Lempung Kasongan sebagai bahan yang diteliti distribusi partikelnya.

3.1.2 Bahan Pendukung Dan Alat Yang Digunakan

1. Air sebagai bahan pencampuran agar lempung dapat dibentuk
2. Polivinil alkohol (PVA) untuk membersihkan alat-alat gelas yang digunakan.
3. Alat cetak beebentuk balok.
4. Neraca Analitis untuk menimbang agar dapat ditentukan ukuran yang diinginkan.

3.2 METODE PENENTUAN DISTRIBUSI UKURAN PARTIKEL

1. Mula-mula menyiapkan tabung reaksi ukuran 20 ml yang telah dibersihkan terlebih dahulu sebanyak 10 (sepuluh) buah. Tabung-tabung tersebut ditimbang dan diberi nomor(1-10).

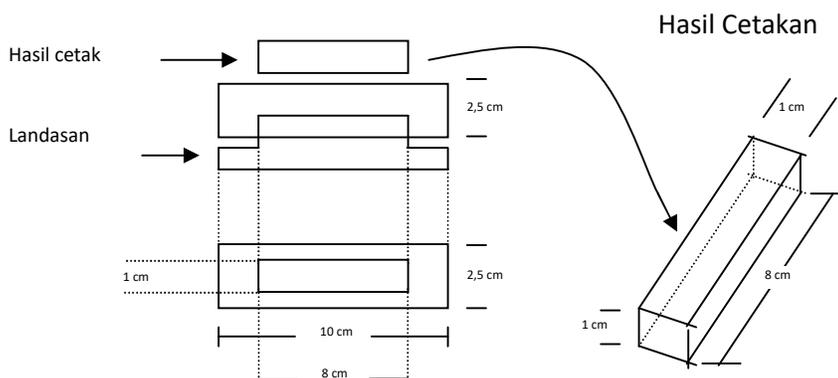
2. Tabung Andersen pipet disiapkan, lalu dicuci sampai benar-benar bersih (tidak ada partikel lain yang menempel).
3. Lempung dengan pencampuran 0% yang telah disiapkan diambil sebanyak 4,5 gram lalu dimasukkan ke dalam gelas beker ditambahkan air sebanyak 100cc kemudian diaduk sampai tercampur merata.
4. Campuran lempung + air dimasukkan ke dalam tabung Andersen pipet kemudian ditambahkan air hingga volume 450ml, lalu dikocok perlahan-lahan.
5. Untuk menentukan tinggi cairan dalam tabung (l) dapat dilihat pada skala cm sesuai volume 450ml. Tinggi ini dicatat sebagai tinggi mula-mula.
6. Waktu tinggal saat itu dicatat sebagai waktu mula-mula (3 menit).
7. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara pertama-tama membuka kunci pada pipa dengan memutar kunci. Kemudian sampel diambil dengan cara dihisap hingga tertarik ke atas sampai pada botol kecil yang berada di puncak dengan tinggi sampel 10 ml lalu dikunci kembali. Tabung nomor 1 disiapkan dan kunci diputar ke arah keluar pipa yang diisap dan sampel dialirkan ke tabung nomor 1 setelah itu keringkan. Bila sampel telah kering, sampel ditimbang dan dicatat

sebagai berat kering sampel + tabung. Cara yang sama dilakukan untuk tabung 2-10.

- Selanjutnya prosedur (5), (6), dan (7) dilakukan dengan waktu 3 menit, 10 menit, 30 menit, 1 jam, 2 jam, 3 jam, 5 jam, 24 jam, 28 jam, dan 48 jam. Sampel dimasukkan pada tabung 2 – 10.

3.3 METODE PENCETAKAN

Bahan yang akan dicetak diambil sebanyak 18 gram, ditambahkan PVA sebanyak 2 % kemudian diaduk hingga rata. Bahan yang telah tercampur dicetak berbentuk balok. Pencetakan dilakukan dengan menggunakan alat cetak sistem pompa hidrolis.



Gambar 3.1. Salah satu contoh peralatan cetak dan hasil cetakan

Alat pecetak yang digunakan adalah dongkrak hidrolis dengan tekanan 130 bar. Sampel dibentuk balok dengan ukuran sesuai dengan cetakan yang ada. Proses seperti ini disebut cetak kering (*dry pressing*) yaitu pembentukan

terhadap serbuk halus yang mengandung sedikit air atau penambahan organik dengan pemberian tekanan dibatasi oleh cetakan (*die*).

3.4 METODE PENGERINGAN

Bahan yang telah selesai dicetak di masukkan ke dalam oven pengering dengan suhu 110°C selama 24 jam.

3.5 METODE PENENTUAN KEKUATAN PATAH

Sampel diletakkan pada alat pengukur kekuatan patah, kemudian diatur jarak antara dua tumpuan (L). Jarak antara dua tumpuan pada peralatan ini minimal 50 mm sehingga panjang sampel uji harus lebih dari 50 mm. Peralatan dinolkan terlebih dahulu, *return speed* diarahkan ke *preset* lalu *power* pada posisi *on*. Tombol *direction* ditekan ke atas (*Up*). Sampel diletakkan pada penumpu tombol *direction* ke bawah (*down*) maka beban bergerak ke bawah untuk mematahkan sampel. Bila sampel telah patah arahkan *direction* pada posisi stop kemudian skala dibaca dan nilai ini dicatat sebagai nilai gaya pada puncak pembebanan (F).

**(catatan: satuan alat dalam pound maka harus dikonversikan dalam kg,
1 pound = 0,45 kg)**

3.6 PENGUKURAN DENGAN XRD

Analisa fasa dilakukan dengan menggunakan alat XRD (X-Ray Diffraction) , pengukuran pola difraksi dilakukan menggunakan sinar -X Phillips PW 3710/40kV dengan kondisi alat sebagai berikut : sumber $\text{CoK}\alpha$, panjang gelombang (λ) 1,7902 Å, tegangan 40 kV, arus 30 mA, kecepatan cacah 0,5 /detik, jenis cacah kontiniu dan sudut 2θ : 15°-90°

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 DISTRIBUSI DIAMETER PARTIKEL LEMPUNG KASONGAN

Distribusi diameter partikel lempung merupakan faktor utama penentu kualitas keramik yang dihasilkan. Distribusi diameter partikel akan mempengaruhi seluruh karakteristik keramik lainnya seperti plastisitas dan kekuatan patah.

Hasil pengolahan data yang didapatkan dari penentuan distribusi diameter partikel lempung kasongan dengan menggunakan persamaan (2.5), didapatkan hasil seperti disajikan pada Tabel 4.1.

Data distribusi diameter partikel ini kemudian diplot ke dalam grafik yang menggambarkan hubungan distribusi diameter partikel dan akumulasi persen kehalusannya. Grafik distribusi ukuran partikel yang didapatkan dari karakteristik lempung asli menggambarkan distribusi diameter ukuran partikel terhadap akumulasi persen kehalusan. Pada grafik tersebut dapat diketahui penyebaran distribusi diameter partikel halus dan partikel kasar untuk tiap persen kehalusan.

Tabel 4.1 Diameter partikel dan persen ukuran partikel lempung Kasongan

No botol	diameter partikel (μm)	Persen ukuran partikel (%)
1.	0,47	4,2
2.	0,25	5,9
3.	0,15	6,7
4.	0,10	6,7
5.	0,07	13,4
6.	0,06	13,4
7.	0,04	16,0
8.	0,03	16,8
9.	0,02	8,4
10.	0,01	8,4

Analisa ini sangat perlu diketahui karena setiap lempung yang terdiri dari partikel halus dan partikel kasar akan mempengaruhi karakteristik lempung lainnya. Lempung yang mengandung lebih banyak partikel halus, memiliki kekuatan tekuk yang lebih besar karena luas permukaan dan jumlah ikatannya lebih besar. Lempung dengan partikel kasar lebih tahan kejutan dan perubahan suhu terutama pada kekuatan patahnya. Hal ini disebabkan karena ukuran cacat lebih besar sehingga tegangan yang diperlukan untuk meningkatkan retakan kritisnya lebih besar.

Pada grafik hasil analisa distribusi diameter partikel (gambar 4.1) dapat diketahui bahwa lempung Kasongan ternyata termasuk lempung dengan partikel yang halus. Hal ini dapat dilihat dari tingginya persentase partikel yang berdiameter $0,03 \mu\text{m}$ hingga $0,07 \mu\text{m}$ yang mencapai 59,6%. Lempung dengan persentase distribusi diameter partikel halus yang tinggi maka nilai plastisitas, dan kekuatan patahnya akan besar serta keramik yang dihasilkan bermutu baik dengan permukaan yang halus. Berdasarkan data ini maka secara umum karakteristik lempung Kasongan dapat dikatakan cukup baik.

Hasil analisis pengukuran sederhana terhadap ukuran butir lempung Kasongan akan sesuai dengan teori ukuran butir yang terdiri atas ukuran butir kasar dan halus di mana dapat berpengaruh terhadap sifat fisika lempung terutama pada sifat batas plastis, Pengaruh ini dapat dijelaskan yaitu Batas plastis adalah rasio muatan kelembaban dimana bila sebetuk gumpalan digiling membentuk batangan maka kadang-kadang akan patah. Keplastisan suatu lempung berbeda-beda, ada lempung yang sangat plastis, kurang plastis dan keplastisannya sangat rendah.

Pengukuran untuk batas plastis didapatkan dari hasil tes langsung dan perhitungan saat lempung putus dengan menimbang berat kering dan berat basah.

Berdasarkan data (lampiran 2) yang didapatkan dari percobaan, lempung kasongan memiliki batas plastis sebesar $(36,7 \pm 0,04)\%$. Penelitian tentang plastisitas lempung Indonesia secara umum yang telah dilakukan menunjukkan nilai plastisitas sebesar 37,14% dengan ukuran lempung berdiameter 3 mm dan panjang 3 cm. Perbedaan nilai batas plastis ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

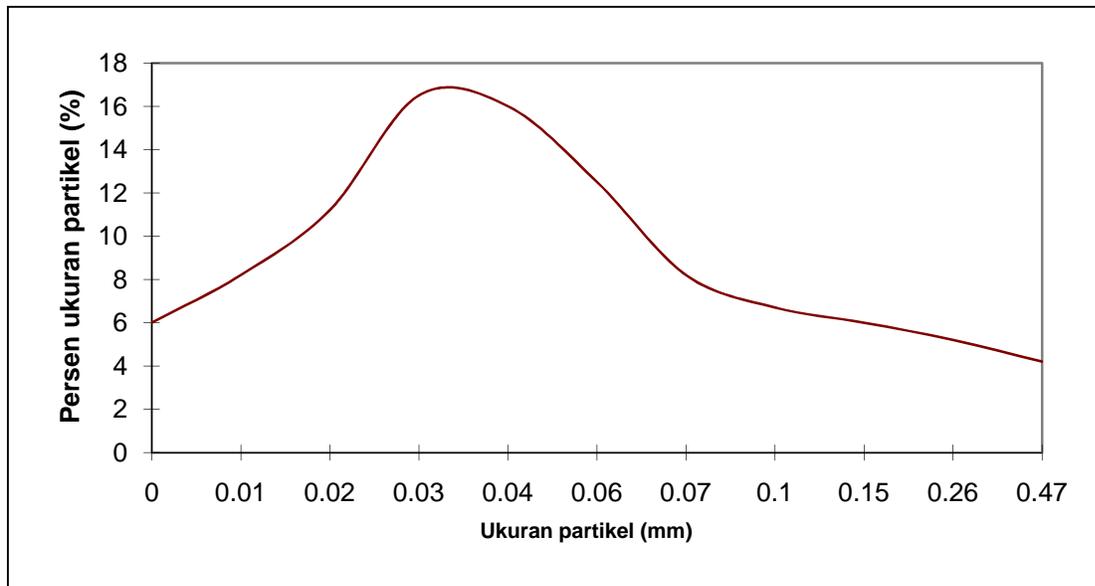
1. Keplastisan suatu lempung berbeda-beda untuk tiap tempat yang disebabkan oleh aneka proses geologis.
2. Nilai plastisitas lempung dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikelnya. Perbedaan distribusi ukuran partikel akan membedakan nilai plastisitas lempung.
3. Lempung asli yang belum diolah banyak mengandung bahan organik yang tidak diinginkan seperti sisa-sisa tanaman yang membusuk. Hal ini dapat dilihat dari keadaan warna lempung yang berwarna coklat seperti lumpur. Perbedaan kandungan bahan organik ini juga mempengaruhi perbedaan nilai plastisitas berbagai jenis lempung.

Lempung merupakan jenis tanah lunak yang berbutir halus, mempunyai plastisitas yang tinggi dan perubahan kembang susut yang relative besar dimana dalam kondisi kadar airnya bertambah maka volumenya

mengembang dan begitu pula sebaliknya akan menyusut dan pecah-pecah apabila dalam keadaan kering. Plastisitas adalah sifat yang memungkinkan tanah berubah bentuk tanpa terjadinya perubahan isi. Selain itu tanah lempung juga memiliki sifat kohesif yaitu rekatan antar sesama partikel.

Tanah yang dalam keadaan plastis, besarnya jaringan gaya antar partikel akan sedemikian hingga partikel bebas untuk relatif menggelincir antara yang satu dengan lainnya, dengan kohesi antaranya tetap dipelihara. Di alam sangat banyak tanah berbutir halus yang dalam keadaan plastis.

Ditinjau dari ukuran butirannya, lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0.002 mm (Das, 1995). Namun demikian, partikel berukuran antara 0,002mm sampai 0,005mm juga masih di golongkan sebagai partikel lempung. Sifat-sifat dan perilaku lempung ini sangat bergantung pada komposisi mineral-mineralnya, unsur-unsur kimianya, tekstur lempung, dan partikel-partikelnya serta pengaruh lingkungan di sekitarnya.



Gambar 4.1. Hubungan antara distribusi diameter partikel dan persen ukuran partikel

Partikel ukuran lebih dari 2 mm, bahan organik dan agen perekat seperti kalsium karbonate harus dihilangkan sebelum menentukan tekstur. Tanah bertekstur sama misal geluh berdebu mempunyai sifat fisika dan kimia yang hampir sama dengan syarat mineralogi lempung. Tekstur tanah ditentukan di lapangan dengan cara melihat gejala konsistensi dan rasa perabaan menurut bagan alir dan di laboratorium dengan metode pipet atau metode hydrometer. Tekstur tanah menentukan tata air, tata udara, kemudahan pengolahan dan struktur tanah. Penyusun tekstur tanah berkaitan erat dengan kemampuan memberikan zat hara untuk tanaman, kelengasan tanah, perambatan panas,

perkembangan akar tanaman dan pengolahan tanah. Berdasarkan persentase perbandingan fraksi-fraksi tanah, maka tekstur tanah dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu; halus, sedang dan kasar. Makin halus tekstur tanah mengakibatkan kualitasnya semakin menurun karena berkurangnya kemampuan mengisap air.

Lempung dan debu memiliki ciri berukuran halus. Lempung dan debu actual, bentuk butir-butir lempung biasanya seperti mika dan liat bila lembab. Bila dibasahi bersifat lekat, untuk mengeringkannya memerlukan sejumlah panas dan dibasahi lagi tegana tersebut dibebaskan kembali. Gejala tersebut “panas pembasahan”. Daya adsorbs lempung terhadap air, gas, hara, dan garam laut sangatlah tinggi. Pada sifat fisiska tanah, pengaruh debu tidaklah memuaskan jika tidak dilengkapi dengan sejumlah pasir, lempung dan bahan organik. Terdapatnya debu dan lempung dalam tanah menentukan kehalusan teksturnya serta gerakan air dan udara. Tanah seperti ini sangat liat, menjadi lekat jika terlalu basah, keras jika menggumpal dan akan bening bila tidak dikerjakan secara tepat. Pengembungan dan pengerutan dalam keadaan basah dan kering biasanya besar. Daya tahan air pada tanah lempung dan debu umumnya besar. Maka tanah seperti ini disebut tanah berat karena sukar diolah, dan sebaliknya pada tanah ringan maka mudah diolah, permukaannya berpasir dan berkerikil. (Harry O. Buckman dan Nyle C. Brady, 1982). Hal yang

sangat penting dan mendasar karena ukuran butir sedimen menceritakan banyak hal mengenai sifat-sifat yang mempengaruhi suatu bahan, misal terhadap kekuatan, densitas dan bahkan pembentukan kristal jika di dalam ilmu zat padat. Dengan menggunakan metode pipa andersen dan rumus dari hukum Hooke maka penguraian untuk analisa butir secara sederhana ini dapat digunakan dalam menentukan analisa butir .

Pengaruh jumlah butir pada kekerasan material sangat tergantung dari distribusi ukuran partikel penyusunnya. Kekerasan merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk tahan terhadap deformasi plastik seperti indentasi atau *scratch*. Salah satu mekanisme untuk meningkatkan nilai kekerasan adalah dengan mekanisme *grain size hardening* atau *grain boundary strengthening*. Semakin kecil ukuran butir berarti semakin banyak jumlah butir. Jumlah butir yang semakin banyak berarti area batas butir semakin luas sehingga semakin banyak terjadi mekanisme *pile up* atau penumpukan dislokasi pada batas butir akibatnya material menjadi semakin keras. Karena seperti kita ketahui, prinsip dasar untuk pengerasan material dengan menghambat Bergeraknya dislokasi.

Mekanisme yang umum dilakukan untuk mengurangi ukuran butir sehingga jumlah butir menjadi semakin banyak antara lain penambahan *grain refiner* pada saat *melting* dan termomekanikal *treatment*.

4.2 PENGARUH UKURAN BUTIRAN TERHADAP KARAKTERISTIK KIMIA

Untuk mengetahui karakteristik kimia lempung dari kasongan dilakukan untuk mengetahui kadar berbagai oksida di dalam sampel lempung kasongan. Ringkasan kandungan oksida lempung Kasongan dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kandungan Oksida Pada Lempung Kasongan

No	Oksida	Jumlah Kandungan (%)
1	SiO ₂	44,17
2	Al ₂ O ₃	20,09
3	Fe ₂ O ₃	15,76
4	TiO ₂	1,51
5	CaO	5,69
6	MgO	2,94
7	K ₂ O	0,59
8	Na ₂ O	1,18
9	P ₂ O ₅	0,21
10	MnO	0,35
11	Cl ₂ O ₅	0,025
12	IO ₅	7,0

Dari data ini maka karakteristik fisik terhadap lempung kasongan, yang meliputi kenampakan megaskopis, tingkat kecerahan dan butir. Hasil pengamatan fisik terhadap lempung Kasongan menunjukkan warna coklat kemerahan-merahan, menunjukkan rekahan dalam dalam keadaan kering dan lengket dalam keadaan basah, sering dijumpai fragmen andesir di dalam kuari lempung tersebut. Berdasarkan analisis tingkat kecerahan, lempung sebesar 20,5% dan komposisi kimia maka lempung Kasongan tidak memenuhi syarat sebagai bahan untuk membuat keramik porselin. Akan tetapi berdasarkan hasil uji coba, lempung kasongan dapat dibentuk menjadi gerabah dan menunjukkan hasil yang bagus. Hasil pembakan juga menunjukkan bahwa lempung tersebut tidak mengalami pengerutan dan pemecahan selama proses pembakaran.

Kelemahan lempung tersebut adalah dalam hal warna dan kecerahan yang kurang cerah, dimana lempung tersebut sebelum dibakar berwarna coklat kehitaman dan setelah dibakar berwarna merah bata. Namun warna merah bata ini menjadi ciri khas gerabah Kasongan.yang membedakannya dengan gerabah dari daerah lain.

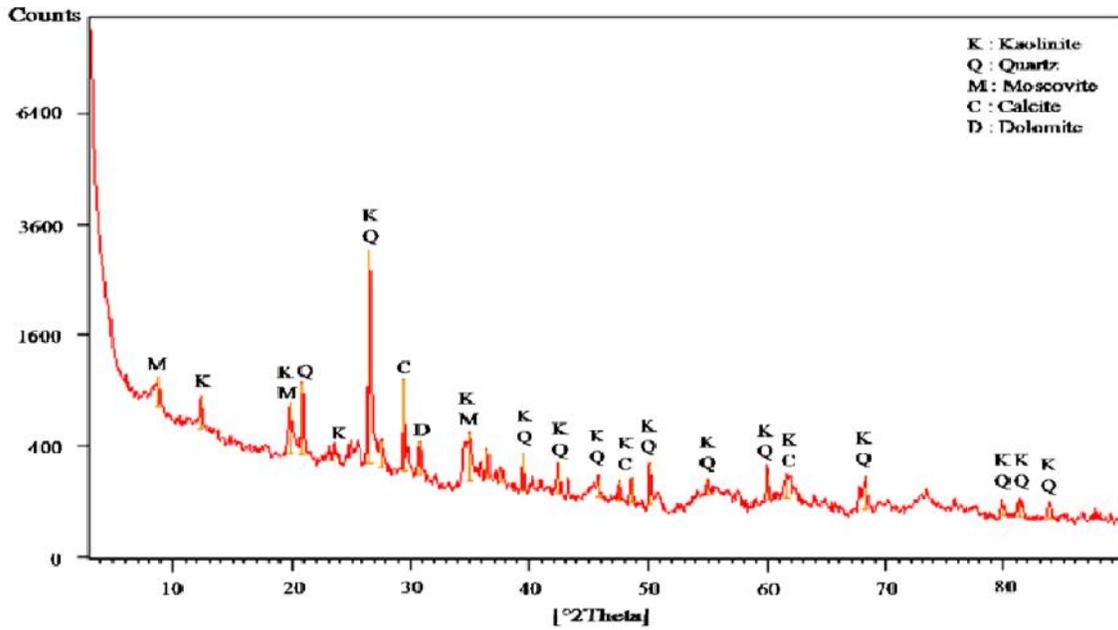
Dengan kondisi tersebut maka lempung Kasongan tidak cocok digunakan sebagai bahan keramik putih (porselin) tetapi bisa digunakan sebagai bahan gerabah (*earthenware*).

4.3 NILAI KEKUATAN PATAH BERDASARKAN ANALISA

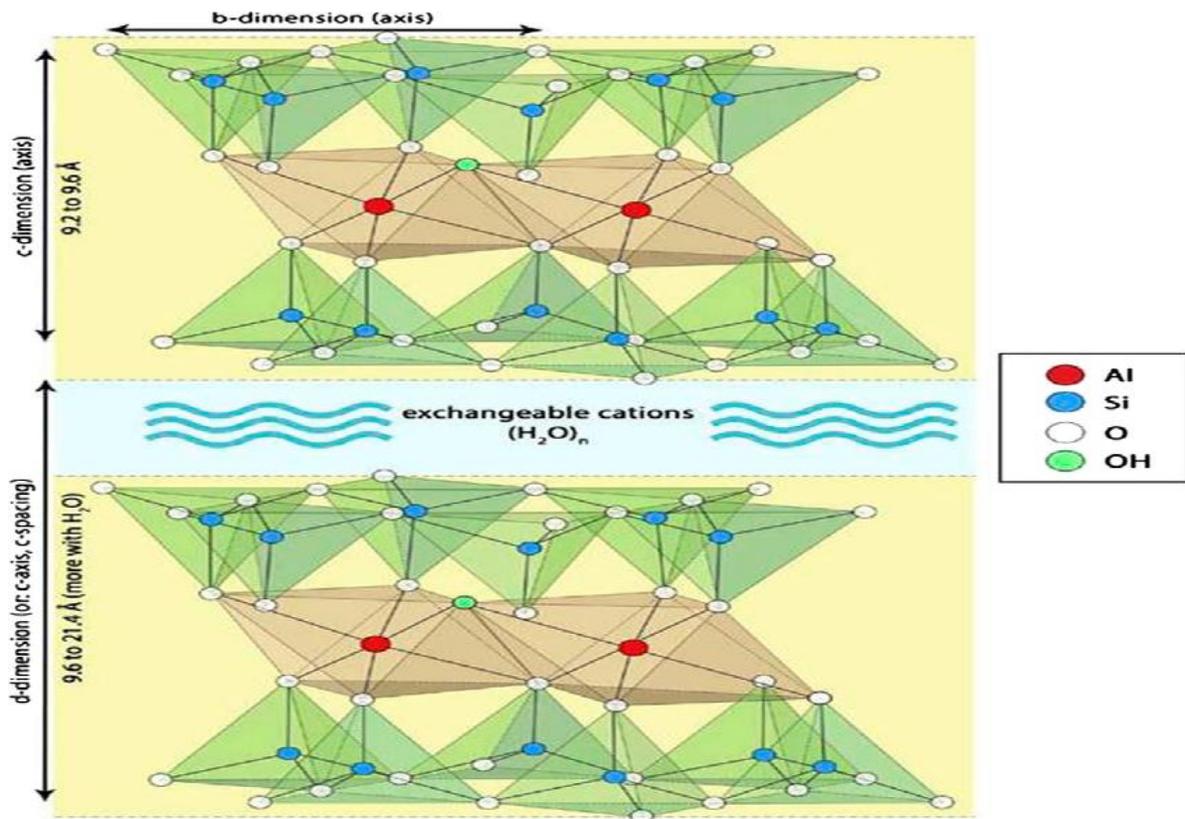
Nilai kekuatan patah berdasarkan analisa butiran di atas, dengan mencetak lempung Kasongan dan hanya dikeringkan di bawah sinar matahari dan diangin-anginkan saja maka nilai kekuatan patah lempung kasongan adalah 4,34,0 kg/m².

4.4 HASIL DIFRAKSI LEMPUNG KASONGAN

Hasil difraksi menunjukkan bahawa lempung kasongan adalah lempung dengan sistim kristal ortogonal dengan konstanta kisi $a=b \neq c$ yaitu $a = 9,4\text{\AA}$ $b = 8,65\text{\AA}$. Hasil dapat dilihat pada gambar..

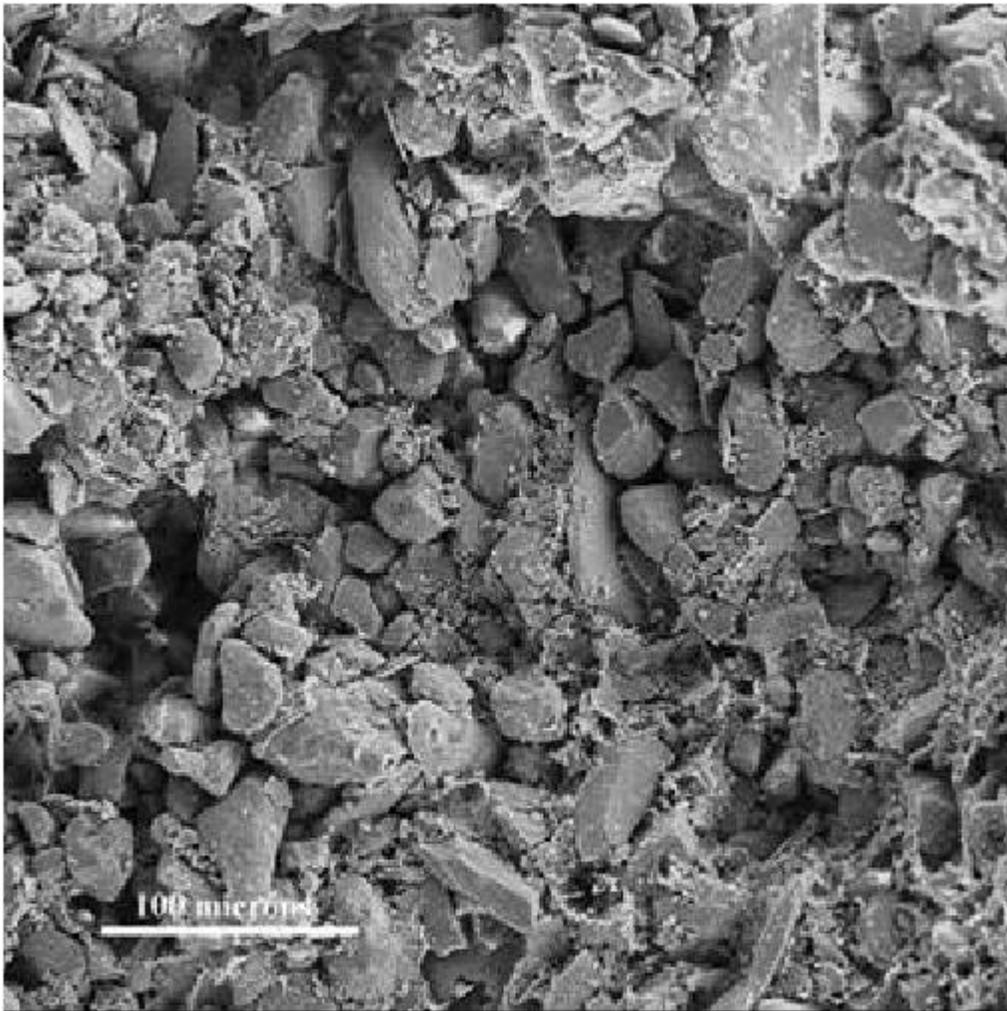


Gambar 4.2..Difraksi Lempung Kasongan



Gambar.4.3.Struktur Kristal Lempung Kasongan.

4.5 MORFOLOGI LEMPUNG KASONGAN



Gambar 4.4. morfologi Lempung Kasongan

BAB V

KESIMPULAN

1. Lempung Kasongan termasuk lempung dengan partikel yang halus. Hal ini dapat dilihat dari tingginya persentase partikel yang berdiameter $0,03\ \mu\text{m}$ hingga $0,07\ \mu\text{m}$ yang mencapai 59,6%. Lempung dengan persentase distribusi diameter partikel halus yang tinggi maka nilai plastisitas, dan kekuatan patahnya akan besar serta keramik yang dihasilkan bermutu baik dengan permukaan yang halus. Berdasarkan data ini maka secara umum karakteristik lempung Kasongan dapat dikatakan cukup baik.
2. Berdasarkan analisis tingkat kecerahan, lempung sebesar 20,5% dan komposisi kimia maka lempung Kasongan tidak memenuhi syarat sebagai bahan untuk membuat keramik porselin.
3. Kelemahan lempung tersebut adalah dalam hal warna dan kecerahan yang kurang cerah, dimana lempung tersebut sebelum dibakar berwarna coklat kehitaman dan setelah dibakar berwarna merah bata. Namun warna merah bata ini menjadi ciri khas gerabah Kasongan yang membedakannya dengan gerabah dari daerah lain.

4. Hasil difraksi menunjukkan bahawa lempung kasongan adalah lempung dengan sistim kristal ortogonal dengan konstanta kisi $a \neq b \neq c$ yaitu $a = 9,4\text{\AA}$ $b = 8,65\text{\AA}$.