

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah liat

2.1.1 Pengertian Tanah Liat

Wikipedia (2013), lempung atau tanah liat adalah partikel mineral berkerangka dasar silika yang berdiameter kurang dari 4 mikrometer. Lempung terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi.

Mahida (1984), mendefinisikan tanah liat sebagai campuran partikel-partikel pasir dan debu dengan bagian-bagian tanah liat yang mempunyai sifat-sifat karakteristik yang berlainan dalam ukuran yang kira-kira sama. Salah satu ciri partikel-partikel tanah liat yaitu mempunyai muatan ion positif yang dapat dipertukarkan. Material tanah liat mempunyai daya serap yang baik terhadap perubahan kadar kelembapan karena tanah liat mempunyai luas permukaan yang sangat besar.

Bowles (1991), mendefinisikan tanah liat atau lempung sebagai deposit yang mempunyai ukuran partikel yang lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm. Tanah liat dengan ukuran mikrokonis sampai dengan submikrokonis ini terbentuk dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan.

Terzaghi (1987), tanah liat atau lempung akan menjadi sangat keras dalam keadaan kering, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Tanah liat atau lempung mempunyai sifat permeabilitas sangat rendah dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Lempung atau tanah liat adalah suatu silika hidraaluminium yang kompleks dengan rumus kimia $Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot kH_2O$ dimana n dan k merupakan nilai numerik molekul yang terikat dan bervariasi untuk masa yang sama. Mineral lempung mempunyai daya tarik menarik individual yang mampu menyerap 100 kali volume partikelnya, ada atau tidaknya air (selama pengeringan) dapat menghasilkan perubahan volume dan kekuatan yang besar. Partikel-partikel lempung juga mempunyai tenaga tarik antar partikel yang sangat

kuat yang untuk sebagian menyebabkan kekuatan yang sangat tinggi pada suatu bongkahan kering (batu lempung).

Hardiyatmo (1999), sifat-sifat yang dimiliki tanah liat atau lempung adalah sebagai berikut :

- a. Ukuran butir halus kurang dari 0,002 mm
- b. Permeabilitas rendah
- c. Bersifat sangat kohesif
- d. Kadar kembang susut yang tinggi
- e. Proses konsolidasi lambat

Aphin (2012), lempung atau tanah liat ialah kata umum untuk partikel mineral yang mengandung unsur silika yang memiliki diameter kurang dari 4 mikrometer. Lempung mengandung leburan silika dan aluminium dengan ukuran partikel yang halus. Lempung terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi. Lempung membentuk gumpalan keras saat kering dan lengket saat basah terkena air. Sifat ini ditentukan oleh jenis mineral lempung yang mendominasi. Mineral lempung digolongkan berdasarkan susunan lapisan oksida silikon dan oksida aluminium yang membentuk kristalnya. Golongan 1:1 memiliki lapisan satu oksida silikon dan satu oksida aluminium, sementara golongan 2:1 memiliki dua lapis golongan oksida silikon dan satu lapis oksida aluminium. Mineral lempung golongan 2:1 memiliki sifat elastis yang kuat, menyusut saat kering dan membesar saat basah. Karena perilaku inilah beberapa jenis tanah dapat membentuk kerutan-kerutan atau “pecah-pecah” bila kering.

Tanah liat dapat dibedakan dengan tanah yang lainnya berdasarkan ukuran dan kandungan mineraloginya. *Slits*, yang halus tanah yang tidak termasuk mineral lempung, cenderung memiliki ukuran partikel lebih besar dari tanah liat, tetapi ada beberapa tumpang tindih di kedua ukuran partikel dan sifat fisik lainnya, dan ada banyak deposito alami yang meliputi *silts* dan juga tanah liat. Perbedaan antara lumpur dan tanah liat bervariasi. Ahli geologi dan ilmuwan tanah biasanya mempertimbangkan pemisahan terjadi pada ukuran partikel dari 2

pm (tanah liat halus yang dari silts), sedimentologists sering menggunakan pM 4-5, dan koloid kimia menggunakan 1 pM. insinyur Geoteknik membedakan antara *silts* dan tanah liat berdasarkan sifat plastisitas tanah yang diukur dengan ‘ Batas Atterberg’. Sedangkan ISO 14688 partikel tanah liat sebagai nilai lebih kecil dari 2 pM dan silts lebih besar.

Bunga Prameswari (2008), komposisi kimia tanah liat yang di analisa dengan menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.
Komposisi Tanah Liat

Elemen	Nama Elemen	Konsentrasi (%)
C	Carbon	0,33
O	Oksigen	46,91
Al	Aluminium	22,05
Si	Silika	13,42
S	Sulfur	0,23
Ca	Kalium	0,21
Fe	Besi	14,78

Sumber : (Prameswari, 2008)

Aphin (2012), tanah Liat atau tanah lempung memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Tanahnya sulit menyerap air sehingga tidak cocok untuk dijadikan lahan pertanian.
- b. Tekstur tanahnya cenderung lengket bila dalam keadaan basah dan kuat menyatu antara butiran tanah yang satu dengan lainnya.
- c. Dalam keadaan kering tanah cenderung sangat keras dengan ukuran butiran tanahnya terpecah-pecah secara halus.
- d. Merupakan bahan baku pembuatan tembikar dan kerajinan tangan lainnya yang dalam pembuatannya harus dibakar dengan suhu di atas 1000 °C.



Gambar 1. ciri-ciri tanah liat
(Sumber: F.H Norton)

2.1.2 Jenis-Jenis Tanah Liat

a. Tanah Liat Primer

Wahyu, dkk. (2009), menyebutkan tanah liat primer (residu) adalah jenis tanah liat yang dihasilkan dari pelapukan batuan *feldspatik* oleh tenaga endogen yang tidak berpindah dari batuan induk (batuan asalnya), karena tanah liat tidak berpindah tempat sehingga sifatnya lebih murni dibandingkan dengan tanah liat sekunder. Selain tenaga air, tenaga uap panas yang keluar dari dalam bumi mempunyai peran dalam pembentukan tanah liat primer. Karena tidak terbawa arus air dan tidak tercampur dengan bahan organik seperti humus, ranting, atau daun busuk dan sebagainya, maka tanah liat berwarna putih atau putih kusam. Suhu matang berkisar antara 1300 °C–1400 °C, bahkan ada yang mencapai 1750 °C yang termasuk tanah liat primer antara lain seperti *kaolin*, *bentonite*, *feldspatik*, *kwarsa*, dan *dolomite* yang biasanya terdapat di tempat-tempat yang lebih tinggi dari pada letak tanah sekunder. Pada umumnya batuan keras seperti *basalt* dan *andesit* akan memberikan warna merah alami pada lempung sedangkan granit akan memberikan warna putih alami pada lempung. Mineral kwarsa dan alumina dapat digolongkan sebagai jenis dari tanah liat primer karena merupakan hasil samping tanah liat kaolinit yang terbentuk dari pelapukan batuan *feldspatik*. Adapun ciri-ciri tanah liat primer yaitu sebagai berikut:

- a. Berwarna putih cerah sampai putih kusam
- b. Cenderung memiliki butiran-butiran yang kasar,
- c. Tidak plastis,
- d. Daya lebur tinggi,

- e. Daya susut kecil
- f. Bersifat tahan api

Dalam keadaan kering, tanah liat primer sangat rapuh sehingga mudah ditumbuk menjadi tepung. Hal ini disebabkan karena ukuran partikelnya yang terbentuk tidak simetris dan bersudut-sudut tidak seperti partikel tanah liat sekunder yang berupa lempengan sejajar. Secara sederhana dapat dijelaskan melalui Gambar penampang irisan partikel kwarsa yang telah dibesarkan beberapa ribu kali. Dalam Gambar 2. di bawah ini tampak kedua partikel dilapisi lapisan air (*water film*), tetapi karena bentuknya tidak datar atau *asimetris*, lapisan air tidak saling bersambungan, akibatnya partikel-partikel tidak saling menggelincir.

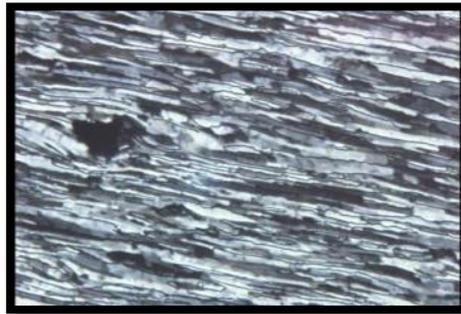


Gambar 2. tanah liat primer
(Sumber: F.H Norton)

b. Tanah Liat Sekunder

Wahyu, dkk. (2009), tanah liat sekunder atau tanah sedimen (endapan) adalah jenis tanah liat hasil pelapukan batuan feldspatik yang berpindah jauh dari batuan induknya karena adanya tenaga eksogen yang menyebabkan butiran-butiran tanah liat lepas dan mengendap pada daerah rendah seperti lembah sungai, tanah rawa, tanah marine, dan tanah danau. Akibat dari perpindahan tanah liat oleh air dan angin menyebabkan tanah liat bercampur dengan bahan-bahan organik maupun anorganik sehingga berubah sifat-sifat kimia maupun fisika tanah liat diantaranya seperti ukuran partikel-partikel yang lebih halus dan lebih plastis dari pada tanah liat primer. Pergerakan air memiliki pengaruh yang besar terhadap tanah liat, salah satunya ialah gerakan arus air cenderung menggerus mineral tanah liat sehingga partikel-partikelnya semakin menipis dan berkurang. Pada saat kecepatan arus melambat, partikel yang lebih berat akan mengendap dan menyisakan partikel yang halus dalam larutan. Pada saat arus tenang seperti di danau atau di laut, partikel – partikel yang halus akan mengendap di dasarnya.

Tanah liat sekunder biasanya terbentuk dari beberapa macam jenis tanah liat dan berasal dari beberapa Sumber. Dalam setiap sungai, endapan tanah liat dari beberapa situs cenderung bercampur. Dari sudut ilmu keramik menganggap bahan organik seperti humus dan daun busuk, oksida logam seperti besi, nikel, titan, mangan dan sebagainya adalah bahan pengotor. Gambar tanah liat sekunder dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tanah liat Sekunder
(Sumber: F.H Norton)

Karena pembentukannya melalui proses yang panjang dan bercampur dengan bahan pengotor, maka tanah liat memiliki ukuran butiran yang halus. Tanah liat sekunder memiliki warna krem, abu-abu, coklat, merah jambu, kuning dengan suhu matang antara 900°C - 1400°C . Pada umumnya tanah liat sekunder lebih plastis dan mempunyai daya susut yang lebih besar dari pada tanah liat primer. Semakin tinggi suhu bakarnya maka semakin keras dan semakin kecil porositasnya, sehingga produk benda keramik menjadi kedap air. Dibanding dengan tanah liat primer tanah liat sekunder mempunyai ciri tidak murni, warna lebih gelap, berbutir lebih halus dan mempunyai titik lebur yang relatif lebih rendah. Setelah dibakar tanah liat sekunder biasanya berwarna krem, abu-abu muda sampai coklat tua. Tanah liat sekunder memiliki ciri-ciri:

- a. Kurang murni.
- b. Cenderung berbutir halus.
- c. Plastis.
- d. Berwarna krem, abu-abu, coklat, merah jambu, kuning, kuning muda, kuning kecoklatan, kemerahan, dan kehitaman.
- e. Daya susut tinggi.

- f. Suhu bakar 1200 °C–1300 °C, ada yang sampai 1400 °C (*fireclay, stoneware, ballclay*).
- g. Suhu bakar rendah 900 °C–1180 °C, ada yang sampai 1200 °C (*earthenware*).

Anonim (2008), terbentuknya warna tanah liat yang alami terjadi karena adanya unsur oksida, besi, dan unsur organik yang biasanya setelah pembakaran akan berwarna kuning kecoklatan, coklat, merah, warna karat, atau coklat tua, tergantung dari jumlah oksida besi dan kotoran-kotoran yang terkandung dibawah tanah liat. Biasanya kandungan oksida besi sekitar 2%-5% menyebabkan tanah cenderung berwarna lebih gelap dan biasanya cenderung lebih cepat matang pada suhu yang lebih rendah. Sebaliknya tanah berwarna lebih terang atau pun putih akan lama matang pada suhu yang lebih tinggi.

Anonim (2008), berdasarkan titik leburnya, tanah liat sekunder dapat dibagi menjadi lima kelompok besar, yaitu :

a. Tanah Liat Tahan Api (*Fireclay*)

Kebanyakan tanah liat tahan api dari yang berwarna putih terang, abu-abu gelap, dan hitam ditemukan di alam dalam bentuk bongkahan padat. Beberapa diantaranya memiliki kadar yang alumina tinggi dan berkadar alkali yang rendah. Titik leburnya mencapai suhu ± 1500 °C, yang tergolong dalam tanah liat tahan api ialah tanah liat yang tahan dibakar pada suhu tinggi tanpa mengubah bentuk mineral tanah, misalnya mineral tahan api seperti alumina dan silika yang terdapat dibawah tanah kaolinit. Tanah kaolinit sering digunakan untuk campuran bahan pembuatan massa badan siap pakai, dari produk *stoneware* maupun porselin. Karena beberapa sifatnya yang menguntungkan diantara seperti berwarna putih, mempunyai daya lentur dan sebagainya, maka Kaolin juga dipakai sebagai bahan pengisi untuk produk kertas dan kosmetik.

b. Tanah Liat *Stoneware*

Tanah liat *stoneware* ialah tanah liat yang dalam pembakaran gerabah (*earthenware*) tanpa disertai perubahan bentuk. Titik lebur tanah liat *stoneware* bisa mencapai suhu 1400 °C. Biasanya berwarna abu-abu, plastis, mempunyai

sifat tahan api dan ukuran butir tidak terlalu halus. Jumlah deposit di alam tidak sebanyak deposit kaolin atau mineral tahan api. Tanah liat *stoneware* dapat digunakan sebagai bahan utama pembuatan benda keramik alat rumah tangga tanpa atau menggunakan campuran bahan lain. Setelah suhu pembakaran mencapai $\pm 1250\text{ }^{\circ}\text{C}$, sifat fisiknya berubah menjadi keras seperti batu, padat, kedap air, dan bila diketuk bersuara nyaring.

c. *Ballclay*

Ballclay sering juga disebut sebagai tanah liat sendimen. *Ball Clay* berbentuk butiran halus dengan tingkat plastisitas sangat yang tinggi dan daya susutnya besar serta biasanya berwarna abu-abu. Tanah liat ini mempunyai titik lebur antara $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Karena sangat plastis, *ball clay* hanya dapat dipakai sebagai bahan campuran pembuatan massa tanah liat siap pakai.

d. Tanah Liat *Earthenware*

Bahan ini sangat banyak terdapat di alam. Tanah liat ini memiliki tingkat plastisitas yang cukup baik, sehingga mudah dibentuk, warna bakar merah coklat dan titik leburnya sekitar $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tanah liat merah banyak digunakan di industri genteng dan gerabah kasar dan halus. Warna alaminya tidak merah terang tetapi merah karat, karena kandungan besinya mencapai 8%. Bila diglasir warnanya akan lebih kaya, khususnya dengan menggunakan glasir timbal.

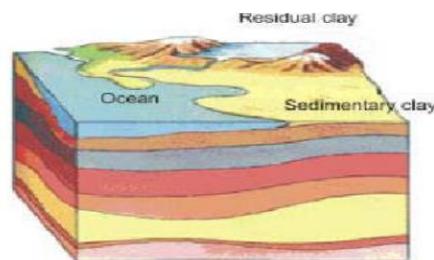
e. Tanah Liat Lainnya

Yang termasuk kelompok ini adalah jenis tanah liat monmorilinit. contohnya *bentonit* yang sangat halus dan rekat sekali. Tanah liat ini hanya digunakan sebagai bahan campuran massa badan kaolinit dalam jumlah yang relatif kecil.

2.1.3 Proses Terbentuknya Tanah Liat Primer dan Sekunder

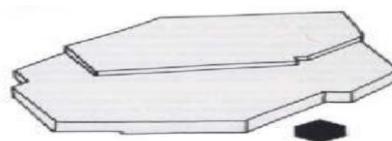
Anonim (2008), telah dijelaskan bahwa tanah liat merupakan mineral murni yang terdapat pada batuan panas dan padat, akibat dari terjadinya pelapukan maka terbentuk partikel-partikel halus dan sebagian besar berpindah akibat dari pergerakan air, angin, dan gletser dari tempat yang tinggi ke suatu

tempat yang lebih rendah dan jauh dari bantuan induk dengan ukuran partikel yang hampir sama. Sedangkan sebagian lagi tetap berada di lokasi dimana batuan induk berada. Selama prosesnya tanah liat menjadi tidak murni lagi karena kehilangan mineral-mineral pengikatnya, yang kemudian mengakibatkan tanah liat mengalami perubahan warna dan komposisinya dari tanah liat yang kasar sampai tanah liat yang halus. Dari situlah tanah yang tetap dinamakan tanah liat primer. Pembentukan tanah liat primer dan sekunder dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses pembentukan tanah liat primer dan sekunder
(Sumber: F.H Norton)

Tanah liat merupakan suatu mineral yang terbentuk dari struktur partikel-partikel yang sangat kecil, terutama dari mineral-mineral yang disebut kaolinit yaitu persenyawaan dari oksida alumina (Al_2O_3) dengan oksida silika (SiO_2) dan air. Bentuk partikel-partikelnya seperti lempengan kecil-kecil hampir berbentuk segi enam (hexagonal) dengan permukaan yang datar yang tidak dapat dilihat dengan mata secara langsung, dengan bentuk partikel seperti ini menyebabkan tanah liat mempunyai sifat tanah liat (plastis) dan mudah dibentuk bila di campur dengan air, hal ini karena partikel-partikel tersebut saling meluncur satu dengan yang lain sebagai pelumasnya. Gambar bentuk partikel tanah liat dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Bentuk Partikel tanah liat
(Sumber: F.H Norton)

Perubahan secara alamiah yang berlangsung terus menerus menyebabkan terbentuknya tanah liat primer dan sekunder, yang juga menyebabkan perbedaan tempat ditemukannya pengendapan tanah liat tersebut, secara sederhana asal-usul tanah liat dapat di Gambarkan seperti Gambar 6.



Gambar 6. Asal Usul tanah liat secara sederhana
(Sumber : Frank Hammer and Janet Hammer)

Anonim (2008), perubahan Fisika Tanah Liat Primer dan Sekunder Setelah Dibakar. Perubahan pertama yang terjadi dalam tanah liat primer maupun sekunder ketika dibakar, ialah hilangnya air bebas. Khusus untuk tanah liat sekunder akan diikuti oleh terbakarnya bahan-bahan organik lain, seperti humus, daun dan ranting yang terdapat di dalam tanah liat. Selanjutnya akan diikuti oleh hilangnya air kimia. Tanah liat primer dan sekunder mengandung silika bebas dalam bentuk pasir, kuarsa, flint dan kristal. Silika adalah subyek untuk merubah bentuk dan volume tanah liat pada suhu tertentu. Beberapa perubahan bersifat tetap (konversi) dan yang lain bersifat dapat berubah kembali (inversi). Agar tanah liat menjadi keramik harus melalui proses pembakaran dengan suhu melebihi 600 °C. Setelah melalui suhu tersebut tanah liat akan mengalami

perubahan menjadi suatu mineral yang padat, keras dan permanen, perubahan ini disebut *Ceramic Change* atau perubahan keramik. Tanah liat yang dibakar kurang dari 600 °C belum memiliki kematangan yang tepat walaupun sudah mengalami perubahan keramik, kematangan tanah liat atau vitrifikasi adalah kondisi keramik yang telah mencapai suhu kematangan secara tepat tanpa mengalami perubahan bentuk. Pada pembakaran di bawah suhu 8000 °C, mineral silika bebas (seperti mineral karbonat) akan berubah pula. Hal ini merupakan akibat dari terbakarnya semua unsur karbon (proses kalsinasi).

Perubahan fisika terjadi di atas suhu 8000 °C yaitu pada saat bahan-bahan alkali bertindak sebagai 'Flux' atas silika dan alumina yang membentuk sebuah jaringan kristal (mulia) dan gelas yang mengikat bahan-bahan yang tidak dapat dilarutkan menjadi suatu massa yang kuat (pembakaran biskuit). Saat tanah liat dibakar pada suhu ± 13000 °C beberapa perubahan akan terjadi, misalnya badan menjadi lebih keras ketika mendingin dan menjadi kedap air. Tanah liat tersebut telah mengalami proses 'Vitrifikasi' artinya sebagian besar material, khususnya silika telah mengglas, memasuki pori-pori dan mengikat semua partikel tanah liat dengan membentuk ikatan yang dikenal sebagai ikatan 'Alumina Silika Hidroksida'. Proses vitrifikasi ini disertai dengan penyusutan volume, dimana semakin tinggi suhu bak semakin besar penyusutan tetapi semakin rendah porositasnya atau dengan kata lain benda semakin padat dan kedap air. Tanah liat yang tidak vitrifikasi pada suhu tinggi (± 13000 °C) dapat digolongkan ke dalam jenis tanah liat tahan api (*refractory clay*). Setiap tanah liat dapat dilebur bila suhu bakarnya cukup. Idealnya setiap jenis tanah liat mempunyai titik vitrifikasi tanpa terjadi perubahan bentuk (deformasi). Dalam praktek, vitrifikasi seringkali diikuti dengan perubahan bentuk. Hal ini terjadi karena adanya tegangan-tegangan bagian benda yang terlemah akibat dari meleburnya mineral-mineral tanah liat.

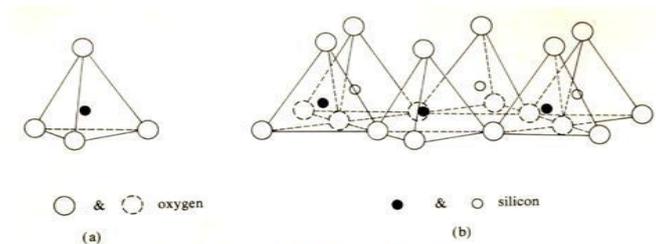
2.1.4 Pembentukan Mineral Lempung

Prihatin (2010), mineral lempung merupakan koloid dengan ukuran sangat kecil (kurang dari 1 mikron). Masing-masing koloid terlihat seperti lempengan-lempengan kecil yang terdiri dari lembaran-lembaran kristal yang memiliki

struktur atom yang berulang. Lembaran-lembaran kristal yang memiliki struktur atom yang berulang tersebut yaitu:

a. *Tetrahedron* atau *Silika sheet*

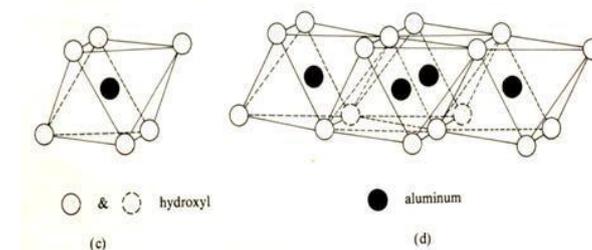
Merupakan gabungan dari Silika Tetrahedron



Gambar 7.a. Tetrahedron; 7.b Silika Sheet
Sumber : (Sapiie, 2006)

b. *Octahedron* atau *Alumina sheet*

Merupakan gabungan dari Alumina Octahedron.



Gambar 8: c. Octahedron; d. Alumina Sheet
Sumber : (Sapiie, 2006)

Sapiie (2006), mengungkapkan bahwa mineral lempung terbentuk di atas permukaan bumi dimana udara dan air berinteraksi dengan mineral silika. Mineral lempung adalah mineral sekunder yang terbentuk karena proses pemecahan yang disebabkan oleh perubahan iklim dan alterasi air (*hidrous alteration*) dari suatu batuan induk dan mineral yang terkandung dalam batuan itu.

Dody (2013), sumber utama dari mineral lempung adalah pelapukan kimiawi dari batuan yang mengandung felspar ortoklas, felspar plagioklas, dan mika (muskovit), dapat disebut sebagai silika aluminium kompleks. Mineral lempung dapat terbentuk dari hampir setiap jenis batuan selama terdapat cukup

banyak alkali dan tanah alkali untuk dapat membuat terjadinya reaksi kimia atau dekomposisi.

Budie (2010), jenis utama mineral lempung ialah:

- a. Kaolinit $\text{Al}_2 (\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{H}_2\text{O}))$
- b. Illit $\text{KAl}_2 (\text{AlSi}_3\text{O}_{10} (\text{OH})_2)$
- c. Smektit $(\text{AlMg})_4 \text{Si}_8 \text{O}_{20} (\text{OH})_{10}$
- d. Klorit $(\text{MgFe})_{6-x} (\text{AlFe})_x \text{Si}_{4-x} \text{Al}_x (\text{OH})_{10}$

Berdasarkan struktur kristal dan variasi komposisinya dapat dibedakan menjadi belasan jenis mineral lempung dan diantaranya:

- a. *Kaolinit*
- b. *Halloysite*
- c. *Montmorillonite*
- d. *Illite*
- e. *Smectite*
- f. *Vermiculite*
- g. *Chlorite*
- h. *Attapulgite*
- i. *Allophone*

Dalam dunia perdangan kita mengenal beberapa tipe mineral lempung, diantaranya adalah:

- a. *Ball clay*
- b. *Bentonite*
- c. *Common clay*
- d. *Fire clay*
- e. *Fuller's earth*
- f. *Kaolin.*

2.1.5 Karakteristik Fisik Tanah Lempung Lunak

Bowles (1989), mineral-mineral pada tanah lempung umumnya memiliki sifat-sifat:

a. Hidrasi

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang disebut sebagai air teradsorpsi. Lapisan ini pada umumnya mempunyai tebal dua molekul karena itu disebut sebagai lapisan difusi ganda atau lapisan ganda. Lapisan difusi ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 600 °C sampai 1000 °C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat hilang cukup dengan pengeringan udara saja.

b. Aktivitas.

Skempton (1953), mendefinisikan aktivitas tanah lempung sebagai perbandingan antara Indeks Plastisitas (IP) dengan prosentase butiran yang lebih kecil dari 0,002 mm. Hasil pengujian *index properties* dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif.

c. Flokulasi dan Dispersi.

Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk flok (*flock*) yang bergerak secara acak atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepatnya membentuk sedimen. Flokulasi adalah peristiwa penggumpalan partikel lempung dibawah larutan air akibat dari mineral lempung umumnya mempunyai $\text{pH} > 7$. Flokulasi larutan dapat dinetralisir dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion H^+), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Untuk menghindari flokulasi larutan air dapat ditambahkan zat asam.

d. Pengaruh Zat cair

Fase air yang berada dibawah struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pemakaian air suling yang relatif bebas ion dapat membuat hasil yang cukup berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di

lapangan dengan air yang telah terkontaminasi. Air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Fenomena hanya terjadi pada air yang molekulnya dipolar dan tidak terjadi pada cairan yang tidak dipolar seperti karbon tetraklorida (CCl_4) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.

e. Sifat kembang susut (*swelling potensial*)

Plastisitas yang tinggi terjadi akibat adanya perubahan sistem tanah dengan air yang mengakibatkan terganggunya keseimbangan tenaga-tenaga dibawah struktur tanah. Tenaga tarik yang bekerja pada partikel yang berdekatan yang terdiri dari tenaga elektrostatis yang bergantung pada komposisi mineral, serta bergantung pada jarak antar permukaan partikel.

2.1.6 Manfaat Tanah Lempung

Dody (2013), lempung digunakan terutama untuk pembuatan tembikar, ubin lantai, keramik. Lempung juga digunakan untuk membuat *sanitary ware*, bahan bangunan seperti batu bata, semen, dan agregat ringan. Lempung digunakan di industri pengeboran bijih besi "*pelletizing*", selain itu digunakan pula untuk membuat berbagai jenis barang tahan terhadap panas ekstrim (refraktori). Tanah liat lebih dikenal sebagai bahan utama pembuatan keramik ataupun porselen sebagai hiasan rumah. Selain dari pada bahan utama tersebut, tanah liat juga memiliki manfaat lain. Dari penelitian, tanah liat juga sangat bermanfaat bagi kesehatan tubuh dan kecantikan kulit. Hal ini terbukti karena tanah liat memiliki 67 mineral penting yang berguna buat tubuh. Ke 67 mineral tersebut antara lain, kalsium, zat besi, magnesium, mangan, potasium, silika, dan elemen-elemen trace lainnya. Penggunaan tanah liat untuk kesehatan telah dilakukan oleh Bangsa Indian di pegunungan Andes, Suku asli Meksiko, Suku Aborigin di Australia, dan Suku di Afrika Tengah. Perlu diketahui juga kalau sejak 4.000 tahun yang lalu, orang-orang Indonesia telah memakan tanah liat untuk menghilangkan sakit perut, Buruli Ulcer (mirip seperti Lepra) dan Tuberculosis Mycobacterium (penyakit yang memakan daging). Kegunaan tanah liat yang lainnya antar lain sebagai berikut:

- a. Sebagai obat untuk sakit perut, karena tanah liat memiliki zat seperti *sponge* yang berfungsi menyerap racun di tubuh.
- b. Sebagai pengurang rasa sakit di luka, hal ini dikarena oleh sifat tanah liat yang adem dan memiliki kandunga *Zink* dan Zat besi yang membantu penyembuhan luka.
- c. Sebagai detox tubuh. Tanah liat yang bersifat seperti sponge ini dapat digunakan untuk menyerap racun-racun ditubuh kita seperti bakteri, zat logam berbahaya, dll.
- d. Untuk kecantikan, tanah liat bermanfaat untuk mengencangkan kulit dan memuluskan kulit Anda jika digunakan sebagai masker atau lulur tubuh.

2.2 Semen

2.2.1 Pengertian Semen

Syarif Hidayat (2009), semen merupakan material perekat untuk kerikil (agrerat kasar), pasir, batubata, dan material sejenis lainnya. Material semen telah banyak digunakan sejak zaman Yunani, Romawi, dan Mesir Kuno. Sebagian monumen dan bangunan peninggalan sejarah yang saat ini masih bisa kita saksikan, merupakan bukti bahwa material semen sudah digunakan sejak zaman dulu. Orang Mesir sudah menggunakan semen untuk konstruksi *pyramide* mereka. Orang Yunani dan orang Roma menggunakan turf vulkanik yang dicampur dengan gamping sebagai semen, dan beberapa diantara bangunan ini masih berdiri sekarang.

Syarif Hidayat (2009), pada abad ke-18 (1700 M) seorang insinyur Sipil, John Smeaton berkebangsaan Inggris telah membuat campuran semen, yaitu merupakan campuran antara batu kapur dan tanah liat yang kemudian di pakai untuk membangun menara suar *Eddystone* di lepas pantai Cornwall, Inggris. Namun, bukan Smeaton yang mempatenkan semen ini tapi seorang insinyur yang berkebangsaan sama dengannya yaitu Josep Aspdin yang mematenkan semen pada tahun 1824, yang kemudian di sebut dengan Semen Portland. Dinamai Portland karena warna hasil akhir olahannya mirip tanah liat yang ada di Pulau Portland, Inggris.

Syarif Hidayat (2009), hasil rekayasa Aspdin inilah yang sekarang banyak dijumpai di toko-toko bangunan. Sebenarnya, ramuan Aspdin tidak jauh berbeda dengan Smeaton. Dia tetap mengandalkan dua bahan utama, yaitu batu kapur sebagai Sumber kalsium karbonat dan tanah lempung yang banyak mengandung silika, alumina, serta oksidasi besi. Kemudian, tahun 1845 Issac Johnson melakukan penelitian lanjutan mengenai semen dan hasilnya sangat berperan dalam pengembangan industri semen modern.

SNI 15-2049-2004, Semen Portland adalah semen hidrolisis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (klinker) semen portland terutama yang terdiri atas Kalsium Silika yang bersifat hidrolisis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Semen merupakan bahan yang digunakan untuk berbagai keperluan terutama dalam pembangunan. Bahan mentah yang dibutuhkan dalam pembuatan semen antara lain batu kapur (*Limestone*), tanah liat (*clay*), pasir silika dan pasir besi. Adapun bahan-bahan tersebut setidaknya mengandung *Limestone* (+/- 82%), *Clay* (+/- 13,5%), Pasir Silika (+/- 3%), dan Pasir besi (+/- 1,5%).

2.2.2 Bahan baku dan produksi semen

Bahan baku utama yang digunakan yaitu batu kapur (*Lime Stone*) dan tanah liat (*Clay*).

a. Batu kapur (*Lime Stone*)

Kalsium karbonat (CaCO_3) di alam sangat banyak terdapat di berbagai tempat. Kalsium karbonat berasal dari pembentukan geologis yang pada umumnya dapat dipakai untuk pembuatan semen Portland yang merupakan Sumber utama dari senyawa Ca. Kekerasan batu kapur antara 1,8 – 3,0 skala *mesh*, warna pada batu kapur dipengaruhi oleh tingkat kandungan unsur – unsur besi, *clay* (tanah liat), dan MgO.

b. Tanah liat (*Clay*)

Tanah liat yang memiliki rumus senyawa ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) merupakan bahan baku semen yang merupakan Sumber utama dari senyawa silika dan aluminat dan sedikit senyawa besi. Tanah liat memiliki berat molekul

796,40 g/gmol dan secara umum mempunyai warna cokelat kemerah – merahan serta tidak larut dalam air.

Tabel 2.
Sifat – Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku Utama

No	Sifat – Sifat Bahan	Komponen Bahan Baku	
		Batu Kapur	Tanah Liat
1	Rumus kimia	CaCO ₃	Al ₂ O ₃ .K ₂ O.6SiO ₂ .2H ₂ O
2	Berat molekul	100,09 g/gmol	796,40 g/gmol
3	Densitas	2,71 g/ml	2,9 g/ml
4	Titik leleh	1339 °C	Terurai pada 1450 °C
5	Warna	Putih keabu – abuan	Coklat kemerah – merahan
6	Kelarutan	Larut dalam air, asam NH ₄ Cl	Tidak larut dalam air, asam, pelarut lain

Sumber: Perry, R. H, tahun 1998

c. Bahan Baku Penunjang (*Korektif*)

Bahan baku *korektif* adalah bahan yang tambahan pada bahan baku utama apabila pada pencampuran komposisi oksida-oksida pada bahan baku utama belum memenuhi persyaratan secara kualitatif dan kuantitatif. Pada umumnya, bahan baku *korektif* yang digunakan mengandung oksida silika, oksida alumina dan oksida besi yang diperoleh dari pasir silika (*silika sand*) dan pasir besi (*iron sand*). Pasir silika (*silika sand*) dapat digunakan sebagai pengkoreksi kadar SiO₂ dalam tanah liat yang rendah dan Pasir besi (*iron sand*) dapat digunakan sebagai pengkoreksi kadar Fe₂O₃ yang biasanya dalam bahan baku utama masih kurang.

Tabel 3.
Sifat – Sifat Fisik dan Kimia Bahan Baku Penunjang

No	Sifat – Sifat Bahan	Komponen Bahan Baku	
		Pasir Silika	Pasir Besi
1	Rumus kimia	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
2	Berat molekul	60,06 g/gmol	159,70 g/gmol
3	Densitas	1,32 g/ml	5,12 g/ml
4	Titik leleh	1710 °C	Terurai pada 1560 °C
5	Titik didih	2230 °C	-
6	Warna	Coklat keputihan	Hitam
7	Kelarutan	Tidak larut dalam air, alkali tetapi larut dalam HF	Tidak larut dalam air, tetapi larut dalam HCl

Sumber: Perry, R. H, tahun 1989

2.2.3 Bahan Baku Tambahan

Bahan baku tambahan adalah bahan baku yang ditambahkan pada terak atau *klinker* untuk memperbaiki sifat – sifat tertentu dari semen yang dihasilkan. Bahan baku tambahan yang biasa digunakan untuk mengatur waktu pengikatan semen adalah *Gypsum*.

Tabel 4.
Sifat – Sifat Fisik dan Kimia Bahan Baku Tambahan

No	Sifat – Sifat Bahan	<i>Gypsum</i>
1	Rumus kimia	CaSO ₄ . 2H ₂ O
2	Berat molekul	172,17 g/gmol
3	Densitas	2,32 g/ml
4	Titik leleh	128 °C
5	Titik didih	163 °C
6	Warna	Putih
7	Kelarutan	Larut dalam air, gliseril, Na ₂ S ₂ O ₃ dan garam NH ₄

Sumber: Perry, R. H, tahun 1989

Pada dasarnya tiap-tiap industri semen memiliki proses produksi yang hampir sama, perbedaannya terdapat pada tata letak dan peralatan yang digunakan. Secara umum ada dua jenis proses produksi semen, yaitu *dry process* dan *wet process*. Pada *dry process*, tahapan penggilingan (*grinding*) dan pencampuran (*blending*) bahan baku dilakukan dalam kondisi kering. Namun pada *wet process*, campuran bahan bakunya dilakukan pada kondisi basah.

2.3 Bahan Pengisi Karet (*Rubber Filler*)

Micky (2012), karet adalah tanaman perkebunan tahunan berupa pohon batang lurus. Pohon karet pertama kali hanya tumbuh di Brazil, Amerika Selatan. Namun, setelah percobaan yang berkali-kali dilakukan oleh Henry Wickham pohon ini berhasil berkembang di Asia Tenggara. Dimana sekarang ini tanaman ini banyak di kembangkan di Asia dan menjadi Sumber karet alami. Di Indonesia, Malaysia, dan Singapura tanaman karet mulai di coba di budidayakan pada tahun 1876. Tanaman karet pertama di Indonesia di tanam di Kebun Raya Bogor.

Hofman (1967), sejarah karet bermula ketika Christopher Columbus (1476) di benua Amerika melihat orang-orang Indian bermain bola dengan menggunakan suatu bahan yang dapat memantul bila dijatuhkan ke tanah. Bola tersebut terbuat dari campuran akar, kayu, dan rumput yang dicampur dengan suatu bahan (*lateks*) kemudian dipanaskan diatas unggun dan dibulatkan seperti bola.

Micky (2012), Pada 1731 para ilmuwan mulai tertarik untuk menyelidiki bahan tersebut. seorang ahli dari Perancis bernama Fresnau melaporkan bahwa banyak tanaman yang dapat menghasilkan *lateks* atau karet, diantaranya dari jenis *Havea brasilienss* yang tumbuh di hutan Amazon di Brazil. Saat ini tanaman tersebut menjadi tanaman penghasil karet utama, dan sudah dibudidayakan di Asia Tenggara yang menjadi penghasil karet utama di dunia saat ini. Untuk mendapatkan getah karet dapat dilakukan penyadapan terhadap batang pohon tanaman karet hingga dihasilkan getah kekuning-kuningan yang disebut dengan *lateks*. *Lateks* merupakan cairan atau sitoplasma yang berisi $\pm 30\%$ partikel karet. Pada tanaman karet, *lateks* dibentuk dan terakumulasi dalam sel-sel pembuluh *lateks* yang tersusun pada setiap jaringan bagian tanaman, seperti pada bagian batang dan daun. Penyadapan *lateks* dapat dilakukan dengan mengiris sebagian dari kulit batang. Penyadapan ini harus dilakukan secara hati-hati karena kesalahan dalam penyadapan dapat membahayakan bahkan mematikan pohon karet. Seorang ahli kimia dari Inggris pada tahun 1770 melaporkan bahwa, karet digunakan untuk menghapus tulisan dari pensil. sejak 1775 karet mulai digunakan sebagai bahan penghapus tulisan pensil, dan jadilah karet itu di Inggris disebut dengan nama *Rubber* (dari kata to rub, yg artinya menghapus), sebelumnya remah roti biasa digunakan orang untuk menghapus tulisan pensil. Pada dasarnya, nama ilmiah yang diberikan untuk benda yang elastis (menyerupai karet) ialah elastomer, tetapi sebutan *rubber*-lah lebih populer di kalangan masyarakat awam.

Hofman (1967), barang-barang karet yang diproduksi waktu itu selalu menjadi kaku di musim dingin dan lengket dimusim panas, sampai seorang yang bernama Charles Goodyear (1838) menemukan bahwa, dengan dicampurnya

belerang dan dipanaskan maka keret tersebut menjadi elastis dan tidak terpengaruh lagi oleh cuaca. Sebagian besar ilmuwan sepakat untuk menetapkan Charles Goodyear sebagai penemu proses vulkanisasi. Penemuan besar proses vulkanisasi ini akhirnya dapat disebut sebagai awal dari perkembangan industri karet.

Ekonopita (2000), Produk dari perkembangan moderen industri karet menghasilkan produk-produk yang akan digunakan sebagai bahan baku pabrik *Crumb Rubber* (Karet Remah), yang menghasilkan berbagai bahan baku untuk berbagai industri hilir seperti ban, bola, sepatu, karet, sarung tangan, baju renang, karet gelang dan lainnya.

Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh Free University, Belanda, diproyeksikan bahwa konsumsi karet sampai dengan tahun 2020 akan tetap meningkat baik untuk kardkk.am maupun sintetik. Proyeksi konsumsi karet alam dunia pada tahun 2020 diperkirakan sebesar 13,472 juta ton dan proyeksi produksi sebesar 7,8 juta ton. Dengan demikian terjadi kekurangan pasokan karet alam sebesar 5,654 juta ton yang merupakan peluang bagi pasar karet alam Indonesia.

Brenan dan Jermyn (1965), Salah satu material yang digunakan dalam pencampuran karet alam adalah bahan pengisi (*filler*). Dimana bahan pengisi ini digunakan untuk karet guna mencapai karakteristik yang diinginkan dan merupakan material yang paling besar kedua dalam hal kuantitas dibawah suatu campuran karet.

Prayitno (1983), bahan pengisi karet sangat berpengaruh pada sifat-sifat karet vulkanisasi yang dihasilkan, baik jenisnya maupun jumlahnya. Pada beberapa pencampuran komponen, arang hitam (*black carbon*) merupakan bahan pengisi aktif karena selain sebagai pengisi bahan ini juga berfungsi sebagai pewarna (warna hitam) dan penguat. Bahan pengisi karet sangat memegang peranan penting dalam industri ban dan polimer, karena fungsi bahan pengisi untuk menurunkan biaya produksi dan menguatkan kekuatan mekanik.

Menurut Morton (1987), arang hitam adalah partikel-partikel carbon dalam bentuk unsur, arang hitam dapat dihasilkan dari penggabungan

hidrokarbon cair atau gas menjadi unsur karbon dan hidrogen dengan pembakaran parsial atau dekomposisi termal. Arang hitam yang mempunyai luas permukaan yang tinggi dan struktur yang besar bila di campurkan dapat memperkuat karet. Dalam Morton (1987) ini juga menuliskan mengenai keunggulan tanah liat dan campuran tanah liat dan arang hitam yang digunakan sebagai bahan campuran pengisi karet. Data dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5.
Tanah liat keras in SBR (50 Volumes)

	Hard Clay 130 phr	N-990 Black 100 phr	N-650 Black (20 phr) Hard Clay (104 phr)
ML+ 4 (100 °C)	72	57	71
Modulus, mpa	1,9	5,3	7,0
Tensile strenght, mpa	14,2	10,0	18,6
Elongation	590	610	620
Hardness	70	70	78
Compression set (%)	60	28	45
Die C tear, Kn/M	16	14	17,9
Abrasion index	27	23	27

Sumber: Morton, 1987

Adnan, dkk. (2009), Penambahan bahan pengisi diterapkan dengan fungsi untuk mengurangi pemakaian karet alam dan menambah tingkat kekuatan dari produk yang dihasilkan serta mengurangi biaya produksi. Adapun untuk bahan pengisinya yaitu berupa *non-black fillers for elastomer* yang diantaranya adalah kalsium karbonat, tanah liat kaolin, silika yang diendapkan, bedak, barit, silika amorf, diatomite.

Maurice Morton dalam buku *Rubber Technology* (1987) dan H.H. Muray dalam buku *Aplied Clay Mineralogy* (2006) menungkapkan bahwa tanah liat dapat digunakan untuk berbagai aplikasi karena sifat teknis yang baik dan karena rasio biaya dan kinerja yang sangat menguntungkan.

Tanah liat juga digunakan sebagai agen semi-penguat untuk karet, dan sekitar £ 900.000.000 digunakan per tahun di Amerika Serikat Paling adalah tanah liat keras ditambang di Georgia dan Carolina Selatan. Hal ini digunakan dalam bangkai ban, dinding samping, dan isolasi manik. Liat menawarkan beberapa

penguatan terhadap senyawa karet tetapi kurang dari memperkuat nilai karbon hitam. Biaya tanah liat biasanya \$ 0,03 sampai \$ 0,05 per pon. Silan lempung putih yang dimodifikasi digunakan dalam dinding samping putih. (CWC 1997).

(Frounchi dkk., 2006; Dong dkk., 2006) Tanah liat merupakan salah satu bahan pengisi yang sering di pakai sebagai bahan pengisi pada industri karet. Tanah liat adalah mineral murah dan telah menjadi bagian penting dalam industri karet dimana penggunaannya sebagai bahan pengisi ekonomis untuk memodifikasi penciptaan dan performa karet alami maupun karet sintesis. Ada banyak jenis tanah liat, tetapi montmorillonite mempunyai catatan panjang bahan anorganik yang paling penting yang ditambahkan sebagai *lateks* atau getah pohon karet alami.

Pocut Nurul (2007), analisis tentang sintesa dan karakteristik sifat mekanik karet alam dengan penambahan tanah liat nanokomposit. Hasil yang diperoleh adalah terjadinya peningkatan yang drastis terhadap basal *spacing* dari matrik polimer dan menunjukkan interkalasi diantara polimer dan pengisinya.

Maejo (2012), mengemukakan bahan pengisisi yang berbeda yaitu dengan menggunakan tanah liat dan CaCO_3 sebagai bahan pengisi karet. Perbandingan antara bahan pengisi tanah liat dan CaCO_3 dapat di lihat pada Tabel 6.

Tabel 6.
Perbandingan Tanah Liat dan CaCO_3

	Tanah Liat	CaCO_3
Luas area	5,83	4,46
Ukuran volume	0,0182	0,0136
Ukuran diameter	124,80	122,00

Sumber: (Maejo, 2012)

Nurul kamal (2005), menggunakan campuran tanah liat kaolin dan silika komersil sebagai bahan pengisi karet alam (SMR L) dan karet alam terperoksida (ENR 50), diperoleh hasil SMR L dengan menggunakan pengisi tanah liat kaolin dihasilkan sifat-sifat mekaniki yang lebih baik namun pada saat proses pematangan membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan ENR 50.

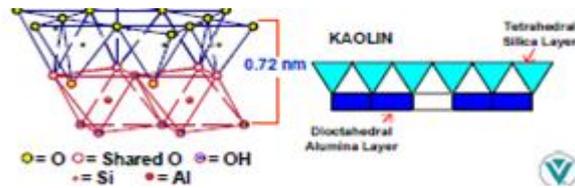
Dalam Sadat Hamzah (2005), kandungan dalam tanah liat kaolin yang di analisa dengan menggunakan alat SEM-EDX dapat di lihat pada Tabel 7.

Tabel 7.
Komposisi kimia Tanah Liat Kaolin

Elemen	Nama Elemen	Konsentrasi (%)
Mg	Magnesium	37,98
O	Oksigen	37,98
Al	Aluminium	14,50
Si	Silika	38,51
K	Kalium	1,69
Ti	Titan	0,69
Fe	Besi	5,41

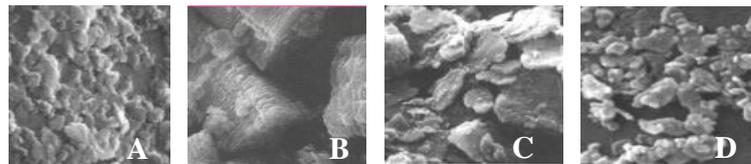
Sumber : (Sadat Hamzah, 2005)

Tanah liat kaolin digunakan untuk mengurangi biaya penggunaan senyawa karet serta meningkatkan sifat fisik atau saat operasi. Tanah liat kaolin adalah *aluminosilika platy*. Tanah kaolin mempunyai massa jenis 2,6 gr/mL, kekerasan 2-2,5 dan titik lebur 1785 °C. Tanah liat yang digunakan untuk pengisi karet di klasifikasikan menjadi dua bagian yaitu tanah liat keras dan tanah liat lunak yang memiliki ukuran partikel yang berbeda dan juga mempengaruhi stuktur kekerasan produk karet. Tanah liat keras memiliki ukuran partikel rata-rata sekitar 250 sampai 500 nm, dan mempunyai modulus kekuatan tarik tinggi, kekakuan, dan ketahanan abrasi yang baik untuk senyawa karet. Tanah liat lunak memiliki ukuran partikel rata-rata sekitar 1000-2000 nm dan digunakan untuk beban ekonomi tinggi dan tingkat ekstrusi lebih cepat lebih penting dari pada kekuatan. Dalam anisometri (bentuk planar) dan perhitungan ukuran partikel tanah liat mempengaruhi pada modulus dan kekerasan. Tanah liat keras lebih banyak digunakan dari tanah liat lunak atau lembut karena dalam pencampurannya karet menghasilkan efek semi-memperkuat dan biaya utilitas yang rendah sebagai pelengkap pengisi lainnya. Tanah liat digunakan untuk menggantikan sebagian dari karbon silika hitam atau endapan silika yang harganya lebih mahal dalam senyawa tertentu tanpa mengurangi sifat fisik produk yang dihasilkan nantinya. Berikut Gambar 9 adalah struktur dari tanah liat kaolin.



Gambar 9. struktur tanah liat kaolin
Sumber Vanderbilt company 2015

Beberapa tanah liat dicuci dengan menggunakan air guna meningkatkan pembersihan kotoran pada tanah liat supaya warna tanah liat cerah. Penambahan Aminosilan dan mercaptosilane pada tanah liat keras memberikan penguatan yang lebih baik dan dalam beberapa aplikasi dapat mengurangi penggunaan silika karbon hitam. Berikut adalah beberapa Gambar dari tanah liat kaolin yang digunakan sebagai pengisi karet.



Gambar 10. *varius types of kaolin clay fillers*,
Sumber (Adnan dkk., 2009)

Menurut Adnan, dkk. (2009), adapun beberapa proses dasar untuk memproduksi kaolin *clay* untuk penguatan karet dari hasil tambang yaitu :

- Bijih tanah liat digiling untuk memecah gumpalan. Proses Ini adalah bentuk paling mahal karena tanah liat keras memiliki penguatan moderat yang tinggi.
- Tanah liat dicuci dengan air akan melibatkan pemisahan secara gravitasi, kemudian pemutihan dan pemisahan magnetik untuk meningkatkan warna tanah liat dan *rotary* untuk menghasilkan berbagai ukuran partikel yang diinginkan. Pencucian tanah liat dengan air guna menghasilkan penguatan yang lebih tinggi dengan kemampuan untuk mengontrol pH, warna dan ukuran partikel.

- c. *Delaminated* kaolin dilakukan dengan menggunakan bahan kimia atau dengan cara memecahkan struktur trombosit dari tanah liat, yang selanjutnya meningkatkan penguatan properti.
- d. Dikalsinasi yaitu dengan dipanaskan sampai 1.000 °C, yang menghasilkan warna putih dengan permukaan tinggi mineral serta daerah permukaan inert.

Perbandingan tanah liat keras dan tanah liat lunak dan tanah kalsium karbonat grafis yang mempengaruhi ukuran partikel, luas permukaan dan bentuk pada penguatan dari SBR majemuk dapat dilihat pada Tabel 8. di bawah ini :

Tabel 8.
Klasifikasi Tanah Liat Keras, Lunak dan Kalsium Karbonat

	Hard clay	Soft clay	GCC
Median particle size, μm	0,3	1,2	3,0
Bet surface area, m^2/g	23	16	3
Hardness, shore A	61	62	5,3
M300, Mpa	3,2	2,8	1,2
Tensile, Mpa	12,6	8,8	1,6
Die A Tear, kN/m	24,6	20,2	5,3

Sumber Vanderbit company 2015

Tanah liat keras lebih digunakan dari pada tanah liat lunak atau lembut dalam pengisi karet karena efek semi-memperkuat dan biaya utilitas rendah sebagai pelengkap pengisi lainnya. Hal ini digunakan untuk meningkatkan tarik yang dan modulus senyawa kalsium karbonat tanah dan akan menggantikan untuk Sebagian dari karbon hitam yang harganya lebih mahal, seperti yang terlihat di sini, atau silika yang diendapkan di senyawa tertentu, tanpa mengurangi sifat fisiknya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9.
Spesifikasi Tanah Keras

N990 Black	100 phr		
Hard Clay		130 phr	104 phr
N650 Black			20 phr
Hardness	70	70	78
M300, Mpa	5,3	1,9	7,0
Tensile, Mpa	10,0	14,2	18,6
Die C Tear, Kn/M	14	16	18
Abrasion Index	23	27	27

Sumber Vanderbit company 2015

Penelitian ini Volume filler sama menunjukkan keuntungan dari tanah liat keras, sebagai lawan ke tanah kalsium karbonat, dalam menggantikan sebagian dari endapan silika tanpa secara signifikan mengurangi sifat senyawa yang datanya dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10.
Keuntungan Tanah Keras

150 m ² /g	45 phr	30 phr	30 phr
Hard clay	-	23 phr	-
GCC			23 phr
Hardness	66	65	65
M300,Mpa	3,6	3,1	3,1
Tensile, Mpa	20,5	20,9	20,4
Trouser Tear,kN/m	27	25	8
Abrasion Index	68	67	48

Sumber Vanderbilt company 2015

Aplikasi Bahan Pengisi Karet untuk Vulkanisat Karet

- a. Untuk pembuatan sarung tangan lateks.
- b. Untuk bantalan mesin
- c. Untuk membungkus kabel listrik
- d. Untuk bahan sol sepatu.
- e. Untuk membuat ban kendaraan sepeda, mobil, motor, pesawat terbang dan sebagainya.

2.4 Scanning Electronic Microscopy (SEM)

2.4.1 Sejarah Scanning Electronic Microscopy (SEM)

Maranatha (2012), konsep awal yang melibatkan teori pemindaian mikroskop elektron pertama kali diperkenalkan di Jerman (1935) oleh M. Knoll. Konsep standar dari SEM moderen dibangun oleh von Ardenne pada tahun 1938 yang menambahkan kumparan scan untuk mikroskop elektron transmisi. Desain SEM telah diubah cukup dengan Zworykin dkk. pada tahun 1942 saat bekerja untuk RCA Laboratorium di Amerika Serikat. Desain itu lagi kembali di rancang oleh CW Oatley pada tahun 1948 seorang profesor di *Universitas Cambridge*.

Sejak itu ada banyak kontribusi penting lainnya yang telah sangat ditingkatkan dan dioptimalkan kerja dari scanning mikroskop elektron moderen.

Razi (2012), cara kerja SEM yaitu dengan memindai sinar halus fokus elektron ke sampel. Elektron berinteraksi dengan komposisi molekul sampel. Energi dari elektron berinteraksi ke sampel secara langsung sebanding dengan jenis interaksi elektron yang dihasilkan dari sampel. Serangkaian energi elektron yang terukur dapat dianalisis oleh mikroprosesor canggih yang menciptakan pseudo Gambar tiga dimensi atau spektrum elemen unik dari sampel yang dianalisis.

Sepanjang sejarah banyak fisikawan, matematikawan, dan ahli kimia mempelajari banyak elemen bumi. Beberapa nama ilmuannya sebagai berikut:

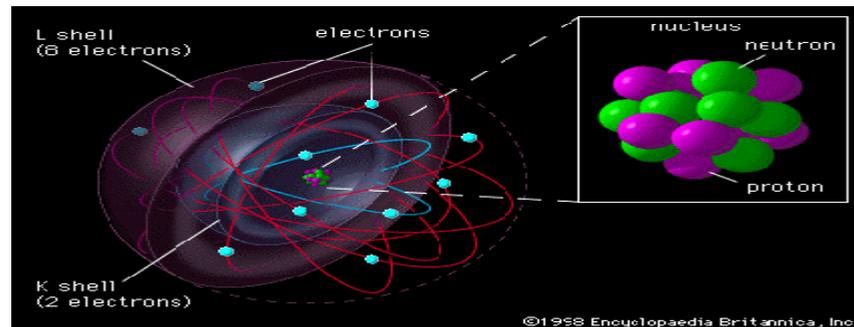
- a. Georg Bauer seorang metalurgi abad keenam belas.
- b. Robert Boyle (1627-1691) yang hati-hati mengukur hubungan antara tekanan dan volume gas.
- c. George Stahl (1660-1734) yang mendalilkan bahwa zat terbakar dibawah wadah tertutup akhirnya berhenti membakar, istilah yang ia sebut "phlogiston".
- d. Joseph Priestly (1733-1804) adalah orang pertama yang menemukan oksigen atau yang ia sebut sebagai "*dephlogisticated* udara".
- e. Antoine Lavoisier (1743-1794) yang menemukan hukum kekekalan massa.
- f. Joseph Proust (1754-1826) yang menunjukkan bahwa senyawa yang diberikan selalu mengandung persis proporsi yang sama dari elemen berat, ini juga dikenal sebagai Hukum Proporsi *Definite*.
- g. Ini adalah karya Proust yang terinspirasi John Dalton (1766-1844) untuk mengembangkan hipotesis ke dalam "Hukum beberapa proporsi":

“ Ketika dua elemen membentuk serangkaian senyawa, rasio massa dari elemen kedua yang menggabungkan dengan 1 gram elemen pertama selalu dapat dikurangi menjadi jumlah kecil secara keseluruhan.”

Maranatha (2012), seorang ahli kimia Rusia bernama Dmitri Mendeleev (1834-1907) mengatur 63 unsur yang dikenal ke dalam Tabel berdasarkan massa

atom. Susunan elemen akhirnya berubah menjadi Tabel periodik moderen dari elemen yang digunakan di seluruh dunia. Melalui kerja keras dari orang-orang ini, sejumlah besar informasi disusun dan diuji untuk membangun prinsip-prinsip yang mendasari dasar yang dapat di gunakan saat ini dalam pengembangan mikroskop elektron scanning moderen. Unit ilmiah standar Massa tetap jumlah atom digunakan untuk menangani atom dalam jumlah makroskopik dalam mol. Jumlah atom dalam mol disebut bilangan *Avogadro* yang nilainya sekitar 6×10^{23} . Massa atom dari unsur dinyatakan dalam *dalton*, atau sering dinamakan unit massa atom (Amu) adalah jumlah gram dalam satu mol elemen. Percobaan awal dengan elektron dan karakteristik fisik telah menyebabkan ilmuwan untuk memodifikasi pemahaman dasar fisika yang mereka miliki. Sebelum kemajuan teknologi moderen, banyak ilmuwan harus menjelaskan perilaku fisik berdasarkan interaksi kimia yang terlihat dengan mata telanjang. Ketika prinsip radiasi elektro magnetik pertama kali diperkenalkan, konsep itu yang paling mudah dijelaskan sebagai gelombang yang melakukan perjalanan dalam panjang dan frekuensi tertentu. Kemudian percobaan menunjukkan bahwa cahaya dan sinar-x adalah partikel yang sebenarnya yang dapat dideteksi. Singkatnya, sinar-x dianggap baik sebagai gelombang dan partikel. Dengan definisi yang lebih khusus, sinar-x adalah paket kecil dari gelombang elektromagnetik yang disebut kuantum atau partikel yang disebut *foton*.

Dmitri Mendeleev (1834-1907), setiap elemen terdiri dari bagian inti dan kulit luar yang mengelilingi elektron (Gambar 11). Inti atau nilai Z adalah berat gabungan dari partikel bermuatan positif (proton) dan partikel bermuatan negatif (neutron). Untuk Elektron bermuatan negatif masing-masing hanya memiliki 0,05% berat proton bagian inti. Elektron yang mengelilingi inti atom memiliki beberapa serangkaian tingkatan. Setiap tingkat atau *shell* ditunjuk K, L, M dan sebagainya tergantung pada hubungannya dengan inti atom. *K shell* lebih dekat dengan inti dan masing-masing *shell* tambahan lebih jauh.



Gambar 11. bagian inti dan kulit luar yang mengelilingi elektron
Sumber (Goldstein dkk. 1981).

Jumlah elektron yang mengelilingi atom tergantung pada berat molekul atom itu. Misalnya, helium ($Z = 2$) hanya memiliki dua elektron di kulit K; Emas ($Z = 79$) memiliki dua elektron K, L 8 elektron, 18 M elektron, 32 N elektron, 18 O elektron dan 1 P elektron.

Setiap elektron memiliki beberapa nomor kuantum yang unik mendefinisikan dan menentukan *shell*. Tabel bilangan kuantum dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11.
Bilangan Kuantum dan Penentuan Shell

No	Nama	Penjelasan	Catatan
N	bilangan kuantum utama	elektron shell (1=K, 2=L, 3=M...)	Prinsip mengikat energi.
L	bilangan kuantum azimut	Bentuk elektron (0=sphere, 1=dumbbell...)	Orbital momentum sudut. Kimiawan mengikuti konvensi spektroskopi menggunakan huruf optik dari pada angka untuk menunjukkan nilai l: tajam (l = 0), kepala sekolah, (l = 1), diffuse (l = 2), dan fundamental (l = 3).
M	Bilangan kuantum magnetik	Orientasi <i>shell</i> elektron ketika dalam medan magnet	Dengan tidak adanya medan magnet luar, jumlah magnet tidak memiliki arti dan akan diabaikan dalam pembahasan berikutnya.
S	Putaran bilangan kuantum	Arah putaran elektron	Searah jarum jam atau berlawanan

J	Presisi dalam	Total momentum sudut	Sebagaimana dicatat di bawah nilai yang diijinkan, untuk orbital s (dengan $l = 0$), j hanya menjadi $+ \frac{1}{2}$ (jumlah vektor selalu positif). Nilai j penting untuk menentukan transisi yang mungkin terjadi.
---	---------------	----------------------	---

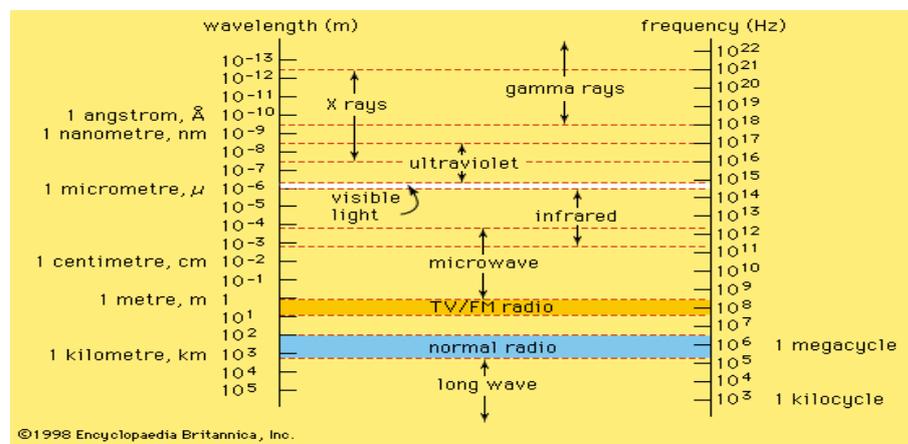
Sumber (Goldstein, dkk., 1981)

SEM memiliki kemampuan untuk menganalisis sampel tertentu dengan memanfaatkan salah satu metode yang disebutkan di atas. Sayangnya, setiap jenis analisis dianggap merupakan aksesoris perangkat tambahan untuk SEM. Aksesoris yang paling umum dilengkapi dengan SEM adalah dispersif energi detektor x-ray atau EDX (kadang-kadang dirujuk sebagai EDS). Jenis detektor memungkinkan pengguna untuk menganalisis komposisi molekul sampel.

(Goldstein, dkk. 1981), Pada tahun 1895 Wilhelm Conrad Roentgen seorang fisikawan Jerman yang pertama menemukan deteksi yang dikenal dengan sinar-x yang ditemukannya secara tidak sengaja saat mempelajari sinar katoda dalam tegangan tinggi, tabung debit gas (Hal itu diketahui bahwa ketika katoda dari sebuah sirkuit listrik dipanaskan dalam ruang hampa dengan beda potensial yang besar diterapkan antara katoda dan anoda, kemudian ada gelombang bergerak antara dua elektroda. Awalnya ini dianggap gelombang elektromagnetik, sehingga mereka disebut sinar katoda, *JJ Thompson* (1856-1940) menciptakan sinar katoda tabung-CRT dasar untuk monitor komputer dan televisi). Karena alasan tersebut, *Wilhelm Conrad Roentgen* menciptakan istilah "x-radiasi". Panjang gelombang elektromagnetik sinar-x sekitar 01-100 *angstrom* (disingkat Å) adalah salah satu dari sepuluh-miliar ($1/10000000000$) meter. Sebuah langkah atom hidrogen sekitar 1 \AA di.

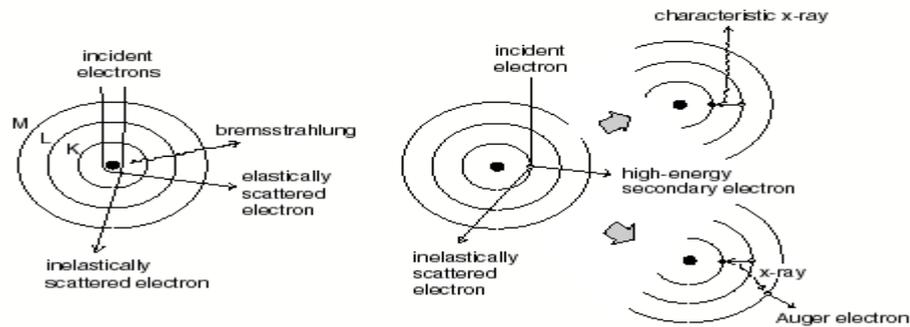
(Goldstein, dkk. 1981), pada tahun 1925 Pierre-Victor Auger fisikawan perancis Fenomena ini terjadi ketika sebuah elektron dilepaskan dari salah satu inti orbit dalam sehingga menghasilkan dua bagian elektron dari atom residu dan kemudian diulang untuk menghasilkan bagian yang baru atau *x-ray* yang untuk di pancarkan. Jenis elektron yang akan dibahas adalah elektron energi tingkat rendah yang dikenal sebagai efek *Auger*. Efek *Auger* pertama kali diamati pada tahun

1925 oleh Fisikawan Perancis Perlu dicatat bahwa spesifikasi deteksi *Auger* elektron atau *yield Auger* yaitu untuk elemen tertentu dengan nomor atom menurun. Sebagai contoh, emisi sinar-x dan *Auger* elektron dari seng (nomor atom 30) adalah sama. Jenis analisis dikembangkan di *late*1960 dan disebut *Auger* Spektroskopi atau AES. Teknik ini berguna dalam mempelajari komposisi lapisan permukaan secara kualitatif dan kuantitatif suatu senyawa, elemen atau partikel sub-atomik yang dikenal sebagai *muon*.



Gambar 12. frekuensi sinar-x
Sumber (Goldstein dkk. 1981).

X-ray memiliki karakteristik elektron energi tinggi yang dihasilkan dari pengontakan antara energi elektron dari kulit terluar sampai pada kulit paling dalam sebuah atom. Elektron dari kulit terluar bergerak menuju *shell* kosong kemudian memancarkan energi yang disebut foton atau energi radiasi elektromagnetik yang spesifik untuk setiap elemen dalam Tabel periodik. Perlambatan elektron ketika berinteraksi dengan sampel atau melewati bidang inti atom diukur dan dikenal sebagai *bremstrahlung*. Kehilangan energi tergantung pada tegangan insiden elektron dan sudut insiden. Perhitungan yang tepat untuk nilai-nilai tertentu dari energi yang dihitung dengan menggunakan proses Teori *Hartree* dan *Bethe*. Data tersebut diekstrapolasi dari rumus matematika melalui pengolahan mikro menjadi spektrum yang dibaca untuk analisis. *Bremstrahlung* adalah Sumber utama dari sinar X yang dihasilkan oleh diagnostik tabung X-ray.

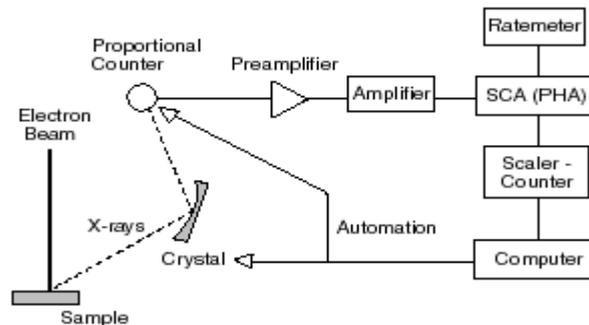


Gambar 13. ilustrasi bremsstrahlung
Sumber (Goldstein dkk. 1981).

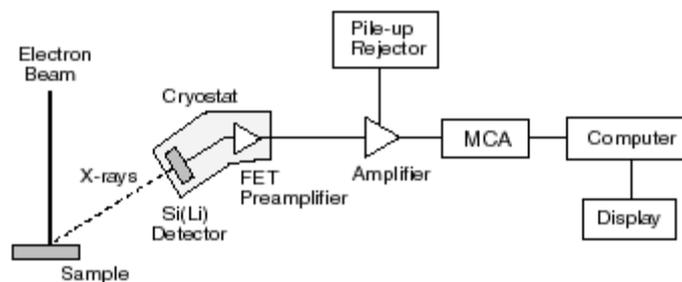
Gambar 13 adalah sebuah ilustrasi dari model klasik yang menunjukkan hasil dari *bremsstrahlung*, karakteristik sinar-X, dan *Auger* elektron. Pada bagian sebelah kiri elektron tersebar elastis dan *inelastic* oleh inti bermuatan positif. Elektron *inelastic* tersebar dan terjadi kehilangan energi, yang muncul sebagai *bremsstrahlung*. Elektron elastis tersebar (termasuk *backscattered elektron*) umumnya tersebar melalui sudut yang lebih besar dari penyebaran elektron *inelastic*. Pada bagian sebelah kanan Sebuah elektron *insiden* mengionisasi sampel atom dengan mendorong elektron dari dalam *shell* (K *shell*). De-eksitasi menghasilkan karakteristik X-radiasi pada bagian atas atau sebuah elektron Auger pada bagian bawah.

(Goldstein, J. I., dkk. 2003) Deteksi dan pengukuran sinar-x dipindai dengan mikroskop elektron *performed* oleh detektor *solid-state* yang juga biasa disebut dengan *Semiconductor Radiasi Detector*, dalam detektor radiasi ini bahan semikonduktor pendeteksi yang digunakan yaitu silikon atau germanium kristal. Dalam perangkat yang berbeda, penyerapan radiasi pengion menghasilkan muatan (elektron dan situs elektron-kekurangan yang disebut lubang) di blok bahan semikonduktor, perpindahan ini terjadi di bawah pengaruh tegangan operasi yang di pertahankan. Sensitivitas detektor ini meningkat dengan operasi mereka pada suhu rendah (biasanya yang dari nitrogen cair, $-164\text{ }^{\circ}\text{C}$ [-263°F]) untuk menekan pembentukan acak pembawa muatan oleh getaran termal. Pulsa tersebut diperkuat, dicatat, dan dianalisis untuk menentukan energi, nomor, atau identitas dari partikel bermuatan insiden.

(Goldstein, J. I., dkk. 2003), sistem dari dispersi energi (EDS) dan panjang gelombang dispersif (WDS) keduanya memiliki keuntungan dan kerugian. Perbedaan utamanya yaitu dapat diketahui dari efisiensi detektor dan resolusi. Diagram skematik yang menunjukkan komponen-komponen dari sistem WDS dan EDS ditunjukkan pada Gambar A dan B.



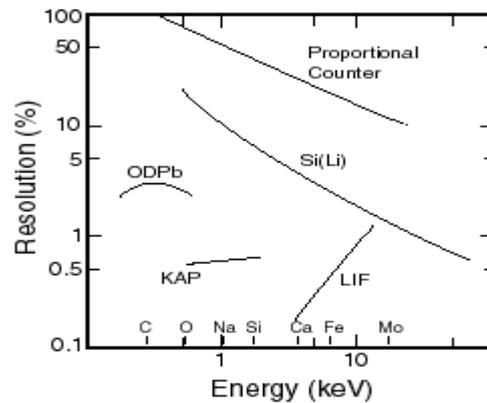
Gambar 14. Skema representasi spektrometer panjang gelombang-sebar
Sumber (Goldstein dkk. 1981).



Gambar 15. Schematic representation of an energi-dispersive spectrometer
Sumber (Goldstein dkk. 1981).

Efisiensi keseluruhan sinar-X yang dihasilkan untuk kedua WDS ($<0,2\%$) dan EDS ($> <2\%$), dengan EDS lebih baik karena detektor lebih dekat dengan sampel. Dalam sistem WDS sekitar 30% dari sinar-X memasuki detektor sebenarnya dihitung, sedangkan dalam sistem EDS sekitar 100% dari sinar-X insiden dihitung. Sebagai akibatnya, ukuran yang sangat minimum dari analisa menghasilkan spot lebih besar untuk WDS yaitu sekitar 2 m. Efisiensi yang lebih besar dari EDS memungkinkan penggunaan diameter balok sekecil 50 \AA ($0,05 \text{ m}$). $> <0,2\%$) dan EDS ($<2\%$). Sistem EDS adalah lebih baik karena detektor terletak

dekat dengan sampel. Namun, resolusi sistem WDS jauh lebih unggul (Gambar 16).



Gambar 16. perbandingan resolusi
Sumber (Goldstein dkk. 1981).

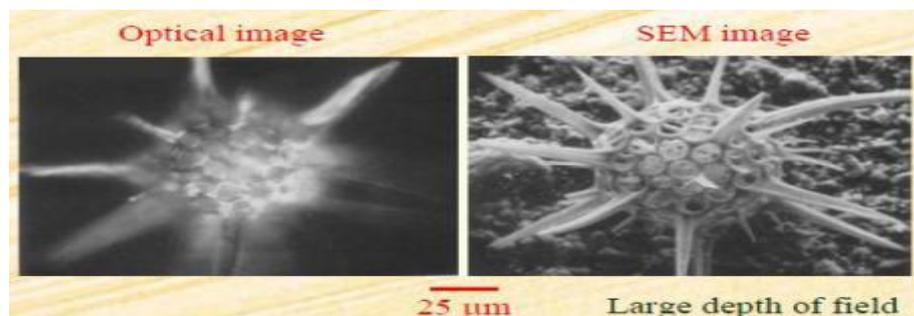
(Maurice, dkk. 1979), Gambar 16 Perbandingan resolusi *counter proportional*, SI (LI) detektor semikonduktor, dan beberapa kristal menganalisis. Perhatikan bahwa sumbu yang logaritmik. Sesaat kisaran penerimaan spektral sangat berbeda antara kedua sistem. WDS spektrometer hanya dapat memeriksa bagian dari spektrum yang mereka posisikan, sedangkan di EDS seluruh rentang energi yang berguna dapat diperiksa secara bersamaan. Akhirnya, artefak spektral yang dihasilkan oleh sinar-X liar dan elektron yang lebih jarang dengan WDS. EDS detektor terletak dekat dengan sampel menerima banyak sinar X, elektron dan menderita distorsi puncak, pelebaran puncak, penyerapan, dan fluoresensi Si internal.

2.4.2 Klasifikasi Scanning Electronic Microscopy (SEM)

Razi (2012), untuk mengetahui morfologi senyawa padatan dan komposisi unsur yang terdapat dalam suatu senyawa dapat digunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). *Scanning Electron Microscope* adalah suatu tipe mikroskop electron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses *scan* dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari electron dalam suatu pola *scan raster*. *Electron* berinteraksi dengan atom – atom yang membuat sampel

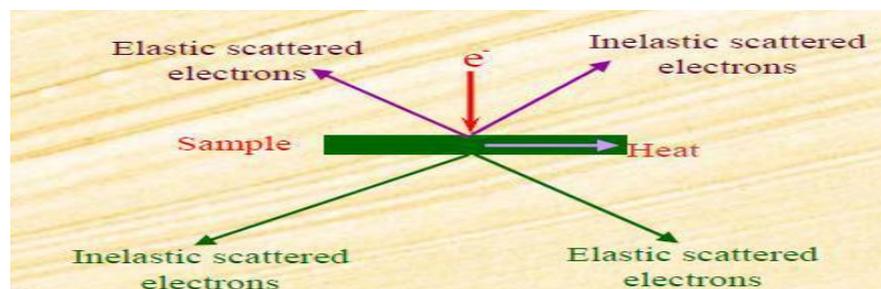
menghasilkan sinyal yang memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampai, komposisi dan sifat – sifat lainnya seperti konduktivitas listrik.

Reimer, L. (1985), SEM dapat mengamati struktur maupun bentuk permukaan yang berskala lebih halus, Dilengkapi Dengan EDS (*Electron Dispersive X ray Spectroscopy*) dan Dapat mendeteksi unsur-unsur dalam material. Juga Permukaan yang diamati harus penghantar electron. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm. Di bawah ini diberikan perbandingan hasil Gambar mikroskop cahaya dengan elektron.



Gambar 17. perbandingan hasil mikroskopi cahaya dengan SEM
(Sumber: Vick Guo, 2009)

Disamping itu dengan menggunakan elektron kita juga bisa mendapatkan beberapa jenis pantulan yang berguna untuk keperluan karakterisasi. Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan yaitu pantulan elastis dan pantulan non elastis seperti pada Gambar 18.



Gambar 18. pantulan elastis dan pantulan non elastis
(Sumber: Vick Guo, 2005)

Maranatha (2012), pada sebuah mikroskop elektron (SEM) terdapat beberapa peralatan utama antara lain:

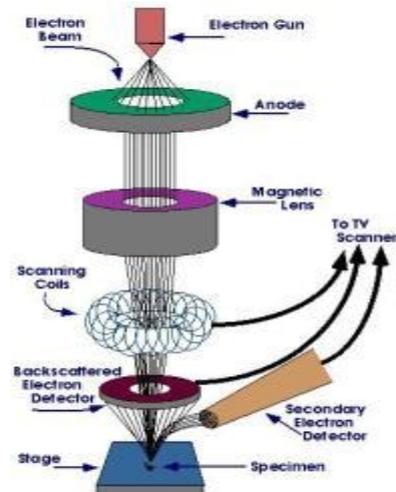
- a. Pistol elektron, biasanya berupa filamen yang terbuat dari unsur yang mudah melepas elektron misal tungsten.
- b. Lensa untuk elektron, berupa lensa magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet.
- c. Sistem vakum, karena elektron sangat kecil dan ringan maka jika ada molekul udara yang lain elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi sangat penting.

Aneka kimia (2011), SEM mempunyai *depth of field* yang besar, yang dapat memfokus jumlah sampel yang lebih banyak pada satu waktu dan menghasilkan bayangan yang baik dari sampel tiga dimensi. SEM juga menghasilkan bayangan dengan resolusi tinggi, yang berarti mendekati bayangan yang dapat diuji dengan perbesaran tinggi. Kombinasinya adalah perbesaran yang lebih tinggi, *dark field*, resolusi yang lebih besar, dan komposisi serta informasi kristallografi. Sem terdiri dari *electron optic columb* dan *electron console*. sampel sem ditempatkan pada *specimen chamber* dibawah *electron optic colomb* dengan tingkat kevakuman yang tinggi yaitu sekitar 2×10^{-6} Torr. Sinar *electron* yang dihasilkan dari electron gun akan dialirkan hingga mengenai sampel. Aliran sinar electron ini akan melewati *optic columb* yang berfungsi untuk memfokuskan sinar *electron* hingga mengenai sampel tersebut. Pada pengambilan data dengan alat SEM-EDX, sampel bubuk yang telah diletakkan di atas *specimen holder* dimasukkan kedalam *specimen chamber*, kemudian dimasukkan dalam alat SEM-EDX dan alat siap untuk dioperasikan. Dalam pengukuran SEM-EDX untuk setiap sampel dianalisis dengan menggunakan analisis area. Sinar *electron* yang dihasilkan dari area gun dialirkan hingga mengenai sampel. Aliran sinar electron ini selanjutnya di fokuskan menggunakan *electron optic columb* sebelum sinar *electron* tersebut membentuk atau mengenai sampel. Setelah sinar electron membentuk sampel, akan terjadi beberapa interaksi – interaksi pada sampel yang disinari. Interaksi – interaksi yang terjadi tersebut selanjutnya akan dideteksi dan di ubah ke dalam sebuah Gambar oleh analisis SEM dan juga dalam bentuk grafik

oleh analisis EDX. Pada pengukuran SEM –EDX untuk setiap sampel dilakukan Pada kondisi yang sama yaitu dengan menggunakan alat SEM – EDX tipe JEOL JSM-6360LA yang memiliki beda tegangan sebesar 20 kv dan arus sebesar 30 mA. Pada pengukuran SEM-EDX setiap sampel digunakan dengan menggunakan analisis area. Sinar Electron yang dihasilkan dari *electron gun* dialirkan hingga mengenai *specimen* sampel aliran sinar *electron* ini selanjutnya difokuskan menggunakan *electron optic colum*, sebelum sinar electron mengenai sampel. Setelah sinar electron mengenai sampel maka akan terjadi interaksi pada sampel yang disinari. Interaksi – interaksi yang terjadi tersebut selanjutnya akan dideteksi dan diubah kedalam sebuah Gambar oleh analisis SEM dan juga dalam bentuk Grafik oleh Analisis EDX. Hasil analisa atau keluaran dari analisis SEM-EDX yaitu berupa Gambar struktur permukaan dari setiap sampel dengan karakteristik Gambar 3-D serta grafik hubungan antara energi(keV) pada sumbu horizontal dengan cecahan pada sumbu pertikal dari keluran ini dapat diketahui unsur – unsur atau mineral yang terkandung dibawah sampel tersebut, yang mana keberadaan unsur atau mineral tersebut dapat ditentukan atau diketahui berdasarkan nilai energi yang dihasilkan pada saat penembakan sinar electron primer pada sampel.

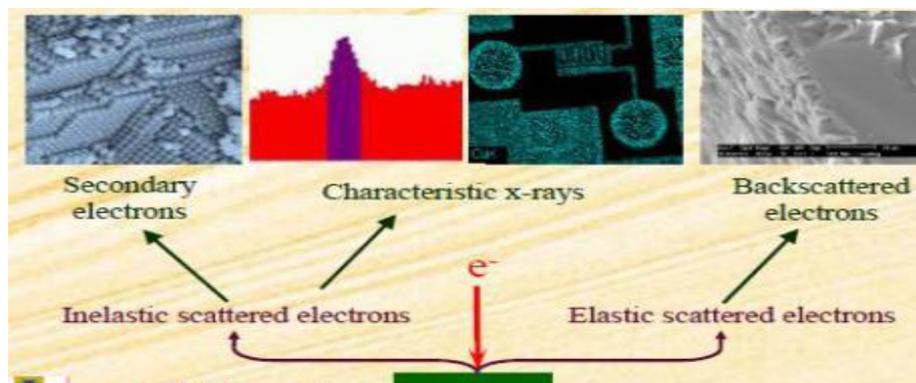
2.4.3 Prinsip dan Proses Kerja Scanning Electronic Microscopy (SEM)

Egerton ,R.F. (2005), Secara lengkap skema alat SEM dijelaskan pada Gambar 19.



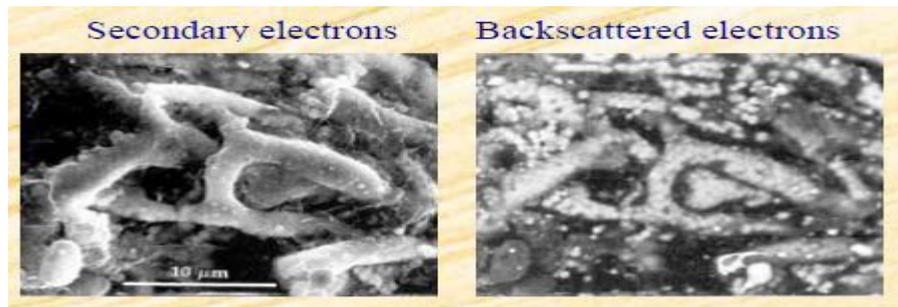
Gambar 19. prinsip kerja sem
(Sumber:iastate.edu)

Ada beberapa sinyal yang penting yang dihasilkan oleh SEM. Dari pantulan inelastis didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal backscattered electron. Sinyal - sinyal tersebut dijelaskan pada Gambar 20.



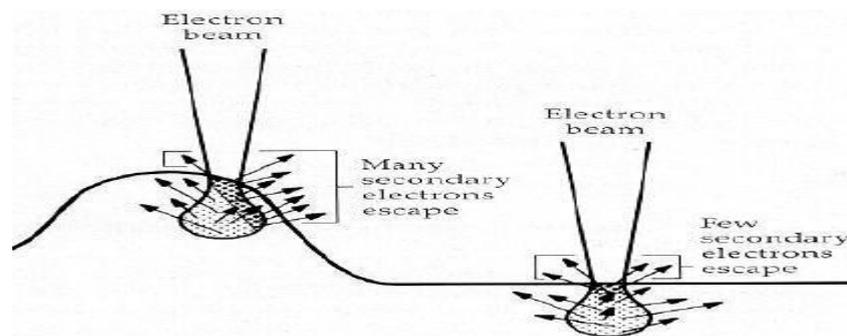
Gambar 20. signal backscattered
(Sumber: umich.edu)

Perbedaan Gambar dari sinyal elektron sekunder dengan *backscattered* adalah elektron sekunder menghasilkan topografi dari benda yang dianalisa dan permukaan yang tinggi berwarna lebih cerah dari permukaan rendah. Sedangkan *backscattered* elektron memberikan perbedaan berat molekul dari atom – atom yang menyusun permukaan atom dengan berat molekul tinggi akan berwarna lebih cerah dari pada atom dengan berat molekul rendah. Contoh perbandingan Gambar dari kedua sinyal ini disajikan pada Gambar di bawah ini.



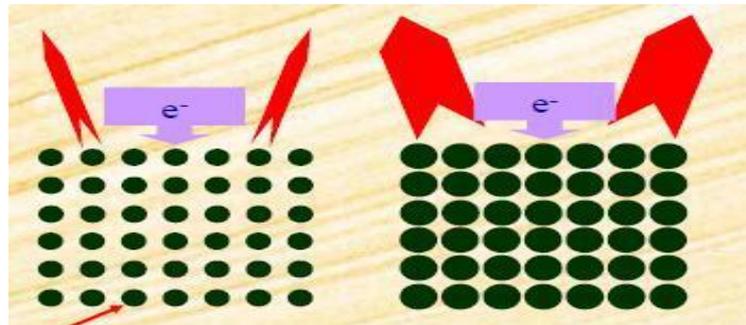
Gambar 2.1 perbandingan backscattered dan secondary electrons
(Sumber: umich.edu)

Mekanisme kontras dari elektron sekunder dijelaskan dengan Gambar di bawah ini. Permukaan yang tinggi akan lebih banyak melepaskan elektron dan menghasilkan Gambar yang lebih cerah dibandingkan permukaan yang rendah atau datar.



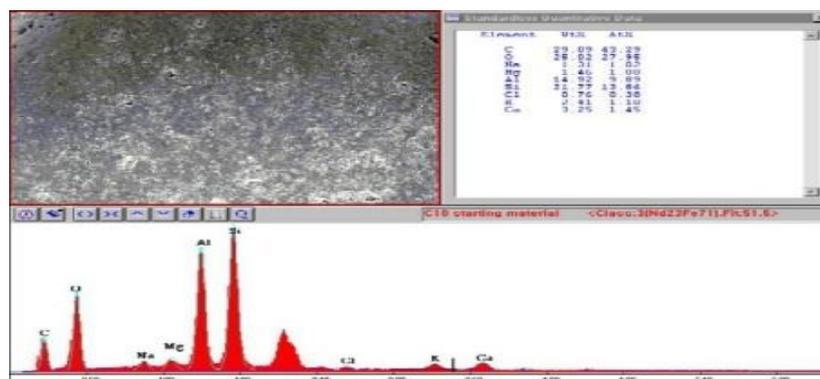
Gambar 22. mekanisme kontras secondary electrons
(Sumber: Vick Guo, 2005)

Sedangkan mekanisme kontras dari *backscattered* elektron dijelaskan dengan Gambar di bawah ini yang secara prinsip atom – atom dengan densitas atau berat molekul lebih besar akan memantulkan lebih banyak elektron sehingga tampak lebih cerah dari atom berdensitas rendah. Maka teknik ini sangat berguna untuk membedakan jenis atom.

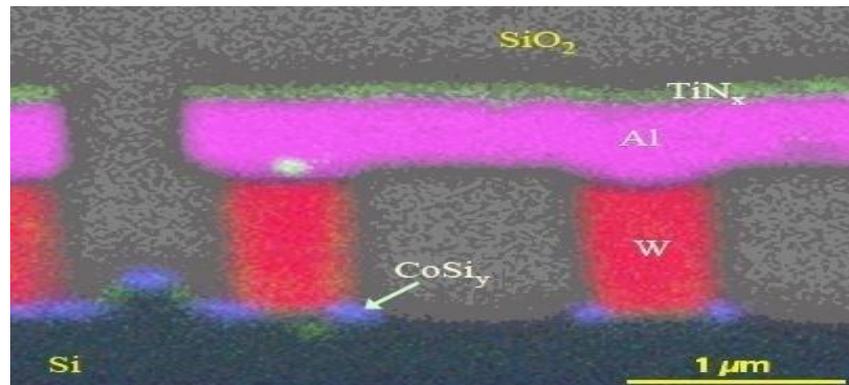


Gambar 23. mekanisme kontras backcattered
(Sumber: Vick Guo, 2005)

Namun untuk mengenali jenis atom dipermukaan yang mengandung multi atom para peneliti lebih banyak menggunakan teknik EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*). Sebagian besar alat SEM dilengkapi dengan kemampuan ini, namun tidak semua SEM punya fitur ini. EDS dihasilkan dari Sinar X yaitu dengan menembakkan sinar X pada posisi yang ingin kita ketahui komposisinya. Maka setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak – puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung dalam suatu senyawa atau zat. Dengan EDS kita juga bisa membuat elemental *mapping* (pemetaan elemen) dengan memberikan warna berbeda – beda dari masing – masing elemen di permukaan bahan. EDS bisa digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase masing – masing elemen. Contoh dari aplikasi EDS diGambarkan pada Gambar 24 dan 25.



Gambar 24. aplikasi EDS
(Sumber: MaterialCerdasIndoneisa.com)

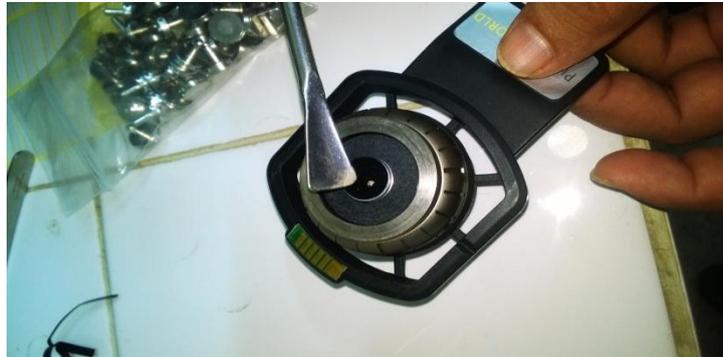


Gambar 25. perbesaran apliaksi EDS
(Sumber: unich.edu)

Ray Egerton (2005), cara kerja SEM yaitu sebelum melakukan analisa dilakukan persiapan sampel terlebih dahulu dimana dalam perisapan sampel bahan – bahan yang bersifat konduktor maka hanya perlu dilekatkan pada *sample holder* yang terbuat dari logam. Biasanya pemegang sampel ini dapat dipakai untuk menempatkan 4 sampel berbeda sekaligus sehingga ketika menganalisa tidak perlu membuka dan menutup SEM setiap akan ganti sampel. Biasanya sampel dilekatkan dengan bantuan selotip karbon. Contoh dari selotip karbon adalah seperti di Gambar 26. Untuk sampel berupa serbuk. Setelah ditempel selotip karbon maka serbuk ditebarkan pada permukaan selotip dan sisa serbuk yang tidak dapat menempel harus dibersihkan sehingga tidak mengganggu alat vakum (*dush off*) dalam SEM ketika analisa. Adapun Gambar dari sampel holder yang telah ditempel selotip dan diberi serbuk yang akan dianalisa dapat dilihat pada Gambar 27.



Gambar 26. isolatip carbon
Sumber: Laboratorium Teknik Kimia (POLSRI) 2015



Gambar 27. Sampel holder + isolatip+sampel
Sumber: Laboratorium Teknik Kimia (POLSRI) 2015

Sudarman dkk. (2011), jenis sampel yang dapat dianalisa yaitu:

- a. Sampel padat logam, bubuk kimia, kristal, polymers, plastik, keramik, fosil, butiran karbon, campuran partikel logam, sampel arkeologi.
- b. Sampel biologi seperti sel darah, produk bakteri, fungal, ganggang, benalu dan cacing.

keunggulan SEM adalah sebagai berikut:

- a. Daya pisah tinggi

Dapat Ditinjau dari jalannya berkas media, SEM dapat digolongkan dengan optik metalurgi yang menggunakan prinsip refleksi, yang diarti sebagai permukaan spesimen yang memantulkan berkas media.

- b. Menampilkan data permukaan spesimen

Teknik SEM pada hakekatnya merupakan pemeriksaan dan analisis permukaan. Data atau tampilan yang diperoleh adalah data dari permukaan atau lapisan yang tebalnya sekitar 20 mikro meter dari permukaan. Sinyal lain yang penting adalah *back scattered* elektron yang intensitasnya bergantung pada nomor atom, yang unsurnya menyatakan permukaan spesimen. Dengan cara ini diperoleh Gambar yang menyatakan perbedaan unsur kimia yang lebih tinggi pada nomor atomnya. Kemampuannya yang beragam membuat SEM populer dan luas penggunaannya, tidak hanya dibidang material melainkan juga dibidang biologi, pertanian, kedokteran, elektronika, mikroelektronika dan lain-lain.

c. Kemudahan penyiapan sampel

Spesimen untuk SEM dapat berupa material yang cukup tebal, oleh karena itu penyiapannya sangat mudah. Untuk pemeriksaan permukaan patahan (fraktografi), permukaan diusahakan tetap seperti apa adanya, namun bersih dari kotoran, misalnya debu dan minyak. Permukaan spesimen harus bersifat konduktif. Oleh karena itu permukaan spesimen harus bersih dari kotoran dan tidak terkontaminasi oleh keringat.

Sedangkan kelemahan dari teknik SEM antara lain:

- a. Memerlukan kondisi vakum.
- b. Hanya menganalisa permukaan.
- c. Resolusi lebih rendah dari TEM.
- d. Sampel harus bahan yang konduktif, jika tidak konduktor maka perlu dilapis logam seperti emas.