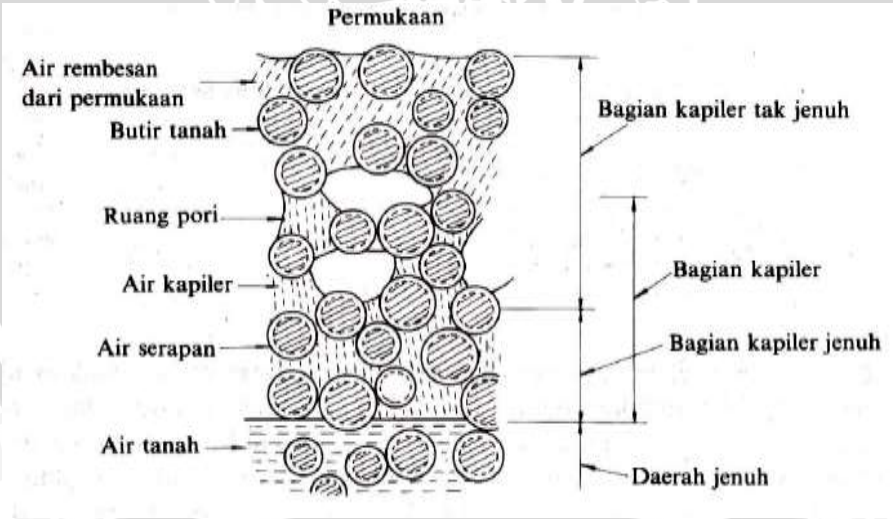
# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Permeabillitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan, yang berupa air atau minyak, mengalir lewat rongga porinya. Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya, sehingga air dapat mengalir dari titik yang mempunyai tinggi energi lebih tinggi, ke titik yang mempunyai tinggi energi lebih rendah. Untuk tanah pasir, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat suatu tanah pasir yang tampak dari bagaimana air dapat mengalir melalui tanah pasir tersebut.

Air yang terdapat di dalam tanah, dapat dibedakan atas air absorpsi yakni air yang diabsorpsi oleh permukaan butir-butir tanah, air kapiler yakni air yang tertahan dalam pori oleh tegangan permukaan, dan air gravitasi yakni air yang bergerak sepanjang pori oleh gravitasi. Air dalam tanah adalah air bebas dalam zone jenuh (*saturation zone*) yang selanjutnya dapat dibedakan atas air tanpa tekanan dengan permukaan yang bebas dan air tanah terkekang tanpa permukaan bebas (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000: 13).




Gambar 2.1. Air dalam tanah
Sumber: Sosrodarsono dan Nakazawa (2000:13)

Permeabilitas adalah kemampuan aliran fluida untuk mengalirkan melalui media lolos air. Angka permeabilitas dapat digunakan untuk (Braja M. Das, 1998: 79):

1. Mengevaluasi jumlah aliran rembesan yang melalui tubuh embung dan tanggul sampai pada sumber.
2. Mengevaluasi gaya angkat atau gaya rembesan di bawah struktur hidrolis untuk analisa stabilitas.
3. Merupakan kontrol terhadap kecepatan aliran rembesan sehingga partikel tanah berbutir halus tidak tererosi dari massa tanah.
4. Studi mengenai tingkat penurunan dimana perubahan volume tanah terjadi pada saat air terisi dari ruang pori tanah dan saat proses terjadinya suatu gradien energi tertentu.
5. Pengontrolan aliran rembesan dari tempat penimbunan bahan-bahan limbah dan cairan sisa yang mungkin berbahaya bagi manusia.

### 2.1.1 Koefisien Permeabilitas

Koefisien permeabilitas (k) tergantung dari jenis serta kerapatan tanah. Pada umumnya koefisien permeabilitas itu mempunyai harga yang sangat berbeda-beda, seperti yang tercantum pada Tabel 2.1. Permeabilitas tanah tergantung pada ukuran butir tanah. Semakin kecil ukuran butir tanah, maka semakin rapat pula sekat (rongga) antar butirnya, dan tentu saja semakin kecil pula kemampuan meloloskan airnya. Karena butiran tanah pasir pantai berukuran kecil, maka kemampuan meloloskan air juga kecil.

### 2.1.2 Penentuan Koefisien Permeabilitas di Laboratorium

Ada dua macam uji standar di laboratorium yang digunakan untuk menentukan harga koefisien rembesan suatu tanah, yaitu: uji tinggi konstan (*constant head*) dan uji tinggi jatuh (*falling head*). Uji tinggi konstan digunakan untuk tanah yang berbutir agak halus, sementara uji tinggi jatuh digunakan untuk tanah yang berbutir sangat halus. Uji tinggi jatuh umumnya digunakan untuk tanah dengan jenis lempung. Karena tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah pasir dengan butir halus, maka dari itu digunakan uji tinggi konstan sebagai penentuan koefisien permeabilitas di laboratoriumnya.

Tabel 2.1 Nilai Permeabilitas Pada Beberapa Jenis Tanah dan Batuan

| Type | Grain Size (mm) | K (m/day) |
|---|---|---|
| Clay | 0,0005 - 0,002 | $10^{-8} – 10^{-2}$ |
| Silt | 0,002 - 0,06 | $10^{-2} – 1$ |
| Fine Sand | 0,06 - 0,25 | 1 – 5 |
| Medium Sand | 0,25 - 0,50 | 5 – 20 |
| Coarse Sand | 0,50 - 2,00 | 20 – 100 |
| Gravel | 2,00 - 64,00 | 100 – 1000 |
| Shale | small | $5.10^{-8} – 5.10^{-6}$ |
| Sand Stone | medium | $10^{-3} – 1$ |
| Lime Stone | variable | $10^{-5} – 1$ |
| Basalt | small | 0,0003 – 3 |
| Granite | large | 0,0003 – 0,03 |
| Slate | small | $10^{-8} – 10^{-5}$ |
| Schist | medium | $10^{-7} – 10^{-4}$ |

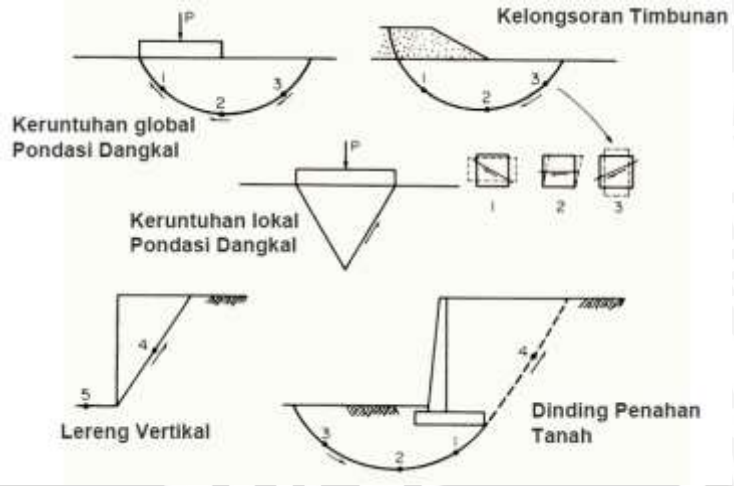
Sumber: Dickson E. L., Rasiah V., and Groenevelt P. H. (1990: 6762)

## 2.2 Kuat Geser Tanah

Keruntuhan dalam suatu bahan dapat terjadi akibat kombinasi kritis dari tegangan normal dan tegangan geser, dan bukan salah satu dari tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum.

Keamanan atau kenyamanan struktur yang berdiri di atas tanah tergantung pada kekuatan tanah dibawahnya. Jika tanah runtuh, maka struktur tersebut akan runtuh yang merenggut korban dan kerugian ekonomi. Kekuatan tanah yang dimaksud adalah kekuatan geser tanah (*shear strength*).

Kekuatan geser (*shear strength*) tanah merupakan gaya tahanan internal yang bekerja per satuan luas masa tanah untuk menahan keruntuhan atau kegagalan sepanjang bidang runtuh dalam masa tanah tersebut. Pemahaman terhadap proses dari perlawanan geser sangat diperlukan untuk analisis stabilitas tanah seperti kuat dukung, stabilitas lereng, tekanan tanah lateral pada struktur penahan tanah.




Gambar 2.2 Berbagai Pola Keruntuhan Kuat Geser Tanah
Sumber: *http://edwardpgultom.blogspot.com/2011/09/analisis-kestabilan-lereng-tanah.html*

## 2.3 Mikrobakteri yang Dapat Digunakan sebagai *Bioclogging* dan *Biocementation*

Mikrobakteri atau mikroba adalah organisme hidup yang berukuran sangat kecil dan hanya dapat diamati dengan menggunakan mikroskop. Mikrobakteri ada yang tersusun atas satu sel (uniseluler) dan ada pula yang tersusun atas beberapa sel (multiseluler). Walaupun Mikrobakteri uniseluler hanya tersusun atas satu sel, namun Mikrobakteri tersebut menunjukkan semua karakteristik organ hidup, yaitu dapat bergerak, bermetabolisme, bereproduksi, dan lain-lain.

Mikrobakteri terdapat dimana-mana, interaksinya dengan sesama mikrobakteri ataupun dengan organisme lain dapat berlangsung dengan cara yang aman dan menguntungkan maupun merugikan. Mikrobakteri cenderung diasosiasikan dengan penyakit-penyakit infeksi ataupun pembusukan makanan, akan tetapi mayoritas mikrobakteri justru memberikan kontribusi bagi kesinambungan ekosistem lingkungan hidup, khususnya bagi kesejahteraan manusia.

Mikrobakteri yang cocok untuk membuat *bioclogging* dan *biocementation* adalah mikrobakteri yang non-patogenik dan ramah lingkungan. Selain itu, tidak seperti penggunaan semen, tanah atau tanah yang tercemar bahkan dapat diobati atau ditingkatkan tanpa mengganggu tanah itu sendiri atau lingkungan disekitarnya, hal ini dikarenakan mikrobakteri dapat menembus dan

memperbanyak diri dalam tanah. Dari berbagai jenis bakteri yang dapat dijadikan *bioclogging* dan *biocementation*, diantaranya adalah:

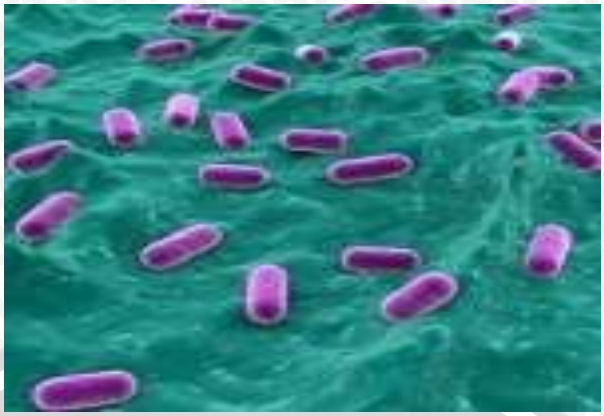
### 2.3.1 *Lactobacillus sakei*

*Lactobacillus sakei* adalah spesies bakteri dalam genus *Lactobacillus*. Ini adalah spesies *Lactobacillus* fakultatif heterofermentative (ditempatkan di Grup II, dengan spesies mampu menghasilkan baik alkohol atau asam laktat dari gula). Berikut adalah klasifikasi ilmiah dari *Lactobacillus sakei*.

Phylum : *Firmicutes*
Class : *Bacilli*
Order : *Lactobacillales*
Family : *Lactobacillaceae*
Genus : *Lactobacillus*
Species : *Lactobacillus sakei*

Genus bakteri ini membentuk sebagian besar dari kelompok bakteri asam laktat, dinamakan demikian karena kebanyakan anggotanya dapat mengubah laktosa dan gula lainnya menjadi asam laktat. Kebanyakan dari bakteri ini umum dan tidak berbahaya bagi kesehatan.

*Lactobacillus sakei* ini adalah termasuk bakteri yang dapat menghasilkan senyawa eksopolisakarida. Bakteri ini berbentuk batang, dapat tumbuh optimum pada kisaran suhu 30°C - 40°C dan dapat tumbuh pada kisaran 5°C - 35°C serta tumbuh pada pH kurang dari 5. Biasanya bakteri ini terdapat pada produk – produk susu fermentasi seperti yogurt dan keju. Gambar *Lactobacillus sakei* dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini.



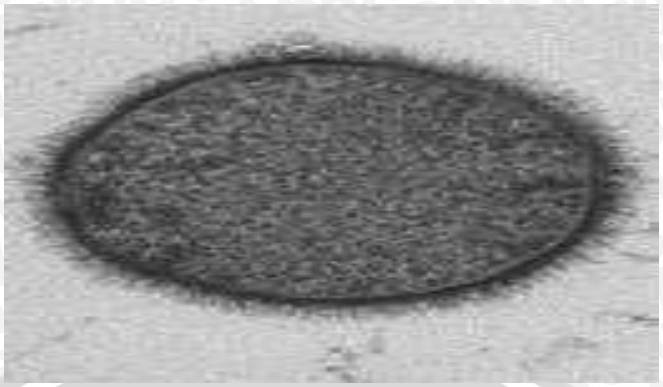
Gambar 2.3 *Lactobacillus sakei*
Sumber: *http://en.wikipedia.org/wiki/Lactobacillus_sakei*

### 2.3.2 *Bacillus subtilis*

*Bacillus subtilis*, yang dikenal juga sebagai basil jerami atau rumput basil, adalah gram-positif, bakteri dengan katalase-positif. *B. subtilis* berbentuk kokus dengan banyak flagela disekeliling tubuhnya, dan memiliki kemampuan untuk membentuk perisai, pelindung endospora, yang memungkinkan organisme untuk mentolerir kondisi lingkungan yang ekstrim. Ukuran bakteri ini berkisar antara 0,3 - 2,2 µm. Tidak seperti beberapa spesies terkenal lainnya, *B. subtilis* secara historis telah diklasifikasikan sebagai aerob obligat, meskipun penelitian terbaru telah menunjukkan bahwa hal ini tidak sepenuhnya benar. Bakteri ini umumnya ditemukan di tanah.

Berikut adalah klasifikasi ilmiah dari *Bacillus subtilis.*

| | | |
|---|---|---|
| Domain | : | *Bacteria* |
| Phylum | : | *Firmicutes* |
| Class | : | *Bacilli* |
| Order | : | *Bacillales* |
| Family | : | *Bacillaceae* |
| Genus | : | *Bacillus* |
| Species | : | *Bacillus subtilis* |



Gambar 2.4 *Bacillus subtilis*

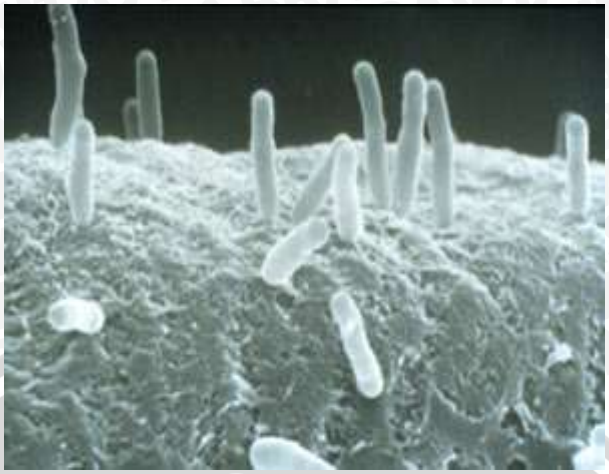
Sumber: *http://en.wikipedia.org/wiki/Bacillus_subtilis*

### 2.3.3 *Agrobacterium tumefaciens*

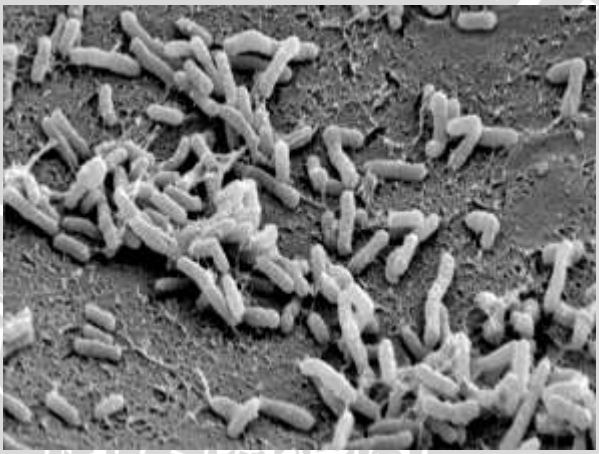
*Agrobacterium tumefaciens* (nama ilmiah diperbarui: *Rhizobium radiobacter)* adalah alphaproteobacterium keluarga Rhizobiaceae, berbentuk batang (basil), dan termasuk bakteri gram negatif. Suhu optimum untuk pertumbuhan adalah sekitar $26^0$ C. *Agrobacterium tumefaciens* berbentuk batang, berukuran 0,6 – 1,0 µm sampai 1,5 – 3,0 µm, dalam bentuk tunggal atau berpasangan. Kumpulan bakteri ini biasanya berbentuk cembung, bulat, lembut, dan tak berpigmen. Bakteri ini merupakan bakteri yang mudah bergerak (motile) serta merupakan bakteri tak berspora.

Berikut adalah klasifikasi ilmiah dari *Agrobacterium tumefaciens.*

Kingdom : *Bacteria*
Phylum : *Proteobacteria*
Class : *Alphaproteobacteria*
Order : *Rhizobiales*
Family : *Rhizobiaceae*
Genus : *Agrobacterium*
Species : *Agrobacterium tumefaciens*



Gambar 2.5 *Agrobacterium tumefaciens*-1
Sumber: *http://en.wikipedia.org/wiki/Agrobacterium_tumefaciens*



Gambar 2.6 *Agrobacterium tumefaciens*-2
Sumber: *http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Agrobacterium_tumefaciens*

### 2.3.4 *Pseudomonas sp*

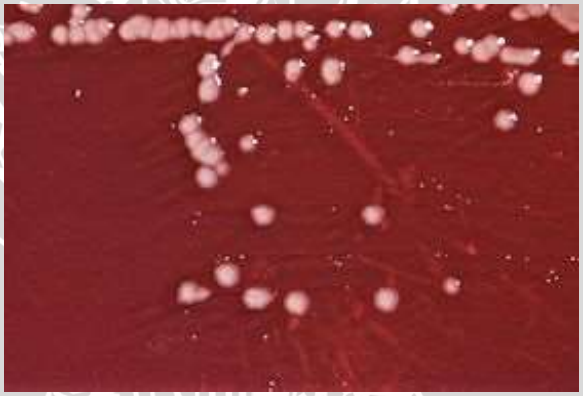
*Pseudomonas sp* merupakan bakteri hidrokarbonoklastik yang mampu mendegradasi berbagai jenis hidrokarbon. Bakteri ini ukuran tiap selnya 0,5-1,1 μm. Bakteri ini merupakan bakteri motil yaitu bakteri yang dapat begerak dengan satu atau beberapa flagel. Keberhasilan penggunaan bakteri Pseudomonas dalam upaya bioremediasi lingkungan akibat pencemaran hidrokarbon membutuhkan pemahaman tentang mekanisme interaksinya.

Kemampuan bakteri *Pseudomonas sp.* IA7D dalam mendegradasi hidrokarbon dan dalam menghasilkan biosurfaktan menunjukkan bahwa isolat bakteri Pseudomonas sp IA7D berpotensi untuk digunakan dalam upaya bioremediasi lingkungan akibat pencemaran hidrokarbon.

*Pseudomonas* ditemukan secara luas pada ekosistem tanah dan air, mendegradasi sejumlah besar senyawa organik, berinteraksi dengan tanaman dan berasosiasi didalam rizosfer yang bersifat menguntungkan di bidang pertanian dan sebagian lainnya dapat sebagai agen biokontrol yang mengontrol terhadap serangan fungi patogen pada tanaman.

Berikut adalah klasifikasi ilmiah dari *Pseudomonas sp.*

Domain : *Bacteria*
Phylum : *Proteobacteria*
Class : *Gammaproteobacteria*
Order : *Pseudomonadales*
Family : *Pseudomonadaceae*
Genus : *Pseudomonas*



Gambar 2.7 *Pseudomonas sp.*
Sumber: *http://en.wikipedia.org/wiki/Pseudomonas*

**2.3.5 *Nitrobacter sp***

*Nitrobacter* adalah genus dari sebagian besar berbentuk batang, gram negatif, dan chemoautotrophic bakteri. *Nitrobacter sp* dapat berupa batang berbentuk buah pir atau pleomorfik. Ukurannya berkisar antara 0,5-0,8 μm x 1,0-2,0 μm. *Nitrobacter* memiliki optimum pH antara 7,3 dan 7,5, dan akan mati dalam suhu melebihi 120 ° F (49 ° C) atau di bawah 32 ° F (0 ° C).

*Nitrobacter* memainkan peran penting dalam siklus nitrogen dengan mengoksidasi nitrit menjadi nitrat dalam tanah. Tidak seperti tanaman, di mana transfer elektron dalam fotosintesis menyediakan energi untuk fiksasi

karbon, *Nitrobacter* penggunaan energi dari oksidasi nitrit ion, $NO_2^-$, menjadi nitrat ion, $NO_3^-$ untuk memenuhi kebutuhan energi mereka. Nitrobacter perbaikan karbondioksida (melalui siklus Calvin) untuk kebutuhan karbon mereka.

Berikut adalah klasifikasi ilmiah dari *Nitrobacter sp.*

Kingdom : *Bacteria*
Phylum : *Proteobacteria*
Class : *Alpha Proteobacteria*
Order : *Rhizobiales*
Family : *Bradyrhizobiaceae*
Genus : *Nitrobacter*

Gambar 2.8 *Nitrobacter sp.*
Sumber: *http://en.wikipedia.org/wiki/Nitrobacter*

**2.4 Pertumbuhan dan Perkembangan Bakteri**

Bakteri yang dikembangkan dikembangkan dalam sebuah media yang sesuai dengan habitat bakteri akan mengalami pertumbuhan dan perkembangbiakan. Pertumbuhan bakteri dapat dibagi menjadi empat fase, yaitu:

1. Fase Adaptasi (Lag Phase)

   Merupakan periode penyesuaian diri bakteri terhadap lingkungan dan lamanya mulai dari satu jam hingga beberapa hari. Lama waktu ini tergantung pada macam bakteri, umur biakan, dan nutrien yang terdapat dalam medium yang disediakan. Pada fase ini bakteri beradaptasi dengan lingkungan, belum mampu mengadakan pembiakan, terapi metabolisme sel bakteri meningkat dan terjadi perbesaran ukuran sel bakteri.

2. Fase Pertumbuhan (Log Phase)

   Fase ini merupakan periode pembiakan yang cepat dan merupakan periode yang didalamnya dapat teramati ciri khas sel-sel yang aktif. Selama fase ini pembiakan bakteri berlangsung cepat, sel-sel membelah dan jumlahnya meningkat secara logaritma sesuai dengan pertambahan waktu, beberapa bakteri pada fase ini biasanya menghasilkan senyawa metabolit primer, seperti karbohidrat dan protein. Pada kurva, fase ini ditandai dengan adanya garis lurus pada plot jumlah sel terhadap waktu.

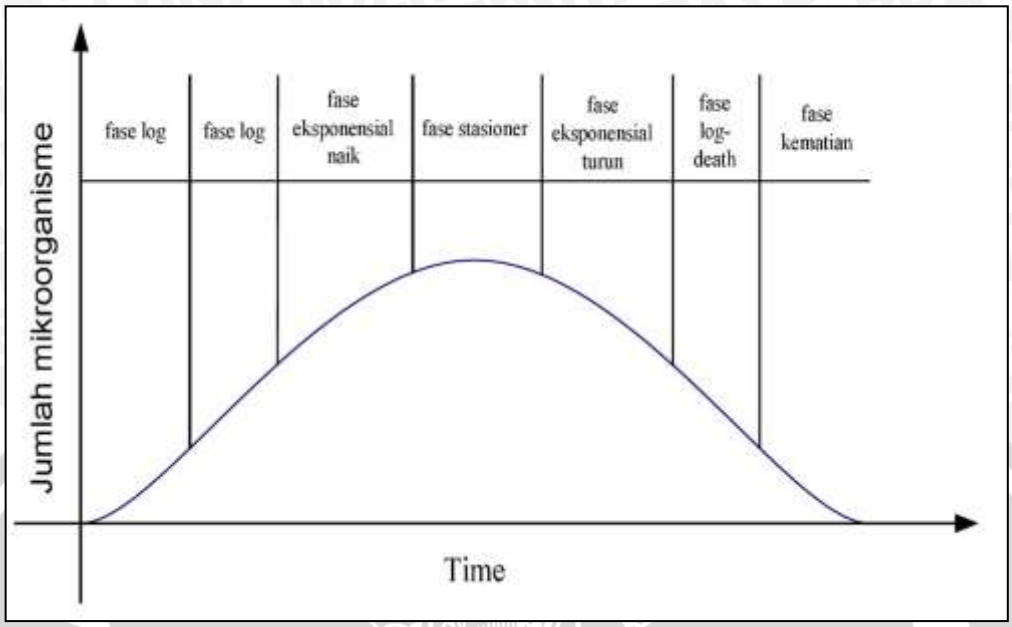
3. Fase Stasioner (Stationer Phase)

   Fase ini merupakan suatu keadaan seimbang antara laju peryumbuhan dengan laju kematian, sehingga jumlah keseluruah bakteri yang hidup akan tetap. Beberapa bakteri biasanya menghasilkan senyawa metabolit sekunder seperti antibiotika dan polimer pada fase ini.

4. Fase Kematian (Death Phase)

   Pada fase ini, laju kematian bakteri melampaui laju pembiakan bakteri. Hal ini disebakan karena habisnya jumlah makanan dalam medium sehingga pembiakan bakteri terhenti dan keadaan lingkungan yang jelek karena semakin banyaknya hasil metabolit yang tidak berguna dan mengganggu pertumbuhan bakteri.

Fase pertumbuhan bakteri dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut.




Gambar 2.9 Fase Perkembangan Bakteri
Sumber: *http://jujubandung.files.wordpress.com/2012/06/instalasi-pengolahan-air*

Faktor yang paling berpengaruh untuk tumbuh kembang mikrobakteri adalah medianya. Media pertumbuhan dan perkembangan bakteri adalah susunan bahan nutrien, baik bahan alami maupun sintetik/buatan, yang dipergunakan untuk pertumbuhan dan perkembangan bakteri. Media berfungsi untuk menumbuhkan bakteri, isolasi, memperbanyak jumlah, menguji sifat-sifat fisiologi dan perhitungan jumlah bakteri, dimana dalam proses pembuatannya harus disterilisasi dan menerapkan metode *aseptis* untuk menghindari kontaminasi pada media. Macam *nutrien* yang digunakan tergantung dari macam bakteri yang dibiakkan.

Untuk menciptakan keadaan lingkungan yang tepat secara sintetis sebagai pengganti keadaan alam, maka diperlukan persyaratan tertentu agar bakteri dapat tumbuh dan berkembang dengan baik dalam media.

Berdasarkan sifatnya media bakteri dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Media dasar/ umum

   Yaitu media pembiakan sederhana yang mengandung zat-zat yang umum diperlukan oleh sebagian besar mikroorganisme dan dipakai juga sebagai komponen dasar untuk membuat media pembiakan lain.

2. Media Diperkaya

   Media ini dibuat dari media dasar dengan penambahan bahan-bahan lain umtuk mempersubur pertumbuhan mikroba tertentu, yang pada media dasar tidak dapat tumbuh dengan baik. Untuk itu dibutuhkan beberapa penambahan nutrisi pengaya kedalam media dasar yang dapat menyokong pertumbuhan mikroba, misalnya dengan menambahkan darah, serum atau ekstrak hati.

3. Media diferensial

   Media ini digunakan untuk membedakan bentuk dan karakter koloni mikroba yang tumbuh. Beberapa mikroba dapat tumbuh di dalam media ini, tetapi hanya beberapa jenis saja yang mempunyai penampilan pertumbuhan yang khas. Media ini berfungsi untuk isolasi dan identifikasi bakteri.

4. Media Selektif

   Media ini digunakan untuk menyeleksi pertumbuhan mikroba yang diperlukan dari campuran mikroba-mikroba lain yang terdapat dalam bahan yang akan diperiksa. dengan penambahan zat-zat tertentu mikroba yang dicari dapat dipisahkan dengan mudah. Media ini sangat berguna untuk identifikasi. Contohnya, SS-agar (agar Salmonella-Shigella) yang digunakan untuk mengisolasi bakteri jenis Salmonella dan Shigella.

5. Media Uji

   Media ini digunakan untuk pengujian senyawa atau benda tertentu dengan bantuan mikroba. Misalnya, media penguji vitamin, antibiotika, residu pestisida, residu deterjen dan lain-lain. Media ini

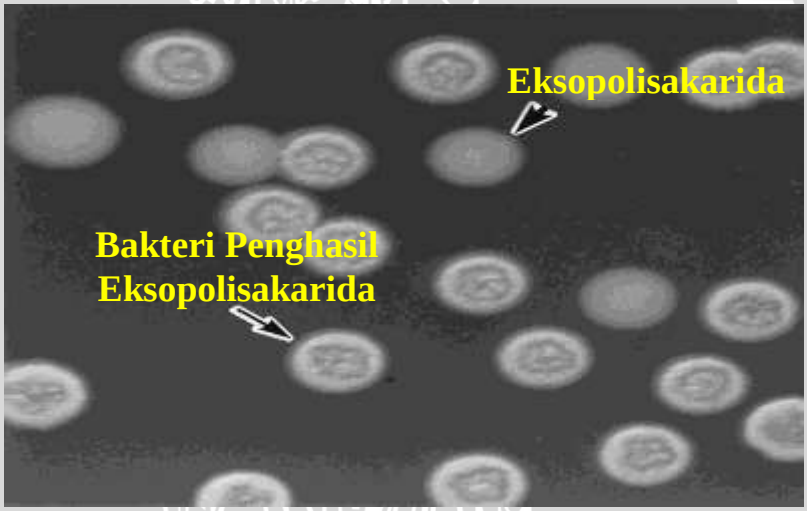
disamping tersusun oleh senyawa dasar untuk kepentingan pertumbuhan dan perkembangbiakan mikroba, juga sejumlah senyawa tertentu yang akan diuji.

6. Media Enumerasi

   Media ini digunakan untuk menghitung jumlah mikroba pada suatu biakan. Media ini dapat berbentuk media dasar, media selektif, media diferensial maupun media uji.

**2.5 Biopolimer Ekstraselular Polisakarida (Eksopolisakarida)**

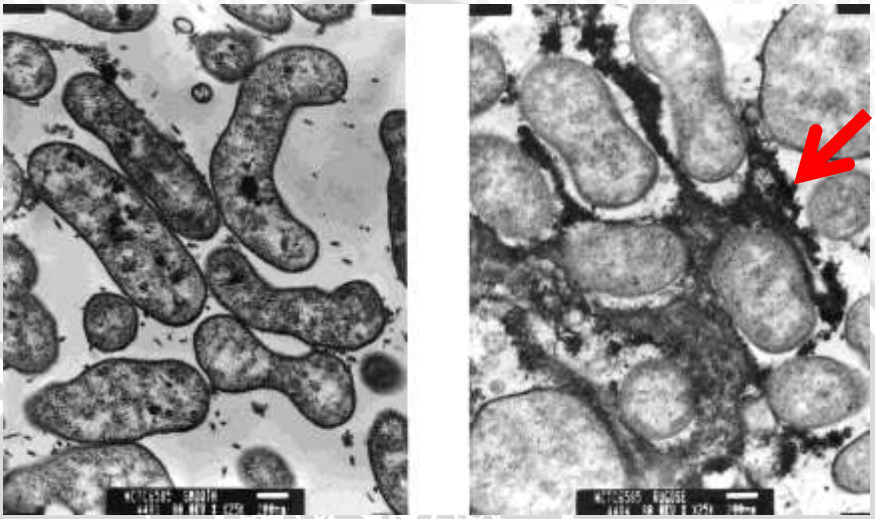
Polisakarida adalah polimer yang tersusun dari ratusan hingga ribuan satuan monosakarida yang dihubungkan dengan ikatan glikosidik. Polisakarida adalah karbohidrat, sehingga tersusun hanya dari atom karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). Contoh polisakarida adalah pati, glikogen, agarosa, dan selulosa.




Gambar 2.10 Bakteri dan hasil eksopolisakaridanya
Sumber: *http://aem.asm.org/content/64/10/3648.full*

Polisakarida yang terdapat pada permukaan sel bakteri secara umum terdapat dalam dua bentuk yaitu lipopolisakarida dan eksopolisakarida (Weiner et al. 1995). Lipopolisakarida mengikat permukaan sel melalui penempelan dengan liquid, sementara eksopolisakarida berasosiasi dengan permukaan sel sebagai kapsul. Eksopolisakarida adalah polisakarida yang diproduksi oleh mikrobakteri untuk membentuk biofilm yag dikeluarkan dari dalam sel. Setiap sel mikrobakteri tentu mensintesis eksopolisakarida yang

berbeda-beda komposisi, sifat kimiawi, dan fisikanya. Produksi eksopolisakarida oleh mikrobakteri dipengaruhi oleh fase pertumbuhan bakteri, media pertumbuhan bakteri, nutrisi yang tersedia, juga pH dan temperatur ruang pertumbuhan bakteri tersebut.



Gambar 2.11 Kondisi sebelum dan sesudah menghasilkan eksopolisakarida dari bakteri berbentuk batang
Sumber: *http://aem.asm.org/content/68/11/5773/F2.expansion.html*

**2.6 Tanah**

Tanah (bahasa Yunani: *pedon*; bahasa Latin: *solum*) adalah bagian kerak bumi yang tersusun dari mineral dan bahan organik. Tanah sangat vital peranannya bagi semua kehidupan di bumi karena tanah mendukung kehidupan tumbuhan sebagai penopang akar dengan menyediakan hara dan air. Struktur tanah yang berongga-rongga juga menjadi tempat yang baik bagi akar untuk bernapas dan tumbuh. Tanah memiliki banyak jenis karena perbedaan proses pembentukan dan unsur yang terdapat di dalamnya juga berbeda.

Sumberdaya alam tanah dan air mudah mengalami kerusakan atau degradasi. Kerusakan tanah dapat terjadi disebabkan oleh: (1) Kehilangan unsur hara dan bahan organik dari daerah perakaran, (2) Proses salinasi, (3) Penjenuhan tanah oleh air (*waterlogging*), dan (4) Erosi. Kerusakan tanah oleh satu atau lebih proses tersebut menyebabkan berkurangnya kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan atau menghasilkan barang dan jasa (Arsyad, 2000).

### 2.6.1 Tanah Pasir Pantai

Pantai adalah gambaran nyata interaksi dinamis antara air, angin, dan material (tanah). Angin dan air yang bergerak material dari tempat satu ke tempat lain, mengikis tanah, dan kemudian mengendapkannya di suatu tempat secara kontinyu, sehingga terjadi perubahan garis pantai. (Agus Pratikto, 1997: 6).

Daerah pantai dengan posisinya yang cukup strategis, yaitu berada pada daerah peralihan antara daratan dan perairan, mempunyai potensi sumberdaya alam yang sangat besar. Potensi sumberdaya alam tersebut berupa kekayaan alam ataupun keindahan alam yang dapat dimanfaatkan untuk menciptakan suatu kegiatan yang menguntungkan bagi masyarakat, negara maupun bangsa. Salah satu kekayaan alam tersebut ialah tanah pasir pantai.

Karakteristik tanah pasir pantai: terdiri dari kwarsa dan feldspar atau sisa-sisa pelapukan batu di gunung, memiliki kadar garam antara 11 sampai 25 %, dan kandungan mineral (berupa karbonat dan kalsit). Parameter utama yang mempengaruhi kelestarian pantai berpasir: pola arus yang akan mengangkut pasir yang halus, gelombang yang akan melepaskan energinya di pantai, dan angin. (Tommy A., 2004: 24).

Porositas adalah ukuran dari ruang kosong di antara material, dan merupakan fraksi dari volume ruang kosong terhadap total volume, yang bernilai antara 0 dan 1, atau sebagai persentase antara 0-100%. Tanah pasir memiliki porositas antara 0,43 sampai 0,36.

Butiran pasir pantai berukuran antara 0,060mm-3mm. Berdasarkan klasifikasi dari diameter yang dimiliki, sebagian besar pasir pantai termasuk dalam *fine sand*, *medium sand* dan *coarse sand*. Berdasarkan klasifikasi tersebut dapat diketahui pula nilai permeabilitas pada pasir pantai yaitu sebesar 1-100 meter/hari.

### 2.6.2 Kemampatan Tanah

Berlainan dengan bahan-bahan konstruksi yang lain, karakteristik tanah itu didominasi oleh karakteristk mekanisnya seperti permeabilitas atau kekuatan geser yang berubah-ubah sesuai dengan pembebanan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000:10).

Tanah mempunyai sifat kemampatan yang sangat besar jika dibandingkan dengan bahan konstruksi seperti baja atau beton. Baja dan beton adalah bahan yang tidak mempunyai pori, itulah sebabnya volume pemampatan baja dan beton sangat kecil. Sehingga dalam keadaan tegangan biasa, baja dan beton tidak mempunyai masalah. Sebaliknya karena tanah mempunyai pori yang besar, maka pembebanan biasa akan mengakibatkan deformasi tanah yang sangat besar.

Kemampatan tanah sendiri berbeda-beda besarnya, sesuai dengan jenis tanah dan kondisi awal tanah tersebut. Semakin besar kemampatan tanah tentu semakin kecil dan semakin kuat gaya geser pada tanah tersebut, dan berlaku pula sebaliknya.

### 2.6.3 Kestabilan Tanah

Stabilitas tanah adalah pengubahan atau perawatan terhadap satu atau beberapa properti tanah untuk meningkatkan kondisi material tanah/butiran tanah. Stabilitas tanah menunjukkan ketahanan tanah terhadap pengaruh yang dapat menyebabkan kerusakan atau degradasi, dimana umumnya kerusakan tersebut berasal dari pengaruh air dan pelapukan mekanik. Air dapat menyebabkan kerusakan agregat tanah melalui proses penghancuran dan perendaman (dispersi) partikel tanah oleh daya perusak butir-butir jatuh. Pengolahan tanah dapat menyebabkan menurunnya stabilitas tanah karena pemadatan maupun perusakan partikel tanah oleh alat-alat berat pengolahan atau pembangunan suatu konstruksi (Baver *et al.*,1972 *dalam* Kristiyanto, 2004).

## 2.7 ASTM (*American Society for Testing and Material*)

ASTM internasional merupakan organisasi internasional yang mengembangkan standardisasi teknik untuk material, produk, sistem dan jasa. Pada berbagai pengujian, ASTM berguna memberikan spesifikasi standar untuk

suatu jenis pengujian maupun suatu jenis material. Hingga saat ini, ASTM mempunyai ±12.000 buah standar. ASTM banyak digunakan oleh negara-negara maju maupun berkembang dalam penelitian akademisi maupun industri.

## 2.8 Infiltrasi

Infiltrasi ditakrifkan sebagai masuknya air ke dalam tanah melalui permukaan tanah. Infiltrasi merupakan salah satu unsur penting dari siklus hidrologi atau proses hidrologi (Sujono, 1991:1).

Besarnya laju infiltrasi mempengaruhi kondisi permukaan tanah dan tumbuh-tumbuhan penutupnya, juga sifat-sifat tanah seperti porositas, konduktivitas hidraulik (permeabilitas), dan besarnya intensitas hujan. Laju Infiltrasi dapat dihitung dengan memperhitungkan nilai penurunan dibagi dengan waktu pengambilan.

## 2.9 Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis tanah yang mempunyai butiran lewat saringan no. 4 dengan *picnometer*.

Persyaratan dan ketetapan uji berat jenis penelitian ini merujuk pada ASTM C 127-77 dan SNI 15-1990-03.

$$SG = \frac{Gt \; x \; Ws}{Ws+W1+W2} \qquad (2\text{-}1)$$

di mana:

Gt = Berat jenis air pada Tc (gram/cm$^3$)

$W_s$ = Berat tanah kering (gram)

$W_1$ = Berat labu + air + tanah (gram)

$W_2$ = Berat labu + air (gram)

## 2.10 Kadar Air (*Water Content*)

Kadar air adalah perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui kadar air tanah, dimana kadar air adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat tanah tersebut dalam persen.

Persyaratan dan ketetapan uji kadar air penelitian ini merujuk pada ASTM D 2216-98.

$$\text{Kadar air} = \frac{BeratAir}{BeratTanahKering} \text{ x } 100\ \% \qquad (2\text{-}2)$$

**2.11 Gradasi Butiran (*Grain Size*)**

Gradasi buttiran adalah penentuan variasi ukuran partikel-partikel yang ada pada tanah. Variasi tersebut dinyatakan dalam presentase dari berat kering total. Gradasi butiran merupakan kegiatan mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui satu set ayakan di mana lubang-lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (*gradasi*) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan.

Persyaratan dan ketetapan uji gradasi butiran penelitian ini merujuk pada ASTM D-2487-66T dan SNI 03-2834-2002.

$$\%\ \text{Tertahan} = \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan}}{\text{Berat Tanah Kering}} \text{ x } 100\ \% \qquad (2\text{-}3)$$

$$\%\ \text{Lolos Saringan} = 100\% - \%\ \text{Jumlah Tertahan} \qquad (2\text{-}4)$$

Gambar 2.12 Alat Uji Gradasi Butiran
Sumber: Buku Panduan Praktikum Mekanika Tanah

**2.12 *Constant Head***

Uji *Constant Head* lebih sesuai digunakan untuk tanah granuler (yang memiliki angka pori yang besar dan koefisien permeabilitas yang besar pula), contohnya seperti: tanah pasir, pasir, atau kerikil. Metode test ini meliputi

prosedur untuk mendapatkan nilai koefisien K, yaitu nilai-nilai yang menyatakan kemudahan aliran air melalui contoh tanah berbutir kasar.

Persyaratan dan ketetapan uji *constant head* penelitian ini merujuk pada ASTM D-2434-68 (2006).

Gambar 2.13 Contoh pengujian permeabilitas di laboratorium menggunakan metode *constant head*
Sumber: Dokumentasi Penelitian

Rumus yang dapat digunakan dari metode ini, yaitu:

$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot t} \quad (2\text{-}5)$$

Keterangan :

k = Koefisien Permeabilitas (cm/detik)

Q = Volume Debit Air yang Keluar ($cm^3$)

L = Jarak antar manometer (cm)

A = Luas sampel tanah ($cm^2$)

h = Perbedaan Tinggi Tekanan dalam manometer (cm)

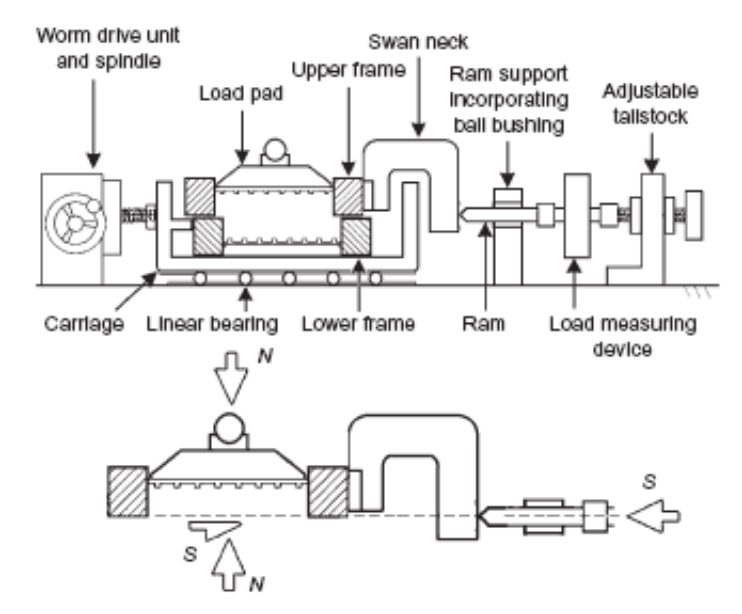
t = Total Waktu rembesan (detik)

## 2.13 Uji *Direct Shear* (Uji Geser Langsung)

Uji Geser Langsung merupakan salah satu jenis pengujian tertua dan sangat sederhana untuk menentukan parameter kuat geser tanah (*shear strength parameter*) c dan f. Dalam percobaan ini dapat dilakukan pengukuran secara langsung dan cepat nilai kekuatan geser tanah dengan kondisi tanpa pengaliran (*undrained*), atau dalam konsep tegangan total (*total stress*).

Persyaratan dan ketetapan uji geser langsung penelitian ini merujuk pada ASTM D-3080-04.

Gambar 2.14 Alat Uji *Direct Shear*
Sumber: Buku Panduan Praktikum Mekanika Tanah




Gambar 2.15 Skema alat uji *direct shear*
Sumber: *http://repository.binus.ac.id/content/S0034/S003495684.pdf*

Perhitungan Tegangan Geser Maksimum :

$$\tau = \frac{\text{P maksimum}}{\text{A}} \quad (2\text{-}6)$$

keterangan:

$\tau$ = Tegangan Geser Maksimum (kg/cm$^2$)

P= Gaya Geser (kg)

A = Luas Bidang Geser Benda Uji (cm$^2$)

Perhitungan Beban Normal :

$$G = \frac{\sigma_{lapangan}}{A} \quad (2\text{-}7)$$

keterangan:

G = Beban normal yang dibutuhkan

σ= Tegangan Lapangan

A = Luas Contoh Tanah/Benda Uji

Perhitungan Tegangan Geser :

$$\gamma = \text{Pembacaan} \times \frac{kalibrasi}{Luas\ Benda\ Uji} \quad (2\text{-}8)$$

**2.14 Uji SEM (*Scanning Elektron Microscope*)**

*Scanning Electron Microscope* (SEM) merupakan sebuah peralatan yang dipergunakan untuk mengamati permukaan material/bahan tertentu dengan tujuan mendapatkan bentuk yang lebih detail (struktur mikro dan makro material). Alat ini sama dengan mikroskop yang sudah kita kenal sejak di bangku SD yaitu Mikroskop Cahaya. Akan tetapi perbedaannya dengan Mikroskop Cahaya adalah bahwa Mikroskop Elektron atau SEM memiliki resolusi (0,1 – 0,2) nm sedangkan Mikroskop Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm. Dengan kata lain pembesaran dengan menggunakan alat SEM mampu mencapai ribuan kali pembesaran, akan tetapi dengan menggunakan Mikroskop Cahaya hanya sampai dibawah $\pm$ 300 kali pembesaran saja. Jadi dengan menggunakan SEM, pengamatan permukaan material akan menjadi lebih jelas sehingga hasil penelitian akan lebih valid.

Uji SEM atau SEM analisis adalah suatu pengujian yang digunakan untuk menampilkan hasil *scan* elektron suatu benda padat. Uji SEM menggunakan sinar elektron berenergi tinggi untuk membangkitkan sinyal yang berbeda – beda dari permukaan suatu benda. Dalam uji SEM output yang dihasilkan adalah gambar perbesaran dari pembangkitan sinyal elektron tadi, sehingga terdapat suatu perbedaan antara benda – benda yang materialnya berbeda karena susunan elektronnya yang berbeda – beda pula. Persyaratan dan ketetapan uji SEM ditetapkan dalam ASTM E-986-97.

Gambar 2.16 Alat Uji SEM inventarisasi FMIPA-UM dengan Merk FEI, Type: Inspect-S50
Sumber: *http://central-laboratory.um.ac.id/*