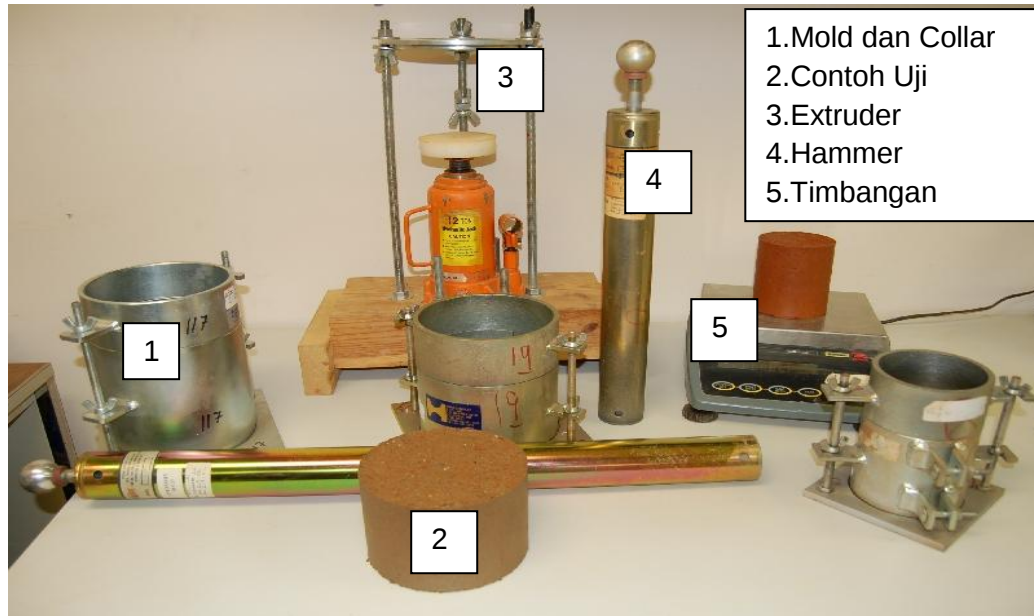


BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pemadatan dan Prinsip-prinsip Umum



Gambar 2.1 Proctor Test Laboratorium

Pemadatan tanah adalah suatu proses dimana partikel tanah didesak menjadi lebih berdekatan satu sama lain melalui pengurangan rongga udara dengan di gilas atau metode mekanik lain. Sifat teknis tanah dan batuan yang digunakan pada penimbunan, sebagai contoh kekuatan gesernya, karakteristik konsolidasi, permeabilitas, dan sebagainya, adalah berkaitan dengan jumlah pemadatan yang telah diterimanya. (Pusat Litbang Pengairan, Badan Litbang PU, 2000: hal 4)

Tingkat kepadatan yang tinggi membantu dalam :

- (a) menurunkan biaya pemeliharaan;
- (b) menurunkan risiko terjadinya longsor;
- (c) memungkinkan struktur permanen seperti jalan-jalan, gedung- gedung untuk dibangun langsung tanpa penundaan;
- (d) mendapatkan tekanan dukung yang lebih tinggi pada desain fondasi untuk struktur permanen.

Peningkatan kepadatan kering tanah yang di hasilkan oleh pemadatan, terutama tergantung pada kadar air dari tanah dan jumlah pemadatan yang di gunakan.

Tingkat pemadatan yang diperlukan ditentukan oleh sifat teknis yang diinginkan untuk

urugan guna memenuhi fungsi desainnya. Tanah yang harus dipadatkan adalah tanah dengan sifat-sifat teknik bahan sebagai berikut :

- (a) kepadatan kering minimum;
- (b) rongga udara maksimum yang terkait dengan kadar air maksimum;
- (c) prosentase minimum dari kepadatan kering maksimum yang diperoleh dari standar up laboratorium;
- (d) kekuatan geser minimum.

Sebagai alternatif, bila sifat bahan yang akan digunakan pada urugan telah disesuaikan sebelumnya dengan efek pemadatan dari berbagai tipe mesin pemadat yang tersedia, maka tingkat kepadatan bisa dikontrol dengan menspesifikasikan ketebalan lapisan dan jumlah lintasan dari mesin pemadat yang telah ditentukan.

Tanah sebagai material bangunan pada konstruksi-konstruksi : (Laporan Laboratorium Mekanika Tanah, 2010).

- a. Tanggul,
- b. Bendungan tanah, dan
- c. Dasar jalan.

Harus dipadatkan untuk memperbaiki sifat-sifat dari tanah yang dapat memberi akibat buruk pada konstruksi.

Perubahan-perubahan yang terjadi apabila tanah dipadatkan adalah :

- 1. Volume udara dalam pori-pori tanah berkurang sehingga tanah menjadi padat.
- 2. Kekuatan geser dan daya dukung tanah meningkat.
- 3. Kompresibilitas tanah berkurang.
- 4. Permeabilitas tanah berkurang.
- 5. Lebih tahan terhadap erosi.

Pada proses pemadatan untuk setiap daya pemadatan tertentu, kepadatan yang tercapai tergantung pada banyaknya air di dalam tanah tersebut, yaitu kadar airnya. Apabila kadar airnya rendah, tanah mempunyai sifat keras atau kaku sehingga sukar dipadatkan. Bilamana kadar airnya ditambah maka air itu akan berlaku sebagai pelumas sehingga tanah akan lebih mudah dipadatkan. Pada kadar air yang lebih tinggi lagi kepadatannya akan turun karena pori-pori tanah menjadi penuh terisi air yang tidak lagi dikeluarkan dengan cara memadatkan. Diperlukan kadar air tertentu yang disebut kadar air optimum (W_{opt}) dalam suatu proses pemadatan agar didapatkan hasil kepadatan maksimum. Kadar air ini selalu tergantung pada daya pemadatannya. Apabila daya pemadatan berlainan maka kadar air optimumnya (W_{opt}) juga lain.

Tujuan pemadatan di lapangan adalah memadatkan tanah pada keadaan kadar air optimumnya(Wopt) sehingga tercapai keadaan paling padat.

Keadaan tanah biasanya dinilai dengan menentukan Berat Volume Keringnya (Ydry).

Kadar Air Optimum (Wopt) ditentukan dengan melakukan percobaan pemadatan di laboratorium. Hasil percobaan ini dipakai untuk menentukan syarat-syarat yang harus dipenuhi pada waktu pemadatan di lapangan.

Pada percobaan di laboratorium Kadar Air Optimum (Wopt) ditentukan dari grafik hubungan antara Berat Volume Kering(Ydry) dengan Kadar Air (w).

TUJUAN PERCOBAAN

Untuk mendapatkan nilai Kadar Air Optimum (Wopt) dan Berat Volume Kering Maksimum (Ydrymax) pada suatu proses pemadatan.

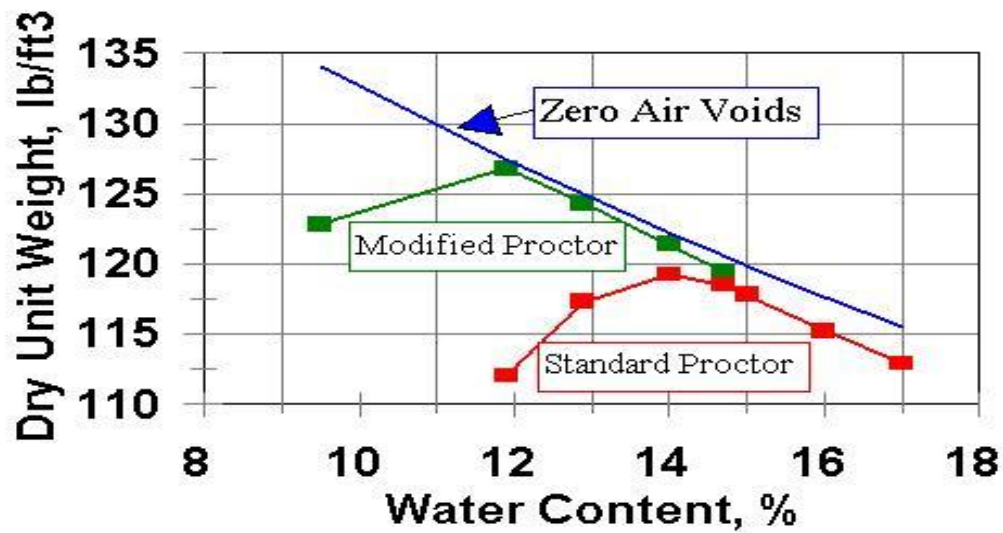
Menurut energi kompaksinya, percobaan dapat beragam sebagai berikut :

Tabel 2.1 Proctor dan AASHTO

JENIS PENGUJIAN	KETERANGAN		STANDARD	MODIFIED		
PROCTOR	MOLD	Diameter(inch)	4,0	4,0		
		Tinggi (inch)	4,6	4,6		
	PALU	Berat (lbs)	5,5	10,0		
		Tinggi jatuh (ft)	1,0	1,5		
	Jumlah lapisan		3	5		
	Jumlah pukulan per-lapis		25 x	25 x		
	Energi Kompaksi (ft-lbs/cu-ft)		± 12400	± 56000		
AASHTO	MOLD	Diameter(inch)	6,0	6,0		
		Tinggi (inch)	5,0	5,0		
	PALU	Berat (lbs)	5,5	10,0		
		Tinggi jatuh (ft)	1,0	1,5		
	Jumlah lapisan		3	5		
	Jumlah pukulan per-lapis		55 x	55 x		
	Energi Kompaksi (ft-lbs/cu-ft)		± 12400	± 56000		

Energi yang digunakan dihitung dari :

$$\frac{\text{Jumlah Pukulan} \times \text{Jumlah Lapisan} \times \text{Tinggi Jatuh} \times \text{Berat Hammer}}{\text{Volume Mold}}$$



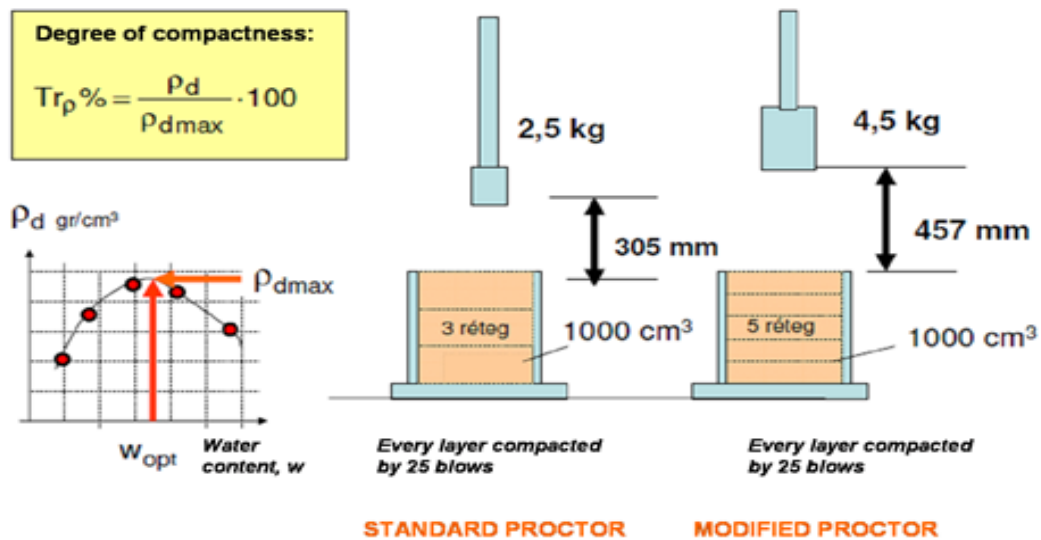
Gambar 2.2 Kurva Standard and Modified Proctor

2.2 Peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang Digunakan Dalam Pemadatan Tanah. (Pusat Litbang Pengairan, Badan Litbang PU, 2000: Hal 4).

Beberapa SNI yang digunakan dalam pemadatan tanah adalah sebagai berikut:

1. SNI 03-2813-1992 Metode Pengujian Geser Langsung Tanah Terkonsolidasi dengan Drainase.
2. SNI 03-4813-1998 Metode Pengujian Triaxial untuk Tanah Kohesif dalam Keadaan Tanpa Konsolidasi dan Drainase.
3. SNI 03-2832-1992 Metode Pengujian untuk Mendapatkan Kepadatan Tanah Maksimum dengan Kadar Air Optimum.
4. SNI... (Rancangan) Tata Cara Pengoperasian Peralatan Konstruksi untuk Pekerjaan Tanah.

2.3 Uji Proctor Dimodifikasi (Modified Proctor)



Gambar 2.3 Ukuran Alat Hammer and Mold from Standard and Modified Proctor

Percobaan *Standard Compaction Test* masih banyak dipakai untuk pembuatan jalan, bendungan tanah. Tetapi untuk pembuatan landasan lapangan terbang atau jalan raya kepadatan yang tercapai dengan *Standard Compaction Test* belum cukup, dalam hal ini dipakai Uji proctor Dimodifikasi (*Modified Compaction Test*).

Ukuran Mold yang dipergunakan dapat berbeda asalkan energy yang dipergunakan tetap, yaitu dengan menambah jumlah pukulan.

Jumlah pukulan untuk mold berdiameter 4" adalah 25 pukulan/lapis, jadi untuk mold 6" jumlah pukulannya menjadi $(6/2)^2 \times 25 = 56$ pukulan/lapis dengan tinggi jatuh palu 1,5 feet dan energi kompaksi ± 56000 ft-lbs. (Laporan Laboratorium Mekanika Tanah, 2010).

2.4 Metode Pemadatan

Tujuan dari pelaksanaan adalah untuk mencapai tingkat kepadatan yang diperlukan dengan cara yang paling ekonomis. (Pusat Litbang Pengairan, Badan Litbang PU, 2000: Hal 5).

Metode pemadatan yang digunakan tergantung pada :

- (a) jenis tanah, termasuk gradasinya dan kadar air pada saat pemadatan dilakukan;
- (b) tingkat kepadatan yang disyaratkan;
- (c) volume pekerjaan dan laju penyediaan bahan timbunan yang akan dipadatkan;

- (d) geometri pekerjaan tanah yang diusulkan;
- (e) persyaratan terhadap dampak lingkungan (contoh kebisingan).

Peralatan pemindah tanah dikembangkan dan ditingkatkan secara terus menerus. Berbagai tipe mesin pemadat yang umumnya tersedia dijelaskan pada SNI.... : Tata Cara Pengoperasian Peralatan Konstruksi untuk Pekerjaan Tanah, dan pedoman pemilihannya untuk berbagai jenis tanah diberikan pada Tabel 1 lampiran C.

Untuk menetapkan metode pemadatan yang akan dipergunakan di lokasi, percobaan pemadatan di lapangan, bila perlu, harus dilakukan untuk menentukan alat pemadat yang paling cocok untuk kondisi yang sangat mungkin terjadi selama periode pembangunan, dengan memperhatikan :

- (a) kadar air dari tanah;
- (b) ketebalan lapisan;
- (c) jumlah lintasan;
- (d) variasi gradasi butiran bahan.

Pertimbangan ekonomi harus diperhitungkan. Sebagai contoh, harus diputuskan apakah lebih ekonomis untuk memadatkan dengan ketebalan lapisan 10 cm dengan mesin-gilas yang ringan atau dengan ketebalan lapisan 30 cm dengan mesin-gilas yang lebih berat. Demikian pula pertimbangan harus diberikan pada jumlah lintasan yang diperlukan dengan mesin gilaspada roda halus (smooth or tamping rollers) untuk menghasilkan produk akhir yang memenuhi syarat. Suatu kombinasi dari dua atau lebih jenis peralatan dapat memberikan hasil terbaik.

2.5 Istilah dan Definisi

Berdasarkan SNI 1742-2008 bahwa:

1. Benda uji
Contoh uji yang telah dipadatkan dan diratakan sesuai ukuran cetakan berat jenis butir perbandingan antara massa isi butir tanah dan massa isi air
2. Contoh uji
Contoh tanah lolos saringan No.4 (4,75 mm) dan lolos saringan 19,0 mm (3/4”) yang telah dicampur
3. Kadar air
Perbandingan antara massa air dan massa kering tanah

4. Kadar air optimum

Kadar air yang paling cocok untuk cara pemadatan tertentu yang menghasilkan kepadatan paling besar yang diperoleh dari kurva pemadatan

5. Kepadatan basah

perbandingan antara massa benda uji basah dan volume

6. Kepadatan kering

Perbandingan antara massa benda uji kering dan volume

7. Kepadatan kering jenuh

Perbandingan antara massa kering tanah dan volume total pada kondisi jenuh air (rongga berisi udara nol)

8. Kepadatan maksimum

Kepadatan kering yang paling besar yang diperoleh dari kurva pemadatan

2.6 Karakteristik Pemadatan Tanah

Berdasarkan SNI Tata Cara Pemadatan Tanah oleh Badan Litbang PU yaitu tentang:

1. Urugan Batuan

Urugan batuan harus dipadatkan dalam lapisan-lapisan yang tebal dengan diameter maksimum fragmen batuan tidak lebih dari dua pertiga ketebalan lapisan. Bahan yang diperoleh dari penggalian dalam batuan keras biasanya dihampar pada lapisan sampai setebal 1,5 meter dengan traktor roda rantai bergigi.

Proses ini bermanfaat untuk mencampur kembali bahan yang telah mengalami segregasi selama pengangkutan, dan menghasilkan permukaan yang relatif datar dan rata dimana mesin pemadat bekerja di atasnya.

Teknik vibrasi memberikan hasil terbaik pada pemadatan urugan batu dengan mesin gilas getar yang bobot statisnya 10 sampai 15 ton, biasanya dapat memadatkan urugan batu dengan efisien pada tebal lapisan sampai 1,5 meter.

Perlu sekali untuk menghampar urugan batu yang didapat dari penggalian batuan keras atau batuan cukup keras dengan kadar air setinggi mungkin, dengan maksud mencegah keruntuhan karena jenuhnya bahan sesudahnya. Untuk ini bahan bisa diberi air sesudah penghamparan.

Bahan urug yang didapat dari batuan yang lemah dapat terdegradasi secara cepat oleh pemadatan, dan masalah dapat timbul jika bahan mempunyai kadar air cukup tinggi yang akan menghasilkan kelebihan tekanan air pori yang menyebabkan ketidakstabilan setempat yang terjadi selama pelaksanaan pemadatan. Oleh karena itu diperlukan standar pemadatan untuk menghindari munculnya kondisi tersebut di atas. Secara umum, ketebalan lapisan harus tidak lebih dari 50 cm.

2. Tanah Berbutir

Tanah berbutir biasanya didefinisikan sebagai tanah tak berkoheesi atau tanah kasar dengan permeabilitas yang tinggi yang mengandung prosentase butiran halus yang sedikit (kurang dari 10% yang lebih kecil dari 0,06 mm). Prosentase butiran halus yang masih bisa diterima tergantung pada apakah tanahnya berkoheesi atau tidak berkoheesi. Di bawah tekanan dari peralatan pemadat, air dapat dipaksa keluar dan derajat pemadatan yang tinggi bisa dicapai, walaupun bahan pada mulanya mempunyai kadar air yang tinggi.

Pada keadaan terpadatkan, tanah berbutir memiliki daya dukung beban yang tinggi, oleh karena itu, lebih disukai untuk keperluan urugan dan biasanya mudah dipadatkan. Bila bahan mengandung jumlah butiran halus yang cukup besar, tekanan air pori yang tinggi dapat berkembang selama pemadatan jika kadar airnya tinggi, sehingga mengurangi stabilitas. Tanah berbutir dengan gradasi seragam sulit dicapai tingkat kepadatan yang tinggi di dekat permukaan urugan, khususnya bila digunakan mesin oles getar. Masalah ini biasanya terpecahkan ketika lapisan berikut di atasnya dipadatkan, permukaan yang kurang padat dari lapisan di bawahnya akan terpadatkan dengan baik.

Peningkatan kepadatan dari tanah berbutir yang bergradasi seragam dapat dicapai dengan pemeliharaan kadar air setinggi mungkin melalui pembasahan yang intensif dan dengan membuat lintasan terakhir pada kecepatan yang lebih tinggi, menggunakan mesin gilas roda halus tanpa getar atau menggunakan mesin gilas berkisi.

3. Tanah Halus Berkoheesi

a. Lempung

Kadar air mempunyai pengaruh yang besar pada karakteristik kekuatan dan pemadatan tanah lempung. Secara khusus, kenaikan kadar air meskipun hanya 1% atau 2% yang bersamaan dengan pengaruh gangguan akibat penghamparan dan pemadatan, dapat mengakibatkan penurunan kekuatan geser yang cukup besar serta membuat bahan sulit dan tidak mungkin menjadi padat.

b. Lempung

Karakteristik pemadatan lempung sangat tergantung pada kadar air, sehingga usaha untuk memperoleh pemadatan yang lebih tinggi diperlukan dengan pengurangan kadar air. Mungkin perlu lapisan yang lebih tipis dan lintasan yang lebih banyak dengan mesin pemadat yang lebih berat dari yang diperlukan untuk tanah berbutir. Bila lempung dipadatkan pada batas atas kadar air yang layak LIMA pemadatan, kemungkinan timbul ketidakstabilan akibat kelebihan tekanan air pori yang disebabkan pemadatan tersebut.

Bila tanah berkoheesi yang diperoleh tempat pengambilan material dalam bentuk bongkah-bongkah yang besar, sesudah penghamparan harus dipecah dengan

memakai mesin gilas tumbuk atau mesin gilas berkisi untuk mencapai kepadatan yang disyaratkan.

c. Urugan Khusus Bahan Buangan

Bahan buangan itu sifatnya sangat bervariasi sehingga harus selalu dilakukan percobaan lapangan guna menentukan spesifikasi pemadatan.

2.7 Prosedur Percobaan Tes Kompaksi

Berdasarkan laporan laboratorium mekanika tanah, prosedur percobaan tes kompaksi adalah sebagai berikut:

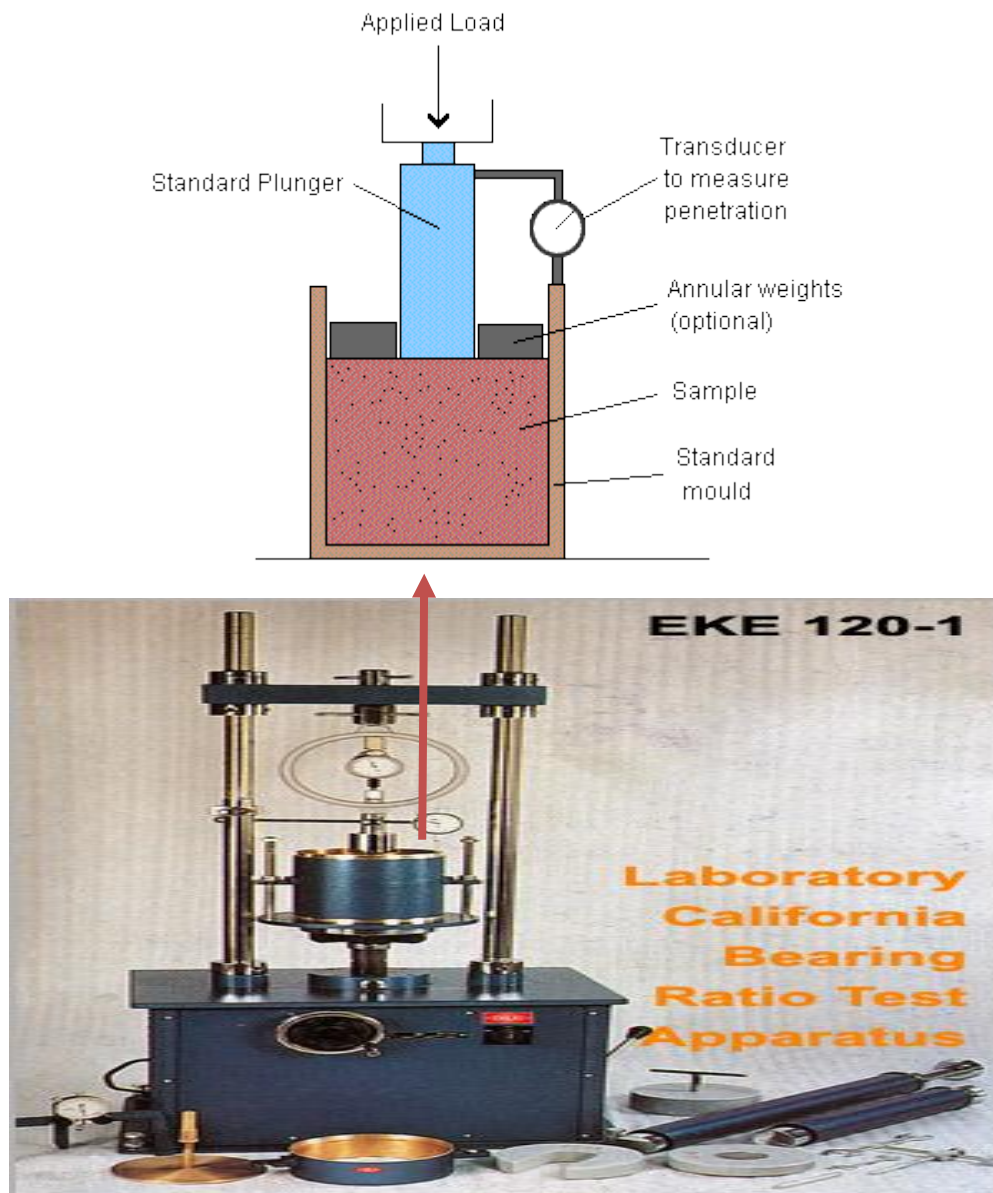
1. Siapkan contoh tanah yang akan diuji ± 25 kg dimana tanah sudah dibersihkan dari akar-akar tumbuhan dan kotoran lain.
2. Tanah di jemur sampai kering udara (air drained), atau dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama 24 jam.
3. Gumpalan-gumpalan tanah dihancurkan dengan palu karet agar butiran tanah tidak ikut hancur.
4. Contoh tanah kering dalam keadaan lepas diayak dengan ayakan No. 4, dan hasil ayakan yang lolos No. 4 dipergunakan.
5. Tanah hasil ayakan sebanyak ± 3 kg di semprot dengan air untuk mendapat hasil contoh tanah dengan kebasahan merata sehingga bias dikepal tetapi masih mudah lepas (hancur).
6. Mold yang akan dipergunakan dibersihkan, ditimbang beratnya dan diukur volumenya (biasanya volume mold = $1/30$ cu-ft).
7. Isikan contoh tanah ke dalam mold setebal 1,0"-2,0" (untuk modified test) atau 2,0"-4,0" (untuk standard test)
8. Tumbuk contoh tanah di dalam mold dengan hammer sebanyak 25 kali pada tempat yang berlainan. Hammer yang dipergunakan disesuaikan dengan cara percobaan.
9. Isikan lagi contoh tanah ke dalam mold untuk lapisan berikutnya dan tumbuk lagi sebanyak 25 kali.
10. Pengisian diteruskan sampai 5 lapisan untuk modified test atau 3 lapisan untuk standard test.
11. Pada penumbukan lapisan terakhir harus dipergunakan sambungan tabung (collar) pada mold agar pada waktu penumbukan hammer tidak meleset ke luar.
12. Buka sambungan tabung (collar) di atasnya dan ratakan permukaan tanahnya dengan scrapper.
13. Mold dan contoh tanah ditimbang.
14. Tanah dikeluarkan dengan bantuan dongkrak dan diambil bagian atas, tengah, dan bawah masing-masing ± 30 gram kemudian dioven selama 24 jam.
15. Setelah 24 jam dioven, container + tanah kering ditimbang.
16. Dengan mengambil harga rata-rata dari kadar air ketiganya didapat nilai kadar airnya.
17. Percobaan dilakukan 6 kali dengan setiap kali menambah kadar airnya sehingga dapat dibuat grafik hubungan Berat Volume Kering(Y_{dry}) terhadap kadar air (w).

2.8 CBR (California Bearing Ratio)

2.8.1 Definisi CBR(Herwan Dermawan,2010: Hal. 1)

Menurut Herwan Dermawan, California Bearing Ratio (CBR) adalah rasio dari gaya perlawanan penetrasi dari tanah terhadap penetrasi sebuah piston yang ditekan secara kontinu dengan gaya perlawanan penetrasi serupa pada contoh tanah standard berupa batu pecah di California. Rasio tersebut diambil pada penetrasi 2.5 dan 5.0 mm (0.1 dan 0.2 in) dengan ketentuan angka tertinggi.

Gaya Perlawanan Penetrasi adalah gaya yang diperlukan untuk menahan penetrasi konstan dari suatu piston ke dalam tanah.



Gambar 2. 4 CBR Testing Equipment

2.8.2 Maksud dan Tujuan Serta Aplikasi CBR

Tujuan percobaan ini adalah untuk menilai kekuatan tanah dasar yang dikompaksi dilaboratorium yang akan digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan.

2.8.3 Manfaat CBR

Perkerasan jalan adalah lapisan-lapisan bahan yang dipasang di atas dasar untuk menerima beban lalu lintas sehingga beban tersebut ditambah berat perkerasan sendiri dapat dipikul oleh tanah dasar. Tebal perkerasan jalan bergantung kepada kekakuan tanah dasar, kekuatan bahan perkerasan, muatan roda, dan intensitas lalu lintas.

Pada perencanaan jalan baru, tebal perkerasan biasanya ditentukan dari nilai CBR tanah dasar yang dipadatkan. Nilai CBR yang dipergunakan untuk perencanaan disebut CBR desain (CBR Design). Desain CBR didapat dari percobaan di laboratorium dengan memperhitungkan dua faktor yaitu :

- a. Kadar air tanah serta berat isi kering pada waktu dipadatkan.
- b. Percobaan pada kadar air yang mungkin terjadi setelah perkerasan selesai dibuat

2.9 Prosedur Percobaan CBR Test

Berdasarkan laporan laboratorium mekanika tanah, prosedur percobaan tes *CBR* adalah sebagai berikut:

A. Benda Uji

Benda uji harus dipersiapkan menurut Cara Pemeriksaan Kepadatan Standar.

1. Ambil contoh kira-kira 5 kg atau lebih untuk tanah dan 5,5 kg untuk campuran tanah agregat.
2. Kemudian campur bahan tersebut dengan bahan air sampai kadar air optimum atau kadar air lain yang dikehendaki.
3. Pasang cetakan pada keeping alas dan timbang. Masukkan piringan pemisah (spacerdisk) diatas keeping alas dan pasang kertas saring diatasnya.
4. Padatkan bahan tersebut di dalam cetakan sesuai dengan cara B atau D dari Pemeriksaan Pemadatan Standar atau Modified. Bila benda uji tersebut direndam periksa kadar airnya sebelum dipadatkan. Bila benda uji tersebut tidak direndam, pemeriksaan kadar air dilakukan setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan.
5. Buka leher sambungan dan ratakan dengan alat perata, tambal lubang-lubang yang mungkin terjadi pada permukaan karena lepasnya butir-butir kasar dengan bahan yang lebih halus. Keluarkan piringan pemisah, balikan dan pasang kembali cetakan berisi benda uji pada keeping alas dan timbang.

6. Untuk pemeriksaan CBR langsung, benda uji ini telah siap untuk diperiksa.
7. Bila dikehendaki CBR yang direndam, (SOAKED CBR), harus dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :
 - a) Pasang keping pengembangan di atas permukaan benda uji dan kemudian pasang keping pemberat yang dikehendaki (seberat 4,50kg (10 lbs)) atau sesuai dengan beban perkerasan. Rendam cetakan beserta beban di dalam air, sehingga air dapat meresap dari atas maupun dari bawah. Pasang tripod beserta arloji pengukur pengembangan. Catat pembacaan pertama dan biarkan benda uji selama 96 jam. Permukaan air selama perendaman harus tetap (kira-kira 2,5 cm di atas permukaan benda uji). Tanah berbutir halus atau berbutir kasar yang dapat melakukan air lebih cepat dapat direndam dalam perendaman catat pembacaan arloji pengembangan.
 - b) Keluarkan cetakan dari bak air dan miringkan selama 15 menit sehingga air bebas mengalir habis. Jagalah agar selama pengeluaran air permukaan benda uji tidak terganggu.
 - c) Ambil beban dari keping alas, kemudian cetakan beserta isinya ditimbang. Beban uji CBR yang direndam telah siap untuk diperiksa.

B. Cara Melakukan

1. Letakkan keping pemberat di atas permukaan benda uji seberat minimal 4,50 kg(10 lbs) atau sesuai dengan beban perkerasan.
2. Untuk benda uji yang direndam beban harus sama dengan beban yang dipergunakan waktu perendaman. Letakkan pertama-tama keping pemberat 2,27 kg (5 pound) untuk mencegah mengembangnya permukaan benda uji pada bagian lubang keping pemberat. Pemberat selanjutnya dipasang setelah torak disentuhkan pada permukaan benda uji.
3. Kemudian atur torak penetrasi pada permukaan benda uji sehingga arloji beban permulaan ini sebesar 4,50 kg(10 lbs). Pembebanan permulaan ini diperlukan untuk menjamin bidang sentuh yang sempurna antara torak dengan permukaan benda uji. Kemudian arloji penunjuk beban dan arloji pengukur di nol kan.
4. Berikan pembebanan dengan teratur sehingga kecepatan penetrasi mendekati kecepatan 1,27 mm/menit(0,05")per menit. Catat pembacaan pembebanan pada penetrasi 0,312 mm (0,0125"), 0,62mm (0,025"), 1,25 mm(0,05"), 0,187 mm(0,075"), 2,5 mm(0,10"), 3,75 mm(0,15"), 5 mm(0,20"), 7,5 mm(0,30"), 10 mm(0,4") dan 12,5 mm(0,5").
5. Catat beban maksimum dan penetrasinya bila pembebanan maksimum terjadi sebelum penetrasi 12,50 mm(0,5").
6. Keluarkan benda uji dari cetakan dan tentukan kadar air dari lapisan atas benda uji setebal 25,4 mm.
7. Pengambilan benda uji untuk kadar air dapat diambil dari seluruh kedalaman bila diperlukan kadar air rata-rata. Benda uji untuk

pemeriksaan kadar air sekurang-kurangnya 100 gram untuk tanah berbutir halus atau sekurang-kurangnya 500 gram untuk tanah berbutir kasar.

2.10 Unified Modeling Language (UML)

Menurut (Hend, 2006) “*Unified Modeling Language (UML)* adalah bahasa yang telah menjadi standard untuk visualisasi, menetapkan, membangun dan mendokumentasikan artifak suatu sistem perangkat lunak”.

Menurut (Adi Nugroho : 2005). “*Unified Modeling Language (UML)* adalah alat bantu analisis serta perancangan perangkat lunak berbasis objek”.

Menurut (Joomla dari <http://soetrasoft.com> : 2007). “*Unified Modeling Language (UML)* merupakan standard modeling language yang terdiri dari kumpulan-kumpulan diagram, dikembangkan untuk membantu para pengembang sistem dan *software* agar bisa menyelesaikan tugas-tugas seperti: Spesifikasi, Visualisasi, Desain Arsitektur, Konstruksi, Simulasi dan testing serta Dokumentasi”.

Berdasarkan beberapa pendapat yang dikemukakan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa “*Unified Modeling Language (UML)* adalah sebuah bahasa yang berdasarkan grafik atau Gambar untuk memvisualisasikan, menspesifikasikan, membangun dan pendokumentasian dari sebuah sistem pengembangan perangkat lunak berbasis OO (*Object Oriented*)”.

Unified Modeling Language (UML) menggabungkan teknik dari pemodelan data (entitas diagram hubungan), pemodelan bisnis (aliran kerja), pemodelan objek, dan pemodelan komponen. Hal ini dapat digunakan dengan semua proses, sepanjang siklus hidup pengembangan perangkat lunak, dan teknologi implementasi yang berbeda di seluruh .

Unified Modeling Language (UML) menawarkan cara standar untuk memvisualisasikan cetak biru arsitektur sistem, termasuk elemen seperti:

- a. Kegiatan
- b. Aktor
- c. proses bisnis
- d. Database skema
- e. Komponen
- f. Bahasa pemrograman pernyataan reusable komponen *software* .

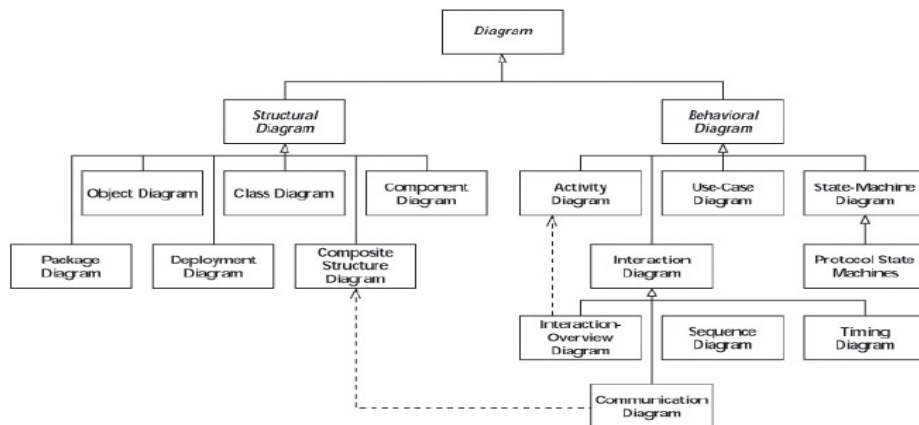
Modeling adalah penting untuk membedakan antara model UML dan himpunan diagram dari suatu sistem. Diagram adalah representasi grafis parsial model sistem. Model ini juga

berisi dokumentasi yang mendorong elemen model dan diagram. Diagram UML merupakan dua pandangan yang berbeda dari model sistem:

Statis (atau struktural) melihat: menekankan struktur statis dari sistem dengan menggunakan object, atribut, operasi dan hubungan. Pandangan struktural termasuk diagram kelas dan diagram struktur komposit.

Dinamis (atau perilaku) melihat: menekankan perilaku dinamis sistem dengan menunjukkan kolaborasi antara objek-objek dan perubahan negara internal objek. Pandangan ini termasuk diagram urutan, diagram aktivitas dan diagram keadaan mesin.

UML memiliki 14 jenis diagram dibagi menjadi dua kategori. Tujuh jenis diagram merupakan informasi struktural, dan tujuh lainnya merupakan jenis umum dari perilaku, termasuk empat yang mewakili aspek yang berbeda dari interaksi. Diagram ini dapat dikategorikan secara hirarkis seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.5.



Gambar 2.5 UML

Unified Modeling Language (UML) memiliki banyak diagram agar dapat memodelkan sistem secara lebih akurat, karena dalam pembuatan suatu sistem terdapat sejumlah pihak yang berkepentingan (*stakeholder*) pada aspek-aspek yang berlainan dari sistem. Oleh karena itu, dengan adanya diagram-diagram pada UML yang mempunyai fungsi masing-masing sesuai dengan bidang dari pihak-pihak yang terlibat dalam pembuatan sistem, maka pihak-pihak yang terlibat dapat memahami informasi yang ingin disampaikan dari satu pihak menuju pihak lainnya. Meskipun UML mempunyai banyak diagram, tetapi tidak semua diagram harus digunakan dalam pembuatan suatu sistem.

2.11 Use Case Diagram

Use case atau diagram *use case* merupakan pemodelan untuk kelakuan (*behavior*) sistem informasi yang akan dibuat. *Use case* mendeskripsikan sebuah interaksi antara satu atau lebih aktor dengan sistem informasi yang akan dibuat. Secara kasar, *use case* digunakan untuk mengetahui fungsi apa saja yang ada di dalam sebuah sistem informasi dan siapa saja yang berhak menggunakan fungsi-fungsi itu. Syarat penamaan pada *use case* adalah nama didefinisikan sesimpel mungkin dan dapat dipahami. Ada dua hal utama pada *use case* yaitu pendefinisian apa yang disebut aktor dan *use case*.

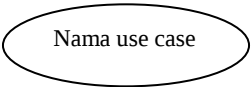
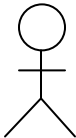
Aktor merupakan orang, proses, atau sistem lain yang berinteraksi dengan sistem informasi yang akan dibuat di luar sistem informasi yang akan dibuat itu sendiri, jadi walaupun simbol dari aktor adalah Gambar orang, tapi aktor belum tentu merupakan orang.

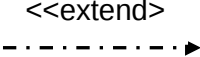
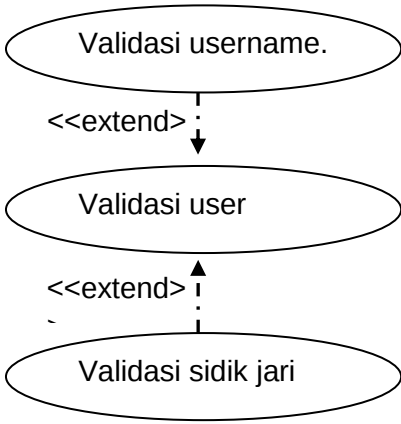
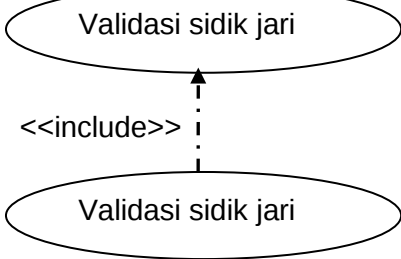
Use case merupakan fungsionalitas yang disediakan sistem sebagai unit-unit yang saling bertukar pesan antar unit atau aktor.

Simbol-simbol pada Use case

Berikut adalah simbol-simbol yang ada pada diagram *use case* pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Use Case Simbol dan Deskripsi

Simbol	Dekripsi
Usecase 	Fungsionalitas yang disediakan sistem sebagai unit-unit yang saling bertukar pesan antar unit atau actor; biasanya dinyatakan dengan menggunakan kata kerja di awal frase nama use case
Aktor 	Orang, proses, atau sistem lain yang berinteraksi dengan sistem informasi yang akan dibuat diluar sistem informasi yang akan dibuat itu sendiri, jadi walaupun simbol dari actor adalah gambar orang, tapi actor belum tentu merupakan orang; biasanya dinyatakan menggunakan kata benda di awal frase nama aktor

Asosiasi/association 	Komunikasi antara aktor dan use case yang berpartisipasi pada use case atau use case memiliki interaksi dengan aktor
Ekstensi/extend 	Relasi use case tambahan ke sebuah use case dimana use case yang ditambahkan dapat berdiri sendiri walau tanpa use case tambahan itu; mirip dengan prinsip inheritance pada pemograman berorientasi objek; biasanya use case tambahan memiliki nama depan yang sama dengan use case yang di tambahkan, missal arah panah mengarah pada usecase yang ditambahkan. 
Generalisasi/generalization 	Hubungan generalisasi dan spesialisasi (umum-khusus) antara dua buah use case dimana fungsi yang satu adalah fungsi yang lebih umum dari lainnya. Misalnya: Use case tambahan dijalankan, missal pada kasus berikut:  Kedua interpretasi di atas dapat dianut salah satu atau keduanya tergantung pada pertimbangan dan interpretasi yang dibutuhkan. Arah panah include mengarah pada use case yang dipakai

2.12 Activity Diagram

Diagram aktivitas yang dibangun dari sejumlah bentuk dihubungkan dengan panah. Jenis Bentuk yang paling penting:

- a. persegi panjang bulat merupakan kegiatan
- b. berlian merupakan keputusan
- c. bar mewakili awal (split) atau akhir (bergabung) dari kegiatan bersamaan
- d. lingkaran hitam merupakan awal (initial state) dari alur kerja
- e. sebuah lingkaran hitam dikelilingi merupakan akhir

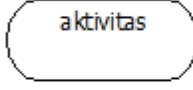
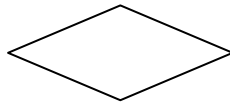
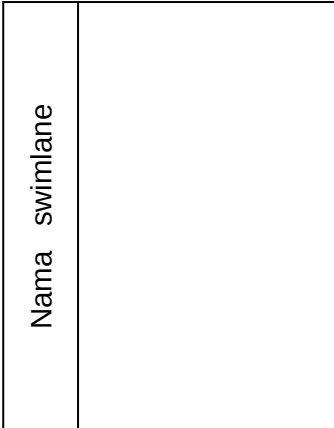
Activity diagram dibuat berdasarkan sebuah atau beberapa use case pada use case diagram. *Activity diagram* mengGambarkan proses bisnis dan urutan aktivitas dalam sebuah proses yang dipakai pada *business modeling* untuk memperlihatkan urutan aktifitas proses bisnis, struktur diagram ini mirip *flowchart* atau *Data Flow Diagram* pada perancangan terstruktur. Sangat bermanfaat apabila kita membuat diagram ini terlebih dahulu dalam memodelkan sebuah proses untuk membantu memahami proses secara keseluruhan, *activity diagram* dibuat berdasarkan sebuah atau beberapa use case pada use case diagram (Chonoles dan Schardt, 2003).

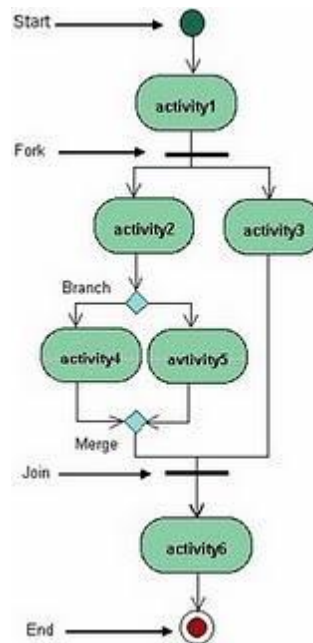
Diagram aktivitas atau *activity diagram* mengGambarkan *workflow* (aliran kerja) atau aktivitas dari sebuah sistem atau proses bisnis. Yang perlu diperhatikan disini adalah bahwa diagram aktivitas menggambarkan aktivitas sistem bukan apa yang dilakukan aktor, jadi aktivitas yang dapat dilakukan oleh sistem.

Diagram aktivitas juga banyak digunakan untuk mendefinisikan hal-hal berikut:

- a. rancangan proses bisnis dimana setiap urutan aktivitas yang di Gambarkan merupakan proses bisnis sistem yang didefinisikan
- b. urutan atau pengelompokan tampilan dari sistem / *user interface* dimana setiap aktivitas dianggap memiliki sebuah rancangan antarmuka tampilan
- c. rancangan pengujian dimana setiap aktivitas dianggap memerlukan sebuah pengujian yang perlu didefinisikan kasus ujinya

Tabel 2.3 Simbol dan Deskripsi Activity Diagram

Simbol	Dekripsi
Status awal 	Status awal aktifitas sistem, sebuah diagram aktifitas memiliki sebuah status awal
Aktifitas 	Aktifitas yang dilakukan sistem, aktifitas biasanya diawali dengan kata kerja
Percabangan / decision 	Asosiasi percabangan dimana jika ada pilihan aktifitas lebih dari satu
Penggabungan / join 	Asosiasi penggabungan dimana lebih dari satu aktifitas digabungkan menjadi satu
	



Gambar 2.6 Contoh Activity Diagram

2.13 Class Diagram

Class adalah sebuah spesifikasi yang jika diinstansiasi akan menghasilkan sebuah objek dan merupakan inti dari pengembangan dan desain berorientasi objek (Chonoles dan Schardt, 2003). *Class* menggambarkan keadaan suatu sistem, sekaligus menawarkan layanan untuk memanipulasi keadaan tersebut.

Class diagram menggambarkan struktur dan deskripsi *class*, *package* dan objek beserta hubungan satu sama lain seperti *containment*, pewarisan, asosiasi, dan lain-lain.

Terdapat tiga area pokok dalam *Class diagram*, yaitu : nama (dan *stereotype*), atribut, metoda. Atribut dan metoda dapat memiliki salah satu sifat berikut ((Chonoles dan Schardt, 2003):

1. *Private* (-), tidak dapat dipanggil dari luar *class* yang bersangkutan.
2. *Protected* (#), hanya dapat dipanggil oleh *class* yang bersangkutan dan anak-anak yang mewarisinya.
3. *Public* (+), dapat dipanggil oleh siapa saja.

Terdapat beberapa hubungan antar *class* pada *class diagram*, yaitu (Ambler, 2005) :

1. Asosiasi, yaitu hubungan statis antar *class*. Umumnya menggambarkan *class* yang memiliki atribut berupa *class* lain, atau *class* yang harus mengetahui eksistensi *class* lain. Panah *navigability* menunjukkan arah *query* antar *class*. Banyaknya asosiasi diberi label

pada kedua ujung baris, satu jumlah besar indikator untuk masing-masing arah seperti Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Indikator Class Diagram

Indikator	Arti
0 .. 1	Nol atau satu
1	Hanya satu
0 .. *	Nol atau lebih
1 .. *	Satu atau lebih
n	Hanya <i>n</i> (dimana $n > 1$)
0 .. n	Nol atau <i>n</i> (dimana $n > 1$)
1 .. n	Satu atau <i>n</i> (dimana $n > 1$)

2. Agregasi, yaitu hubungan yang menyatakan bagian (“terdiri atas.”).
1. Pewarisan, yaitu hubungan hirarkis antar *class*. *Class* dapat diturunkan dari *class* lain dan mewarisi semua atribut dan metoda *class* asalnya dan menambahkan fungsionalitas baru, sehingga ia disebut anak dari *class* yang diwarisinya. Kebalikan dari pewarisan adalah generalisasi.
2. Hubungan dinamis, yaitu rangkaian pesan (*message*) yang di-*passing* dari satu *class* kepada *class* lain.

2.14 Entity Relationship Diagram (ERD)

Entity Relationship Model merupakan abstrak dan konseptual representasi data. *Entity Relationship* adalah salah satu metode pemodelan basis data yang digunakan untuk menghasilkan skema konseptual untuk model data semantik sistem. Dimana sistem seringkali memiliki basis data relasional.

Diagram untuk mengGambarkan model *Entitiy-Relationship* ini disebut *Entitiy Relationship Diagram* (ER diagram) atau ERD. Terdapat dua komponen utama pembentuk *Entity Relationship Model*, yaitu (Fathansyah, 2007:73):

a. Entitas

Entitas merupakan individu yang mewakili sesuatu yang nyata (eksistensinya) dan dapat dibedakan dari sesuatu yang lain. Simbol dari entitas ini biasanya diGambarkan dengan persegi panjang, seperti Gambar 2.8.

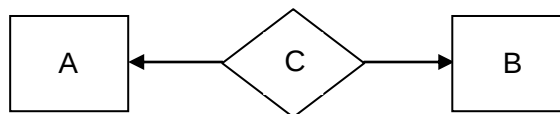


Gambar 2.7 Simbol Entitas

b. Relasi

Relasi menunjukkan adanya hubungan di antara sejumlah entitas yang berasal dari himpunan entitas yang berbeda. Relasi yang terjadi diantara dua entitas (misalnya A dan B) dalam satu basis data dapat dibedakan dengan kardinalitas, yaitu (Fathansyah, 2007:77) :

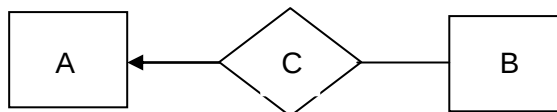
1. Satu ke satu (*one to one*)



Gambar 2.8 Relasi Satu Ke Satu

Hubungan relasi satu ke satu berarti setiap entitas pada himpunan entitas A berhubungan paling banyak dengan satu entitas pada himpunan entitas B, dan begitu juga sebaliknya setiap entitas pada himpunan entitas B berhubungan paling banyak dengan satu entitas pada himpunan entitas A, seperti Gambar 2.9.

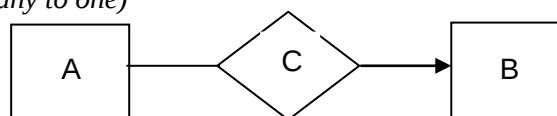
2. Satu ke banyak (*one to many*)



Gambar 2.9 Relasi Satu Ke Banyak

Hubungan relasi satu ke banyak berarti setiap entitas pada himpunan entitas A dapat berhubungan dengan banyak entitas pada himpunan entitas B, tetapi tidak sebaliknya, di mana setiap entitas pada himpunan entitas B berhubungan dengan paling banyak dengan satu entitas pada himpunan entitas A, seperti Gambar 2.10

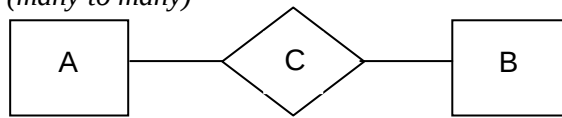
3. Banyak ke satu (*many to one*)



Gambar 2.10 Relasi Banyak Ke Satu

Hubungan relasi banyak ke satu berarti setiap entitas pada himpunan entitas A berhubungan dengan paling banyak dengan satu entitas pada himpunan entitas B, tetapi tidak sebaliknya, di mana setiap entitas pada himpunan entitas A berhubungan dengan paling banyak satu entitas pada himpunan entitas B, seperti Gambar 2.11

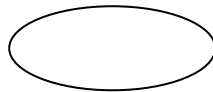
4. Banyak ke banyak (*many to many*)



Gambar 2.11 Relasi Banyak Ke Banyak

Hubungan relasi banyak ke banyak berarti Setiap entitas pada himpunan entitas A dapat berhubungan dengan banyak entitas pada himpunan entitas B dan demikian juga sebaliknya, seperti Gambar 2.12.

Kedua komponen di atas dideskripsikan lebih jauh melalui sejumlah atribut/properti. Setiap entitas pasti mempunyai elemen yang disebut *atribut* yang berfungsi untuk mendeskripsikan karakteristik dari entitas tersebut (Fathansyah, 2007:74). Isi dari atribut mempunyai sesuatu yang dapat mengidentifikasi isi elemen satu dengan yang lain. Dalam atribut harus dapat dibedakan mana atribut yang berfungsi sebagai kunci primer dan yang bukan (atribut deskriptif). Gambar *atribut* diwakili oleh simbol elips. Simbol untuk atribut dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.12 Simbol Atribut

2.15 Java

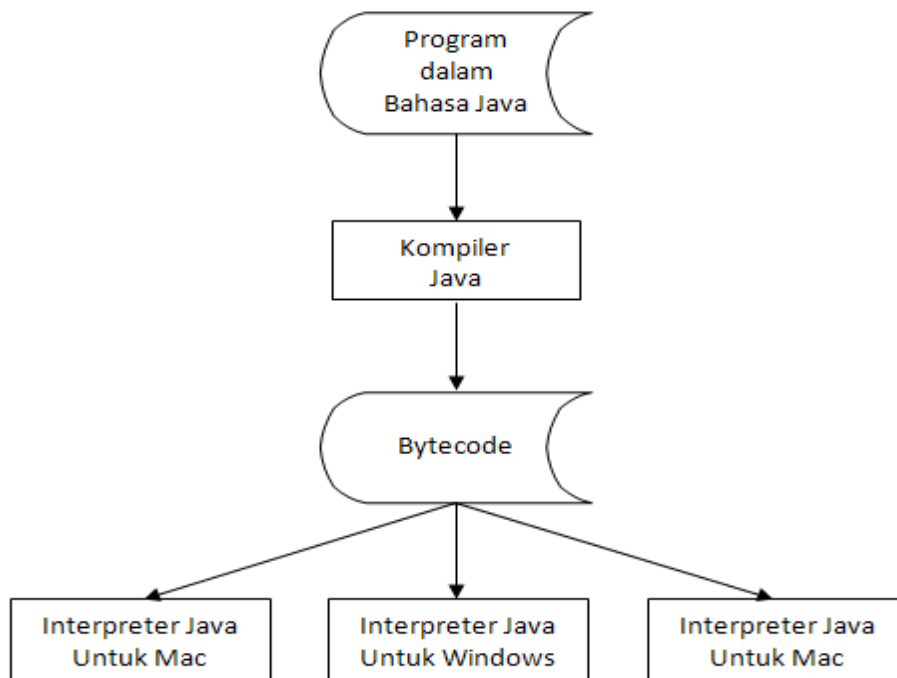
Java adalah satu set produk perangkat lunak komputer beberapa spesifikasi dari Sun Microsystems (yang telah bergabung dengan Oracle Corporation), yang bersama-sama menyediakan sistem untuk mengembangkan perangkat lunak aplikasi dan penggelaran di lingkungan komputasi cross-platform. Java digunakan dalam berbagai platform komputasi dari perangkat embedded dan ponsel pada akhir rendah, ke server enterprise dan superkomputer pada ujung yang tinggi. Sementara kurang umum, applet Java yang kadang-kadang digunakan untuk menyediakan fungsi lebih baik dan aman saat browsing World Wide Web pada komputer desktop.

Menulis dalam bahasa pemrograman Java adalah cara utama untuk menghasilkan kode yang akan digunakan sebagai Java bytecode. Namun demikian, bytecode compiler yang tersedia untuk bahasa lain seperti Ada, JavaScript, Python, dan Ruby. Bahasa baru beberapa telah dirancang untuk berjalan secara native pada Java Virtual Machine (JVM), seperti Scala, Clojure dan Groovy. Sintaks Java meminjam banyak dari C dan C++, namun fitur berorientasi objek dimodelkan setelah Smalltalk dan Objective-C. Java menghilangkan tertentu tingkat rendah konstruksi seperti pointer dan memiliki model

memori yang sangat sederhana di mana setiap objek yang dialokasikan pada tumpukan dan semua variabel jenis objek referensi. Manajemen memori ditangani melalui pengumpulan sampah terpadu otomatis dilakukan oleh JVM

Pada tanggal 13 November 2006, Sun Microsystems membuat sebagian besar implementasi dari Java tersedia di bawah GNU General Public License (GPL). Java dibuat pada tahun 1995 di Sun Microsystems. Java merupakan bahasa berorientasi objek dan serbaguna(Kadir, 2003). Kode Java dikompilasi dalam format yang disebut *bytecode*. *Bytecode* ini dapat dijalankan di semua komputer yang telah dilengkapi dengan program Java Interpreter dan Java Virtual Machine.

Java sangat populer karena pada masa awal internet menjadi populer. Java telah menyediakan sarana untuk membuat program (yang disebut applet) yang berjalan pada *Web Browser*. Bahasa ini juga mendukung koneksi ke *database*, menyediakan sarana untuk membuat aplikasi berbasis Windows, dan juga dapat dipakai untuk pemrograman jaringan, seperti Gambar 2.14.



Gambar 2.13 Penerjemahan dan Pengeksekusian program Java

2.16 Black- Box Testing (Pressman , 2001 , hal. 460)

Pengujian kotak hitam , juga disebut pengujian perilaku , adalah desain kasus uji yang dibuat untuk mengungkap kesalahan . Hal ini juga menunjukkan bahwa fungsi perangkat lunak operasional , input diterima dengan baik dan output yang dihasilkan benar, dan bahwa integritas informasi eksternal (misalnya , database) dipertahankan .

Pengujian black-box berusaha menemukan kesalahan dalam kategori berikut : (1) salah atau hilang fungsi , (2) kesalahan antarmuka , (3) kesalahan dalam struktur data atau akses database eksternal , (4) perilaku atau kinerja kesalahan , dan (5) inisialisasi dan penghentian kesalahan . Tes ini dirancang untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut :

1. Bagaimana validitas fungsional diuji ?
2. Bagaimana perilaku sistem dan kinerja diuji?
3. Kelas input apa yang akan membuat kasus uji yang baik ?
4. Apakah sistem sangat sensitif terhadap nilai input tertentu ?
5. Bagaimana batas-batas kelas data diisolasi ?
6. Apa kecepatan data dan volume data yang dapat sistem mentolerir ?
7. Apa efek akan kombinasi spesifik data terhadap operasi sistem ?

Yang paling penting , pengujian black-box berfokus pada apakah perangkat lunak yang dikembangkan melayani tujuan dan jika itu berfungsi dengan baik atau tidak .