

**PENENTUAN KETUMPATAN KERING TANAH
MENGUNAKAN BACAAN PROBA MACKINTOSH DENGAN MATA
PENUSUK JKR**

Oleh

Poh Khian Meng

65352

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

**Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat
keperluan untuk ijazah dengan kepujian**

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN AWAM)

Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam

Universiti Sains Malaysia

APRIL 2005

PENGHARGAAN

Saya ingin mengambil peluang ini untuk bersyukur kepada Tuhan serta keluarga saya yang banyak memberi sokongan serta panduan untuk menyiapkan projek tahun akhir ini. Saya dengan ikhlasnya mengucapkan ribuan terima kasih kepada Prof. Madya Dr. Ir. Razip B. Selamat, penyelia projek yang banyak bersabar dan memberikan tunjuk ajar, bimbingan dan pengawasan sepanjang tempoh perjalanan projek. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada juruteknik-juruteknik awam yang banyak membantu saya. Tidak lupa juga, saya mengucapkan terima kasih kepada kawan-kawan di sekeliling yang sanggup menghulurkan bantuan dalam projek ini.

ABSTRAK

Kajian ini dijalankan untuk mencari hubungan antara ketumpatan kering tanah sampel dengan bacaan *Mackintosh Probe* yang dipasang dengan mata penusuk JKR (akan dipanggil *JKR Probe* selepas ini). *JKR Probe* merupakan salah satu kaedah yang sering dipakai untuk menganggarkan kekuatan tanah di tapak pembinaan di Malaysia. Dengan adanya hubungan ini, dapatlah membentuk satu alternatif baru di mana ketumpatan kering tanah dapat ditentukan dengan cepat. Selain itu, kajian ini juga melibatkan pemerhatian terhadap perubahan bacaan *JKR Probe* pada tenaga pemadatan yang berlainan. Tanah ini juga akan dikelaskan mengikut piawaian *Unified Soil Classification System*. Keputusan menunjukkan kandungan lembapan optimum untuk maksimum *JKR Probe* tidak berlaku pada kandungan lembapan optimum untuk ketumpatan kering maksimum. Perbezaan antara kandungan lembapan pada maksimum bacaan *JKR Probe* dengan kandungan lembapan optimum bagi maksimum ketumpatan kering semakin kecil apabila tenaga pemadatan menaik. Namun begitu, tujuan utama untuk mencari alternatif baru ini gagal dicapai disebabkan perbezaan nilai ketumpatan kering tanah yang didapati adalah melebihi 20% dengan nilai sebenarnya.

ABSTRACT

The main objective of this project is to determine the relationship between dry density of the soil sample and JKR Probe readings. In Malaysia, it is common that JKR Probe is used to estimate the stiffness of the soil in construction sites. Once the relationship has been identified, a fast and simple alternative to determine dry soil densities would be generated. This study also looks at the changes and behaviours of JKR Probe readings when soil samples are subjected to various energy of compaction. The soil sample is classified according to Unified Soil Classification System. The results indicate that the optimum moisture content corresponding to maximum probe reading does not match the optimum moisture content corresponding to maximum dry density. The difference between the two optimum moisture contents however gets smaller as the compaction energy gets higher. As far as the main objective of predicting field dry density using JKR Probe is concerned, it has not been very successful. The dry densities as predicted using the probe was 20% more than the actual values.

SENARAI KANDUNGAN

	MUKA SURAT
PENGHARGAAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
SENARAI KANDUNGAN	v
SENARAI RAJAH	vii
SENARAI JADUAL	ix
BAB 1 PENGENALAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Objektif Penyelidikan	2
BAB 2 KAJIAN LITERATUR	
2.1 Pengenalan	3
2.2 Graviti Tentu	3
2.3 Analisis Mekanikal Tanah	4
2.3.1 Analisis Ayakan	5
2.3.2 Analisis Hidrometer	6
2.3.3 Lengkung Taburan Saiz Tanah	7
2.4 Kekonsistenan Tanah - Had Atterberg	8
2.5 Pengelasan Tanah - Unified Soil Classification System	9
2.6 Pemdatan Tanah	10
2.6.1 Faktor Lain Yang Mempengaruhi Pemdatan	11
2.6.1.1 Jenis Tanah	11
2.6.1.2 Tenaga Pemdatan	13
2.6.2 Ujian Modified Proctor	15
2.7 Bacaan JKR Probe	16
BAB 3 METODOLOGI	
3.1 Carta Aliran	18
3.2 Pengenalan	19
3.3 Pengelasan Tanah	19
3.3.1 Ujian Graviti Tentu	19
3.3.2 Ujian Had Atterberg	20
3.3.3 Analisis Ayakan	20
3.3.4 Ujian Hidrometer	20
3.3.5 Pengelasan Tanah Mengikut Piawaian	21
3.4 Penentuan Hubungan Ketumpatan Kering Dan Bacaan JKR Probe	21
3.4.1 Ujian Modified Proctor	21
3.4.2 JKR Probe	21

3.5	Pengesahan Kajian - Ujian Ketumpatan Lapangan	23
BAB 4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
4.1	Keputusan	24
4.1.1	Pengelasan Sampel Tanah	24
4.1.1.1	Ujian Had Atterberg	24
4.1.1.2	Ujian Penentuan Graviti Tentu	25
4.1.1.3	Taburan Saiz Zarah	25
4.1.1.4	Pengklasifikasian Sampel Tanah	26
4.1.2	Hubungan Antara Bacaan JKR Probe Dengan Ketumpatan Kering Tanah	27
4.1.2.1	Ujian Modified Proctor Dan JKR Probe	27
4.1.3	Pengesahan Data	29
4.1.3.1	Ujian Ketumpatan Lapangan	29
4.1.3.2	Penentuan Ketumpatan Kering Melalui Graf	30
4.1.3.3	Perbandingan Data	36
4.2	Perbincangan	37
4.2.1	Pengelasan Tanah	37
4.2.2	Hubungan Antara Ketumpatan Kering, Bacaan JKR Probe Dan Kandungan Lembapan	37
4.2.3	Ketepatan Alternatif Baru Penentuan Ketumpatan Kering Tanah	39
4.2.4	Andaian, Sebab-sebab Ralat Dan Cadangan Kepada Penyelidikan Ini	40
BAB 5	KESIMPULAN	42
SENARAI RUJUKAN		
LAMPIRAN A	Radas Dan Kaedah Ujian	
LAMPIRAN B	Rajah Dan Jadual	
LAMPIRAN C	Unified Soil Classification System	

SENARAI RAJAH

- Rajah 2.3.3.1 : Lengkung Taburan Saiz Tanah
- Rajah 2.4.1 : Had Atterberg
- Rajah 2.6.1 : Penerangan Pemadatan Tanah
- Rajah 2.6.1.1.1 : Bentuk Lengkung Bagi Lima Jenis Tanah Yang Berbeza
- Rajah 2.6.1.1.2 : Bentuk-bentuk Lengkung Yang Biasa Dijumpai
- Rajah 2.6.1.2.1 : Pemadatan Tanah Pada Tenaga Yang Berlainan
- Rajah 2.6.2.1 : Keputusan Ujian Modified Proctor
- Rajah 2.7.1 : Alatan JKR Probe Dan Mackintosh Probe
- Rajah 3.4.2.2 : Cara Melakukan Ujian JKR Probe Ke Atas Sampel Tanah
- Rajah 4.1.1.3.1 : Taburan Saiz Sampel Tanah
- Rajah 4.1.2.1.1 : Ketumpatan Kering Dan Bacaan JKR Probe Melawan Kandungan Lembapan Pada 0.5E
- Rajah 4.1.2.1.2 : Ketumpatan Kering Dan Bacaan JKR Probe Melawan Kandungan Lembapan Pada 1.0E
- Rajah 4.1.2.1.3 : Ketumpatan Kering Dan Bacaan JKR Probe Melawan Kandungan Lembapan Pada 1.5E
- Rajah 4.1.3.2.1 : Bacaan Ketumpatan Kering Pada $w = 19.31\%$, 18.65% , 16.41% , Dan 14.89% Dengan 0.5E, 1.0E, Dan 1.5E

- Rajah 4.1.3.2.2 : Bacaan JKR Probe Pada $w = 19.31\%$, 18.65% ,
 16.41% , Dan 14.89% Dengan $0.5E$, $1.0E$, Dan $1.5E$
- Rajah 4.1.3.1.3 : Hubungan Bacaan JKR Probe Dan Tenaga Pemasadatan
Pada $w = 19.31\%$
- Rajah 4.1.3.1.4 : Hubungan Ketumpatan Kering Dan Tenaga Pemasadatan
Pada $w = 19.31\%$
- Rajah 4.1.3.1.5 : Hubungan Bacaan JKR Probe Dan Tenaga Pemasadatan
Pada $w = 18.65\%$
- Rajah 4.1.3.1.6 : Hubungan Ketumpatan Kering Dan Tenaga Pemasadatan
Pada $w = 18.65\%$
- Rajah 4.1.3.1.7 : Hubungan Bacaan JKR Probe Dan Tenaga Pemasadatan
Pada $w = 16.41\%$
- Rajah 4.1.3.1.8 : Hubungan Ketumpatan Kering Dan Tenaga Pemasadatan
Pada $w = 16.41\%$
- Rajah 4.1.3.1.9 : Hubungan Bacaan JKR Probe Dan Tenaga Pemasadatan
Pada $w = 14.89\%$
- Rajah 4.1.3.1.10 : Hubungan Ketumpatan Kering Dan Tenaga Pemasadatan
Pada $w = 14.89\%$
- Rajah 4.2.2.1 : Pergerakan Graf Apabila Tenaga Pemasadatan
Meningkat

SENARAI JADUAL

Jadual 2.2.1	:	Graviti Tentu Bagi Mineral
Jadual 2.3.1.1	:	Saiz Ayak Piawaian B.S.
Jadual 4.1.1.1.1	:	Senarai Keputusan Had Atterberg
Jadual 4.1.1.2.1	:	Graviti Tentu Sampel Tanah
Jadual 4.1.3.1.1	:	Kandungan Lembapan Bagi 4 Sampel Yang Diuji
Jadual 4.1.3.1.2	:	Ujian Ketumpatan Lapangan Bagi 4 Sampel Tanah
Jadual 4.1.3.2.1	:	Ketumpatan Kering Daripada Kaedah JKR Probe Dan Graf
Jadual 4.1.3.3.1	:	Perbandingan Ketumpatan Kering Tanah Melalui 2 Kaedah Yang Berbeza

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Latar Belakang

Tanah lembut yang terdapat di tapak pembinaan lebuhraya, bangunan struktur kejuruteraan dan sebagainya, mestilah dipadatkan demi meningkatkan ketumpatan tanah tersebut. Pemadatan dapat meningkatkan keupayaan galas dan kekuatan secara keseluruhan kepada tanah yang lembut, justeru itu pembinaan besar kejuruteraan dapat dilakukan di atas tersebut. Selain itu, pemadatan tanah juga dapat mengelakkan enapan yang teruk kepada bangunan-bangunan kejuruteraan dan menambahkan kestabilan cerun *embankment* (Braja M.Das, 2000). Biasanya beberapa jenis mesin pemadatan tanah digunakan di tapak pembinaan seperti *smooth-wheel rollers*, *sheepsfoot rollers*, *rubber-tired rollers*, dan *vibratory rollers*.

Pemadatan tanah mengurangkan rongga tanah dan meningkatkan kekuatannya. Cara untuk mengukur perubahan tersebut adalah dengan mendapatkan ketumpatan pukal. Biasanya ujian ketumpatan lapangan dijalankan untuk tujuan tersebut. Sekiranya ruangan udara dikurangkan dalam tanah, maka ketumpatan pukal akan meningkat.

Di Malaysia, penggunaan *JKR Probe* untuk menganggar kekuatan tanah di tapak pembinaan amat ketara diamalkan. Ia merupakan satu kaedah yang mudah dan murah untuk dijalankan. Prinsipnya adalah menanamkan rod *JKR Probe* ke dalam tanah yang hendak diuji dan bilangan hentaman dicatatkan. Apabila penusukan

mencapai 12 meter atau 400 hentaman per 300mm, ujian ini diberhentikan. Ia boleh dijalankan dengan seorang sahaja, tetapi biasanya 2 atau lebih orang melakukannya kerana ujian ini amat meletihkan badan.

1.2 Objektif Penyelidikan

Tujuan utama penyelidikan ini adalah untuk mencari perkaitan antara ketumpatan kering dengan bacaan *JKR Probe* (bilangan hentaman tukul) bagi tanah di lapangan – tanah pasir berlempung. Dengan adanya perkaitan ini, satu alternatif baru untuk mendapat ketumpatan kering melalui bacaan *JKR Probe* boleh dijanakan. Namun begitu, alternatif ini masih perlu diuji ketepatannya dengan membandingkan nilai sebenar ketumpatan kering tanah tersebut.

Selain itu, penyelidikan ini juga mengkaji perubahan nilai bacaan *JKR Probe* apabila tenaga pemadatan ditingkatkan.

Tanah dianalisis supaya mendapatkan taburan zarah bagi sampel tanah yang diperoleh. Ciri-ciri sampel tanah yang lain seperti graviti tentu, had cair, had plastik dan sebagainya didapatkan untuk pengklasifikasian tanah. Sampel tanah tersebut akan dinamakan mengikut piawaian *Unified Soil Classification System*.

BAB 2

KAJIAN LITERATUR

2.1 Pengenalan

Pemadatan diperlukan dalam banyak jenis pembinaan tetapi terutamanya pembinaan jalan raya. Biasanya sampel tanah isi dibawa ke makmal untuk diuji dengan ujian *Proctor*. Berdasarkan keputusan ujian *Proctor*, tanah isi di lapangan dipadatkan secukupnya. Secara amnya, para jurutera mahukan suatu darjah pemadatan yang menunjukkan bahawa tanah mempunyai ketumpatan kering paling maksimum. Sifat-sifat tanah yang boleh digunakan bagi menunjukkan prestasinya di tapak binaan adalah seperti graviti tentu, taburan zarah tanah, Had *Atterberg*, pengelasan tanah, ketumpatan kering, dan bacaan *JKR Probe*.

2.2 Graviti Tentu, G_s

Graviti tentu tanah adalah penting dalam aspek kejuruteraan. Nilainya boleh ditentukan dengan tepat di dalam makmal. Kebanyakan mineral mempunyai graviti tentu daripada 2.6 hingga 2.9. Untuk tanah lempung dan kelodak, nilainya berbeza daripada 2.6 hingga 2.9. Manakala untuk tanah pasir berwarna ringan yang kebanyakannya terdiri daripada kuartz, bernilai lebih kurang 2.65 (Braja M.Das, 2000). Jadual di bawah menunjukkan graviti tentu bagi beberapa mineral yang terdapat di dalam tanah.

Jadual 2.2.1 : Graviti Tentu Bagi Mineral (Braja M. Das, 2000)

Mineral	Graviti Tentu, G_s
Quartz	2.65
Kaolinite	2.6
Illite	2.8
Montmorillonite	2.65-2.80
Halloysite	2.0-2.55
Potassium feldspar	2.57
Sodium and calcium feldspar	2.62-2.76
Chlorite	2.6-2.9
Biotite	2.8-3.2
Muscovite	2.76-3.1
Hornblende	3.0-3.47
Limonite	3.6-4.0
Olivine	3.27-3.37

2.3 Analisis Mekanikal Tanah

Analisis mekanikal menentukan julat saiz zarah tanah dalam bentuk peratus daripada jumlah jisim kering. Secara umumnya, dua kaedah digunakan untuk menentukan taburan saiz tanah: (1) analisis ayakan – untuk diameter partikel yang melebihi 0.075mm, dan (2) analisis hidrometer – untuk diameter partikel yang kurang daripada 0.075mm.

2.3.1 Analisis Ayakan

Analisis ayakan terdiri daripada satu set ayakan yang piawai dan mempunyai saiz bukaan yang semakin kecil. Set ayakan tersebut akan digetar oleh mesin. Pada mulanya, tanah dikehendaki dikering ketuhar dan ketulan tanah yang besar akan dipecahkan sebelum dimasukkan ke dalam set ayakan. Set ayakan dibiarkan bergetar selama tempoh yang ditetapkan, dan tanah yang tertahan dalam setiap ayak ditentukan. Kemudiannya tanah yang tertahan dalam setiap ayak akan dipersembahkan dalam peratusan daripada jumlah berat tanah. (Braja M.Das, 2000)

Jadual berikut menunjukkan nombor ayak Piawaian B.S. dan saiz ayak:

Jadual 2.3.1.1 : Saiz Ayak Piawaian B. S.

Nombor	Saiz ayak (mm)
1	14
2	10
3	6.3
4	5
5	3.35
6	2
7	1.18
8	600 mikron
9	425 mikron
10	300 mikron
11	212 mikron
12	150 mikron
13	63 mikron
14	pan

2.3.2 Analisis Hidrometer

Analisis hidrometer adalah berdasarkan prinsip mendapan zarah tanah di dalam air. Apabila spesimen tanah direndam dalam air, zarah-zarah akan termendap pada kelajuan yang berbeza, di mana ia bergantung kepada berat, saiz dan bentuk zarah-zarah. Dengan menganggap bahawa zarah tanah berbentuk bola, maka kelajuan mendapan boleh ditentukan melalui Hukum Stokes:

$$v = \frac{\rho_s - \rho_w}{18\eta} D^2 \quad (2.3.2.1)$$

Di mana v = kelajuan

ρ_s dan ρ_w = ketumpatan zarah tanah dan air

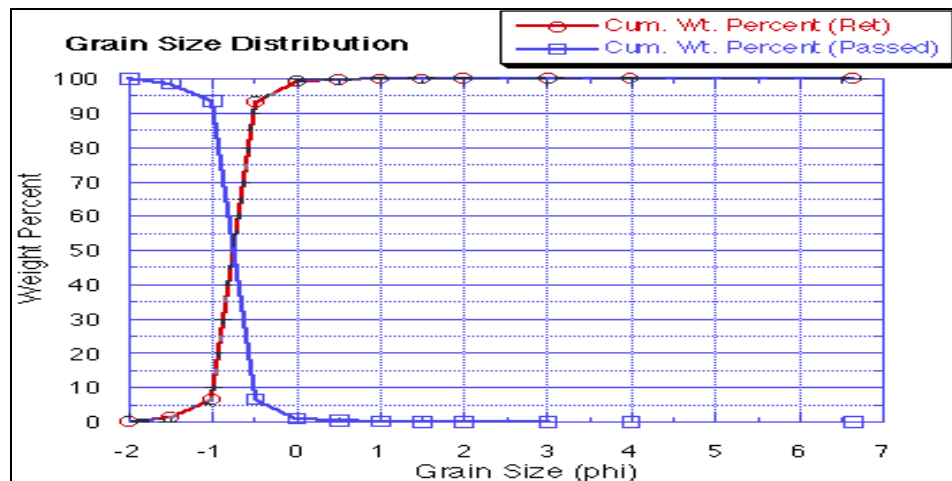
η = kelikatan air

D = diameter zarah tanah

Dalam makmal, ujian hidrometer dijalankan dengan merendamkan 50 gram sampel tanah yang dikering ketuhar ke dalam silinder pegenapan. Silinder tersebut 457mm tinggi dan 63.5mm diameter. Biasanya *Sodium hexametaphosphate* digunakan sebagai agen penyerak (*dispersing agent*). Analisis hidrometer adalah berkesan untuk taburan zarah tanah sehingga 0.5μ (ASTM Book of Standards, 1998, Test Designation D-422). (Braja M.Das, 2000)

2.3.3 Lengkung Taburan Saiz Tanah

Secara umumnya, keputusan analisis mekanikal akan diplotkan dalam graf logaritma yang dinamakan Lengkung Taburan Saiz Tanah. Saiz diameter zarah diplotkan dalam skala log dan peratusan melebihi saiz ayak. Peratusan seperti pasir, kelodak dan lempung boleh didapati daripada lengkung taburan saiz tanah. (Braja M.Das, 2000) Bentuk lengkung taburan saiz kumulatif ditunjukkan di bawah:

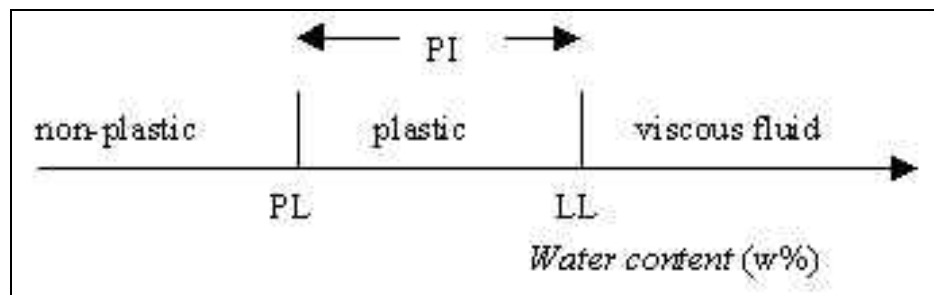


Rajah 2.3.3.1 : Lengkung Taburan Saiz Tanah

(<http://www.cs.pdx.edu/~ian/geology2.5.html>)

2.4 Kekonsistenan Tanah – Had Atterberg

Apabila segumpal tanah lempung dicampur dengan kandungan air yang sesuai, ia boleh diubah bentuk tanpa rentakan. Ini adalah kerana air yang diserap telah mengelilingi partikel lempung. Albert Mauritz Atterberg (1916) telah memperkenalkan satu kaedah untuk mengkaji kekonsistenan butiran tanah halus dengan kandungan lembapan yang berlainan. Apabila pada kandungan lembapan yang rendah, tanah bersifat sebagai pepejal. Tetapi pada kandungan lembapan yang tinggi, tanah boleh mengalir seperti cecair. Perlakuan ini boleh dipecahkan kepada empat kelas seperti yang ditunjukkan di bawah. (Braja M.Das, 2000)



Rajah 2.4.1 : Had Atterberg (Manion, William P., 2005)

Kandungan lembapan (dalam peratus) di mana tanah bertukar daripada keadaan pepejal ke separuh pepejal dikenali sebagai Had Pengecutan. Had Plastik merujuk kepada kandungan lembapan di mana tanah bertukar daripada separuh pepejal ke plastik, manakala Had Cecair adalah daripada keadaan plastik ke cecair. Kesemua had ini juga dikenali sebagai Had Atterberg. (Manion, William P., 2005)

2.5 Pengelasan Tanah – ‘Unified Soil Classification System’

Pada mulanya sistem ini dikemukakan oleh Casagrande pada tahun 1942 untuk kegunaan pembinaan lapangan terbang oleh *Army Corps of Engineers* semasa Peperangan Dunia II. Sistem ini kemudiannya digubah dengan kerjasama *U.S. Bureau of Reclamation* pada tahun 1952. Sistem ini ditunjukkan di Lampiran C: Rajah C1, C2 dan C3. Secara umumnya, sistem ini memecahkan tanah kepada dua kategori (ASTM Test Designation D-2487).

Yang pertama ialah tanah berbutir kasar di mana kebanyakan zarah tanah terdiri daripada kelikir dan pasir. Kurang daripada 50% tanah yang terlepas daripada ayak nombor 200. Simbol kumpulan ini bermula dari huruf G atau S, di mana G mewakili kelikir dan S mewakili pasir.

Yang kedua ialah tanah berbutir halus dengan 50% atau lebih tanah terlepas daripada ayak nombor 200. Simbol kumpulan bermula dengan huruf M yang mewakili kelodak tak organik, C untuk lempung tak organik, atau O untuk kelodak dan lempung organik.

Simbol-simbol lain juga digunakan di mana W adalah *well graded*, P untuk *poor graded*, L untuk keplastikan rendah (had cecair kurang daripada 50) dan H untuk keplastikan tinggi (had cecair lebih daripada 50). Untuk mengklasifikasikan tanah mengikut sistem ini, data berikut diperlukan: (Braja M.Das, 2000)

1. Peratusan kelikir – peratusan tanah yang terlepas daripada ayak 76.2mm dan tertahan pada ayak nombor 4 (4.75mm)
2. Peratusan pasir – peratusan tanah yang terlepas daripada ayak nombor 4

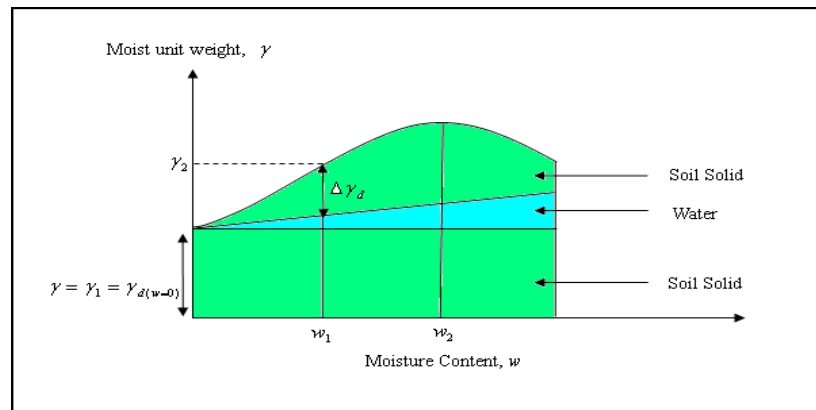
dan tertahan pada ayak nomor 200 (0.075mm)

3. Peratusan lempung dan kelodak – peratusan tanah yang terlepas daripada ayak nomor 200
4. *Uniformity coefficient* (C_u) dan *coefficient of gradation* (C_z)
5. Had cecair dan indeks keplastikan tanah yang melepasi ayak nomor 40

2.6 Pempadatan Tanah

Secara umumnya, pempadatan tanah merujuk kepada peningkatan ketumpatan dengan air dikeluarkan daripada tanah, di mana proses ini memerlukan tenaga mekanikal. Kekuatan pempadatan tanah biasanya diukur dalam unit jisim kering. Air bertindak sebagai agen pelembut apabila ditambah kepada tanah yang sedang dipadat. Zarah-zarah tanah akan bergerak ke posisi lain di mana tanah akan menjadi lebih tumpat lagi.

Rajah di bawah menunjukkan unit jisim kering bertambah selepas pempadatan apabila kandungan lembapan bertambah:



Rajah 2.6.1 : Penerangan Pempadatan Tanah (Braja M.Das, 2000)

Pada kandungan lembapan $w = 0$, unit jisim lembap (γ) bersamaan dengan unit jisim kering (γ_d), atau $\gamma = \gamma_{d(w=0)} = \gamma_1$. Apabila kandungan lembapan bertambah dan tenaga pemadatan yang sama dikekalkan, ketumpatan tanah bertambah. Pada kandungan lembapan $w = w_1$, unit jisim kering lembap bersamaan dengan $\gamma = \gamma_2$. Unit jisim kering pada kandungan lembapan ini pula diberi oleh persamaan

$$\gamma_{d(w=w_1)} = \gamma_{d(w=0)} + \Delta\gamma_d \quad (2.5.1)$$

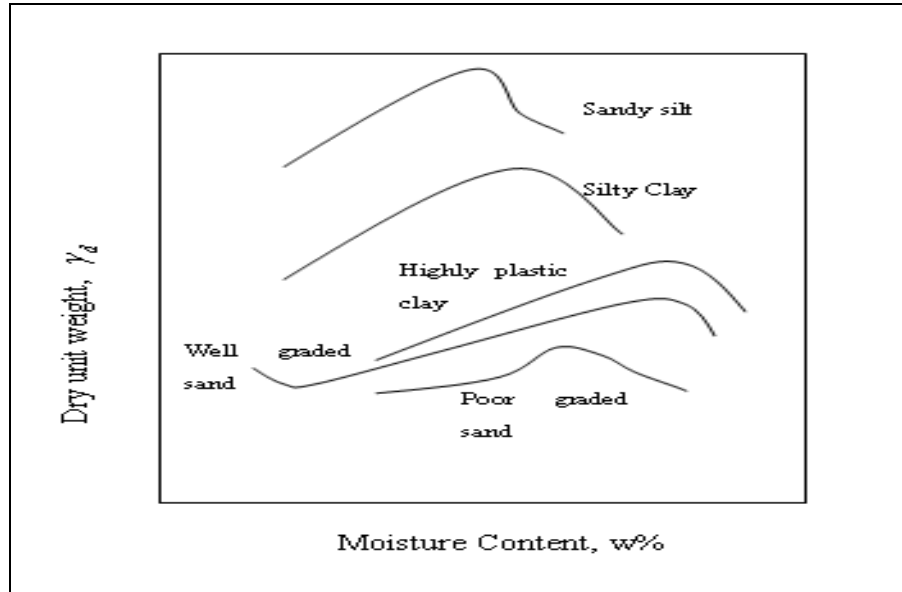
Selepas kandungan lembapan di $w = w_2$, unit jisim kering akan berkurang dengan pertambahan kandungan lembapan. Ini adalah disebabkan air telah mengambil alih tempat yang sepatutnya diduduki oleh partikel tanah. Kandungan lembapan pada $w = w_2$ merupakan kandungan lembapan optimum. (Braja M.Das, 2000)

2.6.1 Faktor Lain Yang Mempengaruhi Pemadatan

2.6.1.1 Jenis Tanah

Jenis tanah, termasuklah taburan zarah tanah, bentuk zarah tanah, graviti tentu tanah, jumlah dan jenis mineral lempung yang hadir juga mempengaruhi unit jisim kering maksimum dan kandungan lembapan optimum.

Rajah 2.6.1.1 menunjukkan bentuk lengkung bagi lima jenis tanah.



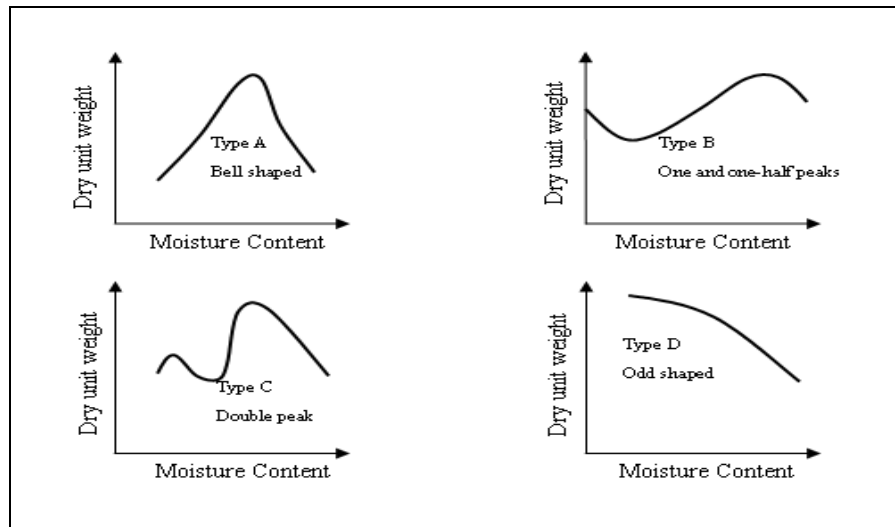
Rajah 2.6.1.1.1 : Bentuk Lengkung Bagi Lima Jenis Tanah Yang Berbeza

(Braja M.Das, 2000)

Rajah 2.6.1.1.1 menunjukkan untuk tanah berpasir, unit jisim kering berkurang pada mulanya dan seterusnya bertambah dengan pertambahan kandungan lembapan. Pengurangan unit jisim kering pada permulaan disebabkan kesan tegangan kapilari. Pada kandungan lembapan rendah, kesan tegangan kapilari menghalang partikel tanah untuk bergerak ke posisi lain.

Lee dan Suedkamp (1972) mengkaji 35 jenis tanah dan mendapati lengkung pemadatan masing-masing. Secara kesimpulan daripada kajian mereka, lengkung-lengkung tersebut boleh dibahagikan kepada empat jenis, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.6.1.1.2. Lengkung pemadatan jenis A mempunyai satu puncak maksimum sahaja. Lengkung jenis ini banyak terdapat daripada tanah berhad cecair antara 30 hingga 70. Lengkung pemadatan jenis B mempunyai puncak

maksimum dan minimum, manakala lengkung pemadatan jenis C mempunyai dua puncak maksimum. Lengkung jenis B dan C boleh didapati daripada tanah yang bernilai had cecair kurang daripada 30. Lengkung pemadatan jenis D tidak mempunyai puncak maksimum atau minimum. Tanah yang bernilai had cecair lebih daripada 70 mungkin mempunyai lengkung pemadatan jenis C atau D. Walau bagaimanapun, lengkung C dan D tidak biasa dijumpa. (Braja M.Das, 2000)



Rajah 2.6.1.1.2 : Bentuk-bentuk Lengkung Yang Biasa Dijumpa (Braja M.Das, 2000)

2.6.1.2 Tenaga Pemadatan

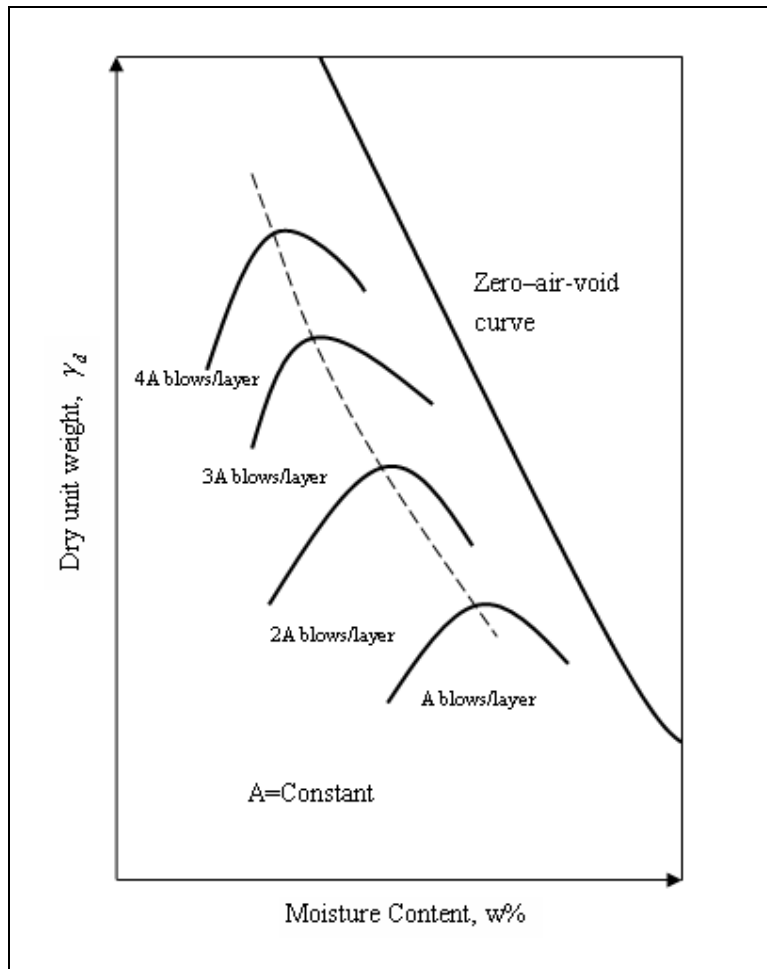
Tenaga pemadatan bagi per unit isipadu, E untuk *Modified Proctor Test*

boleh diberikan oleh:

$$E = \frac{(\text{bilangan hentaman per lapis}) \times (\text{bilangan lapisan}) \times (\text{berat tukul}) \times (\text{ketinggian})}{\text{isipadu}}$$

(2.6.1.2.1)

Apabila tenaga pemadatan meningkat, unit jisim kering maksimum pemadatan juga meningkat. Di samping itu, kandungan lembapan optimum menurun apabila tenaga pemadatan meningkat. Perlakuan ini adalah benar bagi semua jenis tanah (Braja M.Das, 2000). Ini boleh ditunjukkan dalam rajah di bawah:



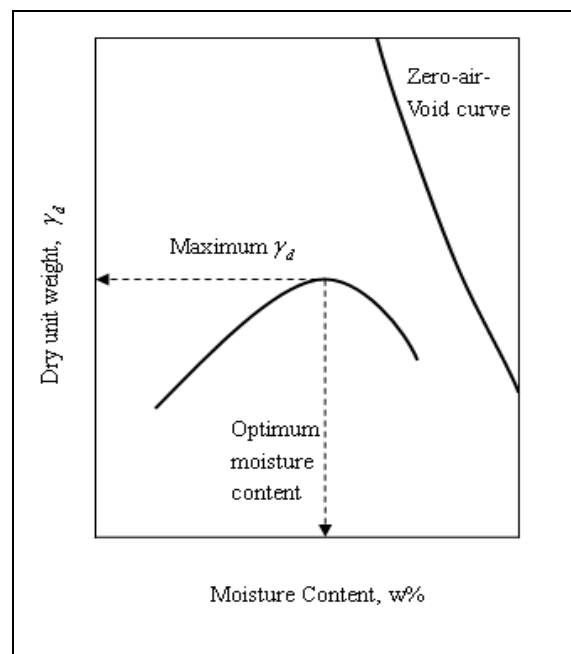
Rajah 2.6.1.2.1 : Pemadatan Tanah Pada Tenaga Yang Berlainan (Braja M.Das)

2.6.2 Ujian *Modified Proctor*

Ini merupakan ujian *Proctor* yang telah diubahsuai untuk lebih mewakili keadaan tapak pada zaman ini. Ujian ini mengenakan lebih tenaga pemadatan kepada sampel tanah. Bekas yang sama digunakan dalam ujian *Proctor* piawai masih digunakan dalam ujian ini, iaitu berisipadu 1000cm^3 . Berat penukul adalah 4.5kg . Ketinggian kejatuhan penukul adalah 450mm dan sampel tanah dipadatkan sebanyak lima lapisan.

Tujuan utama daripada melakukan ujian ini adalah untuk memperolehi unit berat kering maksimum dan optimum kandungan lembapan. (Manion, William P., 2005)

Kedua-dua nilai ini boleh didapati dengan memplotkan graf, seperti yang ditunjukkan di rajah bawah:



Rajah 2.6.2.1 : Keputusan Ujian *Modified Proctor* (Braja M.Das, 2000)

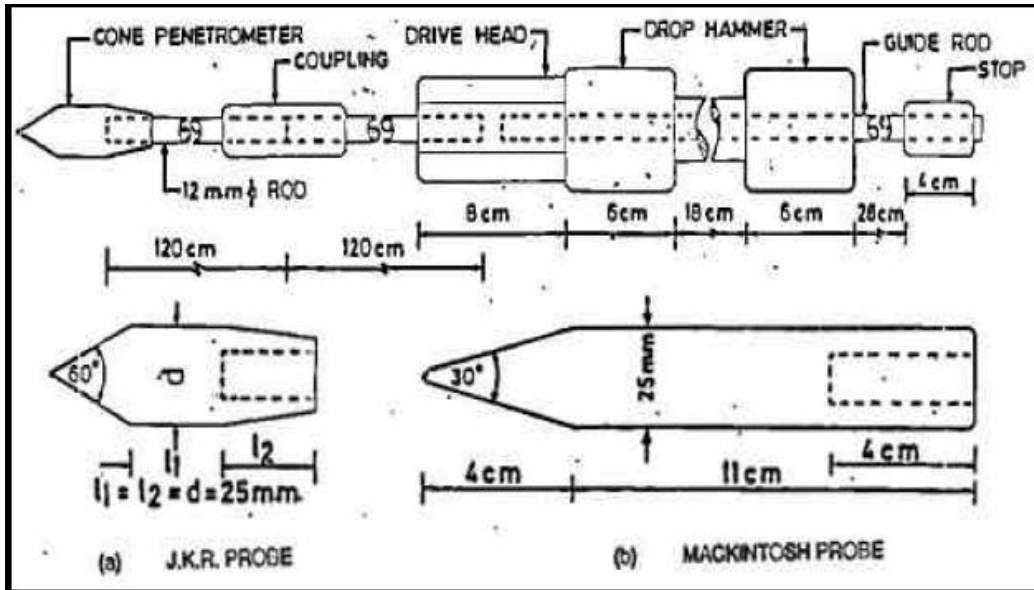
2.7 Bacaan *JKR Probe*

Ujian *JKR Probe* merupakan ujian penusukan yang biasanya dilakukan di tapak pembinaan. Cara ini merupakan ujian penusukan yang mudah dan murah untuk menentukan kekonsistenan subtapak. Ia direka bentuk oleh Jabatan Kerja Raya Malaysia pada awal tahun 1970-an. Kadangkala ia salah dianggap sebagai Mackintosh Probe di mana ia mempunyai 30° sudut mata penusuk, manakala *JKR Probe* adalah 60° . Ujian ini merupakan ujian dinamik ringan dan mata kon dimasukkan ke dalam tanah oleh tukul seberat 5kg dari ketinggian 280mm. Keputusan dicatatkan dalam bentuk bilangan hentaman per 300mm penusukan. Penusukan yang maksimum adalah apabila kon dan rod dimasukkan sedalam 12m atau mencapai bacaan 400 hentaman per 300mm sebelumnya. Secara teorinya, lapisan yang lebih mampat memberikan bacaan *JKR Probe* yang lebih tinggi. Namun begitu, cara ini tidak boleh digunakan untuk tanah yang berkekuatan sederhana dan berkelikir.

Namun demikian, ralat biasa berlaku semasa melakukan ujian ini. Ralat manusia yang disebabkan ketinggian kejatuhan penukul kurang daripada 280mm, dan menyebabkan lebih bacaan *JKR Probe* pada akhir ujian. Selain itu, juga terdapat ralat peralatan yang disebabkan kerosakan peralatan, ataupun menggunakan rod *JKR Probe* yang bengkok, boleh menyebabkan lebih bacaan *JKR Probe*. (*JKR Standard Specification for Site Investigation, 1990*)

Rajah di bawah menunjukkan alat yang digunakan dalam *JKR Probe* serta

Mackintosh Probe.



Rajah 2.7.1 : Alatan JKR Probe dan Mackintosh Probe (*JKR Standard*

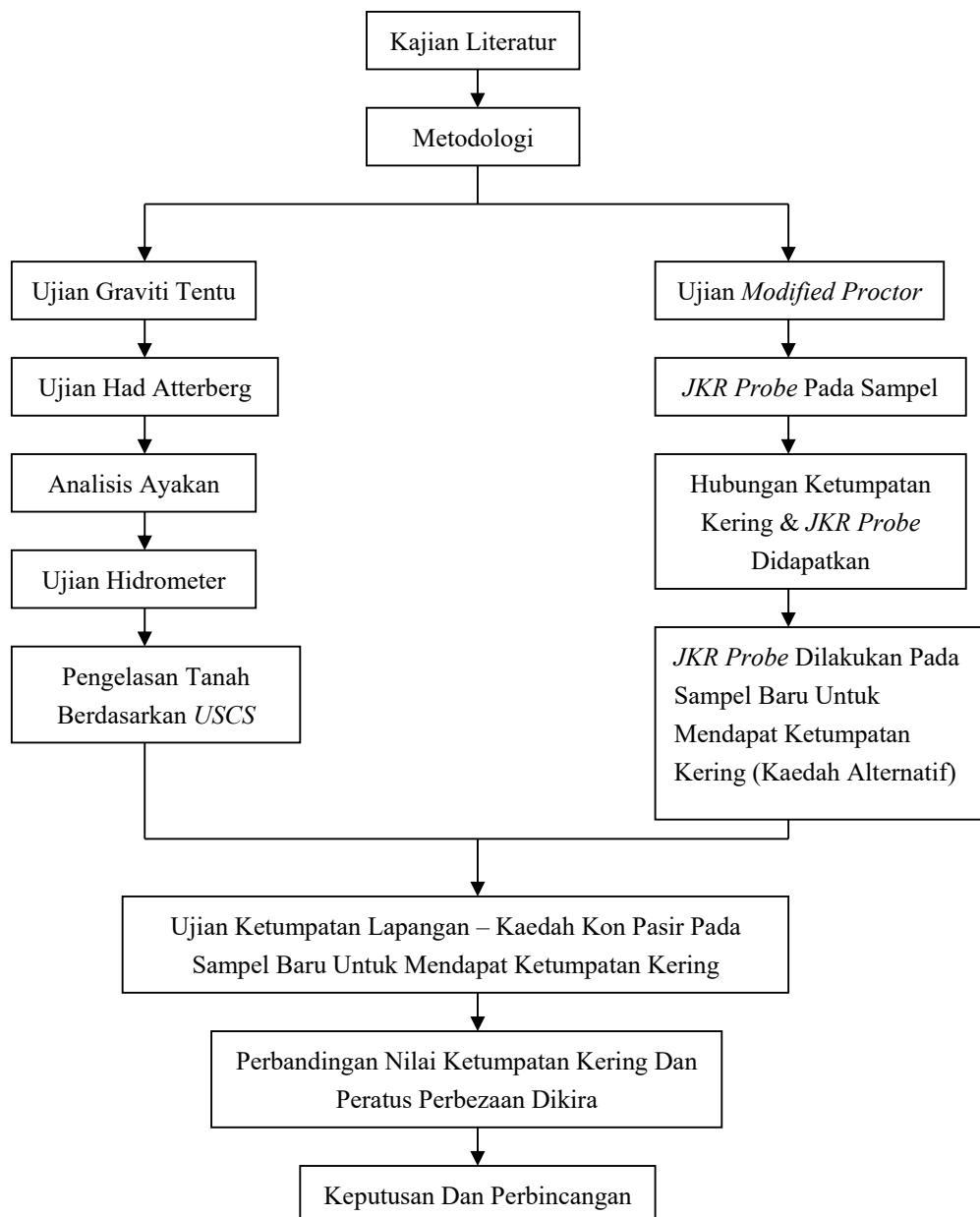
Specification for Site Investigation, 1990).

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Carta Aliran

Keseluruhan ujian yang dilakukan untuk kajian ini boleh diwakili oleh carta aliran berikut:



3.2 Pengenalan

Tujuan utama kajian ini adalah mendapatkan hubungan antara ketumpatan kering tanah sampel dengan bacaan *JKR Probe*. Namun, sebelum ketumpatan kering ditentukan, sampel tanah ini akan dikelaskan mengikut piawaian *Unified Soil Classification System*. Selepas ini, ujian *Modified Proctor* dan *JKR Probe* akan dijalankan untuk menentukan hubungan antara satu sama lain, dan mencari alternatif baru untuk mendapatkan ketumpatan kering tanah berdasarkan bacaan *JKR Probe* yang didapati. Akhir sekali, ujian pengesahan yang melibatkan ujian ketumpatan lapangan dijalankan untuk menentukan bacaan ketumpatan kering tanah sampel untuk kali kedua. Kejituan alternatif baru untuk mendapatkan ketumpatan kering tanah akan ditentukan berdasarkan peratusan perbezaan di antara kedua-dua nilai ini. Ujian-ujian yang dilakukan dalam setiap peringkat akan dibincangkan dalam bahagian yang seterusnya.

3.3 Pengelasan Tanah

Ujian-ujian yang dijalankan untuk tujuan pengelasan tanah adalah:

3.3.1 Ujian Graviti Tentu

Tujuan ujian ini adalah mendapatkan graviti tentu untuk sampel tanah yang diuji. Prinsip ujian ini ialah membandingkan jisim tanah dan air suling di dalam botol dengan jisim air suling sahaja di dalam botol. Radas yang digunakan serta langkah-langkah terperinci ditunjukkan dalam Lampiran A: Ujian 1.

3.3.2 Ujian Had *Atterberg*

Ujian Had *Atterberg* termasuk ujian had plastik dan ujian had cecair. Ujian had plastik adalah mudah dan dijalankan dengan mengulikan tanah kepada rantai yang bergaris pusat 3mm. Kandungan lembapan di mana rantai tanah berputus merupakan had plastik bagi tanah tersebut. Ujian had cecair pula berdasarkan penusukan jarum dalam 5 saat kepada sampel tanah yang telah dicampurkan air. Graf penusukan melawan kandungan lembapan diplotkan dan kandungan lembapan bagi penusukan 20mm merupakan nilai had cecair bagi tanah tersebut. Radas dan kaedah ujian yang terperinci ditunjukkan dalam Lampiran A: Ujian 2.

3.3.3 Analisis Ayakan

Ujian ini menentukan taburan partikel tanah yang berdiameter lebih besar daripada 0.075mm. Sampel tanah sebanyak 50 gram diayak selama 10 hingga 15 minit. Kemudian jisim tanah yang tertahan pada setiap ayak dicatatkan. Radas serta kaedah ujian yang terperinci ditunjukkan dalam Lampiran A: Ujian 3.

3.3.4 Ujian Hidrometer

Tujuan analisis hidrometer adalah untuk mendapatkan taburan saiz partikel tanah yang berdiameter kecil daripada 0.075mm. Radas serta kaedah ujian yang terperinci ditunjukkan dalam Lampiran A: Ujian 4.

3.3.5 Pengelasan Tanah Mengikut Piawaian

Selepas mendapat had plastik, had cecair, dan taburan zarah tanah, tanah ini diklasifikasikan mengikut piawaian *Unified Soil Classification System*. Jadual-jadual dan carta ditunjukkan dalam Lampiran C: Rajah C1, Jadual C1 dan C2.

3.4 Penentuan Hubungan Ketumpatan Kering Dan Bacaan *JKR Probe*

Ujian-ujian yang terlibat untuk mencari hubungan ketumpatan kering dan bacaan *JKR Probe* adalah:

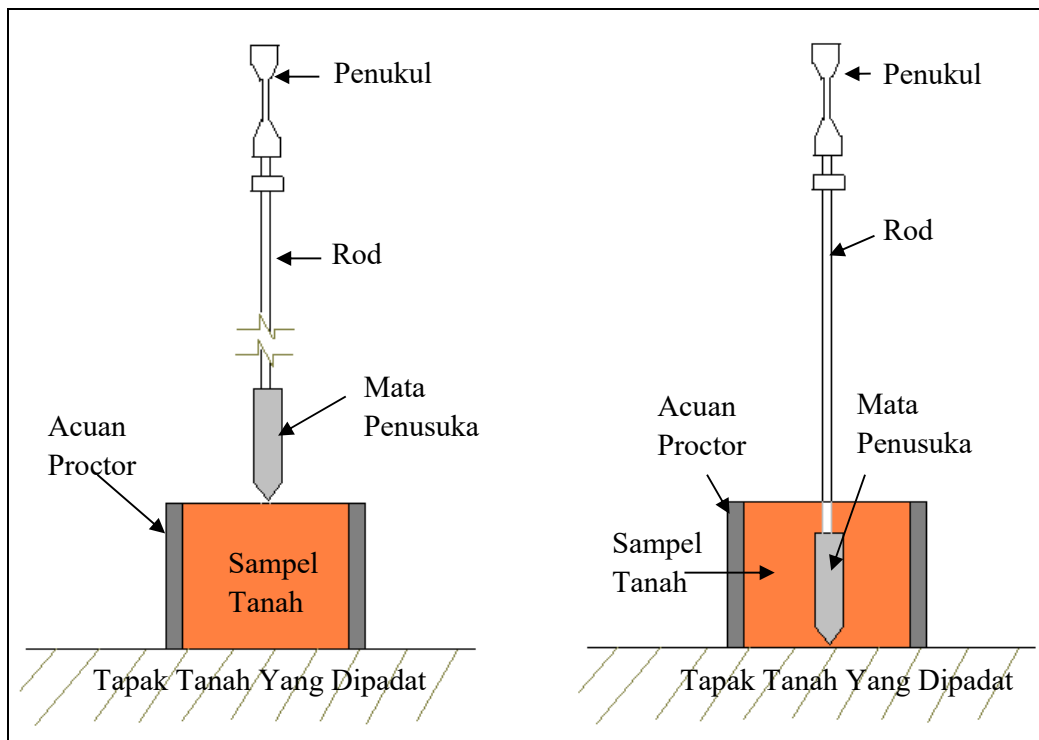
3.4.1 Ujian *Modified Proctor*

Ujian ini menentukan hubungan antara ketumpatan kering dengan kandungan lembapan tanah. Pemadatan tanah dilakukan oleh mesin pemadatan *Modified Proctor* pada lima lapisan. Pemadatan ini terbahagi kepada 14, 27, serta 41 hentaman per lapisan, bergantung kepada tenaga pemadatan yang diperlukan. Radas serta langkah kerja yang terperinci ditunjukkan dalam Lampiran A : Ujian 5.

3.4.2 *JKR Probe*

Radas yang digunakan dalam ujian ini melibatkan mata penusukan, rod, serta penukul *JKR Probe*. Tanah yang telah dipadatkan dalam ujian *Modified Proctor* dikekalkan dalam acuannya tetapi asasnya ditanggalkan. Kemudian acuan tersebut dibawa ke tapak tanah yang telah dipadatkan. Tapak ini mesti dipadat dengan kuat kerana ia akan berfungsi sebagai asas bagi acuan dalam ujian *JKR Probe*.

Kemudiannya, acuan diletakkan di atas tapak tanah. Ketinggian acuan dicatatkan dan tandakan ketinggian tersebut pada rod *JKR Probe* yang telah siap dipasang. Selepas itu, rod dipegang supaya mata penusukan *JKR Probe* bertemu berserenjang dengan permukaan tanah dalam acuan pada titik tengah acuan. Penukul diangkat sepenuhnya dan dilepaskan. Proses ini diulangi sehingga mata penusukan menelusuri keseluruhan acuan tersebut, iaitu paras yang ditanda pada rod tadi adalah searas dengan permukaan acuan. Bilangan hentaman ini dicatat dan ia dikenali *Bacaan JKR Probe*. Rajah di bawah menunjukkan bagaimana ujian ini dilakukan:



Rajah 3.4.2.2 : Cara Melakukan ujian *JKR Probe* Ke Atas Sampel Tanah

3.5 Pengesahan Kajian – Ujian Ketumpatan Lapangan

Peringkat ini melibatkan ujian ketumpatan lapangan, iaitu kaedah kon pasir.

Dengan kaedah ini, ketumpatan kering tanah didapati. Ujian ini dilakukan ke atas tanah sampel yang telah ditanam di dalam lubang yang digorek. Kemudiannya tanah sampel dipadatkan sebelum ujian ketumpatan lapangan dijalankan. Radas dan langkah kerja yang terperinci dinyatakan dalam Lampiran A: Ujian 6.

BAB 4

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1 Keputusan

Keputusan boleh dikategorikan kepada tiga kumpulan, iaitu pengelasan sampel tanah, hubungan antara ketumpatan kering dan *JKR Probe*, dan pengesahan data.

4.1.1 Pengelasan Sampel Tanah

Keputusan pengelasan tanah ditunjukkan di bawah.

4.1.1.1 Ujian Had Atterberg

Ujian dijalankan ke atas sampel tanah dan ringkasan keputusan adalah seperti yang ditunjukkan di bawah (Lampiran B: Jadual B1, B2 dan Rajah B1) :

Jadual 4.1.1.1.1 : Senarai Keputusan Had Atterberg

Keputusan	%
Had Cair	63
Had Plastik	33
Indeks Keplastikan	30