

II. TINJAUAN PUSTAKA

1. TANAH LIAT

Istilah pasir, tanah liat, lanau, atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, tanah liat adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedangkan pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

Tanah liat adalah suatu jenis tanah yang mempunyai kriteria-kriteria tertentu sehingga tanah tersebut dapat disebut sebagai tanah liat. Pemilihan tanah liat ke dalam kelompok atau subkelompok yang menunjukkan sifat atau kelakuan yang sama akan sangat membantu. Pemilihan ini yang kemudian disebut klasifikasi. Sekarang, terdapat dua sistem klasifikasi yang dapat digunakan. Keduanya adalah Unified Soil Classification System dan AASHTO. Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitasnya. Dalam bentuk yang sekarang, sistem-sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik.

Unified Soil Classification System menyebutkan, yang dimaksud dengan tanah liat adalah tanah yang mempunyai butiran halus dimana lebih dari 50% butirannya lolos ayakan no. 200. Sistem ini masih membagi tanah liat sesuai dengan batas cair (liquid limit) menjadi 2 jenis, yaitu tanah liat

dengan batas cair kurang dari 50% dan tanah liat dengan batas cair lebih dari 50%. Untuk tanah liat dengan batas cair kurang dari 50% merupakan tanah liat anorganik yang mempunyai plastisitas rendah sampai dengan sedang dan sering disebut lempung kurus (*lean clay*). Sedangkan untuk tanah liat dengan batas cair lebih dari 50% dibagi menjadi 2 yaitu tanah liat anorganik dengan plastisitas tinggi yang sering disebut lempung gemuk (*fat clay*) dan tanah liat organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi.

Sistem klasifikasi AASHTO merupakan suatu sistem klasifikasi yang berguna untuk menentukan kualitas tanah guna perencanaan timbunan jalan, subbase, dan subgrade. Pada klasifikasi AASHTO ini, tanah liat merupakan tanah dengan butiran halus dengan jumlah butiran yang lolos ayakan no. 200 lebih dari 35%. Menurut AASHTO tanah liat dibagi menjadi 2 jenis. Tanah liat yang pertama adalah tanah liat dengan batas cair maksimal 41% dan indeks plastisitas minimal 11%. Tanah liat yang kedua adalah tanah liat dengan batas cair minimal 41% dan indeks plastisitas minimal 11%. Kedua jenis tersebut merupakan butiran tanah liat yang lolos ayakan no. 40.

Selain berdasarkan batas cairnya, tanah liat dapat dikelompokkan menurut berat jenis (*Specific Gravity*). Berdasarkan berat jenisnya, tanah liat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu tanah liat organik dengan berat jenisnya berkisar antara 2,58 – 2,65 dan tanah liat anorganik dengan berat jenisnya berkisar antara 2,68 – 2,75.

1.1 Mineral Tanah Liat

Mineral tanah liat adalah partikel-partikel kristal berukuran relatif kecil yang terdiri dari satu atau lebih partikel penyusun dan kemudian membentuk suatu mineral-mineral grup kecil. Mineral utama pembentuk mineral tanah liat adalah Hydroous Aluminium Silicates, terdiri dari zat Magnesium atau zat besi yang menempati seluruh bagian dari kedudukan Al pada beberapa mineral-mineral, zat alkalis (sodium, potassium) atau alkaline (calcium, magnesium). Untuk menganalisa mineral tanah liat secara tepat dan lengkap haruslah memperhatikan semua komponen-komponennya dan mempelajari lebih dalam partikel-partikel kristal pembentuknya.

Mineral-mineral tanah liat sering ditemukan pada material pengisi dari celah-celah batuan, juga disekitar sumber air panas karena proses hidrotermal yang terjadi ditempat tersebut. Dari tempat-tempat ini material-material tersebut terbawa ke tempat lain melalui bantuan angin, air, es dan lain-lain. Selanjutnya material-material tersebut menjadi endapan ditempat yang baru serta bercampur dengan material lain sehingga terjadilah tanah yang mengandung mineral tanah liat (Lambe,1969).

Material yang terdapat pada tanah liat ini sebagian besar terdiri dari mineral-mineral tanah liat yang terbentuk di kristal-kristal dan sebagian kecil lainnya adalah mineral-mineral tanah liat non kristal. Jenis mineral tanah liat yang sering dijumpai ada 3 jenis, yaitu kaolinite, montmorillonite, illite.

Mineral kaolinite merupakan partikel yang tersusun lebih dari seratus tumpukan partikel yang sukar dipisahkan. Mineral ini stabil dan air tidak dapat masuk di antara lempengannya untuk menghasilkan pengembangan atau penyusutan pada sel satuannya. Mineral montmorillonite sangat kecil, tetapi mempunyai daya tarik yang kuat terhadap air. Tanah yang mengandung montmorillonite sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air, yang selanjutnya tekanan pengembangannya dapat merusak struktur ringan dan perkerasan jalan raya. Sedangkan mineral illite tidak mengembang oleh gerakan air diantara lempengan-lempengannya. Mineral illite mempunyai ikatan-ikatan dengan ion kalium lebih lemah daripada ikatan hidrogen yang mengikat satuan kristal kaolinite, tapi sangat kuat daripada ikatan ionik yang membentuk kristal montmorillonite.

1.2 Pengaruh Air Terhadap Tanah Liat

Air sangat berpengaruh terhadap tanah yang mempunyai butiran halus khususnya tanah liat. Hal ini disebabkan karena pada tanah berbutiran halus, luas permukaan spesifik menjadi lebih besar. Variasi dari air akan mempengaruhi plastisitas tanahnya. Distribusi butiran yang jarang merupakan faktor yang mempengaruhi kelakuan tanah butiran halus.

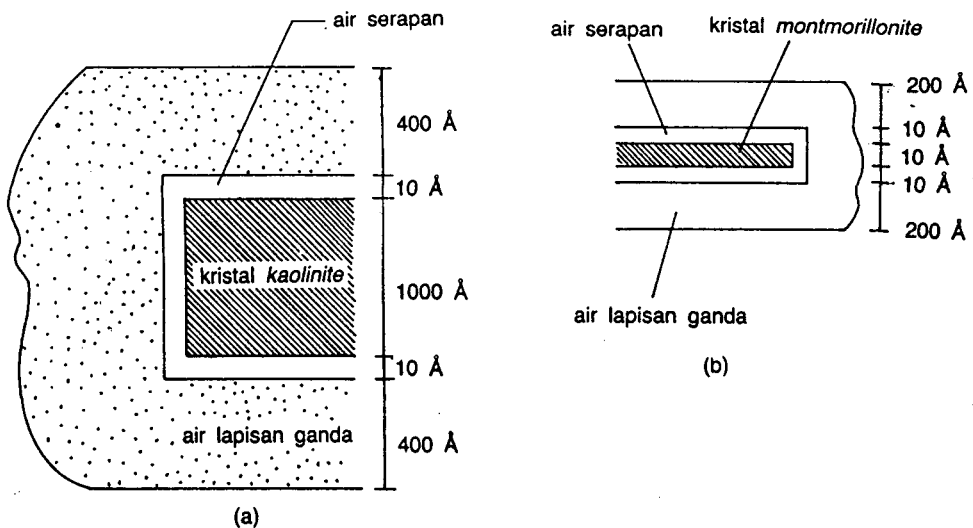
Partikel-partikel tanah liat mempunyai muatan listrik negatif. Dalam suatu kristal yang ideal, muatan negatif dan positif seimbang. Akan tetapi akibat substitusi isomorf dan kontinuitas perpecahan

susunannya, terjadi muatan negatif pada permukaan partikel tanah liat. Untuk mengimbangi muatan negatif tersebut, partikel tanah liat menarik ion muatan positif (kation) dari garam yang ada di dalam air porinya. Hal ini disebut dengan pertukaran ion-ion (Hardiyatmo,1992). Selanjutnya kation-kation dapat disusun dalam urutan menurut kekuatan daya tarik menariknya sebagai berikut $Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{3+} > NH_4^{4+} > K^+ > H^+ > Na^+ > Li^+$. Urutan tersebut memberikan arti bahwa ion Al^{3+} dapat mengganti ion Ca^{2+} , ion Ca^{2+} dapat mengganti Na^+ dan seterusnya.

Kapasitas pertukaran kation tanah liat didefinisikan sebagai jumlah pertukaran ion-ion yang dinyatakan dalam miliekivalen persenyawaan 100 gram tanah liat kering. Pada waktu air ditambahkan pada tanah liat, kation-kation dan anion-anion mengapung disekitar partikelnya. Molekul air merupakan molekul yang dipolar, yaitu atom hidrogen tidak tersusun simetri disekitar atom-atom oksigen. Hal ini berarti satu molekul air merupakan batang yang mempunyai muatan positif dan negatif pada ujung yang berlawanan atau dipolar.

Air yang tertarik secara elektrik, yang berada disekitar partikel tanah liat, disebut air lapisan ganda. Sifat plastis tanah liat adalah akibat eksistensi dari air lapisan ganda. Ketebalan air lapisan ganda untuk kristal kaolinite dan montmorillonite diperlihatkan pada gambar 2.1. Air lapisan ganda pada bagian paling dalam, yang sangat kuat melekat pada partikel tanah liat disebut air resapan. Pertalian hubungan mineral-mineral tanah liat dengan air resapannya, memberikan bentuk dasar dari

susunan tanahnya. Maka adanya ion-ion yang berbeda, material organik, beda konsentrasi, dan lain-lainnya akan berpengaruh besar pada sifat tanahnya.



Gambar 2.1

Air lapisan ganda untuk kristal kaolinite dan montmorillonite
pada partikel tanah liat (Hardiyatmo, 1992)

Jelaslah bahwa ikatan antara partikel tanah yang tersusun oleh Mineral tanah liat akan sangat besar dipengaruhi oleh besarnya jaringan muatan negatif pada mineral, tipe, konsentrasi, dan distribusi kation-kation yang berfungsi untuk mengembangkan muatannya. Dalam penyelidikan pada kaolinite dan montmorillonite, diketahui bahwa jumlah dan distribusi muatan residu jaringan mineral, bergantung pada pH airnya. Dalam lingkungan dengan pH yang rendah, ujung partikel kaolinite dapat menjadi bermuatan positif dan selanjutnya dapat menghasilkan gaya tarik ujung ke permukaan antara

partikel yang berdekatan. Gaya tarik ini menimbulkan sifat kohesif tanah liat.

2. KAPUR

2.1 Jenis-Jenis Kapur Untuk Stabilisasi

Kapur yang terdapat di alam ini pada dasarnya dapat digolongkan menurut rumusan kimiawinya menjadi beberapa macam, yaitu :

a. CaO (High Calcium Quick Lime)

Didapat dari batu kapur yang dibakar dimana reaksinya merupakan proses bolak-balik sebagai berikut :



Bila tanah yang distabilkan selama pembangunan mempunyai kadar air lebih besar dari kadar air optimum, maka CaO ini sangat baik untuk dipakai (A. Kezdi, 1979:165).

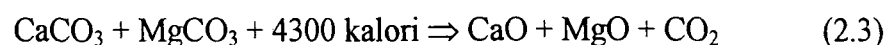
b. Ca(OH)₂ (Hydrated High Calcium Lime/Slaked Lime)



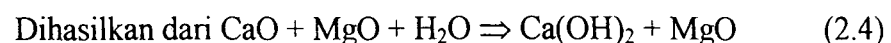
Bila kadar air tanah mendekati kadar air optimum, maka pemakaian Ca(OH)₂ ini sangat menguntungkan.

c. CaO + MgO (Dolomitic Lime)

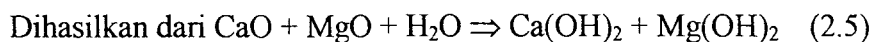
Dihasilkan dari batu kapur yang banyak mengandung Mg.



d. Ca(OH)₂ + MgO (Monohydrated Dolomite Lime)



e. $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Mg(OH)}_2$ (Dihydrated Dolomite Lime)



Proses ini dilakukan dengan tambahan tekanan.

Sedang kapur yang dijual di perdagangan tidak semurni seperti apa yang didefinisikan diatas, tetapi banyak mengandung unsur lain seperti : SiO_2 , FeO_3 , Al_2O_3 , dan sebagainya.

Kapur yang digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah adalah kapur padam (hydrated lime) dan kapur tohor (quick lime) (SK SNI S-01-1995-03). Di beberapa negara ditetapkan standar kapur yang boleh dipakai untuk stabilisasi. AASTHO antara lain memberikan batasan-batasan sebagai berikut :

Tipe I : High Calcium Hydrated Lime dengan kadar Mg maksimum 4% dari berat total dan komposisi kimia sesuai dengan AASTHO M.216-68 (1974)

Tipe II : Magnesium atau Dolomited Lime dengan kadar Mg lebih besar dari 4%, tetapi tidak lebih dari 36% berat total dan komposisi kimia sesuai dengan ASTM C.25-28.

Persyaratan kimia dan fisik kapur tipe I dan tipe II yang digunakan dalam stabilisasi tanah dapat dilihat pada tabel 2.1, 2.2 dan 2.3 sesuai dengan SK SNI S-01-1994-03.

Tabel 2.1

Persyaratan kimia kapur tipe I

No	Senyawa	Kelas		
		A	B	C
1	Hydrate Alkalinity $\text{Ca}(\text{OH})_2$, minimum	98%	96%	94%
3	Kalsium Oksida anhidrat (CaO), maksimum	7%	8%	9%
4	Kadar air bebas, maksimum	3%	3%	2%

Sumber SK SNI S-01-1994-03

Tabel 2.2

Persyaratan kimia kapur tipe II

No	Senyawa	Kelas		
		A	B	C
1	Kalsium Oksida + Magnesium Oksida (CaO + MgO), minimum	98%	96%	94%
2	Karbon dioksida (CO_2), maksimum	3%	4%	8%
3	Kalsium Oksida anhidrat (CaO), maksimum	7%	8%	9%
4	Kadar air bebas, maksimum	3%	3%	2%

Sumber SK SNI S-01-1994-03

Tabel 2.3

Persyaratan fisik kapur tipe I dan tipe II

No	Bahan	Kelas		
		A	B	C
1	Butiran kapur yang tertahan di atas saringan no. 30 (0,6mm), maksimum	2%	3%	4%
2	Butiran kapur yang tertahan di atas saringan no. 200 (0,075mm), maksimum	12%	14%	18%

Sumber SK SNI S-01-1994-03

2.2 Reaksi Yang Terjadi Antara Kapur Dengan Tanah

Bila kapur dicampur dengan tanah, maka akan terjadi beberapa jenis reaksi yang dapat diterangkan sebagai berikut :

1. Reaksi yang terjadi seketika/reaksi cepat

Reaksi seketika ini meliputi 2 macam reaksi, yaitu pertukaran kation dan flokulasi.

a. Pertukaran kation (cation exchange)

Dalam penambahan kapur pada tanah, maka akan terjadi Ca^{2+} yang akan mengakibatkan depresian sistem double layer dari partikel tanah. Setelah reaksi yang pertama ini maka akan terjadi reaksi berikutnya yaitu flokulasi.

b. Flokulasi (flocculation)

Flokulasi ini terjadi karena timbulnya gaya tarik antara partikel tanah yang lebih besar daripada gaya tolakan (Lambe, 1969).

Dengan terjadinya flokulasi ini maka akan terjadi pula agglomerasi yaitu pembentukan agregat yang lebih besar.

Butiran-butiran kasar yang terbentuk ini dengan sendirinya akan menurunkan plastisitas tanah.

2. Reaksi yang terjadi dengan pengaruh waktu (reaksi lambat)

Ada 2 jenis reaksi lambat yaitu reaksi puzzolanic dan karbonasi.

a. Reaksi puzzolanic.

Reaksi puzzolanic ini dapat dikatakan sebagai reaksi yang terjadi antara kapur dengan silikat atau aluminat sehingga membentuk cementing agent, kalsium silikat dan kalsium

aluminat. Cementing agent tersebut merupakan suatu massa yang keras dan kaku.

Sumber silikat dan aluminat adalah tanah itu sendiri, dengan penambahan kapur pada tanah, maka pH tanah akan naik. Dengan pH yang tinggi maka kelarutan silikat dan aluminat bertambah, sehingga cementing agent dapat dengan mudah terbentuk (Kezdi, 1979:165).

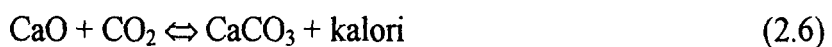
Kecepatan reaksi puzzolanic tidak hanya bergantung dengan waktu, tetapi juga dipengaruhi oleh konsentrasi bahan-bahan yang bereaksi dengan temperatur.

Makin tinggi temperatur maka kelarutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ berkurang, tetapi kelarutan silikat oksida (SiO_2) bertambah.

Sedangkan kecepatan reaksi keseluruhan lebih dipengaruhi oleh efektifitas konsentrasi silikat daripada oleh konsentrasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa reaksi puzzolanic makin cepat dengan naiknya temperatur.

b. Karbonasi

Reaksi karbonasi adalah sebagai berikut :



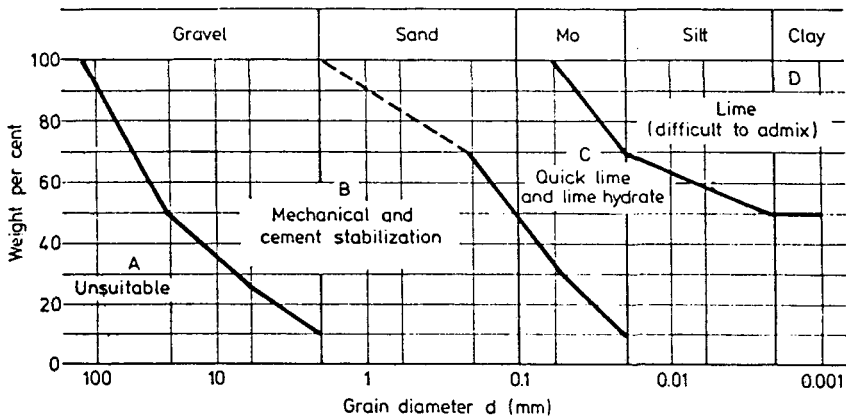
Kapur bereaksi dengan CO_2 dari udara dan menghasilkan kalsium karbonat, dimana kalsium karbonat ini mempunyai efek sementasi yang sangat lemah serta mencegah/menghalangi terjadinya reaksi puzzolanic yang optimal. Cara pencegahannya

antara lain dengan melindungi kapur selama pengiriman terhadap udara serta mempersingkat waktu pencampuran.

3. STABILISASI TANAH LIAT DENGAN KAPUR

Stabilisasi tanah liat dengan kapur berarti menambah kapur yang mengandung kalsium oksida (quicklime) atau kalsium hidroksida (hydrated lime) pada material tanah liat pada keadaan kadar air optimum atau keadaan batas cair. Pada tanah yang mempunyai kadar air dan plastisitas rendah, sebaiknya dilakukan stabilisasi tanah pada keadaan kadar air optimum. Tetapi apabila misalnya dijumpai tanah liat lunak yang mempunyai kadar air dan plastisitas tinggi, sebaiknya dilakukan proses stabilisasi pada keadaan batas cairnya, karena sangat sulit untuk mendapatkan kadar air optimum dilapangan.

Tidak semua jenis tanah cocok distabilisasi dengan kapur. Untuk menentukan jenis stabilisasi yang sesuai dari suatu jenis tanah, dapat dilihat dari distribusi ukuran butiran tanah tersebut. Ada jenis tanah yang tidak sesuai dengan semua jenis stabilisasi, dan ada pula jenis tanah yang hanya sesuai dengan stabilisasi mekanik atau stabilisasi menggunakan semen. Sedangkan jenis tanah yang cocok untuk stabilisasi kapur adalah tanah berbutir halus yang salah satunya adalah tanah liat. Untuk tanah jenis ini tidak cocok dilakukan stabilisasi mekanik. Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penambahan kapur baik quicklime atau hydrated lime pada tanah berbutir halus dapat merubah ukuran butir tanah dan menurunkan plastisitas tanah (Kezdi,1979:163). Gambar 2.2 menunjukkan distribusi ukuran butir tanah yang sesuai untuk stabilisasi kapur dan stabilisasi lainnya.



Gambar 2.2

Distribusi ukuran butiran tanah untuk bermacam-macam stabilisasi

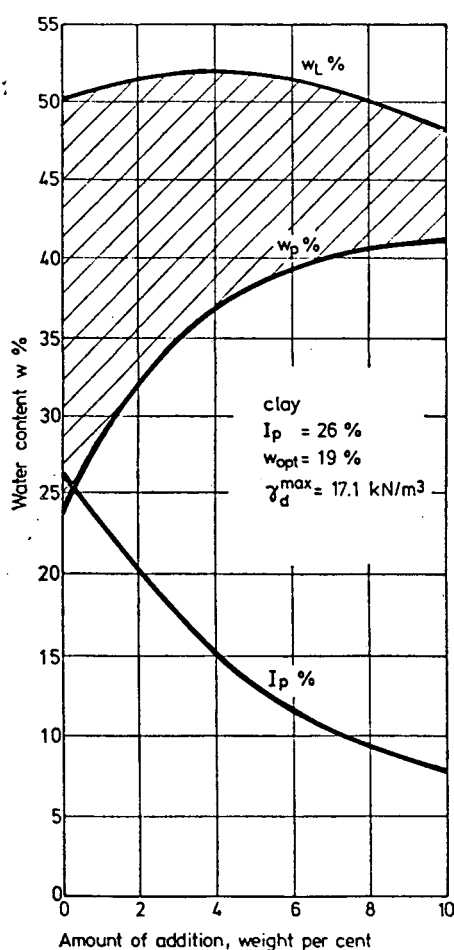
(Kezdi, 1979)

3.1 Perubahan Tanah Akibat Penambahan Kapur

Pada umumnya dengan penambahan kapur dalam tanah akan menyebabkan plastic limit naik dan liquid limit turun. Tetapi tidak untuk semua jenis tanah akan terjadi demikian. Untuk jenis tanah yang sangat plastis, liquid limit akan turun. Sedangkan pada jenis tanah yang kurang plastis, liquid limit akan naik. Tetapi perubahan yang pasti terjadi akibat penambahan kapur adalah turunnya indeks plastisitas (Kezdi,1979:169). Gambar 2.3 menunjukkan pengaruh penambahan kapur terhadap nilai plasticity index.

Besarnya nilai kadar kapur yang ditambahkan sangat berpengaruh pada perubahan plastisitas tanah. Pada penambahan kadar kapur antara 2% sampai dengan 4% perubahan plastisitas sangat kecil. Tetapi pada penambahan kira-kira 8% sampai 10% kapur perubahan nilai plastisitas tanah cukup besar, berbanding lurus dengan pengaruh lamanya waktu campuran tersebut. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.4.

Dengan turunnya plastisitas tanah, maka tanah tersebut menjadi gembur, butiran lebih besar dan tidak lekat. Dengan kata lain workabilitas bertambah. Karena dengan workabilitas yang tinggi bahan stabilisasi itu dapat merata pencampurannya dengan tanah (menghilangkan mixing problem).

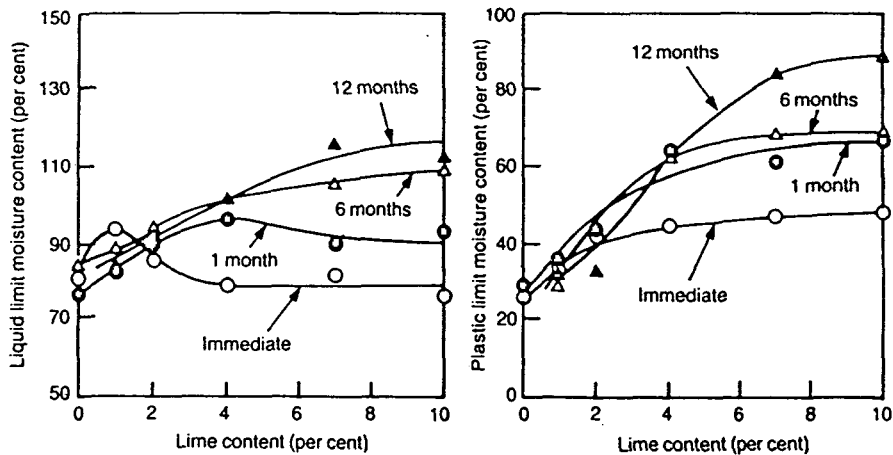


Gambar 2.3

Variasi nilai batas Atterberg dari tanah liat akibat penambahan kapur (Kezdi, 1979)

Perubahan volume tanah akan menurun dengan adanya penambahan kapur dalam tanah. Shrinkage limit akan bertambah, swell tanah akan berkurang. Hal ini dapat dimengerti karena swell

diakibatkan oleh masuknya air ke dalam lapisan double layer secara osmotic. Sedangkan penambahan kapur mengakibatkan depresian double layer, jadi dengan sendirinya swell juga berkurang.



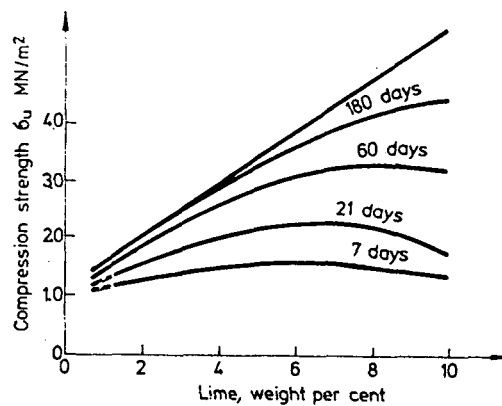
Gambar 2.4

Pengaruh waktu dan besar kadar kapur
pada plastisitas tanah (HMSO, 1993)

Penambahan kapur pada tanah akan menimbulkan kenaikan baik terhadap nilai CBR maupun terhadap kuat tekan bebas. Kenaikan ini tergantung pada jenis tanah, jenis kapur, jumlah kapur dan waktu curing. Akibat penambahan kapur, nilai kuat tekan bebas akan meningkat dengan segera. Tetapi dengan berlanjutnya curing, peningkatan itu akan berjalan lebih lambat sampai akhirnya akan mencapai nilai konstan. Pada umumnya setelah kira-kira 15 minggu peningkatan kekuatan tanah akan sangat kecil (Davidson,1961:9). Gambar 2.5 menunjukkan peningkatan kuat tekan bebas tanah akibat penambahan kapur pada beberapa waktu curing.

Peningkatan nilai CBR berbanding lurus dengan besarnya kadar kapur yang ditambahkan dan waktu curing campuran tersebut. Peningkatan

terbesar terjadi pada waktu curing 7 hari. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.6.



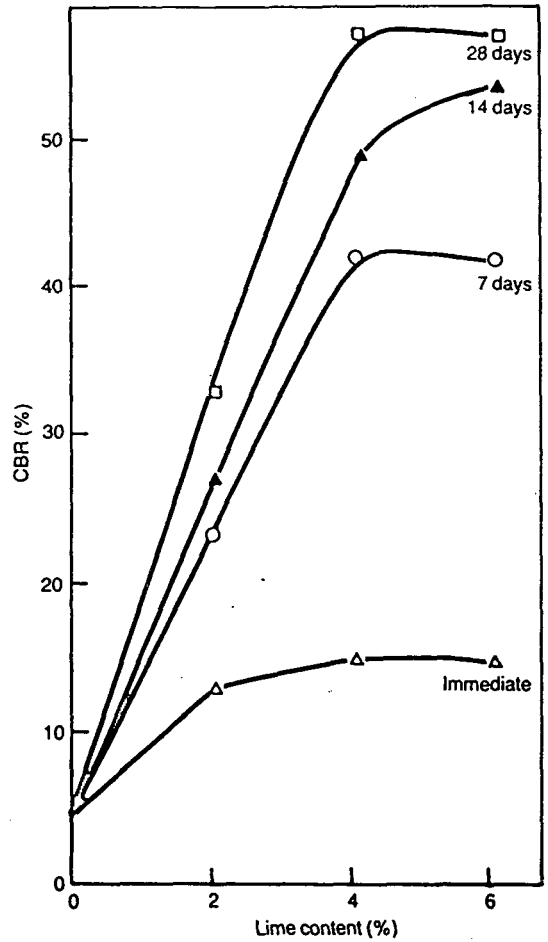
Gambar 2.5

Variasi nilai kuat tekan bebas tanah

terhadap penambahan kapur dan waktu curing (Kezdi, 1979)

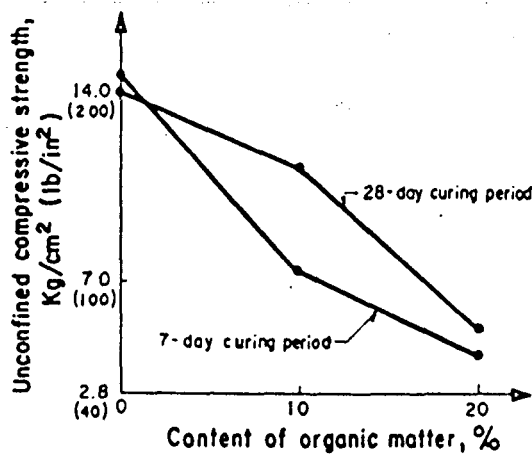
Kadar organik dari suatu tanah akan sangat berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan bebas tanah yang distabilisasi dengan kapur. Semakin besar kadar organik suatu tanah, maka semakin kecil peningkatan kuat tekan bebas dari tanah tersebut. Sebagai contoh, kuat tekan bebas tanah yang kadar organiknya sangat kecil dapat 2 kali lebih besar dari tanah dengan kadar organik 20% (Rodriguez, 1988:753). Gambar 2.7 menunjukkan pengaruh persentase kadar organik tanah liat akibat penambahan 12% kapur pada unconfined compressive strength test.

Penambahan kapur tidak berpengaruh besar terhadap kepadatan maksimum yang dapat dicapai. Kenaikan dan penurunan dry density tidak menunjukkan perubahan yang berarti. Begitu pula dengan



Gambar 2.6

Pengaruh penambahan kapur terhadap nilai CBR tanah (HMSO, 1993)



Gambar 2.7

Pengaruh persentase kadar organik tanah liat akibat penambahan 12% kapur pada unconfined compressive strength test (Rodriguez, 1988)

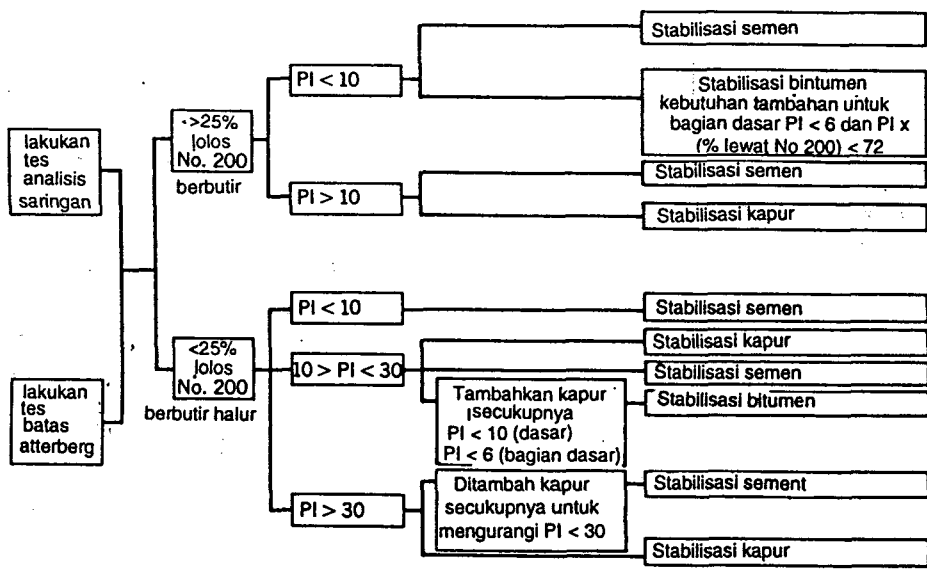
kadar air optimum yang tidak banyak berubah dengan adanya penambahan kapur.

3.2 Stabilisasi Tanah Liat Dengan Kapur Untuk Konstruksi Subbase Jalan

Kapur sebagai bahan stabilisasi (stabilizing agent) telah lama digunakan. Bahan ini telah dipakai sebagai bahan stabilisasi dalam pembuatan jalan di Roma, Yunani, India dan Cina kuno. Tahun 1906 pemerintah Amerika Serikat memulai eksperimen stabilisasi tanah dengan bermacam-macam bahan termasuk kapur. Sejak saat itu banyak dibuat peralatan dan mesin-mesin industri untuk kepentingan stabilisasi tanah. Departemen Transportasi California, Amerika Serikat, telah banyak menggunakan pondasi yang diawetkan dengan kapur baik yang dicampur di jalan maupun di pabrik di bawah perkerasan beton semen dan perkerasan berbitumen.

Efek kemanfaatan kapur pada perilaku tanah telah semakin diketahui. Bahan ini sekarang telah dimanfaatkan secara luas baik untuk membuat agar landasan tanah liat memadai sebagai pondasi bawah (subbase) maupun untuk meningkatkan kekuatan dan sifat-sifat material lainnya yang secara potensial berguna untuk lapisan pondasi yang masih mengandung tanah liat. Kapur hanya efektif bila material alam yang akan diawetkan mengandung jenis dan jumlah tanah liat yang cukup. Sebagai contoh, gambar 2.8 menunjukkan stabilisasi tanah dengan kapur memerlukan IP minimum sebesar 10. Proses stabilisasi terjadi karena kalsium hidroksida atau kalsium oksida bereaksi baik

dengan beberapa, tapi tak semua, lempung. Reaksi ini menyebabkan sifat lempung sangat berubah. Plastisitas dan kecenderungan lempung untuk mengembang dengan bertambahnya kadar air dari potasium yang menyusahkan digantikan dengan kalsium atau magnesium (Oglesby,1982).



Gambar 2.8

Prosedur yang disarankan untuk memilih bahan stabilisasi

lapisan pondasi (Oglesby,1982)

Kapur juga menyebabkan flokulasi yaitu partikel-partikel lempung saling menggumpal yang meningkatkan ukuran butir efektifnya. Setelah beberapa lama, akan dapat diperoleh kekuatan yang besar melalui reaksi puzzolanic dengan setiap silika dan alumina yang tersedia.

Karena adanya kompleksitas kimia pada tanah liat, stabilisasi dengan kapur tidak selalu efektif. Kapur yang dihasilkan dari bahan baku yang berbeda akan bereaksi secara berbeda pula. Berikutnya adalah bahwa studi laboratorium yang cermat atau pembuatan ruas jalan

uji sebaiknya mendahului setiap program stabilisasi kapur berskala besar. Selanjutnya, terdapat bukti bahwa pondasi yang distabilkan dengan kapur dapat pecah atau setidaknya kehilangan kekuatannya. Biarpun demikian, sisa kekuatan tersebut masih lebih tinggi dibandingkan material yang tidak diawetkan sama sekali.

Kapur biasanya dikirim dalam bentuk serpihan Ca(OH)_2 , baik sebagai serbuk maupun slurry (campuran air dan bahan halus seperti semen, batubara, dan lain sebagainya). Sesekali dipakai juga bongkahan kapur yang belum dipadatkan “kapur mentah” yaitu CaO . Tetapi karena bahan ini panas dan juga menimbulkan panas ketika bereaksi dengan air, maka harus berhati-hati agar tidak terbakar.

Seperti dinyatakan, stabilisasi kapur pada material alami untuk pondasi bawah dimaksudkan baik untuk mengurangi plastisitas dan perubahan volume yang menyertainya akibat perubahan kadar air maupun untuk menambah kekuatannya. Tes yang lumrah dipakai untuk mengurangi plastisitas dan perubahan volume adalah IP (Indeks Plastisitas). Hasil tes terhadap satu kelompok tanah liat memperlihatkan bahwa harga IP berkurang sebesar sepertiga sampai dua pertiga dengan penambahan kapur 3%. Peningkatan kekuatan material biasanya diukur dengan tes-tes standar seperti uji tekan “unconfined” atau triaxial, stabilometer Hveem, CBR, atau uji lentur. Kekuatan yang tinggi tercapai hampir dengan segera, dan peningkatan ini hampir sebanding dengan kadar kapur yang mencapai 6%. Setelah beberapa waktu

kemudian, kekuatan biasanya meningkat seiring dengan terjadinya reaksi puzzolanic.

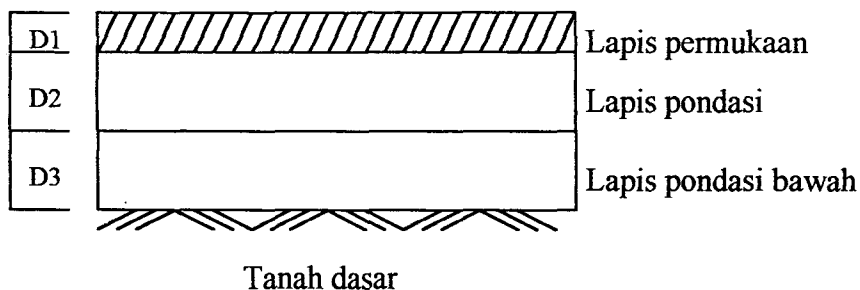
Kapur dapat digunakan pada tempat pekerjaan yang berlumpur agar membuatnya mampu untuk keperluan konstruksi. Prosedur penstabilan konstruksi dengan kapur dan perlengkapan beratnya sama seperti proses stabilisasi bitumen dan semen portland. Uap lembab diperlukan untuk perawatan material yang distabilisasi dengan kapur. Setelah permukaan jalan dibentuk, pada umumnya ditutup dengan bitumen secukupnya. Kelambatan selama pemrosesan campuran yang telah distabilkan dengan kapur harus dihindari. Kalau tidak, karbon dioksida dari udara akan bereaksi dengan kapur dan membentuk kalsium karbonat yang lemah.

4. KONSTRUKSI SUBBASE JALAN

4.1 Umum

Saat ini ada beberapa jenis perkerasan jalan yang umum digunakan. Berdasarkan bahan pengikatnya, perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan komposit (*composite pavement*). Perkerasan lentur paling banyak digunakan di Indonesia. Selain karena biaya pembuatannya lebih rendah dari perkerasan lainnya, pelaksanaan pembuatan perkerasan lentur juga relatif lebih sederhana dilakukan. Perkerasan lentur merupakan perkerasan dengan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan

menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Menurut Bina Marga, perkerasan lentur dibagi menjadi beberapa lapisan, yaitu lapis permukaan (surface course), lapis pondasi atas (base course), dan lapis pondasi bawah (subbase course). Gambar 2.9 menunjukkan susunan lapis perkerasan lentur menurut Bina Marga.



Gambar 2.9

Susunan lapis perkerasan lentur

Subbase, sebagai salah satu lapisan pada konstruksi perkerasan lentur mempunyai peran yang sama pentingnya dengan lapisan lainnya. Lapisan ini terletak di antara lapis pondasi atas dan tanah dasar (subgrade). Subbase mempunyai beberapa fungsi sebagai berikut :

1. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
2. Efisiensi penggunaan material. Material pondasi bawah relatif murah dibandingkan dengan lapisan perkerasan di atasnya.
3. Mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal.
4. Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
5. Lapisan pertama, agar pekerjaan dapat berjalan lancar. Hal ini sehubungan dengan kondisi lapangan yang memaksa harus segera

menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca, atau lemahnya daya dukung tanah dasar menahan roda-roda alat besar.

6. Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.

Pada umumnya subbase mempunyai kekuatan lebih rendah dari lapis pondasi atas. Walaupun demikian pembuatan suatu subbase jalan harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Salah satu persyaratan yang dibutuhkan pada pembuatan konstruksi subbase adalah lapisan ini harus mempunyai CBR minimum 20%. Selain syarat diatas, subbase juga mempunyai syarat plastisitas seperti yang terlihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4

Persyaratan plastisitas untuk lapisan pondasi bawah

Cuaca	Indeks Plastisitas
Iklm tropis yang basah	<6
Iklm tropis basah musiman	<12
Kering dan hampir kering	<20

Sumber Road Note 31 edisi 4 tahun 1993

Ketebalan lapisan subbase bergantung pada kekuatan bahan yang dipakai. Ketebalan minimum yang diijinkan adalah 10cm. Material subbase diharapkan memenuhi persyaratan ukuran partikel tanah. Ukuran maksimum dari butiran tanah yang dipakai untuk subbase jalan dibatasi 51mm (Rodriguez,1988:434).

Banyak bahan yang dapat digunakan sebagai material subbase jalan. Jenis bahan lapisan pondasi bawah yang umum dipergunakan di Indonesia adalah :

1. Agregat bergradasi baik, dibedakan atas :
 - a. Sirtu/pitrun kelas A
 - b. Sirtu/pitrun kelas B
 - c. Sirtu/pitrun kelas C

Sirtu kelas A bergradasi lebih kasar dari sirtu kelas B, yang masing-masing dapat dilihat pada spesifikasi yang diberikan.
2. Stabilisasi, yang terdiri dari :
 - a. Stabilisasi agregat dengan semen (Cement Treated Subbase)
 - b. Stabilisasi agregat dengan kapur (Lime Treated Subbase)
 - c. Stabilisasi tanah dengan semen (Soil Cement Stabilization)
 - d. Stabilisasi tanah dengan kapur (Soil Lime Stabilization)

4.2 Perencanaan Tebal Subbase Pada Perkerasan Lentur Dengan Road Note 31 Tahun 1993

Road Note 31 merupakan salah satu metode perencanaan tebal perkerasan dengan cara empiris, yaitu metode penetapan tebal perkerasan dengan menggunakan grafik-grafik, tabel-tabel, ataupun nomogram-nomogram yang telah dibuat berdasarkan hasil pengamatan / percobaan di lapangan pada struktur perkerasan yang telah ada. Road Note 31 edisi 4 tahun 1993 (Overseas Road Note 31) diterbitkan oleh Overseas Centre, Transport Research Laboratory, Berkshire, Inggris. Road Note 31 diterbitkan pertama kali pada tahun 1962, dan direvisi

tahun 1966 dan 1977, dengan maksud supaya lebih tepat penerapannya dalam menghadapi masalah perilaku bahan perkerasan dan kaitannya pada struktur perkerasan. Lingkup Road Note 31 edisi 1993 adalah perencanaan perkerasan, khususnya pada daerah tropis dan subtropis dimana masalah yang dihadapi adalah masalah iklim, jenis bahan perkerasan, beban perkerasan dan pemeliharaan struktur perkerasan.

Metode ini cukup memadai untuk perencanaan struktur perkerasan lentur di daerah perkotaan dengan umur rencana yang relatif sedang, yaitu sampai umur rencana 20 tahun. Pada Road Note 31 edisi 1993 ini disediakan perencanaan struktur yang mampu melayani beban komulatif lalu lintas sampai 30×10^6 beban sumbu standar dalam 1 arah. Langkah-langkah yang dilakukan dalam merencanakan struktur perkerasan jalan baru, yaitu :

1. Memperkirakan jumlah lalu lintas dan jumlah komulatif ekuivalen sumbu standar yang akan menggunakan jalan selama umur rencana.
2. Menetapkan kekuatan tanah dasar dimana jalan tersebut akan dibangun.
3. Memilih kombinasi yang paling ekonomis antara bahan perkerasan dan tebal perkerasan yang akan menghasilkan perkerasan yang memadai selama umur rencana.

4.2.1 Klasifikasi lalu lintas. Ketepatan dalam perhitungan lalu lintas sangat sulit di capai dan berkaitan dengan data pengamatan serta pertumbuhan lalu lintas. Namun, perencanaan tebal struktur

perkerasan relatif tidak peka terhadap jumlah komulatif beban sumbu. Metode yang disarankan oleh Road Note 31 ini memberi struktur tetap untuk rentang lalu lintas yang ditunjukkan tabel 2.5.

Tabel 2.5

Klasifikasi lalu lintas

Klasifikasi lalu lintas	Rentang (106 ESA)
T1	<0,3
T2	0,3 - 0,7
T3	0,7 - 1,5
T4	1,5 - 3,0
T5	3,0 - 6,0
T6	6,0 - 10,0
T7	10,0 - 17,0
T8	17,0 - 30,0

Sumber Road Note 31 edisi 4 tahun 1993

Selama perkiraan komulatif ekivalen sumbu standar dekat dengan pusat salah satu dari rentang itu, setiap kesalahan mungkin tidak mempengaruhi pemilihan desain perkerasan. Namun jika perkiraan lalu lintas komulatif dekat dengan batas-batas rentang lalu lintas, maka data lalu lintas awal dan ramalan pertumbuhan lalu lintas seharusnya dievaluasi kembali untuk memastikan bahwa pemilihan kelas lalu lintasnya benar-benar tepat.

4.2.2 Kekuatan tanah dasar. Peranan kekuatan tanah dasar sangat menentukan dalam perencanaan struktur perkerasan. Jadi sangat penting untuk diperhatikan bahwa kekuatan tanah dasar tidak

diperkirakan terlalu rendah ataupun terlalu tinggi dimana dapat terjadi resiko kegagalan setempat.

Untuk desain ketebalan struktur perkerasan pada Road Note 31 edisi 1993 ini telah disediakan tabel klasifikasi kekuatan tanah dasar. Kekuatan tanah dasar dibagi menjadi 6 kelas kekuatan yang mencerminkan kepekaan ketebalan rencana terhadap kekuatan tanah dasar. Pembagian klasifikasi tersebut seperti ditunjukkan pada tabel 2.6.

Tabel 2.6

Klasifikasi kekuatan tanah dasar

Klasifikasi kekuatan tanah dasar	Rentang CBR (%)
S1	2
S2	3,0 - 4,0
S3	5,0 - 7,0
S4	8,0 - 14,0
S5	15,0 - 29,0
S6	30

Sumber Road Note 31 edisi 4 tahun 1993

Untuk CBR tanah dasar yang kurang dari 2% diperlukan suatu perlakuan khusus, misalnya terlebih dahulu dilakukan stabilisasi agar mencapai nilai CBR tertentu atau dengan menambah ketebalan lapisan subbase menjadi lebih besar dari tebal perencanaan subbase mula-mula.

4.2.3 Tebal perkerasan. Pada Road Note 31 edisi 1993, prosedur perencanaan ketebalan struktur perkerasan lentur menggunakan suatu tipikal struktur, mengingat sudut pandang statistik, yaitu

ketidakpastian yang relatif besar dalam memperkirakan arus lalu lintas, variasi bahan, iklim dan kondisi jalan. Setiap struktur dapat diaplikasikan untuk suatu jenis lalu lintas (yang diperoleh dari tabel 2.5 mengenai klasifikasi lalu lintas) dan kekuatan tanah dasar (yang diperoleh dari tabel 2.6 mengenai klasifikasi kekuatan tanah dasar). Tipikal struktur tersebut terdiri dari 8 buah diagram yang berbeda, yang masing-masing berlaku bagi suatu kelompok bahan perkerasan yang berbeda. Diagram-diagram tersebut direncanakan sehingga ketebalan setiap lapisan menjadi jelas. Daftar notasi tipikal struktur beserta diagram-diagramnya secara lengkap dapat dilihat pada lampiran F.