

BAB III

DASAR TEORI

3.1 Peningkatan Kekuatan Tanah Lempung oleh Semen

Tanah lempung sisa pengerukan pada umumnya memiliki sifat sangat lunak dan kadar air tinggi, dan tidak dapat digunakan secara langsung untuk kebutuhan konstruksi tanpa mendapatkan perbaikan (Dong *et al.*, 2012). Perbaikan terhadap sifat dari tanah sisa pada umumnya menggunakan semen karena mudah didapat dan dapat meningkatkan kekuatan tanah. Semen yang digunakan pada umumnya adalah OPC (*Ordinary Portland Cement*). Komponen utama pembentuk kekuatan OPC adalah C_3S (*Tricalcium silicate*), C_2S (*Dicalcium silicate*), C_3A (*Tricalcium Aluminate*) dan C_4AF (*Tetracalcium aluminoferrite*) (Amin *et al.*, 2007). Reaksi yang terjadi antara air dan semen adalah reaksi hidrasi dan pozolanik. Reaksi hidrasi dituliskan sebagai berikut :



Reaksi pozolanik terjadi karena bantuan material yang mengandung SiO_2 aktif sehingga campuran yang dihasilkan semakin kuat. Persamaan reaksi pozolanik dituliskan sebagai berikut :



Reaksi hidrasi menghasilkan produk C-S-H (kalsium silikat hidrat) yang berkontribusi terhadap kekuatan beton. Peningkatan jumlah ikatan C-S-H yang

terjadi menjadikan beton yang dihasilkan semakin kuat, oleh karena itu dengan adanya reaksi pozolanik yang membentuk produk C-S-H setelah bereaksi dengan SiO₂ aktif memiliki kontribusi terhadap peningkatan kekuatan beton (Kushartomo, 2013). Kekuatan yang dihasilkan oleh semen yang sebelumnya ditujukan untuk membuat beton kemudian digunakan untuk memperbaiki kualitas tanah lempung (Chian *et al.*, 2011; Horpibulsuk, Rachan and Suddeepong, 2011; Suzuki, Fujimoto and Taguchi, 2014).

Peningkatan kekuatan pada CTC juga dipengaruhi kadar air dan kadar semen dalam CTC. Kebutuhan semen untuk CTC memerlukan rasio yang lebih rendah dibandingkan perbaikan tanah dengan metode *cement deep-mixing* (CDM) *columns* atau *jet grouting*, biasanya tidak lebih dari 70 kg / m³ (Zhang *et al.*, 2013). Jumlah semen memiliki rentang berat ataupun rasio saat ditambahkan ke dalam tanah dan peningkatan kekuatan tanah yang dihasilkan dibagi menjadi tiga zona seperti gambar 1.1. Pada zona I (berat semen kurang dari 70 kg/m³) penambahan semen tidak terlalu mempengaruhi peningkatan kekuatan pada kuat tekan tanah sedangkan pada zona II (berat semen lebih dari 115 kg/m³) apabila jumlah atau rasio semen tepat, maka peningkatan kekuatan akan terjadi secara signifikan. Zona III tidak mengalami peningkatan kekuatan terlalu signifikan karena jumlah semen yang terlalu banyak tidak memberi perbedaan kekuatan yang sangat tinggi (Zhang *et al.*, 2013). Pada umumnya batasan antara Zona I dan Zona II berada pada berat semen 70 kg/m³ hingga 115 kg/m³. Pada penelitian ini rentang pengujian terhadap jumlah semen yang digunakan adalah pada zona I dan zona II dan diharapkan ditemukan batas yang jelas antara zona I dan zona II sehingga didapat kadar semen

yang sesuai untuk memperhitungkan sifat peningkatan q_u yang dapat memprediksi q_u pada zona I dan zona II. Rasio semen pada CTC merupakan perbandingan antara berat semen dan berat tanah. Berikut adalah permodelan komposisi pada CTC

Soil	m_s, v_s	$V_t = V_s + V_{cem} + V_w$ $M_t = M_s + C + M_w$ $w = \frac{W_w}{W_s}$ $w^* = \frac{W_w}{W_s + W_{cem}}$, tidak termasuk hasil reaksi hidrasi dan pozzolan.
Cement	C, v_{cem}	
Water	m_w, v_w	

Gambar 3.1 Komposisi Pengisi CTC

dimana V_t = volume total; M_t = berat total, w = kadar air; m_s = berat tanah dalam kg; v_s = volume tanah dalam m^3 ; C = berat semen dalam kg; v_{cem} = volume semen dalam m^3 ; m_w = massa air dalam kg; v_w = volume air dalam m^3 . Bagan diatas dapat digunakan untuk menentukan berat semen dan air menggunakan persentasi dari semen dan air terhadap berat tanah kering.

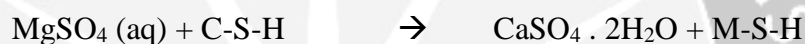
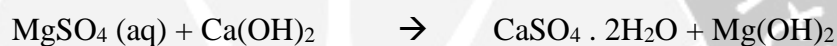
3.2 Degradasi CTC akibat Serangan Sulfat dari Luar

CTC pada umumnya digunakan untuk kebutuhan penimbunan tanah, khususnya reklamasi. Menurut (Sherwood, 1962) kandungan sulfat pada air laut yang menimbulkan degradasi pada beton keras dapat dianggap terjadi pada CTC, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian terhadap dampak sulfat terhadap CTC. Penelitian yang dilakukan oleh Hara *et al.* (2014) menggunakan air laut buatan yang memiliki komponen kimia menyerupai air laut yang berasal dari Laut Ariake. Komponen kimia dari air laut buatan dan air laut asli akan dijelaskan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komponen kimia air laut (HARA *et al.*, 2014)

Chemical components (concentration)	Artificial seawater	Natural seawater (Ariake sea)
Ca ²⁺ (mg/L)	280	339
Na ⁺ (mg/L)	8,600	8,000
K ⁺ (mg/L)	230	369
Mg ²⁺ (mg/L)	480	938
Cl ⁻ (mg/L)	15,000	23,000
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	2,100	2,615
Measurement date	Jan 27, 2012	Jun 19, 2008
Remarks	NaCl concentration of artificial seawater is 20g/L	NaCl concentration 13g/L was measured and it is converted into 20g/L

Menurut penelitian oleh (HARA *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2016) salah satu penyebab terjadinya degradasi pada CTC disebabkan oleh kandungan Mg²⁺ membentuk MgSO₄ pada air laut. Reaksi yang terjadi akibat serangan MgSO₄ terhadap kandungan semen pada CTC adalah sebagai berikut :



Pada reaksi di atas, produk dari reaksi semen dan air bereaksi dengan MgSO₄ menyebabkan terbentuknya lapisan gypsum yang menyebabkan penurunan kekuatan campuran semen (Amin *et al.*, 2007). Mg²⁺ menggantikan peran Ca²⁺ menghasilkan reaksi M-S-H (magnesium silikat hidrat) sehingga merusak ikatan C-S-H yang merupakan komponen pembentuk kekuatan campuran semen pada CTC.

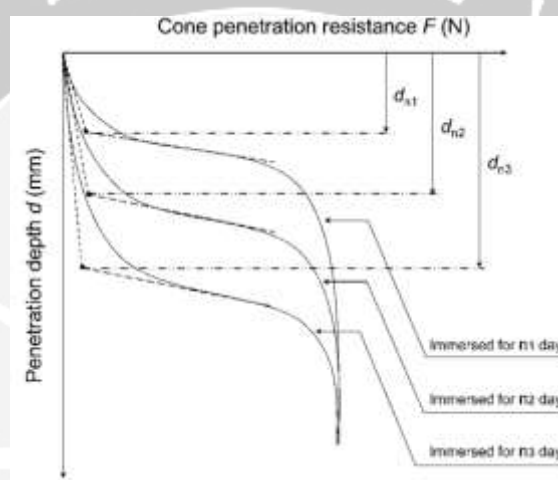
3.3 Penetration Test

Pengujian untuk mengetahui kedalaman degradasi CTC oleh air laut dilakukan oleh (HARA *et al.*, 2014) dan (Yang *et al.*, 2016). Pengujian oleh (HARA *et al.*, 2014)

menggunakan jarum penetrasi dengan diameter 6 mm dan sudut ujung jarum 60⁰, kedalaman penetrasi maksimum pada 50 mm dan kecepatan penetrasi 3 mm / menit.

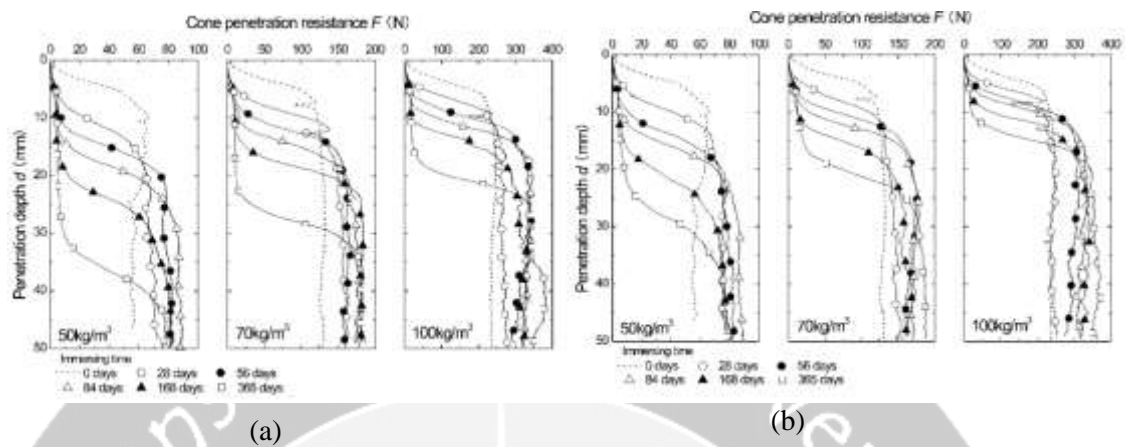
Pada awal penetrasi penurunan data spesimen tidak menunjukkan ketahanan

terhadap jarum penetrasi, kemudian jarum penetrasi melewati daerah yang terdegradasi, dan pada bagian yang tidak terdegradasi ketahanan terhadap penetrasi terjadi secara konstan. Pendekatan antara ketahanan spesimen terhadap kedalaman penetrasi diwakili dengan 2 garis lurus. Metode untuk memperhitungkan kedalaman degradasi (d_n) dijelaskan pada grafik berikut.



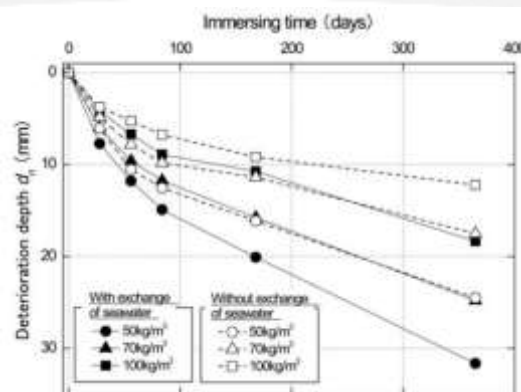
Gambar 3.2 Metode Penetapan kedalaman degradasi d_n (HARA *et al.*, 2014).

Perbedaan degradasi yang terjadi pada spesimen disebabkan oleh kadar semen, waktu perendaman, serta pergantian air laut selama perendaman. Hubungan antara ketahanan penetrasi dan kedalaman degradasi pada penelitian tersebut dijelaskan pada grafik berikut.



Gambar 3.3 Distribusi kedalaman terhadap beban penetrasi (HARA *et al.*, 2014)

Pada gambar di atas dapat diketahui bahwa semakin banyak jumlah semen yang terdapat pada semen, maka ketahanan terhadap penetrasi menjadi lebih besar. Degradasi menjadi lebih cepat terjadi pada saat air laut diganti seperti yang dijelaskan pada grafik di bawah.

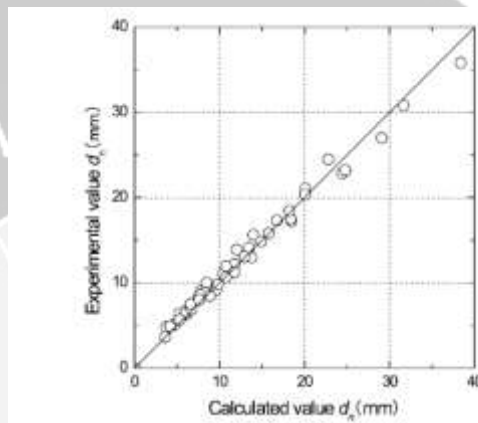


Gambar 3.4 Perubahan kedalaman degradasi terhadap waktu perendaman (HARA *et al.*, 2014).

Prediksi mengenai degradasi CTC akibat kadar Mg^{2+} dijelaskan dalam rumus berikut.

$$d_n = (5.022 - 9.524C_{MG}) \times (0.081W/C + 0.220) \times \sqrt{C_{MG} \cdot t}$$

dimana C_{MG} = kadar Mg^{2+} ; W/C = faktor air semen; t = durasi perendaman. Perbandingan antara prediksi d_n dan hasil pengujian dijelaskan pada gambar berikut.

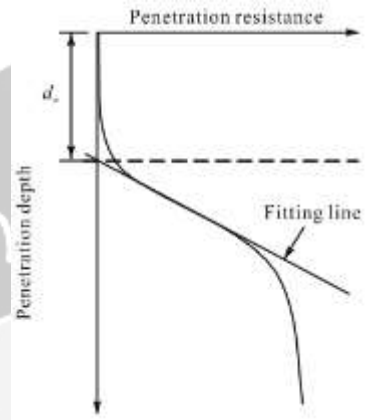


Gambar 3.5 Perbandingan antara rumus pendekatan dengan uji laboratorium (HARA *et al.*, 2014).

Dari penelitian didapat bahwa rumus pendekatan yang diberikan mendekati hasil uji laboratorium, sehingga rumus pendekatan dapat digunakan untuk mengetahui degradasi tanah akibat dampak Mg^{2+} menggunakan air laut yang digunakan pada penelitian tersebut.

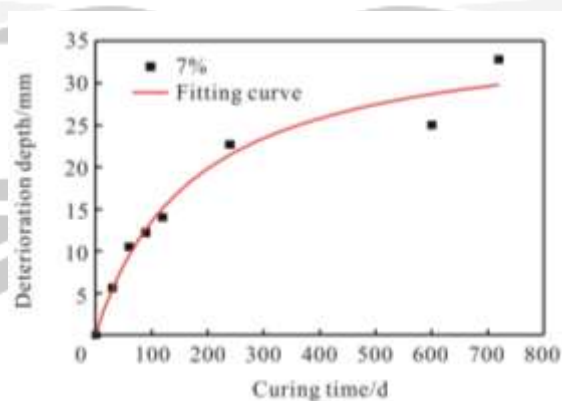
Penelitian yang dilakukan oleh (Yang *et al.*, 2016) menggunakan jarum penetrasi dengan diameter 7 mm dan sudut ujung jarum 60° , penetrasi dilakukan sedalam 130 mm dengan sensor beban hingga 500 N dan kecepatan penetrasi 1.0 mm/menit. Tinjauan terhadap degradasi CTC diukur pada kedalaman 0 – 5, 5 – 10, 10 – 15, 15 – 20 dan 20 – 25 mm dari permukaan. Penurunan kekuatan secara mendadak disesuaikan sebagai garis lurus. Potongan antara garis lurus dan sumbu x digunakan untuk menentukan kedalaman degradasi sehingga dapat menghindari kesalahan data akibat pengujian dengan penetrasi. Kedalaman degradasi yang

ditinjau akan menjadi lebih kecil dibandingkan pengujian (HARA *et al.*, 2014) seperti ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 3.6 Definisi kedalaman degradasi oleh lengkung ketahanan penetrasi (Yang *et al.*, 2016)

Pada penelitian ini degradasi yang terjadi dipengaruhi oleh waktu perendaman, kadar semen, tekanan air laut, serta kadar Mg^{2+} dan Ca^{2+} pada spesimen. Efek dari waktu perendaman terhadap kedalaman degradasi dijelaskan pada grafik berikut.



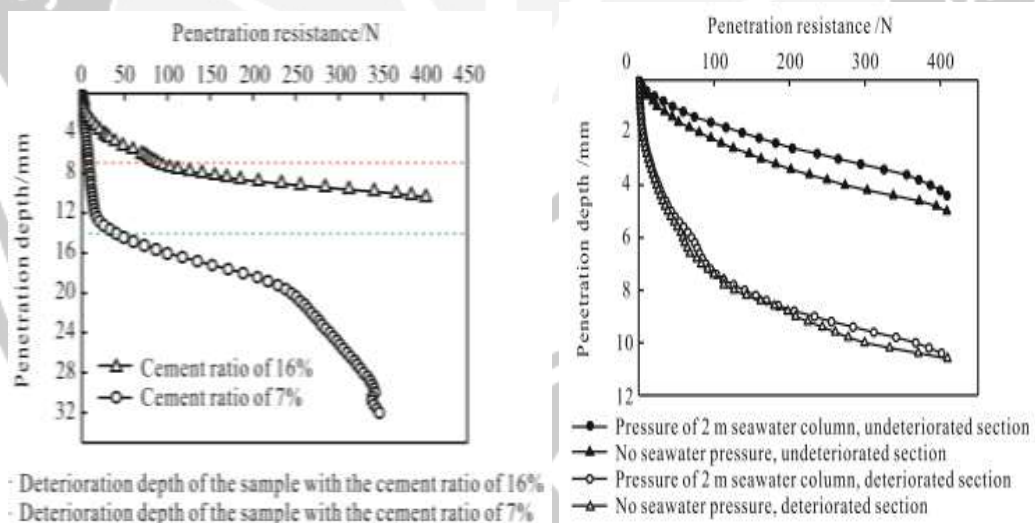
Gambar 3.7 Kurva kedalaman degradasi jangka panjang (Yang *et al.*, 2016)

Kurva pendekatan degradasi pada grafik tersebut ditunjukkan dengan rumus berikut

$$d_n = \frac{t}{a+bt}$$

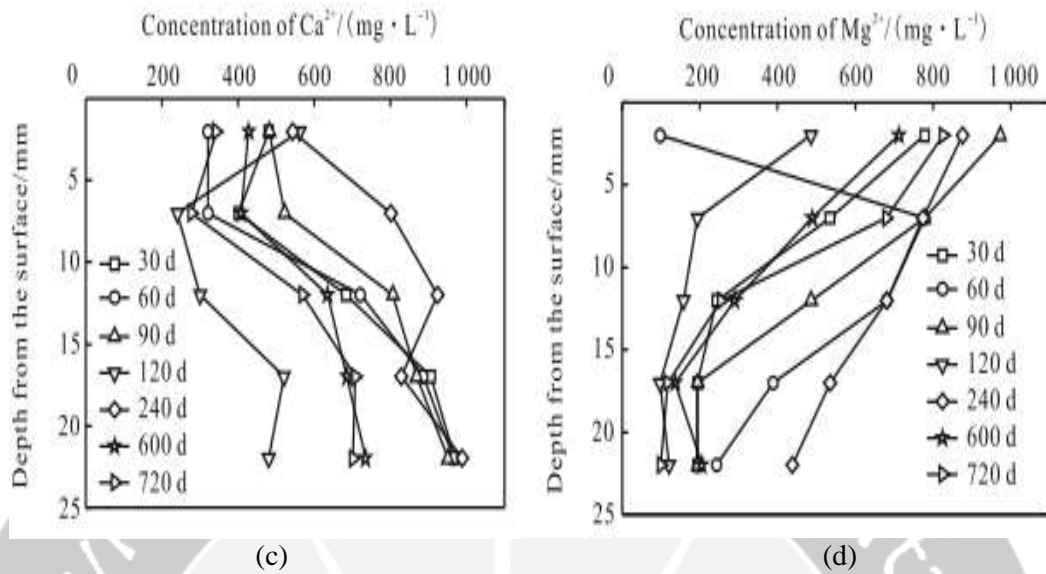
dimana d_n = kedalaman degradasi; t = waktu perendaman; a dan b = koefisien regresi. Nilai $a \approx 4.71$, $b \approx 0.03$ dan $R^2 = 0.94$ untuk semen dengan kadar 7%. Rumus

regresi yang diberikan dapat digunakan untuk memprediksi kedalaman degradasi setelah 10 tahun, 30 tahun, dan 50 tahun dengan kedalaman 31.9 mm, 32.9 mm dan 22,1 mm. Degradasi pada CTC juga disebabkan oleh kadar semen pada CTC. Kadar semen yang semakin banyak menyebabkan ketahanan penetrasi menjadi lebih besar. Tekanan air laut yang mempengaruhi kedalaman degradasi berdampak pada semakin dalamnya degradasi pada CTC. Penurunan ketahanan penetrasi CTC yang dipengaruhi jumlah konsentrasi Ca^{2+} dan Mg^{2+} dari penelitian menunjukkan bahwa dengan semakin banyak jumlah Mg^{2+} pada CTC maka degradasi yang terjadi akan semakin dalam. Kedalaman degradasi akibat kadar semen, tekanan air laut, serta kadar Mg^{2+} dan Ca^{2+} akan dijelaskan pada grafik berikut.



(a)

(b)



(c) (d)
Gambar 3.8 Kedalaman degradasi akibat : a) kadar semen; b) tekanan air laut; c) konsentrasi Ca^{2+} ; d) konsentrasi Mg^{2+} (Yang *et al.*, 2016)