

Sistem Geoframe sebagai Alternatif Penyeimbang untuk Perkuatan Lereng Tanah Lunak di Bogor, Jawa Barat

Nadya Ayu Anindita, Fajar Widhiastuti, Dandung Sri Harninto
PT Geoforce Indonesia

ABSTRAK: Pada pembangunan salah satu apartemen di Bogor, Jawa Barat, dibutuhkan sistem perkuatan lereng dengan tanah konsistensi lunak yang memiliki tinggi hampir 17 meter. Lereng tersebut memiliki dua *trap*. Pada *trap* atas akan dilakukan penggalian setahun setelah proyek dimulai. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem perkuatan lereng yang berfungsi sebagai penyeimbang sementara lereng atas hingga proses galian dimulai, dan sebagai perkuatan permanen bagian bawah. Apartemen tersebut berada di pinggir sungai, sehingga membutuhkan perkuatan lereng dengan *facing* yang terlihat alami. Sistem *Geoframe* dipilih untuk menjawab tantangan tersebut. Kombinasi perkuatan *Geogrid* dengan lapisan tanah yang dipadatkan kemudian ditutup *facing wiremesh* dan Geotekstil *Non-Woven* menjadi pilihan ideal karena *facing*-nya yang dapat ditumbuhi tanaman. Proses desain dilakukan dengan memperhatikan kondisi eksisting, hasil investigasi tanah lapangan dan hasil uji laboratorium. Stabilitas lerengnya dianalisis menggunakan Metode Elemen Hingga yaitu dengan PLAXIS 3D. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan sistem *Geoframe*, faktor keamanan lereng naik hingga memenuhi persyaratan dalam SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik 8460:2017.

Kata Kunci: stabilitas lereng, *geosintetik*, *geoframe*, *geogrid*, tanah lunak

1 PENDAHULUAN

Pada salah satu proses konstruksi apartemen di daerah Bogor, Jawa Barat terdapat beberapa tantangan dalam pembangunan sistem perkuatan lerengnya. Apartemen tersebut akan dibangun di daerah dekat dengan lereng sungai. Lereng sungai tersebut akan digali nantinya untuk menjadi area *basement*. Namun, konstruksi tersebut baru akan dilakukan sekitar satu tahun setelah proyek tersebut resmi dimulai. Hal ini membuat sistem perkuatan lereng tersebut harus dibangun sebelum pekerjaan penggalian *basement* dimulai.

Pada saat proses survei lapangan, ditemukan juga tantangan lainnya. Pada lereng tersebut terdapat dinding penahan tanah batu kali eksisting yang cukup rapuh. Pada beberapa titik dinding penahan tanah tersebut tidak dibongkar untuk menambah stabilitas lereng eksisting di belakangnya. Selain itu, kondisi tanah di lereng tersebut cukup lunak sehingga membuat proses penggalian untuk lahan konstruksi perkuatan lereng membutuhkan kehati-hatian dalam

mendesainnya dan proses konstruksinya. Oleh karena itu, pengawasan yang ketat dan monitoring secara berkala pada kondisi lereng ini serta manajemen drainase yang baik sangat penting.

Untuk menjawab semua tantangan di lapangan, sistem perkuatan lereng *Geoframe* dipilih. Berikut adalah gambaran lokasi perkuatan lereng di area apartemen di Bogor tersebut.



Gbr. 1. Lokasi Sistem Geoframe di Apartemen di Bogor, Jawa Barat.

2 SISTEM GEOFRAME

Sistem *Geoframe* yang digunakan sebagai perkuatan lereng pada area apartemen di Bogor merupakan salah satu metode perkuatan lereng dengan menggunakan kombinasi material geosintetik yaitu *Geogrid* yang dijangkarkan setiap ketinggian 50 cm tanah timbunan yang dipadatkan dengan muka penutup berupa *wiremesh* dan Geotekstil *Non-Woven*. Dalam sistem ini *Geogrid* berperan sebagai perkuatan utama. Kebutuhan kuat tarik dan panjang penjangkaran *Geogrid* tersebut dihitung berdasarkan konsep *design-by-function* sebagai penetapan faktor keamanan, sesuai Pers. 1:

$$FS = \frac{T_{allow}}{T_{reqd}} \quad (1)$$

Nilai yang diizinkan didapat dari pengujian kuat tarik laboratorium yang harus dibandingkan dengan kondisi lapangan. Salah satu cara untuk mencapainya adalah dengan memberikan faktor reduksi pada setiap item kondisi yang tidak dimodelkan dipengujian laboratorium. Oleh karena itu, kuat tarik izin harus memenuhi Pers. 2:

$$T_{allow} = T_{ult} [1/(RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{CBD})] \quad (2)$$

dimana FS adalah nilai faktor keamanan, T_{reqd} adalah kuat tarik yang dibutuhkan dalam desain, T_{ult} adalah kuat tarik ultimit dari uji kuat tarik standar dalam isolasi, T_{allow} adalah kuat tarik izin untuk desain, RF_{ID} adalah faktor reduksi untuk kerusakan instalasi, RF_{CR} adalah faktor reduksi untuk menghindari rangak pada durasi umur layan struktur dan RF_{CBD} adalah faktor reduksi terhadap degradasi akibat bahan kimia dan faktor biologis.

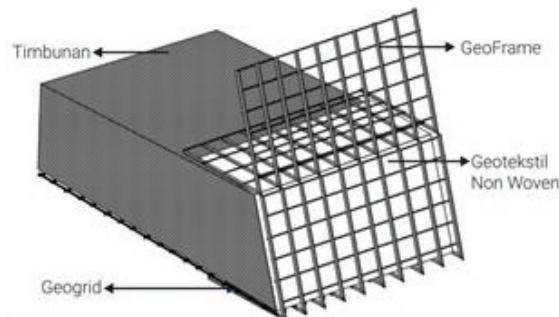
Selain parameter kuat tarik, panjang penjangkaran *Geogrid* juga harus didesain dengan memperhitungkan stabilitas internal dan eksternal. Sebagai catatan, SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik 8460:2017 mensyaratkan bahwa panjang penjangkaran tersebut harus $\geq 0,7 H_e$ (dimana H_e adalah tinggi efektif dinding). SNI tersebut juga mensyaratkan bahwa faktor keamanan minimum stabilitas timbunan tersebut adalah 1,50 pada kondisi statik dan 1,10 pada kondisi dengan beban gempa pseudostatik.

Untuk memodelkan *Geogrid* dalam perangkat lunak menggunakan Metode Elemen Hingga, kuat tarik tersebut perlu dikonversi

dalam nilai kekakuan (EA) dan kuat tarik izin. Nilai kekakuan tersebut dipengaruhi oleh elongasi material yang didapatkan dari kurva isokronus atau kurva rangak. Untuk perkuatan lereng ini, digunakan nilai elongasi (ϵ) 5%. Nilai kekakuan tersebut kemudian dapat dituliskan dalam Pers. 3:

$$EA = \frac{T_{allow}}{\epsilon} \quad (3)$$

dimana EA adalah nilai kekakuan material geosintetik dan ϵ adalah nilai elongasi geosintetik.



Gbr. 2. Detail Tipikal Geoframe.



Gbr. 3. Detail Potongan Melintang Geoframe Apartemen Bogor.

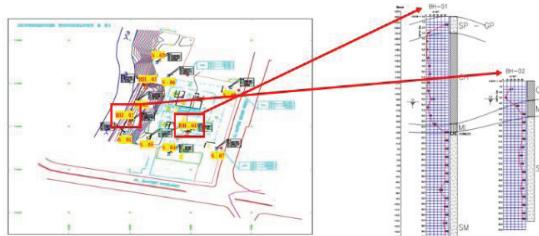
Facing dari sistem ini adalah kombinasi dari *Geotextile Non-Woven* dan *galvanized iron wiremesh*, dimana *Geotextile Non-Woven* berperan untuk menahan tanah di dalam lapisan *Geoframe* agar tidak keluar dari celah *wiremesh*. Kunci dari perkuatan *Geoframe* juga terletak pada pemadatan lapisan tanah. Pemadatan harus dilakukan setiap 25 cm sampai 30 cm. Setelah selesai pemadatan setiap lapisan maka dilakukan pengujian *sandcone* untuk mendapatkan nilai kepadatan yang sesuai dengan hasil uji laboratorium. Sebagai tambahan perkuatan dasar dari sistem *Geoframe* pada lokasi tersebut, ditambahkan lapisan perkuatan dasar dengan batu kali

sedalam 1 meter. Detail *Geoframe* diilustrasikan pada Gbr. 2 dan Gbr. 3.

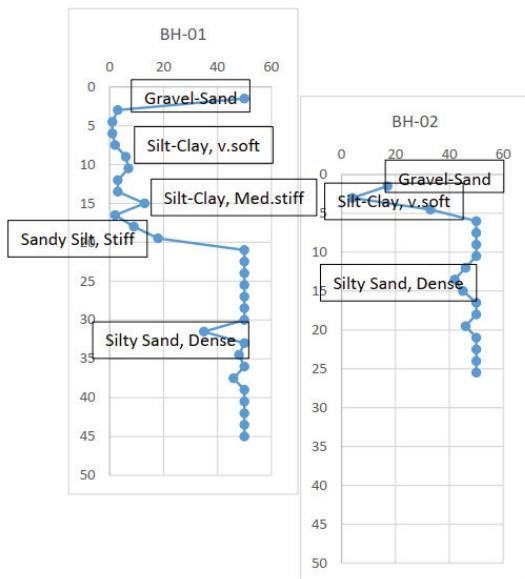
3 METODOLOGI DESAIN

3.1 Investigasi Geoteknik

Investigasi geoteknik dilakukan sebanyak tiga titik bor dalam lengkap dengan pengambilan sampel tak terganggu dengan notasi BH-01, BH-02, dan BH-03. Titik bor yang terdekat dengan area lereng tersebut adalah BH-01 dan BH-02. Berikut adalah hasil penyelidikan tanah yang digunakan dalam analisis *Geoframe*.



Gbr. 4. Denah Lokasi Investigasi Tanah.



Gbr. 5. Grafik Hasil Bor SPT BH-01 dan BH-02.

Berdasarkan hasil investigasi tanah, di permukaan tanah teridentifikasi adanya lapisan *gravel-sand* dengan kepadatan padat. Pada kedalaman antara 3 meter hingga 16 meter titik Bor BH-01 terdefinisi adanya lapisan tanah *clay* dengan konsistensi sangat lunak hingga sedang. Lapisan tanah keras dengan N-SPT mencapai 50 ditemukan pada kedalaman 20 m dengan jenis tanah *silty sand* dengan kepadatan padat. Kedalaman muka air tanah berada pada -15,5 meter dari permukaan pengeboran.

Pada titik BH-02, lapisan tanah dari permukaan hingga kedalaman 1,5 meter terdefinisi adanya lapisan *gravel-sand* dengan kepadatan padat dengan nilai N-SPT mencapai 17. Namun, pada kedalaman 3 m terdefinisi adanya lapisan tanah *clay* dengan konsistensi sangat lunak. Lapisan tanah keras berada pada kedalaman 6 meter dengan nilai N-SPT mencapai 50. Kedalaman muka air tanah berada pada -3,1 meter dari permukaan pengeboran.

3.2 Pemodelan

Pemodelan dilakukan pada perangkat lunak PLAXIS 3D untuk mengetahui faktor keamanan lereng. Pemodelan diawali dengan menginterpretasi hasil penyelidikan lapangan berupa hasil bor SPT dan penyelidikan laboratorium menjadi parameter tanah untuk dimodelkan di perangkat lunak PLAXIS 3D. Pemodelan ini menggunakan model Mohr Coulomb. Berikut adalah rangkuman hasil interpretasi data tanah Apartemen Bogor.

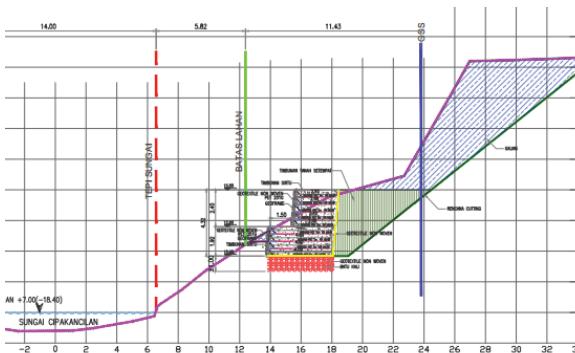
Tabel 1. Parameter Data Tanah Apartemen Bogor.

Jenis Tanah	γ_{uns}/γ_s (kN/m ³)	E (kPa)	v'	c' (kPa)	ϕ' (°)
Silt-clay top, soft	13/14,8	7000	0,35	10	25
Gravel-sand, dense	17/19	60000	0,30	10	39
Silty clay, medium	13/16	10000	0,35	30	28
Silty clay, medium stiff	14/16,5	25000	0,33	60	28
Sandy silt, stiff	15/17	30000	0,32	40	30
Cemented sand, dense	17/19	80000	0,30	35	39
Batu kali	21/21	100000	0,20	50	50
Backfill	13/15	15000	0,35	40	20
Fill GF	17/19	35000	0,30	10	32

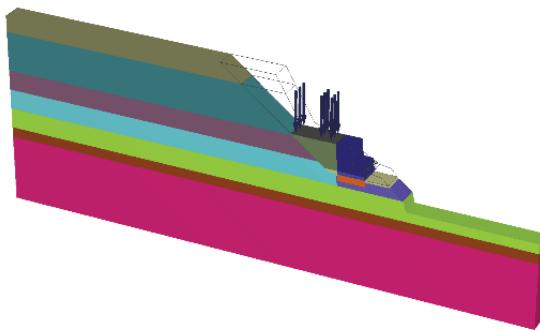
Terdapat dua jenis tanah timbunan yang digunakan dalam sistem perkuatan timbunan lereng. Pada bagian sistem *Geoframe* digunakan timbunan jenis pasir-batu sepanjang area penjangkaran *Geogrid* dan di belakang timbunan *Geoframe* digunakan timbunan tanah setempat hasil galian.

Geometri sistem *Geoframe* dibuat hingga setinggi dasar rencana elevasi bangunan

nantinya. Tinggi *Geoframe* yang akan dicapai yaitu 4,32 meter dengan terbagi dalam dua *trap*. Pada *trap* bagian bawah tinggi *Geoframe* adalah 1,92 meter dan *trap* bagian atas setinggi 2,40 meter. Untuk memberikan dasar yang lebih kuat, diberikan perkuatan dengan batu kali sedalam 1 meter. Pada bagian antara batu kali dengan timbunan *Geoframe* diberikan geosintetik jenis *Geotextile Non-Woven* sebagai pemisah kedua material. Berikut adalah gambaran pemodelan sistem perkuatan lereng dengan *Geoframe*.



Gbr. 6. Potongan Melintang Sistem Perkuatan Lereng dengan *Geoframe* di Apartemen Bogor.



Gbr. 7. Pemodelan Sistem Perkuatan Lereng dengan *Geoframe*.

Untuk perkuatan lereng *Geoframe* perlu diperhitungkan kuat tarik dan penjangkaran *Geogrid* yang dibutuhkan. Pada sistem *Geoframe*, penjangkaran *Geogrid* dibuat setiap ketinggian 50 cm. Setelah memperhitungkan stabilitas internal dan eksternal dari lereng tersebut, dapat digunakan *Geogrid Biaxial* dengan kuat tarik 40 kN/m dengan panjang penjangkaran 4 meter untuk *trap* bagian bawah dan 2,5 meter untuk *trap* bagian atas. Panjang penjangkaran dan kuat tarik *Geogrid* tersebut dipengaruhi oleh geometri lerengnya, kondisi tanah dasar dan tanah timbunannya, letak muka air tanahnya serta beban-bebannya.

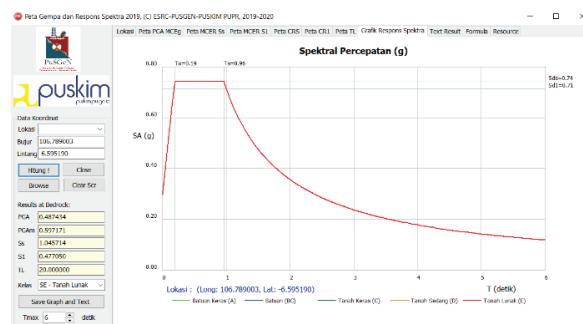
Pada pemodelan di PLAXIS 3D, material perkuatan tersebut dimodelkan dengan

Geogrid. Untuk merepresentasikan material tersebut, perlu dimasukkan parameter nilai kekakuan (EA) dan kuat tarik izin (N_p). Kedua nilai tersebut terangkum dalam Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Parameter Geogrid untuk Simulasi Model Numerik di PLAXIS.

Material	EA (kN/m)	N _p (kN/m)
Geogrid		
Biaxial	205	10,25
40 kN/m		

Sistem pembebangan pada lereng tersebut diberikan di belakang perkuatan *Geoframe*. Beban ini merepresentasikan beban alat *drilling rig* untuk *bored pile* bangunan apartemen yang akan bertumpu di atasnya yaitu dengan beban terdistribusi merata sebesar 40 kPa. Selain itu, sistem lereng ini juga diberikan beban pesudostatik untuk merepresentasikan beban gempa pada area tersebut. Berikut adalah grafik respons spektra area Apartemen Bogor.



Gbr. 8. Grafik Respons Spektra Area Apartemen Bogor.

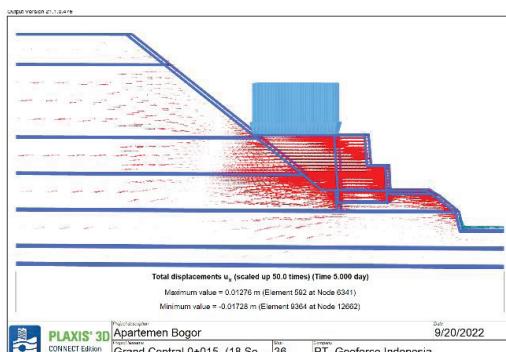
Sesuai dengan SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik 8460:2017, pengaruh beban gempa ditetapkan dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur rencana 50 tahun adalah 2% dengan mengacu pada peta gempa Indonesia. Sesuai dengan peta zonasi gempa Indonesia 2019, area tersebut memiliki PGA 0,48 G. Nilai faktor amplifikasi pada tanah lunak dengan nilai PGA tersebut adalah 0,9 sehingga untuk pengecekan faktor keamanan lereng digunakan setengah dari nilai PGA yang telah dikalikan faktor amplifikasi, yaitu 0,21.

3.3 Hasil dan Diskusi

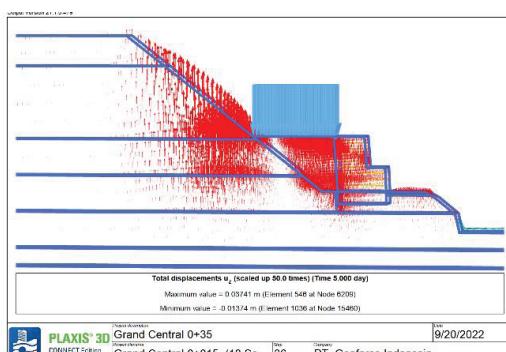
Lereng area Apartemen Bogor tersebut akan digali untuk pembangunan *basement* Apartemen. Namun, dengan pertimbangan proses manajemen konstruksinya, galian

tersebut tidak dapat dilakukan sepenuhnya sebelum proses konstruksi *Geoframe*. Galian penuh tersebut akan dilakukan sekitar satu tahun setelah proyek dimulai. Oleh karena itu, untuk mengakomodir tersedianya area untuk penjangkaran *Geogrid* dan penimbunan untuk *Geoframe*, maka lereng bagian depan dilakukan penggalian yang paling optimal dengan memperhatikan nilai faktor keamanan lereng.

Proses penggalian sangat menjadi perhatian pada saat proses konstruksi dikarenakan kondisi tanah lunak di lereng tersebut. Lereng tanah lunak tersebut harus mampu berdiri selama satu tahun sebelum proses penggalian keseluruhan dimulai. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa sistem *Geoframe* yang dibangun setelah proses penggalian bukan hanya sebagai proteksi lereng *basement* nantinya, tapi juga sebagai penyeimbang lereng hasil galian di awal. Berikut adalah hasil analisis deformasi dari desain lereng tersebut sesuai Gbr. 9 dan 10.



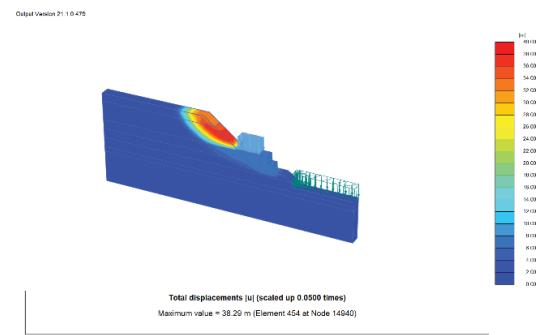
Gbr. 9. Potensi Deformasi Lateral Lereng Apartemen Bogor



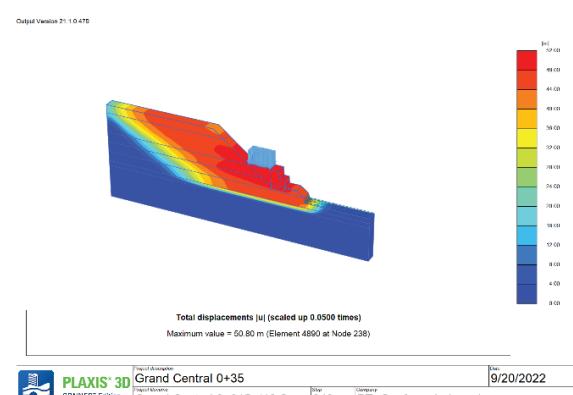
Gbr. 10. Potensi Penurunan Lereng Apartemen Bogor

Pola deformasi dari sisi lateral dan vertikal lereng membuktikan bahwa adanya struktur *Geoframe* di luar sisi lereng hasil galian dapat menjadi penyeimbang untuk lereng galian tersebut. Selanjutnya dilakukan pengecekan nilai faktor keamanan global lereng tersebut

untuk melihat kestabilitasan lereng seperti pada Gbr. 11 dan 12.



Gbr. 11. Hasil Analisis Faktor Keamanan Lereng Apartemen Bogor tanpa Beban Pseudostatik.



Gbr. 12. Hasil Analisis Faktor Keamanan Lereng Apartemen Bogor dengan Beban Pseudostatik.

Pada Gbr. 11 terlihat bahwa pola potensi kegagalan lereng berada di lereng bagian atas *Geoframe*. Untuk kondisi sementara dimana lereng bagian atas tersebut belum digali untuk *basement*, *Geoframe* dapat menjadi penyeimbang yang baik untuk menambah kestabilan lereng lunak tersebut. Nilai faktor keamanan lereng pada kondisi tersebut adalah 1,95. Pada kondisi dengan beban pseudostatik yang merepresentasikan beban gempa statik, nilai faktor keamanan lereng tersebut adalah 1,20. Nilai faktor keamanan baik pada kondisi tanpa dan dengan beban pseudostatik sudah melebihi nilai batas faktor keamanan sesuai SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik 8460:2017 yaitu masing-masing 1,50 dan 1,10. Terbukti dengan desain tersebut, sistem perkuatan lereng dengan *Geoframe* dapat mempertahankan lereng tersebut hingga sekarang dengan kokoh.



Gbr. 13. Konstruksi *Geoframe* Lereng Apartemen di Bogor, Jawa Barat.

4 KESIMPULAN

Pada konstruksi salah satu Apartemen di Bogor, Jawa Barat setinggi hingga 17 meter yang memiliki dua trap dibutuhkan suatu sistem perkuatan lereng yang berfungsi sebagai penyeimbang sementara lereng bagian atas dan perkuatan permanen untuk lereng bagian

bawah. Sistem *Geoframe* yang menggunakan perkuatan material *Geogrid* dan *facing wiremesh* dapat menjadi alternatif perkuatan lereng kuat dan mudah diaplikasikan, apabila didesain sesuai standar dan dengan memperhatikan kondisi lapangan.

PENGHARGAAN

Penulis dari makalah studi kasus ini hendak mengucapkan terima kasih kepada seluruh tim PT Geoforce Indonesia serta seluruh tim yang berkaitan.

DAFTAR PUSTAKA

- Standar Nasional Indonesia (SNI) 8460:2017, *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: BSN.
Koerner, R. 2005. *Designing with Geosynthetics*. New Jersey: Pearson Education, Inc.