

PENGARUH SPASI ANTAR LEMBAR PERKUATAN TERHADAP KARAKTERISTIK KEKUATAN PASIR YANG DIPERKUAT

Effects of Reinforcement Fabric Spacing Due to The Strength Characteristics of Reinforced Sand

Anas Puri¹, Hary Christady Hardiyatmo² dan Bambang Suhendro²

Program Studi Teknik Sipil
Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada

ABSTRACT

The objectives of this research was to study the behavior of Sundak beach sand that reinforced by nonwoven geotextile, and to explore additional knowledge and references on reinforced soil in Indonesia. Many researchers had proved that triaxial compression equipment could be used to study the behavior of reinforced soil by reinforcement fabrics. Conventional triaxial compression tests had been conducted using standard specimen with 70 mm dia. and 147 mm height. Nonwoven polyfelt geotextile was used as reinforcement. Test results were plotted as stress-strain curves and analyzed by Mohr circle and Mohr-Coulomb failure envelope. The results showed that the spacing between reinforcement fabrics affected significantly on the sample strength. Furthermore, uniformity of spacing between reinforcement fabrics was also the important factor that influenced the strength of reinforced sand.

Keywords: *spacing between reinforcement fabrics, strength, reinforced sand*

¹ Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Pekanbaru

² Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

PENGANTAR

Suatu perkuatan dinding penahan tanah atau lereng dan tanah dasar fondasi dengan geotekstil, panjang geotekstil yang dibutuhkan tergantung pada spasi antara lembar perkuatan di samping faktor-faktor lain, seperti kondisi tanah dan tinggi lereng. Untuk mengetahui pengaruh spasi antara lembar perkuatan dapat dilakukan uji pada skala penuh atau skala model sesuai dengan kondisi yang ingin ditinjau. Uji tekan triaksial menggunakan benda uji yang berbentuk silinder yang diperkuat dengan lembar perkuatan yang dipasang mendatar telah terbukti dapat merepresentasikan perilaku tanah yang diperkuat dengan lembar perkuatan (Yang, 1972; Broms, 1977; Koerner dan Welsh, 1980; Ingold, 1982; Gray dkk, 1982; Holtz dkk, 1982; Gourc, 1982; Gray dan Al-Refeai, 1986; Mandal, 1986; Fukushima dkk, 1988; Wu, 1989; Chandrasekaran dkk, 1989; Futaki dkk, 1990; Cazzuffi dkk, 1993; Bouazza dkk, 1994; Atmatzidis dkk, 1994). Namun, referensi penelitian tentang perkuatan tanah di Indonesia dapat dianggap sangat minim, dan uji tekan triaksial pada pasir Pantai Sundak di Yogyakarta yang diperkuat dengan geotekstil polyfelt nir-anyam (*nonwoven*) belum pernah dilakukan. Perilaku sampel yang diperkuat geotekstil polyfelt nir-anyam pada berbagai variasi jumlah dan spasi lembar geotekstil diharapkan dapat dipelajari.

Pemberian lembar perkuatan yang berupa geotekstil meningkatkan tegangan deviator (Broms, 1977). Tegangan runtuh sebesar kira-kira dua kali bila lembaran ditempatkan tepat di dalam benda uji dan tidak terpengaruh oleh cara pengukuran ketika lembar perkuatan ditempatkan secara tidak tepat (seperti di dalam zona mati pada puncak dan bawah benda uji) serta material menjadi kaku (mempunyai suatu modulus elastisitas yang tinggi) pada saat lembar perkuatan ditempatkan dengan tepat (Koerner dan Welsh, 1980). Walaupun perkuatan dengan lembaran sintesis menaikkan kuat ultimit, tetapi lembaran-lembaran itu cenderung mengurangi kekakuan menyeluruh pasir. Kecenderungan ini lebih nyata bila jumlah lapis perkuatan bertambah (Gray dkk, 1982; Wu, 1989). Di samping itu, kekuatan menyeluruh sampel yang diperkuat geotekstil secara langsung berhubungan dengan spasi antar lembar perkuatan (Chandrasekaran dkk, 1989). Selanjutnya, spasi antara lembar perkuatan dan kekakuannya mempengaruhi friksi antara permukaan yang termobilisasi (*mobilised interface friction*), menghasilkan kekuatan menyeluruh pada benda uji (Cazzuffi dkk, 1993). Dari hasil ini dapat diduga bahwa kenaikan kekuatan disebabkan oleh suatu peningkatan

tekanan kekangan di dalam tanah di antara lembar perkuatan, dan peningkatan kekuatan geser secara menyeluruh dari meterial yang diperkuat menghasilkan suatu kohesi tampak.

CARA PENELITIAN

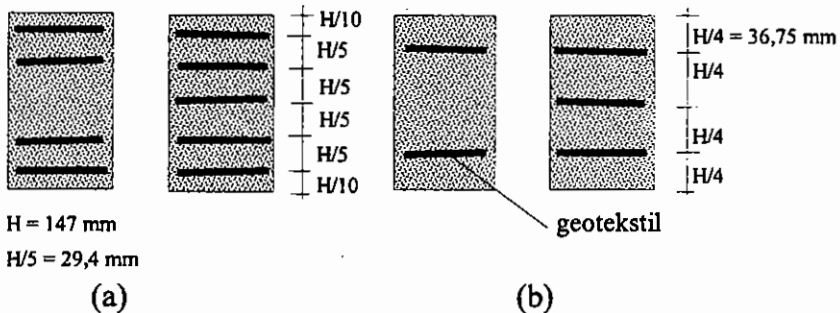
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Uji tekan triaksial konvensional menggunakan benda uji dengan diameter 70 mm dan tinggi 147 mm. Material yang dipakai berupa pasir Pantai Sundak yang berbutir bulat seragam (lolos ayakan #20 dan tertahan ayakan #10) dan geotekstil polyfelt nir-anyam dengan sifat-sifat teknis masing-masing disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Karakteristik fisik geotekstil polyfelt nir-anyam terdiri atas susunan serat menerus (*continous filament*) dari bahan 100% *polypropylene* yang dibentuk melalui proses mekanis *needle punched* dan serat-seratnya distabilisasi agar tahan terhadap sinar ultra violet (*UV stabilized*). Seluruh pengujian diatur pada kepadatan relatif rata-rata 85%. Benda uji dibuat dengan menuang pasir kering ke dalam *mold* lapis demi lapis dan dipadatkan dengan *tamper* dengan cara dipukul. Pengujian kondisi *consolidated undrained* karena material pada kondisi kering. Kecepatan penggeseran 1,08 mm/menit dengan konsolidasi selama 10 menit. Tegangan kekangan bervariasi, yaitu 50, 100, 150, dan 200 dalam satuan kN/m². Konfigurasi jumlah lembar perkuatan, *N* yaitu 0, 2, 3, 4 dan 5 lembar. Nilai *N*=4 dan *N*=5 mengacu pada Atmatzidis dkk (1994) seperti Gambar 1(a), sedangkan lainnya seperti Gambar 1(b).

Tabel 1. Sifat-sifat pasir Pantai Sundak

D ₁₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	C _u	G _s	φ' (°)	γ _{min} (kN/m ³)	γ (kN/m ³)	γ _{maks} (kN/m ³)
0,93	1,305	1,53	2,69	32,43	10,721	11,933	11,733

Tabel 2. Data geotekstil polyfelt nir-anyam

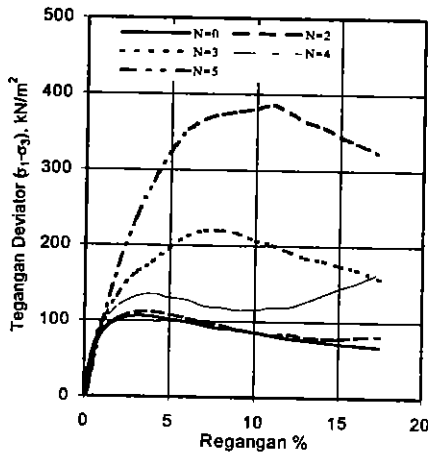
No.	Property	Satuan	Tipe Geotekstil		
			TS 30	TS 50	TS 60
1	Kuat tarik rata-rata	kN/m	13	15	19
2	Tensile elongation at break (md/cd)	%	88/40	102/44	110/43
3	Massa	g/m^2	155	200	250
4	Tebal (pada tekanan 2 kPa.)	mm	1,5	1,9	2,2
5	Apparent opening size (O95)	mm	0,25	0,21	0,19



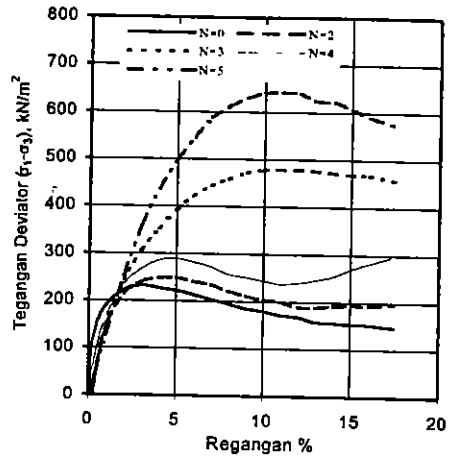
Gambar 1. Konfigurasi lembar perkuatan: (a) konfigurasi 4 dan 5 lapis (Atmatzidis dkk, 1994), (b) konfigurasi 2 dan 3 lapis

HASIL DAN PEMBAHASAN

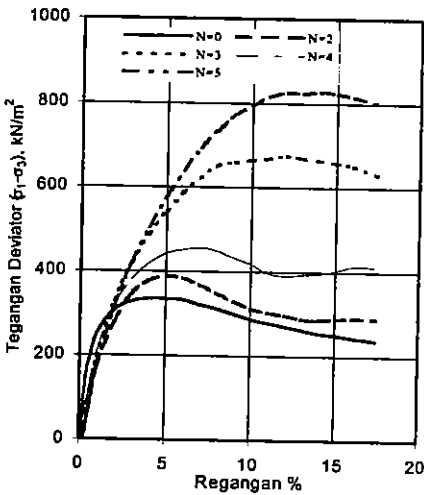
Hasil pengujian yang diplot dalam kurva tegangan-regangan ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 masing-masing untuk tipe geotekstil TS 30, TS 50, dan TS 60. Terlihat bahwa tegangan deviator meningkat dengan adanya lembar perkuatan. Peningkatan ini akibat bertambah kuatnya benda uji dengan adanya lembar geotekstil. Kekuatan ditimbulkan oleh interaksi antara pasir dan geotekstil dalam bentuk gaya tahanan tarik (*tensile restraining force*) pada geotekstil. Kombinasi gaya ini dengan tegangan horizontal di dalam pasir di sekitar lembar perkuatan menciptakan keseimbangan dan dapat dipertimbangkan memberikan kohesi *pseudo* pada pasir.



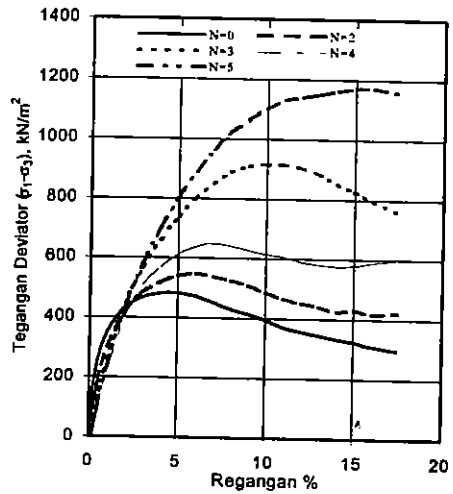
(a) $\sigma_3 = 50 \text{ kN/m}^2$



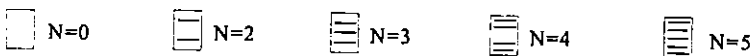
(b) $\sigma_3 = 100 \text{ kN/m}^2$



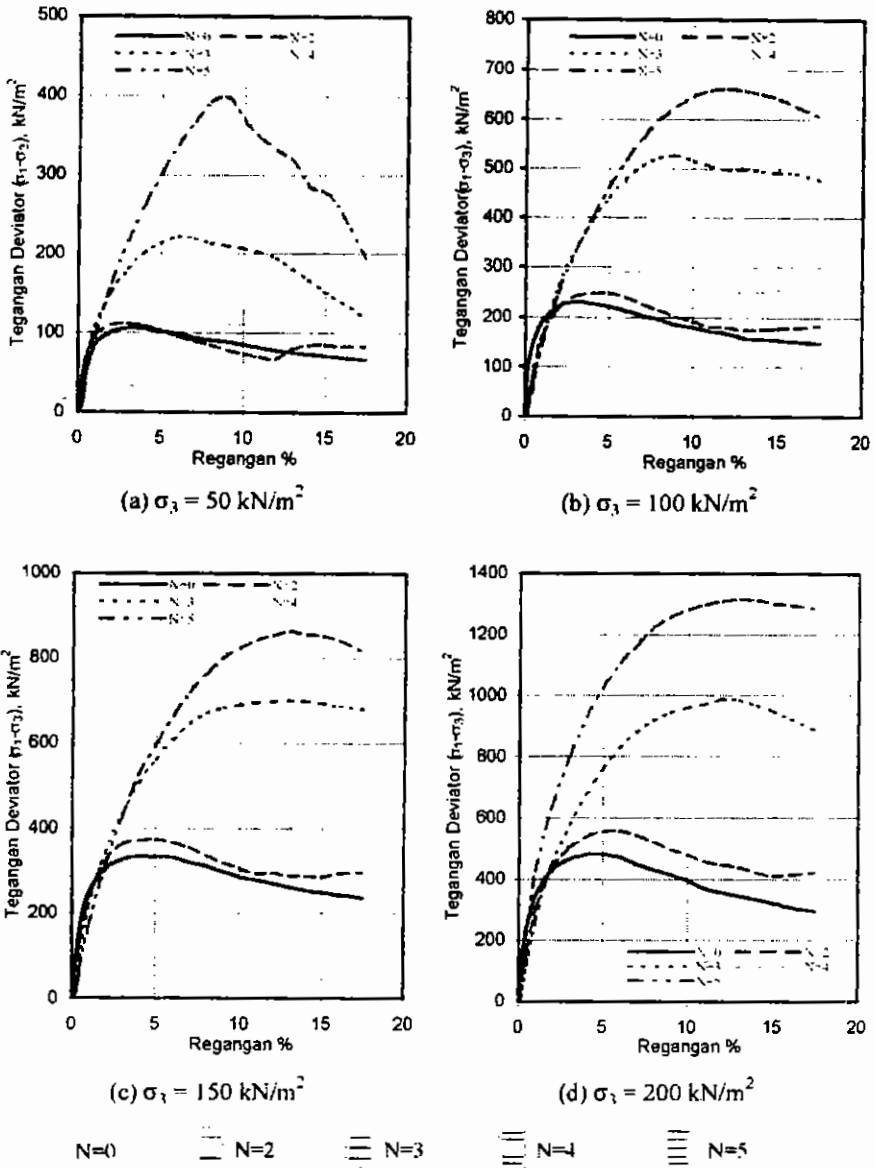
(c) $\sigma_3 = 150 \text{ kN/m}^2$



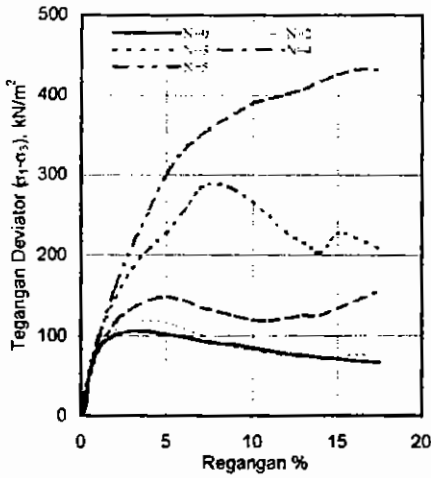
(d) $\sigma_3 = 200 \text{ kN/m}^2$



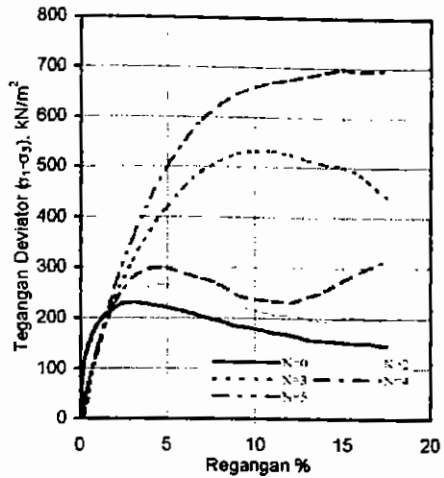
Gambar 2. Kurva tegangan-regangan pasir yang diperkuat geotekstil polyfelt TS 30 pada berbagai jumlah lapisan geotekstil dari uji tekan triaksial



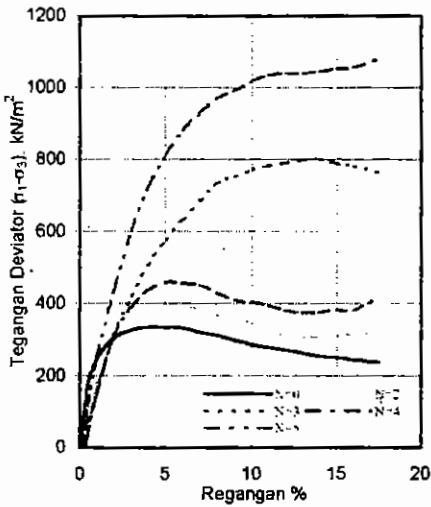
Gambar 3. Kurva tegangan-regangan pasir yang diperkuat geotekstil polyfelt TS 50 pada berbagai jumlah lapisan geotekstil dari uji tekan triaksial



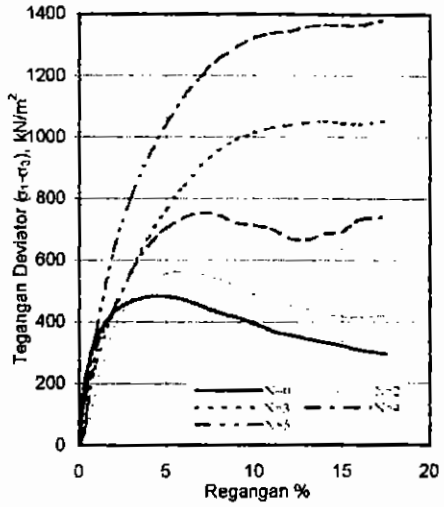
(a) $\sigma_3 = 50 \text{ kN/m}^2$



(b) $\sigma_3 = 100 \text{ kN/m}^2$



(c) $\sigma_3 = 150 \text{ kN/m}^2$



(d) $\sigma_3 = 200 \text{ kN/m}^2$

N=0

N=2

N=3

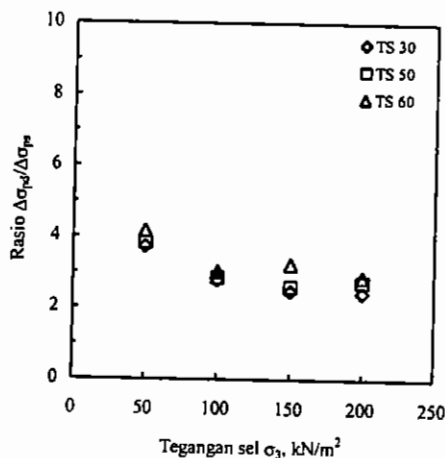
N=4

N=5

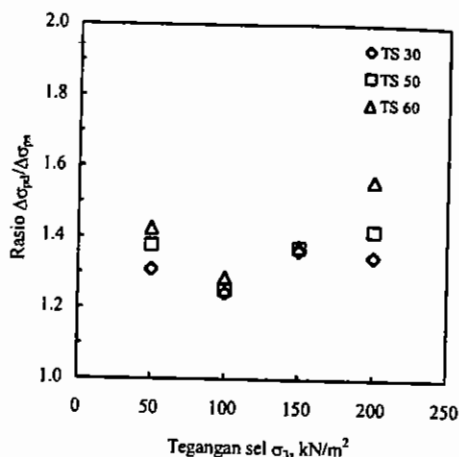
Gambar 4. Kurva tegangan-regangan pasir yang diperkuat geotekstil polyfelt TS 60 pada berbagai jumlah lapisan geotekstil dari uji tekan triaksial

Peningkatan tegangan deviator lebih signifikan pada benda uji dengan spasi yang lebih rapat dan seragam ($N=3$ dan $N=5$), dan peningkatannya sejalan dengan penambahan jumlah lembar perkuatan. Lembar perkuatan juga cenderung meningkatkan besarnya regangan untuk mencapai tegangan puncak dan lebih rangkak dibanding sampel tanpa perkuatan. Peningkatan lebih signifikan pada $N=3$ dan $N=5$ dengan spasi lembar perkuatan ΔH yang seragam, sedangkan untuk $N=2$ dan $N=4$ dengan ΔH yang lebih besar dan tidak seragam, regangan yang bersesuaian dengan tegangan puncak mendekati regangan puncak sampel tanpa perkuatan. Sejumlah benda uji, regangan puncak tidak terukur karena keterbatasan kemampuan alat, yaitu untuk TS 60 pada $N=5$. Pada regangan rendah ($< 1\%$), sebagian besar benda uji mempunyai kekakuan yang lebih rendah dibandingkan dengan pasir tanpa perkuatan. Hal ini disebabkan oleh terjadinya kompresibilitas pada lembar geotekstil sebelum kuat tariknya termobilisasi.

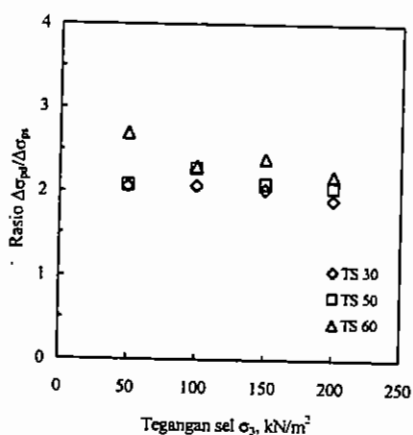
Peningkatan tegangan deviator pasir diperkuat, $\Delta\sigma_{pd}$ terhadap tegangan deviator pasir saja, $\Delta\sigma_{ps}$ tergantung pada tegangan kekangan seperti Gambar 5. Pada $N=3$ dan $N=5$, dapat diamati (walaupun sebaran data agak terpecah) bahwa rasio $\Delta\sigma_{pd}/\Delta\sigma_{ps}$ berkurang dengan peningkatan σ_3 dan agak meningkat dengan peningkatan kuat tarik geotekstil. Akan tetapi, untuk $N=2$ dan $N=4$ rasio ini cenderung meningkat dengan naiknya σ_3 dan kuat tarik geotekstil seperti Gambar 5(b) dan (d). Kecenderungan ini diduga akibat ΔH pada setengah tinggi benda uji yang lebih besar dibandingkan dengan ΔH pada pasir yang diperkuat dengan $N=3$ dan $N=5$. Keruntuhan lebih nyata diawali pada pasir walaupun ada sedikit kontribusi tahanan dari kekuatan lembar geotekstil di atas dan bawahnya. Setelah pasir mengalami keruntuhan, kemudian pasir agak mengalami perlemahan (*strain softening*) dan kemudian mengalami penguatan kembali (*strain hardening*) seperti diperlihatkan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4. Namun, tegangan puncak berikutnya tidak terukur pada penelitian ini karena keterbatasan kemampuan alat uji tekan triaksial yang hanya mampu hingga regangan 17,5%. Jadi tampak perbedaan yang mencolok terhadap ΔH yang seragam ($N=3$ dan $N=5$) pada rentang regangan yang sama.



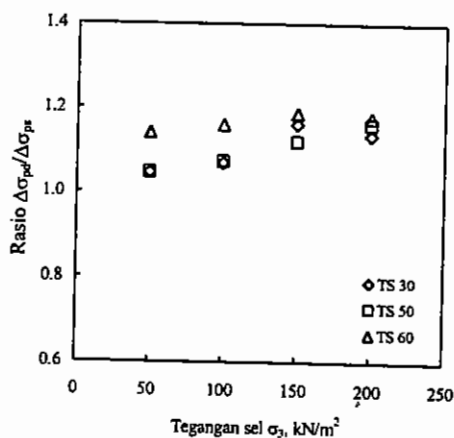
(a) Pasir Diperkuat 5 Lapis Geotekstil



(b) Pasir Diperkuat 4 Lapis Geotekstil



(c) Pasir Diperkuat 3 Lapis Geotekstil

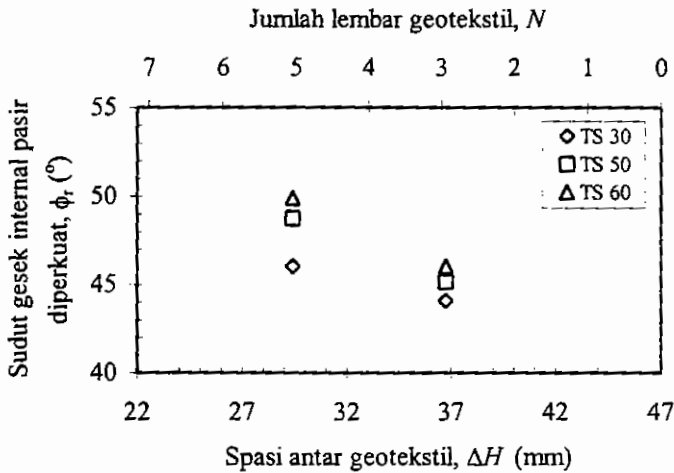


(d) Pasir Diperkuat 2 Lapis Geotekstil

Gambar 5. Rasio kenaikan tegangan deviator pada uji tekan triaksial

Bila ditinjau parameter sudut gesek internal pasir yang diperkuat, ϕ'_r , maka terlihat pada Gambar 6 bahwa spasi antara geotekstil atau jumlah lembar geotekstil mempengaruhi besarnya nilai ϕ'_r , yang menurun dengan peningkatan spasi atau jumlah lembar geotekstil, N . Peningkatan jumlah lembar geotekstil terhadap rasio sudut gesek internal pasir yang diperkuat dengan sudut gesek internal pasir, ϕ_r/ϕ' ditunjukkan pada Gambar 7. Rasio ϕ_r/ϕ' meningkat dengan peningkatan jumlah lembar geotekstil, dengan rasio terendah

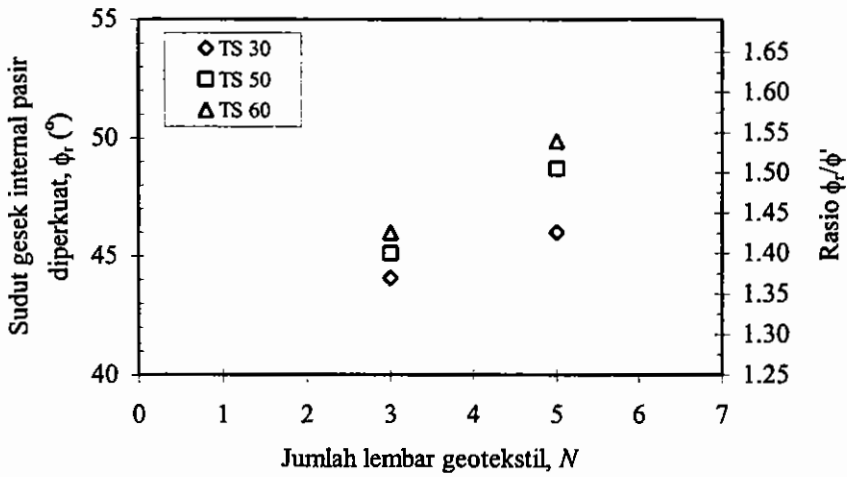
... geotekstil TS 30 dan tertinggi 1,54
 $N=5$ untuk geotekstil TS 60.



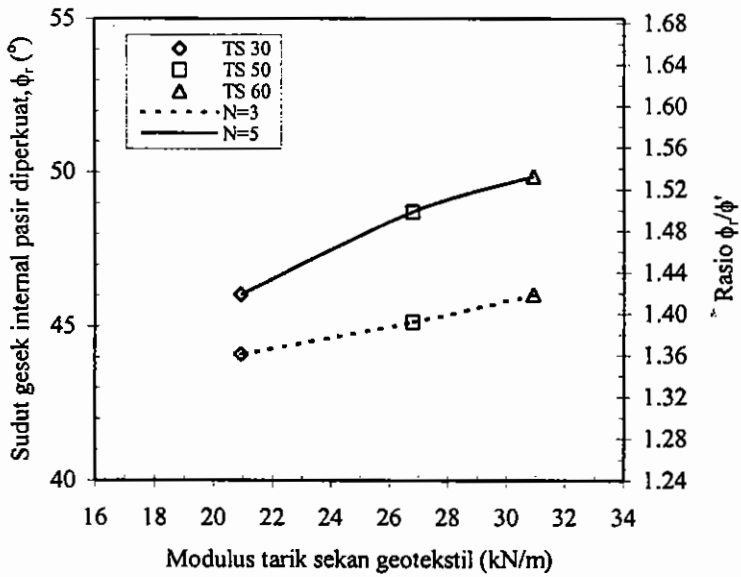
Gambar 6. Hubungan ϕ_r dengan spasi dan jumlah lembar geotekstil

Bila nilai ϕ_r dan rasio ϕ_r/ϕ' diplot kembali terhadap kuat tarik geotekstil seperti Gambar 8, maka tampak bahwa ϕ_r dan rasio ϕ_r/ϕ' meningkat dengan peningkatan kekakuan geotekstil, baik untuk $N=3$ maupun $N=5$. Semakin tinggi kekakuan geotekstil, maka semakin besar pula sudut gesek internal pasir yang diperkuat ϕ_r (sesuai dengan Holtz dkk, (1982) dan Mandal (1986)). Pada gambar itu terlihat pula adanya suatu perilaku yang relatif sama untuk $N=3$ dan $N=5$ dengan peningkatan nilai ϕ_r dan rasio ϕ_r/ϕ' relatif linear.

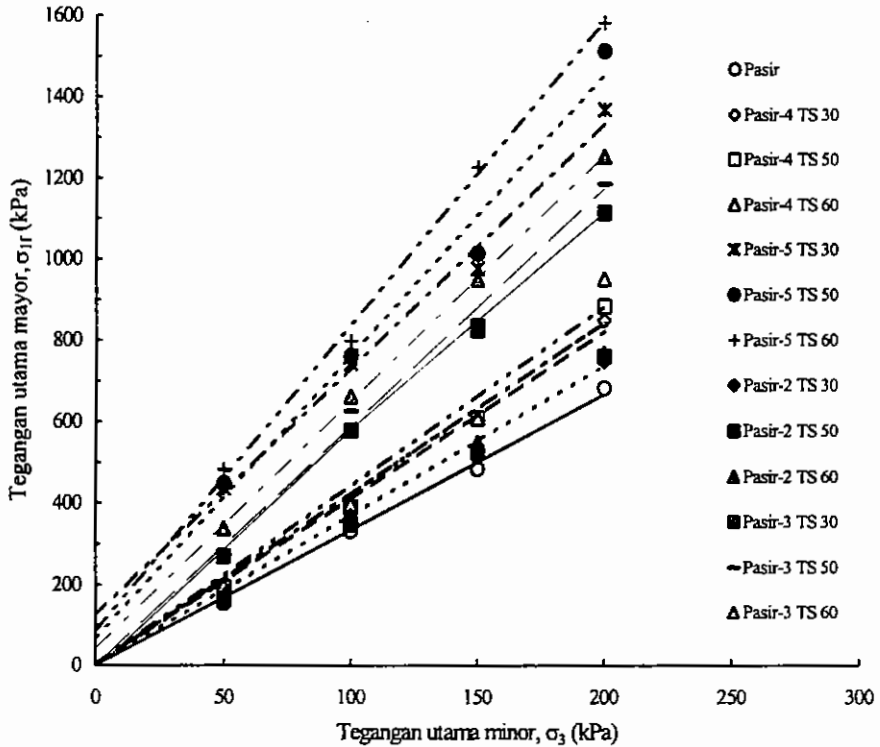
Tipikal hasil uji tekan triaksial yang diplot dalam hubungan tegangan utama mayor saat runtuh, σ_{1f} dengan tegangan utama minor, σ_3 diperlihatkan pada Gambar 9. Sebagaimana telah dianalisis sebelumnya, terlihat bahwa kekuatan meningkat dengan peningkatan jumlah lembar geotekstil. Pada Gambar 9 itu tidak dapat diamati batas antara kecenderungan geotekstil mengalami perpanjangan tarik (*stretch*) dengan kecenderungan terjadinya selip atau cabut (*pullout*) pada geotekstil, yaitu perpotongan *linear envelope* pada suatu tegangan kekangan yang disebut tegangan kekangan kritis (*critical confining stress*) σ_{crit} .



Gambar 7. Hubungan ϕ_r dan rasio ϕ_r/ϕ' dengan jumlah geotekstil



Gambar 8. Hubungan ϕ_r dan rasio ϕ_r/ϕ' dengan kuat tarik geotekstil



Gambar 9. *Failure envelope* hasil uji tekan triaksial pada berbagai tipe geotekstil polyfelt non woven

Semua pengujian diduga mengalami keruntuhan selip mengingat kuat tarik geotekstil lebih besar dibanding kekuatan pasir, yang bergradasi seragam ($C_u = 1,53$). Dengan butiran pasir berbentuk bulat sempurna, maka butiran itu akan dengan mudah menggelinding pada lembar perkuatan. Hal ini terbukti bahwa pada setiap pengujian tidak ditemukan adanya lembar geotekstil yang sobek. Di samping itu, rasio $\phi_r/\phi' > 1,0$ (Gambar 8) mengindikasikan bahwa pada semua pengujian kemungkinan $\sigma_3 < \sigma_{crit}$, hal ini mengacu pada hasil penelitian Bouazza dkk (1994) yang memperoleh kecenderungan nilai $\phi_r > \phi'$ pada $\sigma_3 < \sigma_{crit}$ dan sebaliknya tanah yang diperkuat mempunyai nilai $\phi_r = \phi'$ pada $\sigma_3 > \sigma_{crit}$. Pada penelitiannya, Bouazza dkk (1994) menggunakan geotekstil nir-anyam Bidim B6 dari serat polyester dan pasir pantai bersih yang seragam berukuran sedang dari Draouch, Annaba dengan $C_u = 1,9$ dan bentuk butiran *subrounded*.

KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. spasi antara lembar perkuatan mempengaruhi kekuatan sampel yang diperkuat; semakin kecil spasi antar lembar perkuatan maka semakin kuat sampel. Sampel menjadi lebih rangkak (*creep*) dan runtuh pada tegangan dan regangan puncak yang lebih besar;
2. keseragaman spasi antar lembar perkuatan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan sampel. Sampel lebih kuat pada spasi yang seragam dibandingkan dengan sampel dengan spasi yang tidak seragam;
3. sampel mengalami kegagalan selip karena bentuk butiran pasir bulat sempurna (*well rounded*) dan bergradasi seragam, serta kecenderungan $\phi_r > \phi'$ dan tidak terdapat geotekstil yang sobek selama pengujian;
4. sudut gesek internal pasir diperkuat meningkat relatif linear dengan peningkatan kekakuan geotekstil.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmatzidis, D.K., Athanasopoulos, G.A., dan Papantonopoulos, C.I., 1994, Sand-geotextile Interaction by Triaxial Compression Testing, *Proc., Fifth Int. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Vol.1, Singapore, pp. 377-380.
- Bouazza, A., Amokrane, K., dan Aberkane, T., 1994, Granular Soil Reinforced with Geotextile and Randomly Oriented Fibres: A Comparison, *Proc., Fifth Int. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Vol.1, Singapore, pp. 391-394.
- Broms, B.B., 1977, Triaxial Test with Fabric-Reinforced Soil, *C.R. Coll. Inst. Soils Text*, Vol. III, pp. 129-133.
- Cazzuffi, D., Picarelli, L., Ricciuti, A. dan Pietro, R., 1993, Laboratory Investigations on the Shear Strength of Geogrid Reinforced Soils, Cheng, S.C.J. (ed), *Geosynthetic Soil Reinforcement Testing Procedures*, ASTM, Philadelphia, pp. 119-137.
- Chandrasekaran, B., Broms, B.B., dan Wong, K.S., 1989, Strength of Fabric Reinforced Sand Under Axisymmetric Loading, *Geotextile & Geomembranes*, 8.

- Fukushima, S., Mochizuki, Y., dan Kagawa, K., 1988, Strength Characteristic of Reinforced Sand in Large Scale Triaxial Compression Test, *Proc., the Int. Geotechnical Symp. On Theory and Practice of Earth Reinforcement*, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 93-98.
- Futaki, M., Suzuki, H., dan Yamato, S., 1990, Super Large Triaxial Compression Tests on Reinforced Sand with High Strength Geogrid, *Proc., 4th Int. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Vol. 2, Den Hoedt (ed), A.A.Balkema, Rotterdam, pp. 759-764.
- Gourc, J.P., 1982, Quelques aspects du comportement des geotextiles en mécanique des sol, *Ph.D Thesis, L'Institut Nation Polytechnique De Grenoble*, pp. 126-133.
- Gray dan Al-Refeai, 1986, Behavior of fabric-versus fiber-reinforced sand, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 112, No. 8, pp. 804-820.
- Gray, D.H., Athanasopoulos, G. dan Ohashi, H., 1982, Internal/External Fabric Reinforcement of Sand, *Proc., 2nd Int. Conf. On Geotextiles*, Vol. 3, Las Vegas, pp. 611-616.
- Holtz, R.D., Tobin, W.R. dan Burke, W.W., 1982, Creep Characteristics and Stress-Strain Behavior of a Geotextile-Reinforced Sand, *Proc., 2nd Int. Conf. On Geotextiles*, Vol. 3, Las Vegas, pp. 805-809.
- Ingold, T.S., 1982, *Reinforced Earth*, Thomas Telford Ltd., London.
- Koerner, R.M., 1990, *Designing with Geosynthetics*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Koerner, R.M. dan Welsh, J.P., 1980, *Construction and Geotechnical Engineering Using Synthetic Fabrics*, John Wiley & Sons, New York.
- Mandal, J.N., 1986, A Goal for Geotextiles, *Proc., The 3rd Int. Conf. on Geotextiles*, Vol. 2, Vienna, Austria, pp. 747-750.
- Wu, T.H., 1989, Behavior of Soil-Geotextile Composite and Its Application to Finite Element Analysis, *Proc., Geosynthetics '89 Conference, San Diego*, Vol.2, pp. 365-372.
- Yang, Z., 1972, Strength and deformation characteristics of reinforced sand, *Ph.D Thesis, UCLA*.