

KAJIAN KARAKTERISTIK GEOTEKSTIL DARI LIMBAH KAIN DENIM

STUDY OF GEOTEXTILE CHARACTERISTICS FROM DENIM FABRIC WASTE

Rizal Fahrurroji, Rini Marlina, Ineu Widiana

Balai Besar Tekstil, Jl. Jend. A Yani No 390 Bandung, Telp. (022) 7206214-5, Fax. (022) 7271288
E-mail: bbt@kemenperin.go.id

Tanggal diterima: 3 September 2020, direvisi: 21 Desember 2020, disetujui terbit: 26 Desember 2020

ABSTRAK

Limbah kain denim yang dihasilkan dari beberapa industri tekstil berjumlah sekitar 40 ton per tahun belum dimanfaatkan secara optimal. Bahan dasar dari kain denim tersebut adalah kapas. Kapas dikenal bersifat higroskopis dan memiliki *moisture regain* yang tinggi sehingga dapat mempertahankan kelembaban. Limbah kain denim dipilih sebagai bahan dasar geotekstil karena serat kapas yang terkandung dalam limbah kain denim ini dapat mempertahankan kelembaban geotekstil sehingga karakteristik struktur yang dilindungi oleh geotekstil ini akan terjaga bahkan lebih baik. Untuk memanfaatkan dan meningkatkan nilai tambah limbah kain denim, maka dilakukan penelitian pembuatan geotekstil nir tenun (*non woven*) campuran dari limbah kain denim dengan PET *recycle* dan *low melt fiber*, dengan memvariasikan gramasi dan komposisi untuk mendapatkan nilai optimum. Hasil uji menunjukkan bahwa geotekstil dengan dengan kode sampel C1, C2, dan C3 memiliki kualitas kekuatan tarik dan kekuatan sobek lebih tinggi dibanding sampel lainnya. Sampel C1, C2, dan C3 memiliki komposisi geotekstil terdiri dari 85% limbah kain denim dan 15% *low melt fiber*.

Kata kunci: kain denim, kapas, geotekstil, kekuatan tarik, kekuatan sobek

ABSTRACT

Waste of denim fabric produced from several textile industries amounts to approximately 40 tons per year has not been optimally utilized. The primary material of the denim fabric is cotton. Cotton is known to be hygroscopic and has high moisture regain to keep moisture. The choice of denim fabric waste as a geotextile base material because the cotton fibers contained in this denim fabric waste can retain geotextile moisture so that the characteristics of the structure protected by this geotextile will be even better preserved. To utilize and increase the added value of denim fabric waste, the research of non-woven geotextile fabrication was carried out, mixing the denim fabric waste with PET recycle and low melt fiber by varying the fabric weight and composition to get the optimum value. The test results show that the geotextile with sample code C1, C2 and C3 has a higher quality of tensile strength and tear strength than other samples. Samples C1, C2 and C3 have a geotextile composition consisting of 85% denim fabric waste and 15% low melt fiber

Keywords: denim fabric, cotton, geotextile, tensile strength, tear strength

PENDAHULUAN

Denim merupakan jenis kain berat ($>350 \text{ g/m}^2$) yang dibuat dari 100% benang kapas dan pada perkembangan berikutnya, kain denim dibuat dari benang campuran kapas-poliester.¹ Kain denim ditenun dengan benang lusi yang dicelup zat warna indigo dan benang pakan *grey* (mentah dan belum dicelup). Struktur kain denim adalah anyaman keper/*twill* dengan konstruksi 3/1 atau 2/1.²

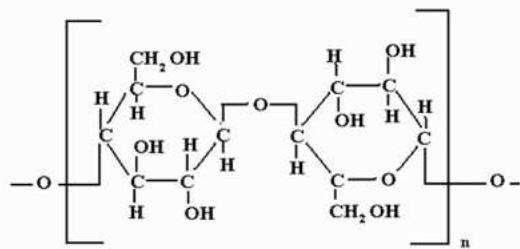
Kain denim merupakan kain yang terbuat dari bahan alam, yaitu kapas atau katun (*cotton*). Karakteristik serat kapas di antaranya, yaitu: kekuatan sekitar 3-4 *g/denier* dengan mulur 3-7%, rata-rata 7%, *moisture regain* (MR) $\pm 7\%$, rusak oleh asam, mudah diserang jamur, tidak meleleh pada suhu tinggi tetapi mudah terbakar, tidak elastis, sehingga mudah kusut dan mengkeret dalam

pencucian, namun dapat diperbaiki dengan mencampurnya dengan serat sintetis atau dilakukan penyempurnaan resin.³

Penampang melintang serat kapas berbentuk seperti ginjal atau kacang sedangkan penampang membujur berbentuk seperti pita.



Gambar 1. Penampang melintang dan membujur serat kapas⁴



Gambar 2. Struktur kimia serat kapas⁵

Komposisi kimia serat kapas dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Komposisi kimia serat kapas

Komposisi	Persentase terhadap Berat Kering (%)
Selulosa	94
Protein	1,3
Pektat	1,2
Lilin	0,6
Abu	1,2
Pigmen dan zat lainnya	1,7

Tabel 1 menunjukkan bahwa serat kapas terutama tersusun atas selulosa. Selulosa mengandung 3 buah gugus hidroksil, 1 primer dan 2 sekunder pada tiap-tiap unit glukosa.⁶ Gugus hidroksil akan memudahkan pelarutan dalam air. Meskipun demikian selulosa yang banyak mengandung gugus-gugus hidroksil tidak larut di dalam air. Hal ini disebabkan karena selulosa mempunyai berat molekul yang sangat besar sehingga tidak larut dalam air. Selain itu, adanya gugus-gugus hidroksil memungkinkan terjadinya ikatan hidrogen antar molekul selulosa yang jumlahnya cukup besar, sehingga mempersulit kelarutan selulosa di dalam air.

Serat kapas hasil limbah kain denim diperoleh melalui proses RWO (*reuse waste opening*) dari industri di Majalaya. Pada proses RWO ini, limbah kain denim akan diproses/dibuka melalui serangkaian rol berpaku berputaran tinggi hingga kain terurai menjadi serat seperti semula. Poliester *recycle* atau PET *recycle* diperoleh melalui proses pelelehan sisa-sisa botol PET. Botol-botol PET akan dihancurkan menjadi serpihan-serpihan kecil pada mesin *crushing* selanjutnya dikeringkan pada suhu 115-120°C untuk menghilangkan kadar air. PET kering kemudian dilelehkan melalui proses pemintalan leleh hingga menjadi untaian benang filamen. Benang-benang filamen ini kemudian diproses pada mesin *drawing* untuk diproses menjadi poliester/PET *recycle* serat pendek (*staple fiber*). PET *recycle* dengan serat pendek inilah yang selanjutnya menjadi bahan baku

geotekstil. PET *recycle* ini didapat dari PT Rekadaya Multi Adiprima.

Serat kapas hasil limbah kain denim selanjutnya diproses *needle punch* untuk membuat *non woven* geotekstil dengan campuran PET *recycle* sebagai penguat dan *low melt fiber* sebagai perekat (*binder*) serat kapas dan PET *recycle*. *Low melt fiber* masih didatangkan dari Korea Selatan (impor) karena belum ada industri *low melt fiber* di Indonesia. Geotekstil adalah lembaran sintesis yang tipis, fleksibel, dan berpori yang digunakan untuk stabilisasi dan perbaikan tanah dikaitkan dengan pekerjaan teknik sipil.⁷ Pemanfaatan geotekstil merupakan cara modern dalam usaha untuk perkuatan tanah lunak, memiliki kemampuan untuk memisahkan (*separasi*), menyaring (*filtrasi*), memperkuat (*reinforcement*), melindungi (*covering*), atau mengeringkan (*drainage*).⁸

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) merupakan lembaga federal AS yang secara rutin mengeluarkan standar mutu geotekstil dan digunakan oleh mayoritas hampir seluruh negara, termasuk Indonesia. Standar mutu ini digunakan untuk geotekstil dengan material dasar serat alam atau serat buatan misalnya geotekstil berbahan dasar serat jute, kenaf, poliester, atau polipropilena. Standar mutu ini juga berlaku untuk geotekstil, baik *woven* maupun *nonwoven*, dengan fungsi separasi, filtrasi, drainase, dan perkuatan. Fungsi ini merupakan fungsi utama geotekstil. Aplikasi ini dilakukan dengan menempatkan geotekstil pada bagian bawah tanah/timbunan untuk menstabilkan struktur di atasnya. Persyaratan minimum kekuatan tarik dan sobek geotekstil ini dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Persyaratan minimum mutu kekuatan tarik dan kekuatan sobek geotekstil (AASHTO M288)⁹

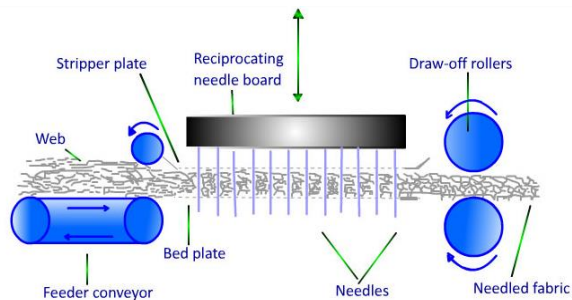
Jenis Uji	Unit	Klasifikasi Geotekstil					
		Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
		E < 50%	E > 50%	E < 50%	E > 50%	E < 50%	E > 50%
Kekuatan Tarik (<i>Grab</i>), ASTM 4632	N	1400	900	1100	700	800	500
Kekuatan Sobek, ASTM 4533	N	500	350	400	250	300	180

Ket. E = *Elongation*

Aplikasi geotekstil sebagai pelindung (*covering*) seperti halnya material geotekstil untuk *curing* beton belum memiliki persyaratan yang spesifik. Hal ini dikarenakan fungsi pelindung merupakan fungsi sekunder (*secondary function*) geotekstil.¹⁰ Para pengguna biasanya hanya mempersyaratkan kekuatan tarik, kekuatan sobek,

gramasi, dan warna geotekstil, berdasarkan desain struktur atau persyaratan konsultan perencana.

Proses pembuatan geotekstil *nonwoven* dilakukan melalui mesin *needle punch*. *Needle punch* merupakan metode pembuatan *non woven* geotekstil dengan cara menyusun serat-serat berupa *web* hasil proses mesin *carding*.¹¹ Kemudian *web* tersebut disusun menjadi beberapa lapisan/*layer* berdasarkan gramasi tertentu dan selanjutnya lapisan serat tersebut disatukan melalui tusukan-tusukan jarum (*needle punch*) dan dipanaskan melalui *heating roll* agar *non woven* yang dihasilkan tersebut lebih kuat.¹²



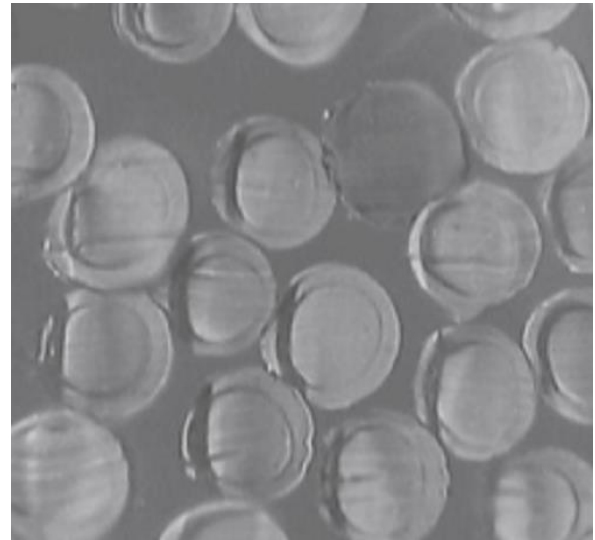
Gambar 3. Diagram proses *needle punch* ¹³

Penelitian ini bertujuan membuat geotekstil dari komposisi campuran limbah kain denim (kapas), PET *recycle*, dan *low melt fiber* dengan beberapa variasi komposisi dan gramasi. Pemilihan limbah kain denim sebagai bahan dasar geotekstil karena serat kapas yang terkandung dalam limbah kain denim ini dapat mempertahankan kelembaban geotekstil sehingga karakteristik struktur yang dilindungi oleh geotekstil ini akan terjaga bahkan lebih baik. Hasil geotekstil ini kemudian dikarakterisasi kekuatan tarik dan sobeknya. Hasil dari karakterisasi ini kemudian dibandingkan dengan persyaratan umum geotekstil untuk mendapatkan tujuan aplikasi yang tepat untuk geotekstil yang dihasilkan dari limbah kain denim.

METODE

Bahan

Bahan yang digunakan untuk pembuatan geotekstil *nonwoven* adalah serat kapas dari limbah kain denim yang telah melalui proses *reuse waste opening* (RWO), PET *recycle* sebagai campuran serat kapas dan juga sebagai penguat produk geotekstil, serta poliester *low melt fiber*, merupakan serat poliester yang mampu meleleh pada suhu rendah (110 – 180°C).¹⁴ Serat poliester ini memiliki komponen dan fungsi yang berbeda dari poliester umumnya. Serat poliester ini memiliki struktur inti selubung yang tersusun dari poliester biasa dan poliester yang telah dimodifikasi.¹⁵ Serat ini berfungsi untuk mengikat (*binder*) PET *recycle* dan serat kapas limbah denim sesaat setelah proses *needle punch* melalui pemanasan pada rol pemanas.



Gambar 4. Penampang melintang poliester *low melt fiber*¹⁶

Peralatan

Mesin *needle punch* yang digunakan untuk proses pembuatan kain geotekstil pada penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Merek/Negara : Shooou Shyng/Taiwan
2. Model : SPL-03+SVP
3. Lebar kerja : 4,5 m
4. Lebar produk akhir : 4,0 m
5. Rentang berat produk : 200-1500 g/m²
6. Kecepatan : 1,5-6 m/menit
7. Bahan baku : serat stapel 4-15 D
8. Suhu oven : 180-200°C
9. Tekanan rol penekan : 40 kgf/mm
10. Suhu rol penekan : 140°C

Percobaan

Pembuatan geotekstil dilakukan dengan mevariasikan komposisi dan gramasi. Variasi komposisi pada penelitian ini ialah pencampuran antara limbah denim dan PET *recycle*, limbah denim dan *low melt fiber*, serta limbah denim, PET *recycle*, dan *low melt fiber*. Gramasi yang ditentukan ialah 300, 400, dan 500 g/m².

Fungsi dari PET *recycle* ialah untuk mengikat serat kapas pada saat proses pencampuran (*blending*). *Low melt fiber* berfungsi sebagai bahan pengikat (*binder*) campuran antara PET *recycle* dan serat kapas limbah denim. Dengan metode variasi komposisi dan gramasi diharapkan menghasilkan kekuatan tarik dan sobek yang optimal sebagai geotekstil. Hasil kekuatan tarik dan sobek ini selanjutnya dibandingkan dengan standar mutu produk geotekstil. Rencana penelitian yang mencakup variasi komposisi, gramasi, dan jumlah sampel dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Rencana penelitian (variasi komposisi dan gramasi)

Variasi Komposisi	Kode Sampel	Gramasi (g/m ²)	Komposisi (%)			Jumlah Sampel
			WD	PET	LM	
1	A1	300	80	20	-	3
	A2	400	70	30	-	
	A3	500	65	35	-	
2	C1	300	85	-	15	6
	C2	400	85	-	15	
	C3	500	85	-	15	
	D1	300	90	-	10	
	D2	400	90	-	10	
	D3	500	90	-	10	
3	B11	300	75	15	10	6
	B12	300	90	5	5	
	B21	400	75	15	10	
	B22	400	90	5	5	
	B31	500	75	15	10	
	B32	500	90	5	5	

Ket.: WD = Limbah Denim; PET = PET Recycle; LM = Low Melt Fiber

Pengujian

Pengujian yang dilakukan yaitu kekuatan tarik geotekstil cara cekau/grab (SNI 4417) dan kekuatan sobek geotekstil cara trapesium (SNI 4644).¹⁷ Kekuatan tarik dan kekuatan sobek geotekstil dipengaruhi di antaranya oleh gramasi dan komposisi serat penyusun geotekstil.¹⁸ Serat kapas memiliki kekuatan 4 g/denier, sedangkan serat poliester untuk geotekstil memiliki kekuatan 9 g/denier.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas optimum geotekstil yang diproduksi dari limbah kain denim. Berdasarkan data hasil uji ini, dapat ditentukan aplikasi geotekstil tersebut sesuai dengan fungsinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kekuatan Tarik

Hasil pengujian kekuatan tarik setiap gramasi dapat dilihat pada Tabel 4 (gramasi 300 g/m²), Tabel 5 (gramasi 400 g/m²), dan Tabel 6 (gramasi 500 g/m²).

Tabel 4. Hasil uji kekuatan tarik gramasi 300 g/m²

Kode Sampel	Komposisi (%)			Hasil Uji Kekuatan Tarik (N)	
	WD	PET	LM	MD	CD
A1	80	20	-	3,38	3,93
B11	75	15	10	6,30	5,90
B12	90	5	5	17,53	7,24
C1	85	-	15	147,90	320,01
D1	90	-	10	75,08	92,16

Ket : WD = Limbah Denim; PET = PET Recycle; LM = Low Melt Fiber; MD = Machine Direction; CD = Cross Direction.

Tabel 5. Hasil uji kekuatan tarik gramasi 400 g/m²

Kode Sampel	Komposisi (%)			Hasil Uji Kekuatan Tarik (N)	
	WD	PET	LM	MD	CD
A2	70	30	-	5,64	4,84
B21	75	15	10	4,68	8,24
B22	90	5	5	15,07	24,45
C2	85	-	15	83,14	154,51
D2	90	-	10	23,41	45,34

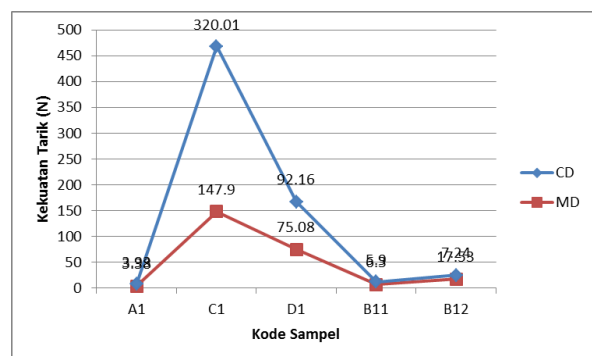
Ket : WD = Limbah Denim; PET = PET Recycle; LM = Low Melt Fiber; MD = Machine Direction; CD = Cross Direction.

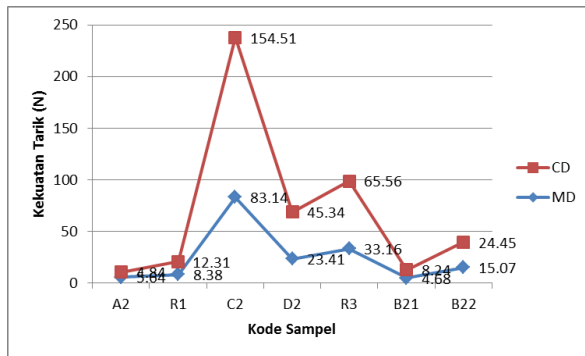
Tabel 6. Hasil uji kekuatan tarik gramasi 500 g/m²

Kode Sampel	Komposisi (%)			Hasil Uji Kekuatan Tarik (N)	
	WD	PET	LM	MD	CD
A3	65	35	-	9,54	10,69
B31	75	15	10	4,91	14,56
B32	90	5	5	6,38	3,05
C3	85	-	15	51,11	106,93
D3	90	-	10	41,61	100,93

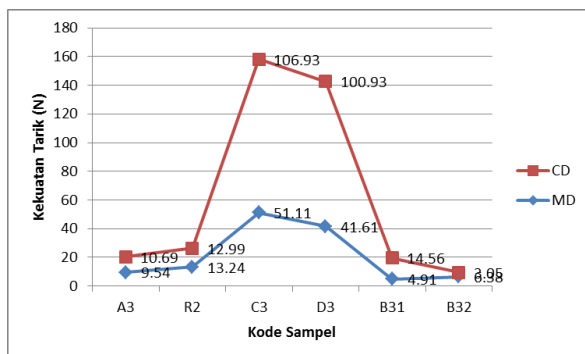
Ket : WD = Limbah Denim; PET = PET Recycle; LM = Low Melt Fiber; MD = Machine Direction; CD = Cross Direction.

Pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan menarik sampel berukuran panjang 75 mm dan lebar 25 mm, yang dijepit pada suatu klem. Prinsip metode uji ini adalah memberikan beban longitudinal pada benda uji (sampel) yang ditingkatkan secara terus-menerus hingga terjadi keruntuhan.¹⁹ Nilai beban putus dan mulur diperoleh dari skala alat atau arloji ukur, grafik-grafik rekaman, atau komputer yang terhubung dengan alat uji. Metode uji ini dapat menggambarkan peristiwa yang sebenarnya atau kekuatan nyata dari pemakaian geotekstil (kekuatan efektif). Perbandingan kekuatan tarik pada setiap gramasi dapat dilihat pada Gambar 5 (gramasi 300 g/m²), Gambar 6 (gramasi 400 g/m²), dan Gambar 7 (gramasi 500 g/m²) berikut ini.

**Gambar 5.** Grafik kekuatan tarik geotekstil gramasi 300 g/m²



Gambar 6. Grafik kekuatan tarik geotekstil gramasi 400 g/m²



Gambar 7. Grafik Kekuatan Tarik Geotekstil Gramasi 500 g/m²

Pada hasil uji kekuatan tarik setiap gramasi tersebut, pada gramasi 300 g/m² kekuatan tarik tertinggi ialah sampel C1, gramasi 400 g/m² kekuatan tarik tertinggi ialah sampel C2, sedangkan gramasi 500 g/m² kekuatan tarik tertinggi ialah sampel C3. Sampel C1, C2, dan C3 memiliki komposisi 85% limbah denim dan 15% *low melt fiber*, dimana komposisi *low melt fiber* ini merupakan yang tertinggi dibandingkan sampel lainnya, yakni 5 dan 10%. Komposisi *low melt fiber* yang tinggi akan meningkatkan kekuatan tarik karena daya ikat antar serat akan lebih kuat.²⁰ *Low melt fiber* berfungsi mengikat serat penyusun geotekstil. Sampel yang tidak memiliki komposisi *low melt fiber* hasil uji kekuatan tariknya relatif kecil.

Pengujian Kekuatan Sobek

Hasil pengujian kekuatan sobek setiap gramasi dapat dilihat pada Tabel 7 (gramasi 300 g/m²), Tabel 8 (gramasi 400 g/m²), dan Tabel 9 (gramasi 500 g/m²).

Tabel 7. Hasil uji kekuatan sobek gramasi 300 g/m²

Kode Sampel	Komposisi (%)			Hasil Uji Kekuatan Sobek (N)	
	WD	PET	LM	MD	CD
B11	75	15	10	3,23	2,46
B12	90	5	5	6,51	3,83
C1	85	-	15	5,96	77,75
D1	90	-	10	35,54	54,8

Tabel 8. Hasil uji kekuatan sobek gramasi 400 g/m²

Kode Sampel	Komposisi (%)			Hasil Uji Kekuatan Sobek (N)	
	WD	PET	LM	MD	CD
B21	75	15	10	1,97	3
B22	90	5	5	5,1	7,11
C2	85	-	15	38,23	57,08
D2	90	-	10	15,68	27,02

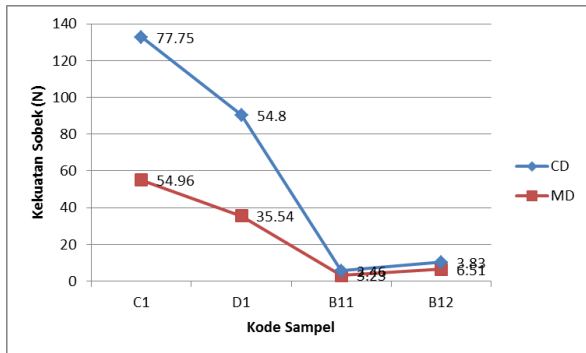
Tabel 9. Hasil uji kekuatan sobek gramasi 500 g/m²

Kode Sampel	Komposisi (%)			Hasil Uji Kekuatan Sobek (N)	
	WD	PET	LM	MD	CD
B31	75	15	10	4,91	14,56
B32	90	5	5	6,38	3,05
C3	85	-	15	51,11	60,37
D3	90	-	10	35,7	52,51

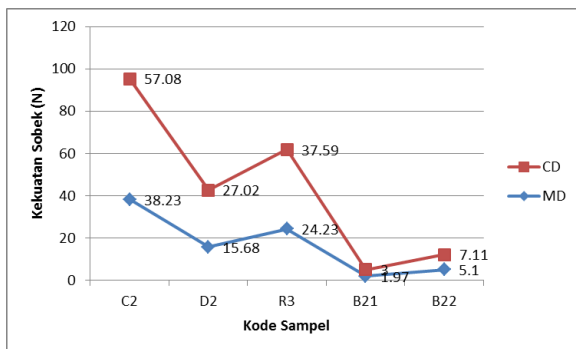
Metode uji sobek cara trapesium berfungsi untuk memperkirakan kekuatan ketahanan sobek suatu kain atau geotekstil. Pada geotekstil, susunan serat pada geotekstil mempengaruhi ketahanan sobek suatu sampel. Serat-serat penyusun yang terorientasi secara optimal akan memiliki kekuatan sobek yang tinggi dan sebaliknya. Perbandingan kekuatan sobek pada setiap gramasi dapat dilihat pada Gambar 8 (gramasi 300 g/m²), Gambar 9 (gramasi 400 g/m²), dan Gambar 10 (gramasi 500 g/m²).

Pada hasil uji kekuatan sobek setiap gramasi tersebut, pada gramasi 300 g/m² kekuatan tarik tertinggi ialah sampel C1, pada gramasi 400 g/m² kekuatan tarik tertinggi ialah sampel C2, sedangkan pada gramasi 500 g/m² kekuatan tarik tertinggi ialah sampel C3. Sampel C1, C2, dan C3 memiliki komposisi 85% limbah denim dan 15% *low melt fiber*, dimana komposisi *low melt fiber* ini merupakan yang tertinggi dibandingkan sampel lainnya, yakni 5 dan 10%. Komposisi *low melt fiber* yang tinggi akan meningkatkan kekuatan sobek karena daya ikat antar serat akan lebih kuat.²⁰ Sama seperti pada uji kekuatan tarik, *low melt fiber*

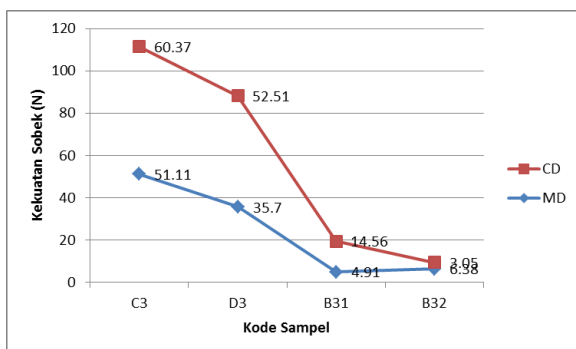
berpengaruh besar pada kekuatan pengikatan serat penyusun geotekstil. Hal ini dapat dilihat pada sampel A yang tidak memiliki kandungan *low melt fiber*, hasil uji kekuatan sobeknya tidak teridentifikasi karena rapuhnya struktur geotekstalnya yang disebabkan oleh tidak ada pengikat antar serat.



Gambar 8. Grafik kekuatan sobek geotekstil gramasi 300 g/m²



Gambar 9. Grafik kekuatan sobek geotekstil gramasi 400 g/m²



Gambar 10. Grafik kekuatan sobek geotekstil gramasi 500 g/m²

Perbandingan dengan Standar AASHTO M288

Hasil uji rata-rata kekuatan tarik dan kekuatan sobek geotekstil dari limbah kain denim masih di bawah standar mutu minimum AASHTO (lihat Tabel 2). Berdasarkan evaluasi tersebut, geotekstil dari limbah kain denim hasil penelitian ini tidak cocok digunakan sebagai fungsi utama geotekstil. Geotekstil dari limbah kain denim sangat

cocok digunakan untuk proteksi permukaan struktur, misalnya sebagai *covering* beton.

KESIMPULAN

Geotekstil dari limbah kain denim (limbah denim) merupakan pengembangan produk geotekstil yang selama ini masih menggunakan serat-serat sintetis sebagai bahan bakunya. Hasil uji karakterisasi terhadap produk geotekstil tersebut didapatkan hasil optimal geotekstil, yakni yang menghasilkan nilai kekuatan tarik dan kekuatan sobek tertinggi, yakni geotekstil dengan komposisi 85% limbah denim dan 15% *low melt fiber*. Komposisi geotekstil berpengaruh signifikan terhadap kualitas geotekstil. Geotekstil limbah denim ini dapat diaplikasikan sebagai material konstruksi, misalnya berfungsi sebagai bahan *covering* beton karena geotekstil ini memiliki kandungan serat kapas yang dapat mempertahankan kelembaban dan suhu beton.

PUSTAKA

1. Elmogahzy YE. Performance Characteristics of Traditional Textiles: Denim and Sportswear Products. *Engineering Textile* 2020;2:319-346.
2. Rahman O. The Influence of Visual and Tactile Inputs on Denim Jeans Evaluation. *International Journal of Designs*. 2012;6(1).
3. Oner E, Topcuoglu S, Kutlu O. The Effect of Cotton Fibre Characteristic on Yarn Properties. In: *Aegean International Textile and Advanced Engineering Conference*. ; 2018:1-7.
4. S. J. Eichhorn, J.W.S. Hearle MJ, Kikutani T. *Handbook of Textile Fibres Structure Volume 2: Natural, Regenerated, Inorganic and Specialist Fibres*. Woodhead Publishing Ltd.
5. Hamidi A, Bazdi KG, Jafari Y. Evaluation of Morphological Characteristics of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) New Genotypes in Golestan Province. *Journal of Crop Breeding*. 2018;2018(27):66-74.
6. Noerati, Gunawan, Ichwan M, Sumihartati A. *Teknologi Tekstil*. Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil; 2013.
7. Das SC, Paul D, Fahad MM, Islam T, Nizam MEH. Geotextiles-A Potential Technical Textile Product. *Journal of Science Engineering Research*. 2017;(410):337-350.
8. Krishna A, Chaudhary SN. Functions & applications of geotextiles. *Indian Textile Journal*. Published online 2014.
9. Zornberg JG, Thompson N. *Application Guide and Specifications for Geotextiles in Roadway Applications*. 2012;7:128.

10. Koerner RM. *Designing with Geosynthetics*. 2nd ed. Pearson Education Inc.; 2012.
11. Thangadurai K, Thilagavathi G, Bhattacharyya A. Characterization of Needle-Punched Nonwoven Fabrics for Industrial Air Filter Application. *Journal of Textile Institute*. 2014;105(12):1319-1326.
12. Thilagavathi G, Natarajan M, Neelakrishnan S, Egappan RS. Development of Polyester Needle-Punched Nonwoven Fabrics for Filter Press Applications. *Journal of Industrial Textile*. 2018;48(10).
13. Kumar R. *Nonwoven Manufacturing-Needle Punching Technique*. PSG tech. Published online 2015.
14. Lin Q, Jiang J, Xu S, Chen Y, Hu Y, Wang X. Binding property evaluation of low melting point filaments with conventional filaments in weft-knitted fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2018;13(2):22-29.
15. Mazian B, Turner JA, Zahour S. Physical Characterization of A Sheath/Core Low Melt Polyester Fibre Used in Thermal Insulation Nonwovens. In: *Conference: International Federation of Associations of Textile Chemists and Colourists*. ; 2016.
16. Plastic NY. [https://www.npc.com.tw/j2npc/enus/prod/Fiber s/Polyester-Staple-Fiber/Low%20melt%20fiber](https://www.npc.com.tw/j2npc/enus/prod/Fiber%20Polyester-Staple-Fiber/Low%20melt%20fiber).
17. KemenPU. *Perencanaan Dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah Dengan Geosintetik*. Dirjen Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum; 2009.
18. Pretty Angelina Tay, Adi FS, Tjandra D, Wulandari PS. Analisa Perkuatan Geotekstil pada Timbunan Konstruksi Jalan dengan PLAXIS 2D. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*. Published online 2014:1-8.
19. Nasional BS. *SNI 4417:2017, Metode Uji Beban Putus Dan Mulur Geotekstil Dengan Cara Cekau (Grab)*. Badan Standardisasi Nasional; 2017.
20. Lin JH, Hsieh J-C, Mei-Chen L. Polyester/Low Melting Point Polyester Nonwoven Fabrics Used as Soilless Culture Mediums: Effects of the Content of Low Melting Point Polyester Fibers. *Applied Mechanics and Materials*. 2013;457-458.

