

**ANALISIS PERBANDINGAN SIFAT MATERIAL DAN
BIODEGRADASI ANTARA SERAT *LYOCELL (TENCEL)* DAN
SERAT SINTETIK *GEOBAG* SEBAGAI BAHAN STRUKTUR
SEMENTARA PADA SISTEM PELINDUNG PANTAI
NATURAL DI INDONESIA**

TESIS

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister dari
Institut Teknologi Bandung**

**Oleh
VIVIE HERBENITA
NIM: 25520008
(Program Studi Magister Teknik Kelautan)**



**INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
Juli 2021**

**ANALISIS PERBANDINGAN SIFAT MATERIAL DAN
BIODEGRADASI ANTARA SERAT *LYOCELL (TENCEL)* DAN
SERAT SINTETIK *GEOBAG* SEBAGAI BAHAN STRUKTUR
SEMENTARA PADA SISTEM PELINDUNG PANTAI
NATURAL DI INDONESIA**

Oleh
Vivie Herbenita
NIM: 25520008
(Program Studi Magister Teknik Kelautan)

Institut Teknologi Bandung

Menyetujui
Tim Pembimbing

Tanggal 29 Juli 2021

Pembimbing 1



(Rildova, Ph.D.)

Pembimbing 2



(Dr. Nita Yuanita, S.T., M.T.)

Pembimbing 3



(Alamsyah Kurniawan, Ph.D.)

**ANALISIS PERBANDINGAN SIFAT MATERIAL DAN BIODEGRADASI ANTARA
SERAT LYOCELL (TENCEL) DAN SERAT SINTETIK GEOBAG SEBAGAI BAHAN
STRUKTUR SEMENTARA PADA SISTEM PELINDUNG PANTAI NATURAL DI
INDONESIA**

*Comparative Analysis of Material Properties and Biodegradation Between Lyocell Fiber
(Tencel) and Geobag Synthetic Fiber as Temporary-Structure Material in Natural Coastal
Protection Systems in Indonesia*

**Vivie Herbenita¹; Rildova, Ph.D. ²; Dr. Nita Yuanita, S.T., M.T. ³; dan Alamsyah Kurniawan,
Ph.D. ⁴**

Program Studi Magister Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

inivivieherbenita@gmail.com ; rildova@gmail.com ; nita.yuanita@gmail.com
alamsyah@ocean.itb.ac.id

Abstrak: Sistem perlindungan pantai natural yang menjadi solusi dari permasalahan erosi pantai di wilayah pesisir, termasuk di Indonesia, menggabungkan pelindung alami utama (*mangrove*) dan struktur pelindung sementara (*tanggul geobag*). Hingga kini, struktur pelindung sementara terbuat dari material serat sintetik berpolimer berupa *geobag nonwoven* yang memerlukan waktu relatif lama untuk terdegradasi secara alami. Oleh sebab itu, tujuan dari penelitian ini adalah menentukan alternatif *biodegradable material* ramah lingkungan dari serat alami (*natural-fiber textile*) yang mampu diaplikasikan sebagai pengganti material utama kantung *geobag* yang mempunyai fungsi serta umur layan memadai sebagai struktur pelindung sementara. *Natural-fiber textile* yang digunakan adalah kain serat *lyocell (tencel)* dari perusahaan PT Rehal Traco yang dibandingkan secara sifat material, terutama kekuatan tarik dan karakteristik biodegradasi terhadap serat sintetik *geobag nonwoven* lokal 400 gsm dari Buana Paksa Indonesia (BPI) dan *geobag nonwoven* impor 600 gsm dari PT Tirta Citra Bara Persada. Digunakan penggabungan metode penelitian baru yang belum dikembangkan oleh peneliti sebelumnya, yakni metode pengujian laboratorium untuk sifat material dan metode *soil burial test* untuk model eksperimen uji biodegradasi. Hasil pengujian laboratorium sifat material menunjukkan bahwa kain serat *lyocell (tencel)* memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan *geobag nonwoven*, yakni dengan tebal 0,17 mm dan berat 78 g/m² menghasilkan kekuatan tarik sebesar 310 N (arah MD) dan 254 N (arah CD). Sedangkan hasil pelaksanaan model eksperimen uji *biodegradability* dengan metode *soil burial test* yang ditinjau secara berkala berdasarkan perubahan secara visual dan persen kehilangan massa selama 7 minggu di seluruh kedalaman penguburan, menunjukkan bahwa kain serat *lyocell (tencel)* memiliki kemampuan daya urai yang lebih cepat atau lebih mudah terdegradasi secara alami dibandingkan dengan *geobag nonwoven* dengan kondisi kain serat *lyocell (tencel)* lebih tipis, rapuh, terdapat perubahan warna (bercak) serta telah terdapat lubang atau sobekan pada permukaan kain. Selain itu, persentase kehilangan massa dari kain serat *lyocell (tencel)* semakin meningkat hingga mencapai 6,47% untuk kedalaman 0 cm, 28,27% untuk kedalaman 5 cm, dan 26,60% untuk kedalaman 10 cm, dengan perkiraan terdegradasi secara sempurna (persentase kehilangan massa mencapai 100%) setelah 14 minggu atau 3,5 bulan pada kedalaman 5 cm. Meskipun kain serat *lyocell* dikatakan sebagai *biodegradable material* ramah lingkungan karena memiliki laju degradasi yang lebih cepat, namun nilai sifat material kain serat *lyocell* lebih rendah dan interval biodegradasi berada di bawah umur layan yang dibutuhkan (2-5 tahun), sehingga kain serat *lyocell* belum dapat digunakan secara langsung sebagai material utama kantung *geobag* untuk struktur pelindung sementara pada sistem perlindungan pantai natural. Perlu dilakukannya penambahan jumlah lapisan kain serat *lyocell* minimal 15 lapisan kain yang memperhatikan orientasi serat benang dan orientasi penumpukan lapisan kain untuk menyerupai nilai kekuatan tarik dari *geobag nonwoven*, serta perlu diberikan perlakuan dan perawatan (*treatment*) khusus melalui proses *finishing* untuk memperlambat laju degradasi kain agar sesuai dengan umur layan yang dibutuhkan ataupun hingga pelindung pantai utama *mangrove* tumbuh cukup kuat.

Kata Kunci: erosi pantai, sistem pelindung pantai natural, sifat material, biodegradasi, *soil burial test*, kain serat *lyocell (tencel)*, *geobag nonwoven*.

Abstract: The natural coastal protection system as a solution to the problem of coastal erosion in coastal areas, including in Indonesia, combines the main natural protection (mangroves) and temporary artificial structures is proposed. Until now, the temporary artificial structure is made of polymeric synthetic fiber material in the form of non-woven geobags which take a relatively long time to degrade naturally. Therefore, the purpose of this research is to determine alternative biodegradable materials from natural-fiber textile that can be applied as a substitute for the main material of geobag that have adequate function and service life as a temporary artificial structure. The natural-fiber textile used is lyocell fiber textile (Tencel) from PT Rehal Traco which is compared in terms of material properties, especially tensile strength and biodegradation characteristics of local non-woven geobags 400 gsm from Buana Paksa Indonesia (BPI) and import non-woven geobags 600 gsm from PT Tirta Citra Bara Persada as synthetic fibers. The combination of new research methods that have not been developed by previous researchers, namely laboratory testing methods for material properties and soil burial test methods for biodegradation test experimental models is used. The results of laboratory testing of material properties show that lyocell fiber textile (Tencel) has a lower value compared to other materials. Lyocell fiber textile (Tencel) with a thickness of 0.17 mm and a unit mass of 78 g/m² produces a tensile strength of 310 N (MD direction) and 254 N (CD direction). Meanwhile, the results of the experimental model of biodegradability testing with the soil burial test method, which are reviewed periodically based on visual changes and percentage of weight loss for 7 weeks at all burial depths, showed that lyocell fiber textile (Tencel) had a faster decomposition ability or was more easily degraded naturally. The condition of the lyocell fiber textile (Tencel) were thinner, brittle, discoloration (spots) and had small holes on the surface after 7 weeks of burial. In addition, the percentage of weight losses of lyocell fiber textile (Tencel) were increased up to 6.47% at 0 cm depth, 28.27% at 5 cm depth, and 26.60% at 10 cm depth, with an estimate of being completely degraded (weight loss reached 100%) after 14 weeks or 3.5 months at 5 cm depth. Although lyocell fiber textile (Tencel) is a biodegradable material due to a faster rate of degradation, the material properties of lyocell fiber textile (Tencel) are lower than nonwoven geobags and the biodegradation interval is below the required service life (2-5 years), so then lyocell fiber textile (Tencel) cannot be used directly as the main material of geobag for temporary artificial structures in natural coastal protection systems. It is necessary to increase the number of layers of lyocell fiber textile (Tencel) at least 15 layers of textile by paying attention to the orientation of the yarn fibers and the orientation of the stacking of layers of textile to resemble the tensile strength value of nonwoven geobags, as well as special treatment through the finishing process to reduce the rate of degradation to meet the required service life or until the main natural protection (mangroves) grows strong enough.

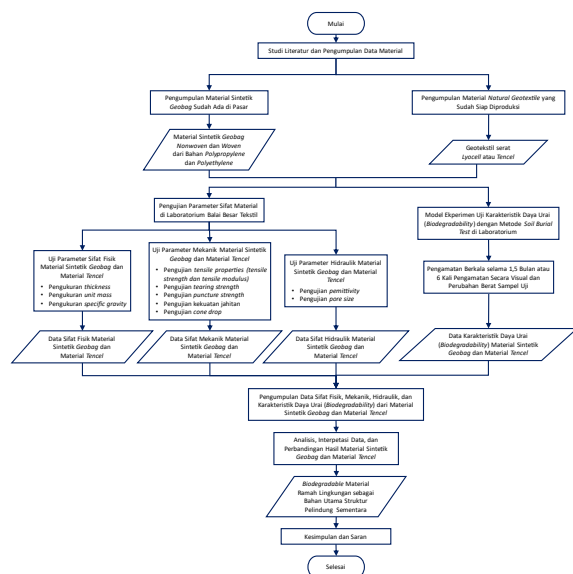
Keyword: coastal erosion, natural coastal protection system, material properties, biodegradation, soil burial test, lyocell fiber textile (Tencel), nonwoven geobag.

PENDAHULUAN

Erosi pantai atau abrasi merupakan proses pengikisan material atau sedimen dari profil pantai (di sepanjang garis pantai) karena ketidakseimbangan material atau sedimen yang tersuplai maupun yang terbawa keluar yang secara umumnya terjadi akibat pengaruh dinamika pantai yang terjadi secara alami dan faktor tektonik. Erosi pantai menjadi salah satu permasalahan utama yang sering terjadi di seluruh wilayah pesisir dunia, termasuk di Indonesia, sehingga diperlukan penanganan khusus dalam mengatasi permasalahan erosi, yakni dengan sistem perlindungan pantai natural yang menggabungkan pelindung alami utama (*mangrove*) dan struktur pelindung sementara (*tanggul geobag*). Hingga kini, struktur pelindung sementara terbuat dari material serat buatan (*synthetic geotextile*) berupa *geobag nonwoven* berbahan dasar *polypropylene* (PP), *polyester* (PET), *polyethylene* (PE), dan *polyamide* (PA) yang memerlukan waktu relatif lama untuk terdegradasi secara alami. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penentuan dan pengembangan alternatif *biodegradable material* ramah lingkungan dari serat alami (*natural-fiber textile*) yang mampu diaplikasikan sebagai pengganti material utama kantung *geobag* pada struktur pelindung sementara yang berfungsi menahan gelombang dan menangkap sedimen selama pertumbuhan *mangrove*, mampu terdegradasi secara alami, dan tidak menjadi limbah di pantai setelah lewat masa layannya, yakni sekitar 2-5 tahun atau hingga pelindung pantai utama (*mangrove*) cukup kuat untuk menahan hemapasan gelombang dan mencegah terjadinya erosi.

TEORI DAN METODOLOGI

Untuk menggambarkan metodologi penyusunan laporan tesis secara menyeluruh, maka metodologi diilustrasikan melalui diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1 Metodologi pengerjaan tugas akhir

Terdapat 2 metode yang digunakan sebagai metodologi dalam penelitian ini, yakni **pengujian laboratorium** dan **model eksperimen**. Pengujian laboratorium dilakukan untuk mengetahui sifat material yang terdiri dari sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat hidraulik dari serat *lyocell* (*tencel*) dan serat sintetik *geobag nonwoven* dari 2 perusahaan yang berbeda, yakni *geobag nonwoven* lokal 400 gsm dari Buana Paksa Indonesia (BPI) dan *geobag nonwoven* impor 600 gsm dari PT Tirta Citra Bara Persada. Sifat material diuji di laboratorium Balai Besar Tekstil dengan kriteria uji dan standar yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Pengujian sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat hidraulik dari material uji

No.	Kriteria Uji	Metode Analisis
Sifat Fisik Material		
1	Tebal /mm	ASTM D5199 – 12 SNI ISO 5084 : 2010
2	Berat /m ²	ASTM D5261 – 10 SNI ISO 3801 : 2010
Sifat Mekanik Material		
3	Kekuatan Tarik Geotekstil (Metoda Cekau atau Grab Test)	ASTM D4632 / D4632M – 15a SNI 0276 : 2009
4	Kekuatan Sobek	1. Metode Trapesium: ASTM D4533 / D4533M – 07 2. Metode Elmendorf: SNI ISO 13937 – 1 : 2010
5	Ketahanan Tusuk (<i>Puncture Resistance</i>)	ASTM D6241 – 14
6	<i>Dynamic Puncture Behavior</i> (<i>Cone Drop</i>)	ISO 13433:2006 SNI 08 – 4650 – 1998
Sifat Hidraulik Material		
7	<i>Permittivity</i> /(detik ⁻¹)	ASTM D4491/ D4492M – 15
8	Ukuran Pori-pori (<i>Pore Size</i>) (mm)	ASTM D4751 – 16

Secara umum, sifat material geotekstil terbagi menjadi 3 bagian, yakni sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat hidraulik (Shukla, 2016). Sifat fisik geotekstil terdiri dari tebal (*thickness*) dan berat per area (*unit mass*). Sedangkan untuk sifat mekanik geotekstil terdiri dari *tensile properties*, yakni kekuatan tarik (*tensile strength*), kekuatan sobek (*tearing strength*), ketahanan tusuk (*puncture strength*), dan *dynamic puncture behavior* (*cone drop*). Sementara, untuk sifat hidraulik terdiri dari *permittivity* dan ukuran pori-pori (*pore size*).

Sifat material geotekstil diperlukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik material yang diperlukan agar sesuai dengan tujuan dan fungsi yang diinginkan dalam pengaplikasiannya.

a) Tebal (*Thickness*)

Ketebalan (*thickness*) didefinisikan sebagai jarak antara 2 permukaan, yakni permukaan atas dan bawah dari geotekstil planar yang diukur dengan pemberian tekanan tertentu yang diterapkan untuk periode waktu tertentu, umumnya diberikan tekanan 2,0 kPa untuk geotekstil yang diterapkan selama 5 detik. Ketebalan geotekstil

yang umum digunakan berkisar antara 10 hingga 300 mils atau setara 0,254 hingga 7,62 mm. Pengujian dari tebal (*thickness*) dapat dilakukan berdasarkan standar dan kriteria dari ASTM D 5199 – 12 (*Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics*) dan SNI ISO 5084:2010 (Tekstil - Cara Uji Tebal Tekstil dan Produk Tekstil).

b) Berat per Area (*Unit Mass*)

Satuan massa (atau berat) dari geotekstil diukur dalam massa (atau berat) per satuan luas, yakni dinyatakan dalam satuan g/m^2 . *Unit mass* menjadi indikator yang baik dari segi biaya maupun indikator beberapa sifat lainnya, seperti kekuatan tarik, kekuatan sobek, dan kekuatan tusukan. Selain itu, *unit mass* digunakan untuk mengontrol kualitas dan kesesuaian specimen geotekstil yang dikirimkan oleh produsen atau *supplier*. *unit mass* memiliki nilai yang bervariasi tergantung terhadap jenis dan material yang digunakan, yakni berkisar 100 g/m^2 hingga 1000 g/m^2 . Pengujian *unit mass* dapat dilakukan berdasarkan standar dan kriteria dari ASTM D 5261 – 10 (*Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles*) dan SNI ISO 3801 : 2010 (Tekstil - Kain Tenun - Cara Uji Berat Kain per Satuan Panjang dan Berat Kain per Satuan Luas).

c) Kekuatan tarik (*tensile strength*)

Kekuatan tarik (*tensile strength*) geotekstil merupakan tegangan maksimum yang bisa ditahan atau diterapkan per satuan panjang di sepanjang tepi geotekstil pada bidangnya ketika diregangkan atau ditarik, sebelum geotekstil tersebut patah atau sobek. Sifat tarik geotekstil dipelajari dengan melakukan uji kekuatan tarik yang akan diperoleh kurva gaya-elongasi sesuai berdasarkan standar dan kriteria ASTM D 4632 / D4632M – 15a (*Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles*), SNI 0276 : 2009 (Cara Uji Kekuatan Tarik dan Mulur Kain Tenun), maupun ASTM D4595 – 11 (*Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method*). Dari pengujian tersebut, didapatkan beberapa parameter, yakni kekuatan maksimum, perpanjangan (*elongation*) dan modulus tarik (*tensile modulus*). Tipikal kekuatan tarik geotekstil menggunakan metode *grab test* adalah sekitar 300 – 3000 N. Pengujian ini sangat penting untuk pengendalian mutu material. Namun, kekuatan tarik pada sebagian besar geotekstil umumnya tidak sama di semua arah bidangnya. Seperti untuk *woven geotextiles*, kekuatan tarik diatur oleh struktur tenun. Kekuatan dalam arah lusi (atau arah mesin, MD) disebut sebagai kekuatan lusi (*warp strength*), dan nilainya tidak sama dengan kekuatan dalam

arah pakan (atau arah melintang mesin, CD) yang disebut kekuatan pakan (*weft strength*).

d) Kekuatan Sobek (*Tearing Strength*)

Kekuatan sobek (*tearing strength*) adalah kemampuan geotekstil untuk menahan tekanan (*maximum tearing force*) yang menyebabkan berlanjutnya atau merambatnya sobekan pada bidang geotekstil dan dinyatakan dalam satuan gaya, yakni newton. Pengujian kekuatan sobek (*tearing strength*) dapat dilakukan dengan metode uji kekuatan sobek trapesium yang didasari oleh standar dan kriteria ASTM D4533 / D4533M – 07 (*Standard Test Method for Trapezoid Tearing Strength of Geotextiles*) dan menggunakan metode pendulum (*Elmendorf*) berdasarkan standar dan kriteria SNI ISO 13937 – 1 : 2010 (Tekstil - Kekuatan Sobek Kain - Bagian 1: Cara Uji Kekuatan Sobek Menggunakan Metoda Pendulum (*Elmendorf*)). Pada umumnya, nilai tipikal kekuatan sobek untuk geotekstil dengan pengujian metode trapesium berkisar 90 – 1300 N.

e) Kekuatan Tusuk (*Static Puncture Strength*)

Kekuatan tusuk (*static puncture strength*) adalah kemampuan geotekstil untuk menahan tekanan lokal yang dihasilkan oleh penetrasi atau tusukan benda seperti agregat atau akar. Salah satu metode pengujian kekuatan tusuk (*static puncture strength*) adalah menggunakan metode *CBR Puncture Test* berdasarkan standar dan kriteria ASTM D 4833 – 07 (*Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembranes, and Related Products*) ataupun ASTM D6241 – 14 (*Standard Test Method for The Static Puncture Strength of Geotextiles – Related Products Using a 50-mm Probe*). Nilai tipikal kekuatan tusukan untuk geotekstil adalah berkisar 45 – 450 N.

f) *Dynamic Puncture Behavior (Cone Drop)*

Dynamic puncture behavior atau disebut juga sebagai kekuatan impak merupakan kemampuan geotekstil untuk menahan tekanan yang ditimbulkan oleh benturan dan penetrasi benda yang jatuh secara tiba-tiba, seperti agregat kasar, perkakas, dan barang konstruksi lainnya selama pemasangan. Kekuatan impak dapat diuji menggunakan metode *cone drop* berdasarkan standar dan kriteria ISO 13433:2006 (*Geosynthetics – Dynamic Perforation Test (Cone Drop Test)*).

g) *Permittivity*

Permeabilitas (*permeability*) adalah kemampuan geotekstil untuk mentransmisikan fluida (cair atau gas). Nilai tipikal permeabilitas nominal untuk geotekstil berkisar antara 10^{-5} hingga 1 m/s , seperti untuk *nonwoven geotextiles (needle-*

punched) memiliki nilai berkisar 10^{-4} atau 10^{-3} m/s. Karena geotekstil memiliki berbagai ketebalan, maka diperlukan evaluasi jumlah air yang mengalir melalui area penampang geotekstil terhadap tekanan tertentu. Oleh sebab itu, pengukuran ini dinyatakan sebagai permissivitas (*permissivity*) melalui koefisien Darcy.

Pengukuran *permissivity* dapat diuji berdasarkan standar dan kriteria ASTM D4491 / D4492M – 15 (*Standard Test Method for Water Permeability of Geotextiles by Permissivity*).

h) Ukuran Pori-pori (*Pore Size*)

Ukuran pori-pori (*pore size*) adalah distribusi ukuran permukaan geotekstil yang menyatakan pula perkiraan ukuran partikel terbesar yang dapat melewati geotekstil. Ukuran pori-pori pada geotekstil tidak berukuran sama tetapi memiliki berbagai ukuran. Salah satu pengujian untuk menentukan ukuran *pore size* adalah berdasarkan standar dan kriteria ASTM D 4751 – 16 (*Standard Test Method for Determination of Apparent Opening Size of a Geotextile*) melalui metode uji pengayakan kering (*dry sieving test method*). Di Amerika Serikat, ukuran pori ini disebut sebagai *Apparent Opening Size* (AOS) dan ditetapkan sebagai O_{95} . AOS dianggap sebagai properti yang menunjukkan partikel paling besar yang akan secara efektif melewati geotekstil dan mencerminkan dimensi bukaan terbesar yang terdapat pada geotekstil untuk dilewati tanah. Umumnya, ukuran bukaan (*pore size*) O_{90} untuk *woven geotextile* berkisar 0,15 mm hingga 0,6 mm, sementara untuk *nonwoven geotextile* berkisar 0,05 mm hingga 0,35 mm.

Sementara itu, **model eksperimen** dilakukan dengan **metode soil burial test** pada laboratorium selama 7 minggu untuk mengetahui karakteristik daya urai (*biodegradability*) dari serat *lyocell* (*tencel*) dan serat sintetik *geobag*. Sampel material berukuran 30×20 cm dikubur pada tanah organik dalam 3 variasi kedalaman penguburan yang berbeda, yakni kedalaman 0 cm (sampel kontrol), kedalaman 5 cm, dan kedalaman 10 cm. Kondisi lingkungan dipertahankan dengan suhu rata-rata bernilai 25 ± 5 °C dan kelembaban relatif bernilai $95 \pm 5\%$. Seluruh sampel uji akan diamati secara berkala berdasarkan perubahan secara visual dan persen kehilangan massa yang ditentukan menggunakan Persamaan 1.

$$\% \text{kehilangan massa} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad \text{Persamaan 1}$$

Keterangan:

W_1 : Massa sampel sebelum model eksperimen uji biodegradasi (gram).

W_2 : Massa sampel setelah model eksperimen uji biodegradasi (gram).

HASIL DAN ANALISIS

A. HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM SIFAT FISIK, SIFAT MEKANIK, DAN SIFAT HIDRAULIK

a. Pengujian Laboratorium Sifat Material *Natural-Fiber Textile: Serat Lyocell (Tencel)*

Hasil pengujian laboratorium sifat material untuk kain serat *lyocell* (*tencel*) sebagai salah satu *natural fiber textile* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil pengujian sifat material kain serat *lyocell* (*tencel*)

Pengujian Sifat Material		Hasil Uji	Standar dan Kriteria
Tebal Kain		0,17 mm	SNI ISO 5084 : 2010
Berat Kain		78 g/m ²	SNI ISO 3801 : 2010
Kekuatan Tarik (<i>Tensile Strength</i>) Kain Metode Cekau (<i>Grab Test</i>)	Kekuatan Arah Lusi (<i>Warp Strength</i>), MD	310 N (31,6 kg)	SNI 0276 : 2009
	Kekuatan Arah Pakan (<i>Weft Strength</i>), CD	254 N (25,9 kg)	
Kekuatan Sobek (<i>Tearing Strength</i>) Kain Metode <i>Elmendorf</i>	Kekuatan Arah Lusi (<i>Warp Strength</i>), MD	4,4 N (0,45 kg)	SNI ISO 13937 – 1 : 2010
	Kekuatan Arah Pakan (<i>Weft Strength</i>), CD	3,5 N (0,36 kg)	
Keterangan:			
- MD (<i>machine direction</i>) = arah mesin atau arah panjang gulungan kain, yakni 6 m. - CD (<i>cross machine direction</i>) = arah melintang mesin atau arah lebar gulungan kain, yakni 1,1 m.			

b. Pengujian Laboratorium Sifat Material *Synthetic Geotextile: Geobag Nonwoven*

hasil pengujian laboratorium sifat material dari *geobag nonwoven* lokal Buana Paksa Indonesia (BPI) dan *geobag nonwoven* impor dari PT Tirta Citra Bara Persada ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil pengujian sifat material *geobag nonwoven*

Pengujian Sifat Material		Hasil Uji		Standar dan Kriteria
		Geobag Nonwoven Lokal Buana Paksa Indonesia (400 gsm)	Geobag Nonwoven Impor PT Tirta Citra Bara Persada (600 gsm)	
Tebal Geotekstil (Tekanan 2 kPa)		3,26 mm	4,36 mm	ASTM D5199 – 12
Berat Geotekstil		422 g/m ²	527 g/m ²	ASTM D5261 – 10
Kekuatan Tarik (Tensile Strength) Geotekstil Metode Cekau (Grab Test)	Kekuatan Arah MD	1080 N (110 kg)	2.140 N (218 kg)	ASTM D4632 / D4632M – 15a
	Koefisien Variasi (CV) Arah MD	5%	10%	
	Kekuatan Arah CD	856 N (87,3 kg)	2.140 N (218 kg)	
	Koefisien Variasi (CV) Arah CD	10%	8%	
Mulur (Elongation) Geotekstil Metode Cekau (Grab Test)	Arah MD	63,50%	68,30%	ASTM D4632 / D4632M – 15a
	Koefisien Variasi (CV) Arah MD	8%	6%	
	Arah CD	99,30%	82,50%	
	Koefisien Variasi (CV) Arah CD	2%	5%	
Keterangan:				
- MD (<i>machine direction</i>) = arah mesin atau arah panjang karung, yakni 60 cm untuk <i>geobag</i> lokal dan 2,4 m untuk <i>geobag</i> impor. - CD (<i>cross machine direction</i>) = arah melintang mesin atau arah lebar karung, yakni 40 cm untuk <i>geobag</i> lokal dan 1,45 m untuk <i>geobag</i> impor.				

Tabel 3 Hasil pengujian sifat material *geobag nonwoven* (Lanjutan)

Pengujian Sifat Material		Hasil Uji		Standar dan Kriteria
		Geobag Nonwoven Lokal Buana Paksa Indonesia (400 gsm)	Geobag Nonwoven Impor PT Tirta Citra Bara Persada (600 gsm)	
Kekuatan Sobek (Tearing Strength) Geotekstil Metode Trapesium	Kekuatan Arah MD	439 N (44,8 kg)	814 N (83,0 kg)	ASTM D4533 / D4533M – 07
	Koefisien Variasi (CV) Arah MD	5%	7%	
	Kekuatan Arah CD	373 N (38,0 kg)	895 N (91,2 kg)	
	Koefisien Variasi (CV) Arah CD	9%	9%	
Kekuatan Tusuk (Static Puncture Strength) Geotekstil		2.580 N (263 kg)	7.070 N (721 kg)	ASTM D6241 – 14
Kekuatan Impak (Dynamic Puncture Behavior) Geotekstil Metode Cone Drop		16 mm	(melebihi kapasitas alat uji) ^b	ISO 13433:2006
Permittivitas (Permittivity)		0,4767 s-1	0,3005 s-1	ASTM D4491 / D4491M – 15
Ukuran Pori-pori (Pore Size), O ₉₅		0,134 mm	0,096 mm	ASTM D4751 – 16
Keterangan:				
- MD (<i>machine direction</i>) = arah mesin atau arah panjang karung, yakni 60 cm untuk <i>geobag</i> lokal dan 2,4 m untuk <i>geobag</i> impor. - CD (<i>cross machine direction</i>) = arah melintang mesin atau arah lebar karung, yakni 40 cm untuk <i>geobag</i> lokal dan 1,45 m untuk <i>geobag</i> impor. ^b: tidak adanya lubang yang ditimbulkan atau corong (<i>steel cone</i>) tidak menembus geotekstil ketika dijatuhkan ke sampel uji geotekstil.				

B. ANALISIS PENGUJIAN LABORATORIUM SIFAT FISIK, SIFAT MEKANIK, DAN SIFAT HIDRAULIK FASILITAS PELAYARAN

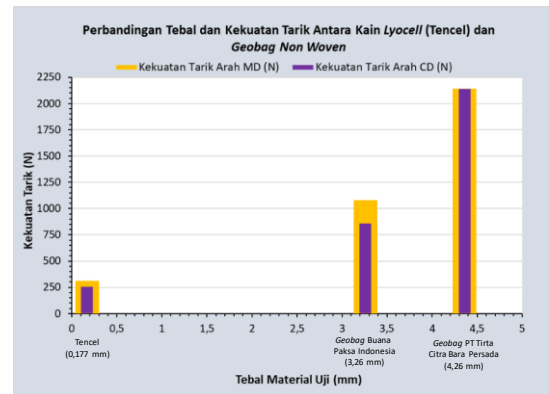
- Analisis Perbandingan Antara Sifat Material Untuk Kain Serat Lyocell (Tencel) Terhadap *Geobag Nonwoven* Lokal dan *Geobag Nonwoven* Impor
Ringkasan perbandingan sifat material kedua jenis material disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan hasil pengujian sifat material untuk kain serat *lyocell (tencel)* dan *geobag nonwoven*

Pengujian Sifat Material		Hasil Uji		
		Kain Serat Lyocell (Tencel)	Geobag Nonwoven Lokal Buana Paksa Indonesia	Geobag Nonwoven Impor PT Tirta Citra Bara Persada
Tebal Kain		0,17 mm	3,26 mm	4,36 mm
Berat Kain		78 g/m ²	422 g/m ²	527 g/m ²
Kekuatan Tarik (Tensile Strength)	Kekuatan Arah MD	310 N (31,6 kg)	1.080 N (110 kg)	2.140 N (218 kg)
	Kekuatan Arah CD	254 N (25,9 kg)	856 N (87,3 kg)	2.140 N (218 kg)
Kekuatan Sobek (Tearing Strength)	Kekuatan Arah MD	4,4 N (0,45 kg)	439 N (44,8 kg)	814 N (83,0 kg)
	Kekuatan Arah CD	3,5 N (0,36 kg)	373 N (38,0 kg)	895 N (91,2 kg)
Keterangan:				
- MD (<i>machine direction</i>) = arah mesin atau arah panjang gulungan atau karung. - CD (<i>cross machine direction</i>) = arah melintang mesin atau arah lebar gulungan atau karung.				

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi nilai kekuatan tarik material, diantaranya adalah tebal dan lapisan kain, berat kain, serta jumlah benang dan orientasi penumpukan lapisan kain.

- Tebal dan Lapisan Kain
Pengaruh tebal kain terhadap nilai kekuatan tarik disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 2.



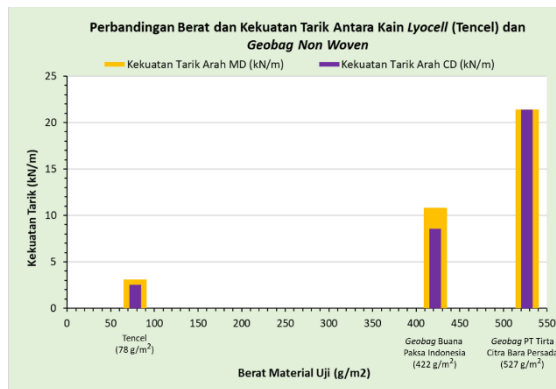
Gambar 2 Perbandingan tebal terhadap kekuatan tarik arah MD dan CD

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 2 tebal kain akan mempengaruhi luas penampang (area) yang terkena atau menahan beban tarik tersebut, sehingga semakin bertambahnya tebal suatu material, maka semakin meningkat pula beban tarik yang dapat ditahan oleh material tersebut. Luas penampang yang menahan beban tarik diperoleh dengan mengalikan tebal kain dengan lebar penjepit 25 mm. Oleh sebab itu, hubungan tebal kain (mm) dan beban kekuatan tarik (N) memiliki korelasi linier yang berbanding lurus, yakni beban kekuatan tarik akan semakin meningkat seiring bertambahnya tebal kain yang digunakan.

Pengaruh ketebalan material terhadap kekuatan tarik dapat diartikan pula sebagai pengaruh penambahan lapisan material terhadap kekuatan tarik seperti yang ditunjukkan pada penelitian (Mohammed, et al., 2018). Dalam penelitian tersebut, rata-rata persen kenaikan kekuatan tarik setiap lapisnya adalah sebesar 17,53%. Dengan mengaplikasikan persen kenaikan kekuatan tarik tersebut untuk nilai kekuatan tarik kain serat *lyocell (tencel)* pada arah MD, maka diperlukan penambahan lapisan kain serat *lyocell (tencel)* setidaknya minimal 15 lapis dengan tebal total kain 2,55 mm untuk menyerupai atau mendekati nilai kekuatan tarik dari *geobag nonwoven* lokal.

2. Berat Kain

Berat kain menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi hasil kekuatan tarik, seperti yang dilakukan dalam penelitian (Carvalho, Figueiro, & Soutinho, 2011) yang menyatakan bahwa kekuatan tarik dan gramasi memiliki korelasi linier, yakni pertambahan kekuatan tarik berbanding lurus dengan pertambahan gramasi. Pernyataan tersebut mendukung pengujian dalam penelitian ini yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari material kain serat *lyocell* (*tencel*) dan *geobag nonwoven*. Pengaruh berat kain terhadap nilai kekuatan tarik untuk arah MD dan CD dalam satuan kN/m disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3.



Gambar 3 Perbandingan berat kain terhadap kekuatan tarik arah MD dan arah CD dalam satuan kN/m

Berdasarkan Gambar 3, *geobag nonwoven* impor dengan berat 527 g/m² memiliki kekuatan tarik tertinggi, yakni 21,4 kN/m untuk kekuatan arah MD maupun arah CD. Sedangkan untuk *geobag nonwoven* lokal dengan berat 422 g/m² memiliki kekuatan tarik sebesar 10,8 kN/m untuk arah MD dan 8,56 kN/m untuk arah CD. Sementara itu, kain serat *lyocell* (*tencel*) dengan berat 78 g/m² menghasilkan kekuatan tarik paling rendah dibandingkan material lainnya, yakni 3,51 kN/m untuk arah MD dan 2,54 kN/m untuk arah CD. Sehingga, hubungan berat kain (g/m²) dan kekuatan tarik (kN/m) memiliki korelasi linier yang berbanding lurus, yakni kekuatan tarik akan semakin meningkat seiring bertambahnya berat kain yang digunakan. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan ketebalan kain yang dapat mempengaruhi berat kain dan kekuatan tarik yang dihasilkan. Selain itu, jumlah serat dan kepadatan serat pada gramasi geotekstil *nonwoven* yang lebih tinggi

akan semakin meningkat dan mampu menahan beban tarik yang lebih tinggi pula (Carvalho, Figueiro, & Soutinho, 2011).

3. Jumlah Benang dan Orientasi Penumpukan Lapisan Kain

Selain tebal dan berat kain, terdapat pula faktor jumlah benang dan orientasi penumpukan lapisan kain yang mampu mempengaruhi nilai kekuatan tarik geotekstil. Hal tersebut ditunjukkan dalam penelitian (A. Hamdan, et al., 2016) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah dan orientasi penumpukan lapisan kain *woven* dari serat kenaf pada komposit campuran resin epoksi dan kenaf terhadap kekuatan tarik. Kain *woven* kenaf yang digunakan terbuat dari 2 jenis benang yang berbeda, yakni kain A dan kain B dengan kepadatan benang pada kain A yang lebih tinggi dibandingkan kain B. Selain itu, jumlah benang pada kain *woven* kenaf per arahnya terdiri dari 3 benang (*warp* atau MD) dan 11 benang arah melintang mesin (CD atau *weft*) per centimeter (1 x 1 cm). Dalam penelitian tersebut, terdapat 4 komposit sampel uji (S1, S2, S4, dan S4) dengan penumpukan kain *woven* kenaf sebanyak 3 lapisan dengan berat total 70 g dan ketebalan 3.5 – 4.5 mm per komposisinya. Setiap sampel uji dilakukan penumpukan dengan orientasi lapisan kain *woven* kenaf yang berbeda dan diberikan gaya tarik pada arah melintang dari tumpukan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sampel 1 (S1) dengan orientasi penumpukan lapisan kain *woven* kenaf seluruhnya *warp* dan gaya tarik pada arah *weft* mampu menahan beban tarik paling besar. Hal tersebut terjadi karena kekuatan tarik yang diberikan pada S1 dapat ditahan atau ditopang oleh 11 benang serat kenaf setiap sentimeternya. Sehingga orientasi penumpukan lapisan kain serta jumlah benang terbanyak di setiap area kain menunjukkan pengaruh yang besar terhadap kekuatan tarik.

C. HASIL MODEL EKSPERIMEN UJI BIODEGRADABILITY DENGAN METODE SOIL BURIAL TEST

Hasil model eksperimen pengujian biodegradasi dengan metode *soil burial test* selama 7 minggu berupa perubahan massa (persen kehilangan massa) dari kain serat *lyocell* (*tencel*) dan *geobag nonwoven* disajikan pada Tabel 5. Sementara itu, pengamatan perubahan secara visual untuk kain

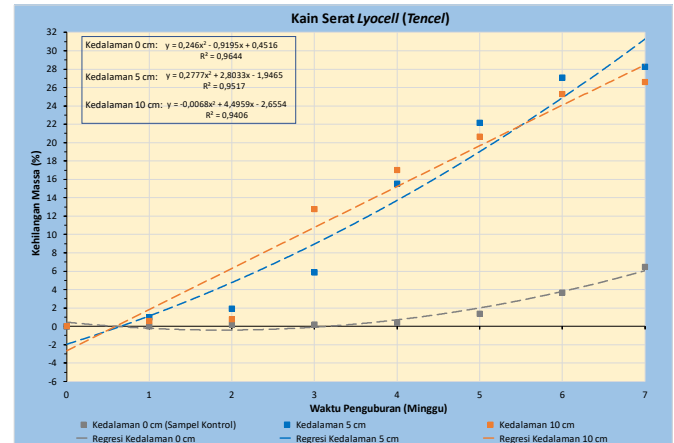
serat *lyocell* (*tencel*), yakni lebih tipis, rapuh, terdapat perubahan warna (bercak) hingga terdapat lubang di permukaan kain. Untuk *geobag nonwoven* lokal, perubahan visual yang terjadi tidak terlalu signifikan, hanya terjadi sedikit perubahan warna, terdapat beberapa bagian yang mengerut dan terdapat partikel tanah yang menempel pada permukaan *geobag*.

Tabel 5 Perubahan persen kehilangan massa dari serat *lyocell* (*tencel*) dan *geobag nonwoven* hasil model eksperimen pengujian biodegradasi

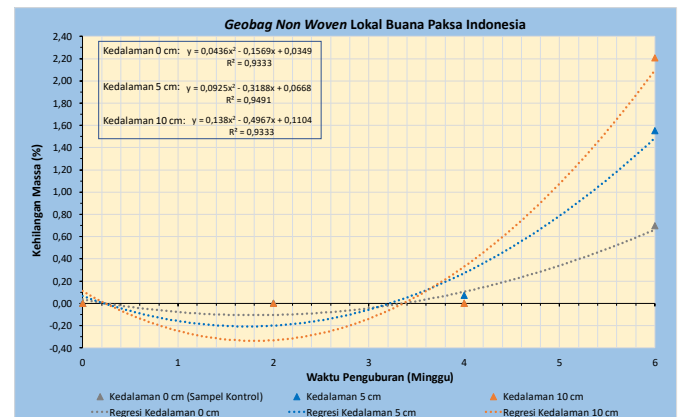
Kedalaman Penguburan	Waktu Penguburan (Minggu)	Kehilangan Massa (%)		
		Kain Serat <i>Lyocell</i> (<i>Tencel</i>)	<i>Geobag Nonwoven</i> Lokal Buana Paksa Indonesia - 400 gsm	<i>Geobag Nonwoven</i> Impor PT Tirta Citra Bara Persada - 600 gsm
Kedalaman 0 cm (Sampel Kontrol)	0	0,00	0,00	0,00
	1	0,00		
	2	0,20	0,00	0,00
	3	0,20		
	4	0,39	0,00	0,00
	5	1,37		
	6	3,68	0,70	0,09
Kedalaman 5 cm	0	0,00	0,00	0,00
	1	0,97		
	2	1,92	0,00	0,00
	3	5,87		
	4	15,53	0,07	0,00
	5	22,16		
	6	27,08	1,55	0,47
Kedalaman 10 cm	0	0,00	0,00	0,00
	1	0,58		
	2	0,77	0,00	0,00
	3	12,77		
	4	17,02	0,00	0,00
	5	20,66		
	6	25,29	2,21	0,67
	7	26,60		

D. ANALISIS MODEL EKSPERIMEN UJI BIODEGRADABILITY DENGAN METODE SOIL BURIAL TEST

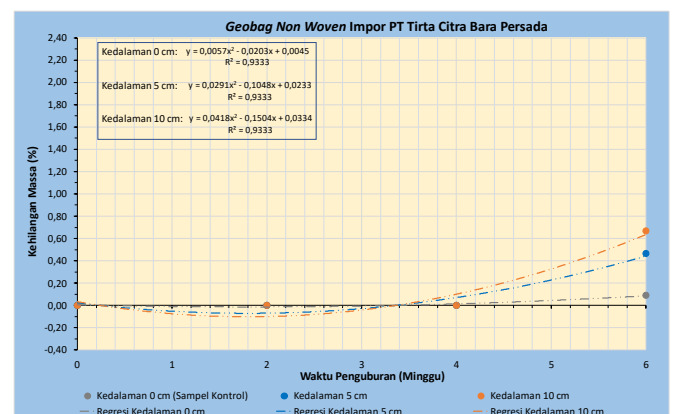
- Analisis Perubahan Massa (Persen Kehilangan Massa) untuk Setiap Kedalaman Penguburan Berdasarkan Sampel Material Berikut disajikan grafik analisis pada Gambar 4 hingga Gambar 6, yang menggambarkan perubahan massa (persen kehilangan massa) untuk setiap kedalaman penguburan dari sampel kain serat *lyocell* (*tencel*) selama 7 minggu penguburan dan *geobag nonwoven* lokal Buana Paksa Indonesia maupun *geobag nonwoven* impor PT Tirta Citra Bara Persada selama 6 minggu penguburan. Didapatkan bahwa setelah penguburan selama 1 bulan, persentase kehilangan massa dari kain serat *lyocell* (*tencel*) mencapai 0,39% untuk kedalaman 0 cm, 15,53% untuk kedalaman 5 cm, dan 17,02% untuk kedalaman 10 cm.



Gambar 4 Grafik persen kehilangan massa terhadap waktu penguburan di setiap kedalaman penguburan untuk kain serat *lyocell* (*tencel*)



Gambar 5 Grafik persen kehilangan massa terhadap waktu penguburan di setiap kedalaman penguburan untuk *geobag nonwoven* lokal Buana Paksa Indonesia



Gambar 6 Grafik persen kehilangan massa terhadap waktu penguburan di setiap kedalaman penguburan untuk *geobag nonwoven* impor PT Tirta Citra Bara Persada

Tabel 6 Persamaan polinomial orde 2 untuk persentase kehilangan massa kain serat *lyocell* (*tencel*) dan *geobag nonwoven* pada setiap kedalaman penguburan

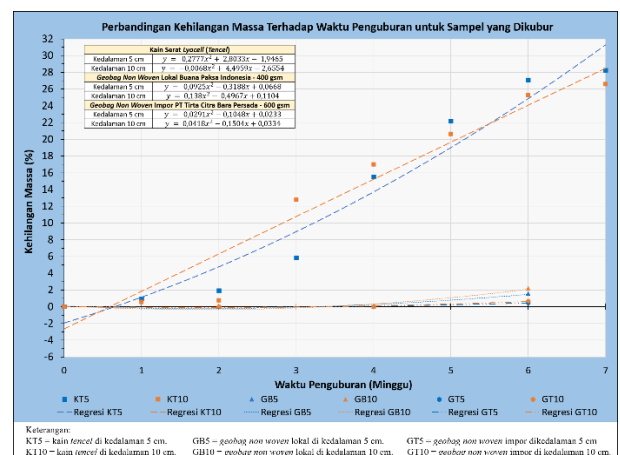
Kain Serat <i>Lyocell</i> (<i>Tencel</i>)	Kedalaman Penguburan	Persamaan Polinomial Orde 2	Koefisien Determinasi, R ²	Estimasi Waktu Penguburan hingga 100% Biodegradasi	
				Minggu	Bulan
	0 cm	$y = 0,246x^2 - 0,9195x + 0,4516$	0,9644	22	5,5
	5 cm	$y = 0,2777x^2 + 2,8033x - 1,9465$	0,9517	14	3,5
	10 cm	$y = -0,0068x^2 + 4,4959x - 2,6554$	0,9406	23	5,75
Geobag Nonwoven Lokal Buana Paksa Indonesia (400 gsm)	Kedalaman Penguburan	Persamaan Polinomial Orde 2	Koefisien Determinasi, R ²	Estimasi Waktu Penguburan hingga 100% Biodegradasi	
				Minggu	Bulan
	0 cm	$y = 0,0436x^2 - 0,1569x + 0,0349$	0,9333	49	12,25
	5 cm	$y = 0,0925x^2 - 0,3188x + 0,0668$	0,9491	34	8,5
	10 cm	$y = 0,138x^2 - 0,4967x + 0,1104$	0,9333	28	7
Geobag Nonwoven Impor PT Tirta Citra Bara Persada (600 gsm)	Kedalaman Penguburan	Persamaan Polinomial Orde 2	Koefisien Determinasi, R ²	Estimasi Waktu Penguburan hingga 100% Biodegradasi	
				Minggu	Bulan
	0 cm	$y = 0,0057x^2 - 0,0203x + 0,0045$	0,9333	134	33,5
	5 cm	$y = 0,0291x^2 - 0,1048x + 0,0233$	0,9333	60	15
	10 cm	$y = 0,0418x^2 - 0,1504x + 0,0334$	0,9333	50	12,5

Persen kehilangan massa dari kain serat *lyocell* (*tencel*) tersebut memiliki nilai yang mendekati persen kehilangan massa dalam penelitian (Sülar & Devrim, 2019), yakni mencapai 13,3% untuk masa penguburan 1 bulan dan merupakan persen tertinggi dibandingkan dengan jenis lainnya. Kemudian, untuk penguburan yang diperpanjang hingga 7 minggu menunjukkan adanya peningkatan persentase kehilangan massa dari kain serat *lyocell* (*tencel*), yakni mencapai 6,47% untuk kedalaman 0 cm, 28,27% untuk kedalaman 5 cm, dan 26,60% untuk kedalaman 10 cm. Terlihat bahwa penguburan kain serat *lyocell* (*tencel*) pada kedalaman 5 cm memiliki persentase kehilangan massa yang lebih tinggi dibandingkan dengan kedalaman penguburan lainnya.

Sementara itu, tidak adanya perubahan persentase kehilangan massa yang signifikan dari *geobag nonwoven* lokal Buana Paksa Indonesia maupun *geobag nonwoven* impor PT Tirta Citra Bara Persada. Untuk penguburan selama 6 minggu, persentase kehilangan massa dari *geobag nonwoven* lokal mencapai 0,7% untuk kedalaman 0 cm, 1,55% untuk kedalaman 5 cm, dan 2,21% untuk kedalaman 10 cm. Sedangkan untuk persentase kehilangan massa dari *geobag nonwoven* impor mencapai 0,09% untuk kedalaman 0 cm, 0,47% untuk kedalaman 5 cm, dan 0,67% untuk kedalaman 10 cm.

Hal ini mengartikan bahwa kain serat *lyocell* (*tencel*) memiliki kemampuan daya urai yang lebih cepat atau lebih mudah terdegradasi secara alami dibandingkan dengan *geobag nonwoven* lokal maupun *geobag nonwoven* impor, yang ditunjukkan dengan lebih besarnya persentase kehilangan massa kain serat *lyocell* (*tencel*) dibandingkan dengan *geobag nonwoven* diseluruh kedalaman penguburan.

- b. Analisis Perubahan Massa (Persen Kehilangan Massa) untuk Sampel Uji (Sampel yang di Kubur) dari Kain Serat *Lyocell* (*Tencel*) maupun *Geobag Nonwoven* Berikut disajikan grafik pada Gambar 7 yang menggambarkan perubahan massa (persen kehilangan massa) dari sampel uji (sampel yang di kubur) untuk kain serat *lyocell* (*tencel*) dan *geobag nonwoven*. Didapatkan bahwa setelah penguburan selama 7 minggu, kain serat *lyocell* (*tencel*) pada kedalaman penguburan 5 cm dan 10 cm menunjukkan persentase kehilangan massa tertinggi dibandingkan dengan *geobag nonwoven*, yakni mencapai 28,27% untuk kedalaman 5 cm dan 26,60% untuk kedalaman 10 cm. Sedangkan perubahan persentase kehilangan massa dari *geobag nonwoven* tidak terjadi secara signifikan, namun didapatkan persen kehilangan massa terbesar pada kedalaman 10 cm, yakni 2,21% untuk *geobag nonwoven* lokal dan 0,67% untuk *geobag nonwoven* impor, sehingga diperlukan penguburan yang lebih lama untuk mengevaluasi kehilangan massa yang signifikan dari *geobag*.



Gambar 7 Grafik perbandingan persen kehilangan massa terhadap waktu penguburan untuk sampel uji yang dikubur

Berdasarkan persamaan polinomial orde 2 pada Tabel 6, didapatkan bahwa untuk mencapai persentase kehilangan massa hingga 100%, maka estimasi waktu penguburan kain serat *lyocell* (*tencel*) yang diperlukan adalah selama 22 minggu (5,5 bulan) untuk kedalaman 0 cm, 14 minggu (3,5 bulan) untuk kedalaman 5 cm, dan 23 minggu (5,75 bulan) untuk kedalaman 10 cm. Sementara untuk *geobag nonwoven* lokal memerlukan waktu penguburan selama 49 minggu (12,25 bulan) untuk kedalaman 0 cm, 34 minggu (8,5 bulan) untuk kedalaman 5 cm, dan 28 minggu (7 bulan) untuk kedalaman 10

cm. Serta untuk *geobag nonwoven* impor memerlukan waktu penguburan selama 134 minggu (33,5 bulan) untuk kedalaman 0 cm, 60 minggu (15 bulan) untuk kedalaman 5 cm, dan 50 minggu (12,5 bulan) untuk kedalaman 10 cm. Terlihat bahwa penguburan kain serat *lyocell (tencel)* pada kedalaman 5 cm memiliki persentase kehilangan massa yang lebih tinggi dibandingkan dengan kedalaman penguburan lainnya serta memiliki estimasi waktu penguburan paling tercepat untuk terdegradasi secara alami (mencapai persentase kehilangan massa 100%), yakni 14 minggu (3,5 bulan).

Hal ini menunjukkan bahwa *trend* data pengamatan biodegradasi kain serat *lyocell (tencel)* belum teridentifikasi untuk mengetahui pengaruh kedalaman penguburan terhadap waktu penguburan, sehingga diperlukan perpanjangan waktu penguburan lebih dari 7 minggu untuk mendapatkan pergerakan data persentase kehilangan massa di setiap kedalaman penguburan serta estimasi waktu penguburan yang lebih akurat saat persentase kehilangan massa kain serat *lyocell (tencel)* mencapai 100%.

Dengan demikian, kain serat *lyocell (tencel)* memerlukan waktu yang lebih singkat untuk terdegradasi secara alami (biodegradasi), yakni kurang dari 1 tahun dibandingkan dengan *geobag nonwoven*, sehingga kain serat *lyocell (tencel)* dapat dikatakan sebagai *biodegradable material* ramah lingkungan karena lebih mudah terurai secara alami. Akan tetapi kain serat *lyocell (tencel)* belum dapat digunakan secara langsung sebagai material utama kantung *geobag* untuk struktur pelindung sementara pada sistem perlindungan pantai natural, sehingga diperlukannya perlakuan dan perawatan (*treatment*) khusus untuk memperlambat laju degradasi dari kain serat *lyocell (tencel)* agar dapat menahan gelombang dan menangkap sedimen selama pertumbuhan *mangrove*, yakni sekitar 2-5 tahun.

Pelakuan khusus yang dapat dilakukan adalah melalui proses *finishing* menggunakan *imidazolidinone [1,3-dimethyl-4,5-dihydroxyethylene urea (DMeDHEU)]* seperti pada penelitian (Tomšič, Simončič, Orel, Vilčnik, & Spreizer, 2007) maupun proses *finishing* dengan penambahan pelembut atau resin dalam penelitian (Li, Frey, & Browning, 2010).

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Kesimpulan dari laporan tesis yang berjudul “Analisis Perbandingan Sifat Material dan Biodegradasi Antara Serat *Lyocell (Tencel)* dan Serat Sintetik Geobag Sebagai Bahan Struktur Sementara pada Sistem Pelindung Pantai Natural di Indonesia” adalah sebagai berikut.

1. Perbandingan hasil pengujian laboratorium sifat material untuk serat *lyocell (tencel)* dan *geobag nonwoven* lokal Buana Paksa Indonesia (BPI) maupun *geobag nonwoven* impor PT Tirta Citra Bara Persada yang disajikan dalam Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai sifat material kain serat *lyocell (tencel)* lebih rendah dibandingkan *geobag nonwoven* yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yakni tebal dan lapisan kain, berat kain, serta jumlah benang dan orientasi penumpukan lapisan kain.
2. Hubungan tebal kain (mm) dan beban kekuatan tarik (N) maupun hubungan berat kain (g/m^2) dan kekuatan tarik (kN/m) memiliki korelasi linier yang berbanding lurus, yakni kekuatan tarik akan semakin meningkat seiring bertambahnya tebal dan berat kain yang digunakan.
3. Perubahan massa (persen kehilangan massa) hasil pengujian biodegradasi menggunakan model eksperimen metode *soil burial test* dari serat *lyocell (tencel)* dan *geobag nonwoven* lokal (Buana Paksa Indonesia) maupun *geobag nonwoven* impor (PT Tirta Citra Bara Persada) yang disajikan dalam Tabel 5 menunjukkan bahwa kain serat *lyocell (tencel)* memiliki kemampuan daya urai yang lebih cepat atau lebih mudah terdegradasi secara alami dibandingkan dengan *geobag nonwoven* pada kedalaman penguburan 5 cm dengan perkiraan terdegradasi secara sempurna (100%) setelah 14 minggu (3,5 bulan).
4. Meskipun kain serat *lyocell (tencel)* dikatakan sebagai *biodegradable material* ramah lingkungan akibat memiliki laju degradasi yang lebih cepat, namun kain serat *lyocell (tencel)* belum dapat digunakan secara langsung sebagai material utama kantung *geobag* untuk struktur pelindung sementara pada sistem perlindungan pantai natural, sehingga diperlukan penambahan jumlah lapisan kain serat *lyocell (tencel)* minimal 15 lapisan kain yang memperhatikan orientasi serat benang dan orientasi penumpukan lapisan kain untuk menyerupai nilai

kekuatan tarik dari *geobag nonwoven*, serta perlu diberikan perlakuan dan perawatan (*treatment*) khusus melalui proses *finishing* untuk memperlambat laju degradasi kain agar sesuai dengan umur layan yang dibutuhkan ataupun hingga pelindung pantai utama *mangrove* tumbuh cukup kuat (2-5 tahun).

B. SARAN

Adapun saran dalam pengerjaan laporan tesis ini adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut mengenai penambahan jumlah lapisan kain serat *lyocell (tencel)* terhadap sifat material dan laju biodegradasi serat alami agar kain serat *lyocell (tencel)* mampu menggantikan serat sintetik *geobag*.
2. Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut mengenai metode penjahitan maupun metode lainnya dalam penumpukan atau penambahan lapisan kain serat *lyocell (tencel)* agar nilai sifat material dan laju degradasi kain serat *lyocell (tencel)* mampu mendekati maupun melebihi serat sintetik *geobag*.
3. Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut mengenai perlakuan dan perawatan khusus (*treatment*) terhadap kain serat *lyocell (tencel)* apabila kain tersebut dipilih dan digunakan sebagai material utama kantung *geobag* untuk struktur pelindung sementara pada sistem perlindungan pantai natural.
4. Perlu dilakukan penguburan lebih lama untuk mengevaluasi persen kehilangan massa dari *geobag nonwoven* agar menunjukkan biodegradasi yang signifikan pada *geobag nonwoven*.
5. Dapat mengembangkan penelitian melalui pengujian laboratorium sifat material dan uji biodegradasi dengan menggunakan jenis serat alami lainnya.

REFERENSI

- A. Hamdan, A., Mustapha, F., Ahmad, K. A., Rafie, A. S., Ishak, M. R., & Ismail, A. E. (2016). The Effect of Customized Woven and Stacked Layer Orientation on Tensile and Flexural Properties of Woven Kenaf Fibre Reinforced Epoxy Composites. *International Journal of Polymer Science*, 1-11.
- ASTM D4491 / D4491M – 15. (2020). *Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity*. USA: ASTM International.
- ASTM D4533 / D4533M – 07 . (2013). *Standard Test Method for Trapezoid Tearing Strength of Geotextiles*. USA: ASTM International.
- ASTM D4632 / D4632M – 15a. (2015). *Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles*. USA: ASTM International.
- ASTM D4751 – 16. (2016). *Standard Test Methods for Determining Apparent Opening Size of a Geotextile*. USA: ASTM International.
- ASTM D5199 – 12. (2019). *Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics*. USA, USA: ASTM International.
- ASTM D5261 – 10. (2018). *Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles*. USA: ASTM International.
- ASTM D6241 – 14 . (2014). *Standard Test Method for Static Puncture Strength of Geotextiles and Geotextile-Related Products Using a 50-mm Probe*. USA: ASTM International.
- Balitbang, K. (2018, Desember 12). *Teknologi Pemecah Gelombang Ambang Rendah (Pegar)*. Retrieved from Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Web Site: <http://elearning.litbang.pu.go.id/teknologi/pegar>
- Bilir, T. B., & Şardağ, S. (2019). Investigation of Mechanical Properties of Fabrics Woven with Lyocell/Cotton Blend Yarns. *Tekstil ve Konfeksiyon* 2019, 29(2), 162-170.
- Blackburn, R. S. (2005). *Biodegradable and Sustainable Fibres*. UK: Woodhead Publishing Limited.
- Carvalho, R., Fangueiro, R., & Soutinho, F. (2011). Mechanical Properties of Needle-Punched Nonwovens for Geotechnical Applications. *International Conference on Engineering Ubi 2011* (pp. 1-7). Portugal: University of Beira Interior – Covilhã, Portugal.
- D. Cazzuff, D., Mandaglio, M. C., & Moraci, N. (2016). *Hydraulic Properties, Behavior, and Testing of Geotextiles*. Italy: Woodhead Publishing.
- Dai-Ichi Kimia Raya. (2014, Oktober 24). *Geotekstil*. Retrieved from PT. Dai-Ichi Kimia Raya Web site: <https://www.daiichikimiaraya.com/id/2014/10/geotextile/>
- Geoforce Indonesia. (2019). *Spesialis Geosintetik Dan Perbaikan Tanah [PDF Document]*. Indonesia: PT Geoforce Indonesia. Retrieved from [https://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/uploads/edok/2019/04/8bf97_PERSENTASI_GEOTUB E_2019.pdf](https://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/uploads/edok/2019/04/8bf97_PERSENTASI_GEOTUB_E_2019.pdf)
- Geosynthetic Research Institute (GRI). (2017). *GRI - GT12(a) - ASTM Version Standard Specification*. USA: Geosynthetic Institute (GSI).

- Hsieh, C., Wang, J.-B., & Chiu, Y.-F. (2004). The Degradation Behavior of Geotextiles in Ocean Environments. *Geo Asia 2004 Proceeding of the 3rd Asian Regional Conference on Geosynthetics Session G6-2* (pp. 543-552). Taiwan: National Pingtung University of Science and Technology.
- ISO 13433. (2006). *Geosynthetics – Dynamic Perforation Test (Cone Drop Test)*. Switzerland: Technical Committee ISO (TC ISO).
- Jiang, X., Bai, Y., Chen, X., & Liu, W. (2020). A Review on Raw Materials, Commercial Production and Properties. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5, 16-25.
- Kay, R., & Alder, J. (2005). *Coastal Planning and Management* (2 ed.). London: Taylor & Francis.
- Leão, A. L., Cherian, B. M., & De Souza, S. F. (2012). Natural Fibres for Geotextiles. In R. M. Kozłowski, *Handbook of Natural Fibres, Volume 2: Processing and Applications* (pp. 280 - 311). UK: Woodhead Publishing Limited.
- Li, L., Frey, M., & Browning, K. J. (2010). Biodegradability Study on Cotton and Polyester Fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*(4), 42-53.
- Mohammed, M., Rahman, R., Mohammed, A. M., Osman, A. F., Adam, T., Dahham, O. S., . . . Betar, B. O. (2018). Effect of Kenaf Fibre Layers on Mechanical and Thermal Properties of Kenaf/Unsaturated Polyester Composites. *International Conference on Materials Engineering and Science* (pp. 1-9). Malaysia: IOP Publishing Ltd.
- Nugraha, M. R., & Gemilang, R. I. (2017). Rehabilitas Pantai Berlumpur Dengan PEGAR Geobag Rangka Bambu di Desa Sriwulan Kabupaten Demak. *Jurnal Teknik Hidraulik* 2017, 8(2), 71-86.
- Pei, X., Shang, B., Chen, L., Li, J., & Tang, Y. (2016). Compression Properties of Multilayer-Connected Biaxial Weft Knitted Carbon Fiber Fabric Reinforced Composites. *Composite Part B*, 296-305.
- Pratikto, W. A., Suntoyo, Solikhin, & Sambodho, K. (2014). *Struktur Pelindung Pantai*. Indonesia: PT. Mediatama Saptakartya (PT. Medisa).
- PUSHIDROSAL. (2018, Agustus 28). Retrieved from <https://www.pushidrosal.id/berita/5256/DATA-KELAUTAN-YANG-MENJADI-RUJUKAN-NASIONAL--DILUNCURKAN/>
- Sartimbul, A., Yona, D., Sari, S. H., Rahman, M. A., Fuad, M. A., & Kartikasari, C. (2019). Aplikasi Karung Geosintetik untuk Pengendalian Abrasi di Wilayah Konservasi Mangrove Banyuurip, Gresik. *Prosiding Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan VII Tahun 2019* (pp. 50-55). Indonesia: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya.
- Shukla, S. K. (2016). *An Introduction to Geosynthetic Engineering*. London, UK: CRC Press/Balkema.
- SNI 0276. (2009). *Cara Uji Kekuatan Tarik dan Mulur Kain Tenun*. Indonesia.
- SNI 08 – 4560. (1998). *Cara Uji Daya Tahan Geotekstil Terhadap Pelubangan Cara Kerucut Jatuh*. Indonesia.
- SNI ISO 13937-1. (2010). *Tekstil - Kekuatan Sobek Kain - Bagian 1: Cara Uji Kekuatan Sobek Menggunakan Metoda Pendulum (Elmendorf)*. Indonesia.
- SNI ISO 3801. (2010). *Tekstil - Kain Tenun - Cara Uji Berat Kain per Satuan Panjang dan Berat Kain per Satuan Luas*. Indonesia.
- SNI ISO 5084. (2010). *Tekstil - Cara Uji Tebal Tekstil dan Produk Tekstil*. Indonesia.
- Sülar, V., & Devrim, G. (2019). Biodegradation Behaviour of Different Textile Fibres: Visual, Morphological, Structural Properties and Soil Analyses. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 2019, 27(1), 100-111.
- Tomšič, B., Simončič, B., Orel, B., Vilčnik, A., & Spreizer, H. (2007). Biodegradability of Cellulose Fabric Modified by Imidazolidinone. *Carbohydrate Polymers*, 478-488.
- Torosan, G. T., & Millan, P. A. (2016). Physical Properties, Behavior, and Testing of Geotextiles. In R. M. Koerner, *Geotextiles From Design to Applications* (pp. 105-113). USA: Woodhead Publishing.
- Yuanita, N., Kurniawan, A., Hakim, M. L., Irawan, K. R., & Saputra, N. W. (2020). Physical Model of Natural Coastal Protection System: Geobag-Dyke Performance to Effectiveness of Natural Coastal Protection System. *Journal of Sustainability Science and Management*, 15(6), 85-99.
- Zanzinger, H. (2016). Mechanical Properties, Behavior, and Testing of Geotextiles. Dalam R. M. Koerner, *Geotextiles From Design to Applications* (hal. 115-150). Wurzburg, Germany: Woodhead Publishing.