

APLIKASI SERAT ALAM BIDURI (*Calotropis gigantea*) SEBAGAI BAHAN PENGISI INSULATIF PADA JAKET MUSIM DINGIN

THE APPLICATION OF BIDURI NATURAL FIBER (*Calotropis gigantea*) AS AN INSULATIVE FILLER MATERIAL IN WINTER JACKET

Arif Wibi Sana,^{1,2} Noerati Noerati,¹ Doni Sugiyana,² M. Danny Sukardan²

¹ Politeknik Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil, Jalan Jakarta No. 31 Bandung

² Balai Besar Tekstil, Jalan Jenderal Ahmad Yani No. 390 Bandung

Email: arif.wibi@yahoo.co.id

Tanggal diterima: 19 Maret 2020, direvisi: 28 Mei 2020, disetujui terbit: 8 Juni 2020

ABSTRAK

Bahan pengisi insulatif komersial untuk jaket musim dingin umumnya menggunakan *down* (bulu angsa) dan *batting* poliester, tetapi penggunaannya relatif tidak ekonomis dan kurang ramah lingkungan. Serat biduri (*Calotropis gigantea*) merupakan serat alam dengan morfologi berongga dan ringan sehingga berpotensi menjadi bahan alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sifat insulasi termal dan daya tembus udara pada kain multilapis berinsulasi biduri dan membandingkannya terhadap *down* dan *batting* poliester. Metode penelitiannya adalah dengan membentuk serat biduri menjadi *web* dan *nonwoven* yang difungsikan sebagai lapisan insulatif kemudian disisipkan di antara lapisan dalam (kain poliester) dan lapisan luar (kain nilon *water repellent*). Serat biduri diuraikan pada mesin *bale opener* kemudian dibentuk menjadi lapisan *web* pada mesin *cotton selector*. Pengikatan *web* menjadi *nonwoven* dilakukan dengan metode *thermal bonding* menggunakan mesin *hotpress* pada suhu 130 °C selama 1 menit tanpa perlakuan tekanan. Evaluasi dilakukan melalui pengujian menggunakan alat *hotplate* dan *air permeability tester*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai resistansi termal (R_{ct}) tertinggi diperoleh pada kain multilapis berinsulasi *web* biduri 30 g dan *nonwoven* biduri tiga lapis pada komposisi (95:5)% dengan nilai masing-masing sebesar 0,168 m².°C/W dan 0,188 m².°C/W. Nilai tersebut masih lebih baik dibanding kain multilapis berinsulasi *down* dan *batting* poliester yang bernilai masing-masing 0,163 m².°C/W dan 0,160 m².°C/W. Daya tembus udara (DTU) paling tinggi diperoleh pada kain multilapis berinsulasi *batting* poliester dengan nilai 6,34 cm³/cm²/s sedangkan paling rendah diperoleh pada *nonwoven* biduri 3 lapis-komposisi (80:20)% dengan nilai 1,94 cm³/cm²/s. Nilai R_{ct} kain multilapis berinsulasi biduri meningkat seiring dengan peningkatan ketebalan sedangkan pada nilai DTU berlaku sebaliknya.

Kata kunci: insulasi panas, jaket musim dingin, kain multilapis, serat biduri

ABSTRACT

The insulative filler materials commonly used on winter jackets are down and polyester batting. Biduri fiber (*Calotropis gigantea*) is a natural fiber with hollow morphology and lightweight so that it has a potency as an alternative material. The aim of this study is to determine the thermal insulation and air permeability of the biduri insulator applied in multilayer fabrics and compare them to down and polyester batting. Biduri fibers were formed into web and nonwoven, which functioned as an insulative layer then inserted between inner layer (polyester fabric) and the outer layer (nylon water repellent fabric). Biduri were processed on a bale opener and then formed into a web layer on a cotton selector machine. The nonwoven was later manufactured by thermal bonding using a hot press machine at 130 °C for 1 minute without pressure. The sample was tested using a hotplate and air permeability tester. The results showed that the best insulation properties were obtained in 30 g of biduri web and three layers of biduri nonwoven in a composition of (95:5)% with thermal resistance values (R_{ct}) of 0.168 m².°C/W and 0.188 m².°C/W, respectively. This value is still better than down and polyester batting insulations, which are valued at 0.163 m².°C/W and 0.160 m².°C/W. The air permeability of polyester batting was the highest with a value of 6.34 cm³/cm²/s, while 3-layered of biduri nonwovens (80:20)% was the lowest with a value of 1.94 cm³/cm²/s. The insulation value of biduri on multilayer fabrics increased with the increase of thickness, whereas its air permeability applies in reverse.

Keywords: biduri fiber, multilayer fabric, thermal insulation, winter jacket

PENDAHULUAN

Kekayaan alam yang dimiliki oleh Indonesia sangat melimpah, tetapi beberapa potensinya belum dimanfaatkan secara optimal. Salah satu keanekaragaman hayati berupa tanaman yang belum dieksplorasi lebih jauh dalam bidang tekstil adalah tanaman biduri. Tanaman ini merupakan jenis tanaman perdu dengan nama ilmiah *Calotropis gigantea* yang lebih dulu dikenal oleh masyarakat sebagai tanaman obat.^{1,2} Di negara lain, tanaman tersebut ditemukan dalam spesies yang sama dan berbeda dengan nama *milkweed*, *mudar*, *akund*, *rux*, dsb.³⁻⁵ Sejumlah peneliti memanfaatkan beberapa bagian dari tanaman tersebut seperti biji, buah, daun, batang, akar, dan getah sebagai serat,⁶ penguat pada komposit,⁷⁻⁹ bahan baku obat,¹⁰ anti mikroba,^{11,12} enzim,^{13,14} bahan bakar,¹⁵ dan penyerap minyak.^{16,17} Beberapa spesies lain dari tanaman *milkweed*, yaitu *Asclepias syriaca* dan *Calotropis procera* sudah dikaji pemanfaatannya untuk pembuatan benang dan insulator.^{18,19} Di Indonesia, tanaman biduri masih luput dari perhatian masyarakat maupun pemerintah, sehingga diperlukan suatu upaya untuk mengeksplorasi potensi tanaman tersebut agar pemanfaatannya menjadi tepat guna dan bernilai ekonomis.

Tekstil fungsional adalah bahan atau pakaian yang dibuat secara khusus untuk memberikan fungsi tertentu kepada pengguna pada saat kondisi lingkungan di bawah atau di atas normal.²⁰ Salah satu jenis tekstil fungsional adalah pakaian pelindung dari kondisi lingkungan berbahaya, misalnya panas atau dingin, api, hujan, salju, debu, angin, paparan sinar UV, zat kimia berbahaya, bakteri, virus, dsb. Jaket atau mantel merupakan salah satu pakaian pelindung yang biasa digunakan untuk melindungi penggunanya dari cuaca dingin. Di negara yang mengalami musim dingin, peran jaket berinsulasi panas memegang peranan penting untuk melindungi penggunanya dari cuaca dingin ekstrim yang dapat membahayakan jiwa manusia.²¹ Menurut data *futuremarketinsights*,²² segmen jaket memiliki *market share* yang paling besar dibandingkan segmen lain pada kelompok pakaian musim dingin dengan nilai *share* 48,2%.

Jaket atau mantel musim dingin (*winter jacket/coat*) yang beredar di pasaran biasanya terbuat dari beberapa lapis bahan yang berfungsi menahan hawa dingin di luar sekaligus melindungi dari angin, hujan atau bahkan salju. Bahan pengisi insulatif biasanya berada pada lapisan tengah yang berfungsi menjaga panas tubuh agar tidak keluar. Bahan yang biasa digunakan adalah *down* (berasal dari bulu angsa atau bebek) dan bahan sintetis (biasanya terbuat dari filamen halus poliester yang dipotong pendek dan dibentuk menjadi bahan lembaran/*bating*).²³

Menurut Beaudry (2017),²⁴ *down* banyak diaplikasikan sebagai bahan pengisi insulatif pada jaket musim dingin karena bobotnya ringan, sifat insulasinya sangat baik, mudah dipadatkan, dan lebih tahan lama dibanding insulasi sintetis. Namun, kelemahannya adalah harganya mahal, sifat insulasinya akan menurun ketika terbasahi²⁵ dan termasuk kategori bahan impor. Selain itu, *down* dapat memicu alergi (*hypoallergenic*), sehingga rentan apabila digunakan oleh penderita alergi.²⁶ Beberapa kasus menyebutkan bahwa penggunaan *down* disoroti isu etika perlindungan terhadap hewan ketika diperoleh dengan cara pencabutan terhadap hewan hidup. Di sisi lain, bahan sintetis memiliki keunggulan dalam hal harga yang murah dan tahan terhadap kondisi basah, tetapi kelemahannya adalah agak berat, agak sulit dipadatkan, sedikit kurang tahan lama, sifat insulasinya yang tidak sebaik *down*, dan cenderung kurang ramah lingkungan karena berasal dari produk samping minyak bumi yang akan melepaskan gas rumah kaca. Oleh karena itu, diperlukan suatu bahan alternatif untuk mengatasi beberapa kekurangan tersebut.

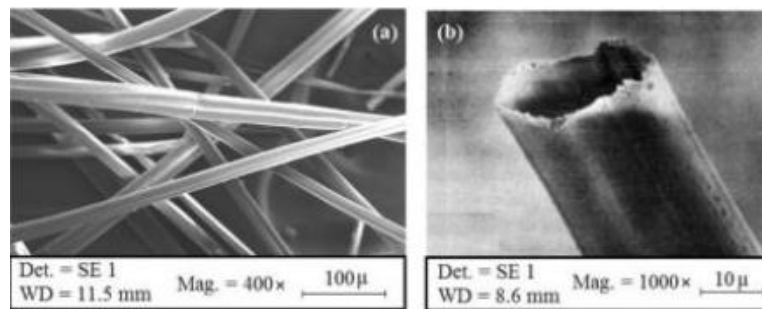


Gambar 1. *Down* (atas) dan *bating poliester* (bawah)

Serat biduri memiliki bentuk morfologi berongga (*hollow*),^{1,3} yang berfungsi sebagai media/perangkap udara sehingga aliran panas dapat ditahan oleh udara yang terperangkap pada rongga tersebut. Oleh karena itu, serat biduri berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan insulasi panas alami, terbarukan, dan ramah lingkungan. Selain itu, serat ini tidak memicu alergi, ringan, dan tidak mudah terbasahi karena sifatnya yang hidrofobik.



Gambar 2. Pohon, buah, biji dan serat biduri



Gambar 3. Morfologi serat biduri: (a) penampang membujur, (b) penampang melintang³

Penelitian yang mengkaji tentang bahan pengisi insulatif pada jaket sudah dilakukan oleh Crews et al. (1991) dengan membandingkan 5 jenis jaket yang terbuat dari berbagai macam bahan insulasi, diantaranya serat *milkweed* (spesies *Asclepias syriaca* dan *speciosa*), *down*, campuran *milkweed-down*, campuran *milkweed*-bulu unggas serta poliester *Quallofil*.²⁷ Mereka menyimpulkan bahwa bahan campuran antara serat *milkweed* dan *down* memiliki karakteristik insulasi yang sama dengan 100% *down*. Pada tahun 1999, Kasturiya et al. meneliti tentang desain pakaian musim dingin dan mengemukakan bahwa sistem yang efektif pada bahan kain jaket musim dingin adalah berupa susunan bahan multilapis yang terdiri dari lapisan dalam (bersentuhan dengan kulit), lapisan tengah (bahan insulasi panas), dan lapisan luar (tahan air dan *breathable*).²⁸ Penelitian tentang perbandingan beberapa merk jaket musim dingin berbahan insulasi *down* dan sintesis juga pernah dilakukan oleh Steindhart (2015) dan menghasilkan kesimpulan bahwa *down* menghasilkan insulasi yang paling baik.²⁹ Saat ini, produk jaket musim dingin dengan insulasi *milkweed* sudah mulai dikembangkan dalam skala kecil dan dipasarkan secara *online* oleh perusahaan *start up* di Kanada.³⁰⁻³² Hingga saat ini, belum ditemukan penelitian yang mengkaji tentang pengembangan serat biduri sebagai bahan insulasi untuk aplikasi jaket musim dingin.

Pada penelitian ini, serat biduri dibentuk menjadi *web* dan *nonwoven* serta difungsikan sebagai bahan insulasi panas yang disisipkan sebagai lapisan tengah/pengisi pada kain multilapis. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mengetahui sifat insulasi termal dan daya tembus

udara dari kain multilapis berisi serat biduri serta membandingkan performanya dengan *down* dan *battling poliester* sebagai bahan yang sudah lama digunakan untuk aplikasi jaket musim dingin sehingga diharapkan dapat menjadi bahan insulasi alternatif pengganti bahan hewani dan sintesis yang sudah lama eksis di pasaran.

METODE

Bahan yang digunakan

Serat biduri diperoleh dari biji yang berada pada bagian buah (*Pods*) tanaman biduri yang tumbuh di sekitar halaman kantor Balai Besar Tekstil. *Down* diperoleh dari bahan pengisi jaket musim dingin merk The North Face – Summit Series. *Battling poliester* dan kain tenun poliester 100% 60D beranyaman polos diperoleh dari salah satu toko bahan jaket. *Low melt polyester (LMP)* diperoleh dari PT Rekadaya Multi Adiprima. Kain tenun nilon 100% 20D beranyaman polos dan sudah diberi perlakuan dengan *water repellent* diperoleh dari *online market*.

Peralatan

Peralatan yang diperlukan meliputi timbangan, loyang dan lembaran teflon, mesin *cotton selector/trash analyzer* Shirley Development Ltd tipe FM-30 C3, mesin *bale opener*, mesin *hot press* buatan BBT, serta mesin jahit merk Singer Model 8280.

Pembuatan Lembaran Serat (*Web*) Biduri

Pada tahap ini, serat biduri dipisahkan dari sisa biji, kotoran, dan debu yang tidak diperlukan dengan menggunakan mesin *Cotton Selector (CS)* sehingga diperoleh berkas

serat biduri yang bersih. Tahap selanjutnya adalah membuat *web* biduri di mesin CS dengan massa asupan serat sebesar 10 g sebanyak 3 lembar. Variasi dibuat dengan penambahan jumlah lapisan *web*, yaitu : 1 lapis (1 x 10 g), 2 lapis (2 x 10 g), dan 3 lapis (3 x 10 g) sehingga diperoleh 3 variasi dengan ketebalan yang berbeda.

Pembuatan *Nonwoven* Biduri

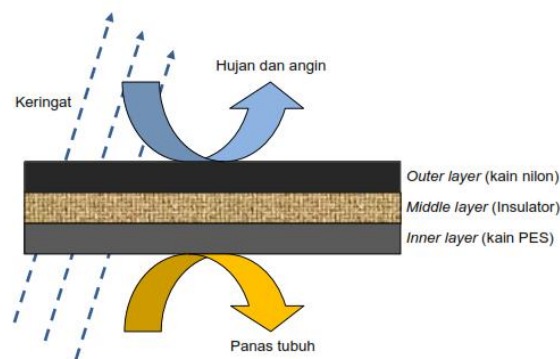
Pembuatan *nonwoven* biduri diawali dengan pencampuran serat biduri dan serat pengikat (*binder*) jenis *low melt polyester (LMP)* dengan variasi perbandingan komposisi (95:5)%, (90:10)%, dan (80:20)%. Total massa campuran serat dibuat sebesar 15 g. Serat biduri dan LMP dicampur secara manual terlebih dahulu menggunakan tangan, dilanjutkan dengan pencampuran pada mesin *bale opener* sebanyak 3 kali proses sehingga diharapkan kedua jenis serat tersebut tercampur secara homogen. Kemudian campuran serat tersebut diproses pada mesin CS sehingga diperoleh berkas campuran serat berbentuk *web*. Selanjutnya *web* serat dikempa pada mesin *hotpress* pada suhu 130 °C selama 2 x 1 menit (dibolak-balik sisinya) tanpa tekanan tambahan, dengan jarak antar pelat penekan sebesar 5 mm. Variasi dibuat dengan penambahan jumlah lapisan *nonwoven*, yaitu : 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis sehingga diperoleh 3 variasi dengan ketebalan yang berbeda.

Pembuatan Kain Multilapis

Kain multilapis dibuat dengan bentuk segi empat berukuran 32 cm x 32 cm sedangkan bahan insulasi ukurannya dibuat sesuai dengan hasil keluaran produk pada mesin *cotton selector* dan *hotpress*. Susunan dari kain multilapis adalah sebagai berikut:³³⁻³⁵

- 1) *Inner layer (lining)*, yaitu lapisan dalam yang bersentuhan dengan kulit yang terbuat dari kain poliester
- 2) *Middle layer (insulation filler)*, yaitu lapisan tengah yang berisi bahan insulasi panas
- 3) *Outer layer (shell)*, yaitu lapisan luar yang bersifat tahan air dan angin yang terbuat dari kain nilon *water repellent*.

Lapisan dalam dan luar dijahit terlebih dahulu di ketiga sisinya dengan menyisakan satu sisinya tanpa dijahit hingga menyerupai bentuk kantong. Setiap jenis bahan insulasi dimasukkan kedalam sisi kantong yang terbuka kemudian dijahit untuk menutup sisi yang terbuka tersebut. Ilustrasi dari susunan kain multilapis diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Desain sampel kain multilapis

Desain percobaan dibuat berdasarkan variasi pada lapisan tengah (*middle layer*), meliputi jenis, massa, dan ketebalan bahan insulasi. Variasi percobaan dan kode sampel ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi percobaan

Jenis Bahan Insulasi (<i>Middle Layer</i>)	Massa Bahan (g)	Jumlah Lapisan	Kode Sampel
<i>Down</i>	30	1 lapis	D1
<i>Batting</i> Poliester	30	1 lapis	D2
<i>Web</i> Biduri	10	1 lapis	B1
	20	2 lapis	B2
	30	3 lapis	B3
<i>Nonwoven</i> Biduri-LMP (95 : 5)%	15	1 lapis	NW1
	30	2 lapis	NW2
	45	3 lapis	NW3
<i>Nonwoven</i> Biduri-LMP (90 : 10)%	15	1 lapis	NW4
	30	2 lapis	NW5
	45	3 lapis	NW6
<i>Nonwoven</i> Biduri-LMP (80 : 20)%	15	1 lapis	NW7
	30	2 lapis	NW8
	45	3 lapis	NW9

Variasi B1, B2, dan B3 merupakan contoh uji kain multilapis berisi bahan insulasi yang terbuat dari serat biduri 100% berbentuk lembaran serat (*web*) dengan massa serat secara berturut-turut adalah 10 g (1 lapis), 2 x 10 g (2 lapis), dan 3 x 10 g (3 lapis).

Variasi NW1, NW2, dan NW3 merupakan contoh uji kain multilapis berisi bahan insulasi yang terbuat dari campuran serat biduri dan *binder* yang dibentuk menjadi bahan *nonwoven* dengan

komposisi serat biduri 95% dan *binder/low melt polyester* (LMP) 5%. Variasi NW4, NW5, dan NW6 merupakan *nonwoven* dengan komposisi serat biduri 90% dan LMP 10% sedangkan variasi NW7, NW8, dan NW9 merupakan *nonwoven* dengan komposisi serat biduri 80% dan LMP 20%. Tiap komposisi dibuat menjadi 3 variasi ketebalan lapisan, 1 lapis (15 g), 2 lapis (2 x 15 g), dan 3 lapis (3 x 15 g).

D1 dan D2 merupakan kain multilapis pembanding berisi bahan insulasi *down* dan *battling* poliester, dengan jumlah massa asupan masing-masing 30 g.

Hasil pembuatan *web* dan *nonwoven* serat biduri serta contoh uji kain multilapis diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil pembuatan *web* serat biduri (A), *nonwoven* serat biduri (B) dan kain multilapis (C)

Pengujian dan Evaluasi Kain Multilapis

Sifat insulasi termal dievaluasi melalui pengujian resistansi termal menggunakan alat pelat pemanas (*hotplate*), pengukur suhu, pengukur daya, dan *chamber* yang dirakit dengan mengacu pada prinsip dan skema uji resistansi termal pada metode standar ASTM D1518-14. Prosedur pada standar tersebut dimodifikasi untuk menyesuaikan dengan karakteristik alat uji. Setiap alat ukur yang digunakan dalam sistem alat tersebut dikalibrasi terhadap alat standar. Validasi alat dilakukan menggunakan bahan yang sudah diketahui nilai konduktivitas termalnya. Nilai resistansi termal yang digunakan adalah nilai yang sudah dikalikan dengan faktor koreksi dari hasil validasi. Skema alat tersebut ditunjukkan pada Gambar 6.

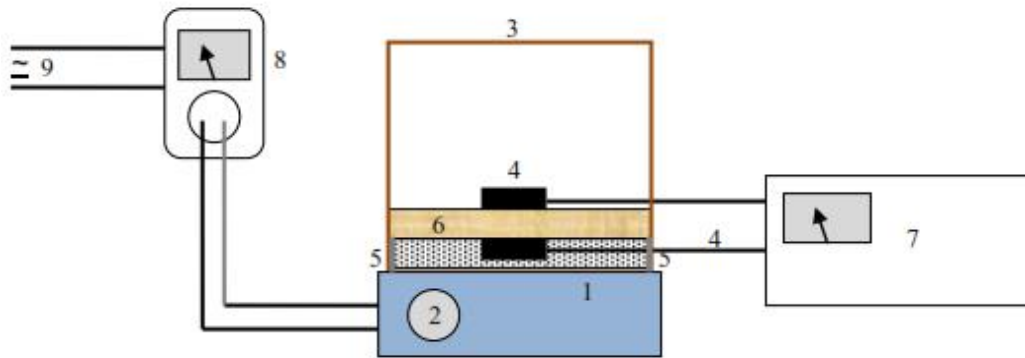
Prinsip metode ini adalah mengukur perbedaan antara suhu permukaan suatu media penghasil panas yang menempel pada permukaan bawah contoh uji dan suhu di atas bahan tersebut, daya listrik yang digunakan setelah kondisi pengukuran stabil (*steady state*), serta luas area bahan yang menempel pada *hot plate*. Selanjutnya, nilai resistansi termal (R_{ct}) dihitung berdasarkan persamaan berikut:³⁶

$$R_{ct} = \frac{A(T_s - T_a)}{H_c} \dots\dots\dots (1)$$

dimana,

- R_{ct} : resistansi termal total ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
- T_s : penunjukan suhu termokopel yang menempel pada *hotplate* ($^\circ C$)
- T_a : penunjukan suhu termokopel di atas permukaan bahan ($^\circ C$)
- A : luas area bahan/contoh uji yang menempel pada *hotplate* (m^2)
- H_c : laju perpindahan panas yang sebanding dengan daya yang terbaca pada alat *wattmeter* (W)

Untuk mengetahui sejauh mana performa contoh uji kain multilapis dalam menahan udara dingin dari luar, dilakukan uji daya tembus udara dengan mengacu pada standar uji ASTM D737 menggunakan alat *air permeability tester* merek Textest Instruments, tipe FX 3300.



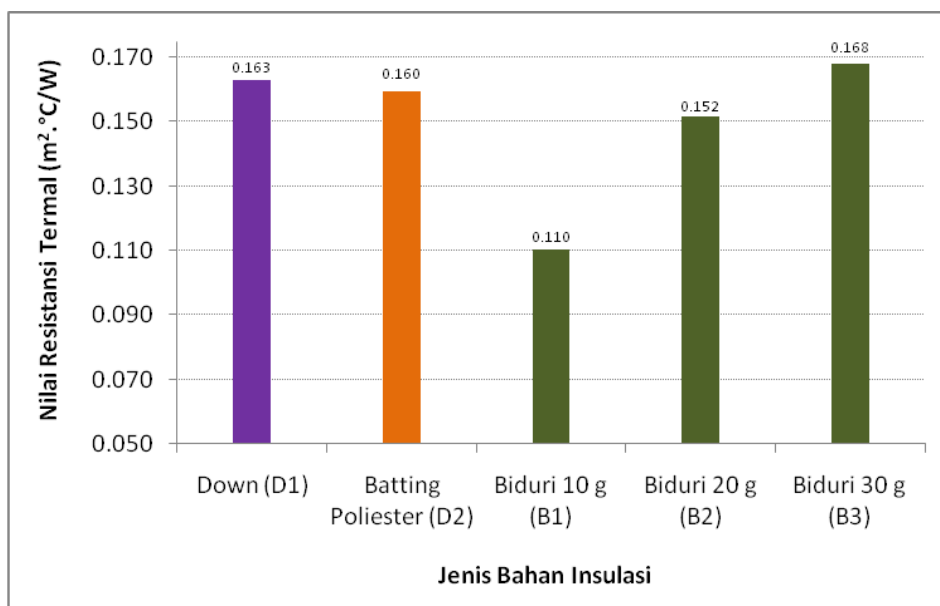
Gambar 6. Skema alat uji resistansi termal : (1) *hotplate*, (2) tombol pengatur suhu, (3) *chamber*, (4) sensor termokopel, (5) *guard/insulator* panas, (6) contoh uji, (7) *multichannel thermometer recorder*, (8) *wattmeter*, (9) sumber arus listrik AC

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Resistansi Termal

Perbandingan performa beberapa bahan insulasi dapat dilihat pada data dan grafik nilai resistansi termal (R_{ct}) yang ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 7. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai R_{ct} pada bahan insulasi *web* biduri mengalami kenaikan signifikan seiring dengan kenaikan massa/gramasi dan ketebalan bahan insulasi. Pernyataan tersebut didukung dengan uji statistik ANOVA satu arah (menggunakan bantuan aplikasi SPSS) yang menunjukkan bahwa nilai R_{ct} dari ketiga variasi contoh uji tersebut dikategorikan berbeda secara signifikan dengan nilai signifikansi (P-value) = 0,000 ($\alpha = 0,05$). Kenaikan nilai R_{ct} dapat disebabkan oleh meningkatnya ketebalan seiring dengan pertambahan massa serat dan lapisan *web*. Komposisi serat biduri yang lebih banyak mengakibatkan bertambahnya rongga yang menjebak udara diam (*still air*) dalam bahan insulasi kain multilapis.

Menurut Fuller (2015), sebuah bahan dikategorikan memiliki sifat insulasi yang baik apabila memiliki karakteristik berpori dan berongga.²⁵ Insulasi termal menunjukkan kemampuan suatu bahan dalam menahan aliran panas. Beberapa literatur menyebutkan bahwa menurut Hukum Fourier, nilai insulasi termal akan sebanding dengan ketebalan bahan.³⁷⁻⁴² Bila dibandingkan, *web* biduri memiliki nilai R_{ct} yang lebih besar (0,168 $m^2.C/W$) daripada *down* (0,163 $m^2.C/W$) dan *batting* poliester (0,160 $m^2.C/W$) pada massa yang sama (30 g). Fenomena tersebut dapat disebabkan oleh bentuk morfologi serat biduri yang berongga sehingga lebih banyak menjebak udara dan menahan aliran panas. Pernyataan tersebut didukung dengan uji ANOVA satu arah yang menunjukkan bahwa semua contoh uji tersebut dikategorikan berbeda secara signifikan, dengan nilai signifikansi (P-value) = 0,000 ($\alpha = 0,05$).



Gambar 7. Grafik nilai resistansi termal *web* biduri dan perbandingan (*down* dan *batting* poliester)

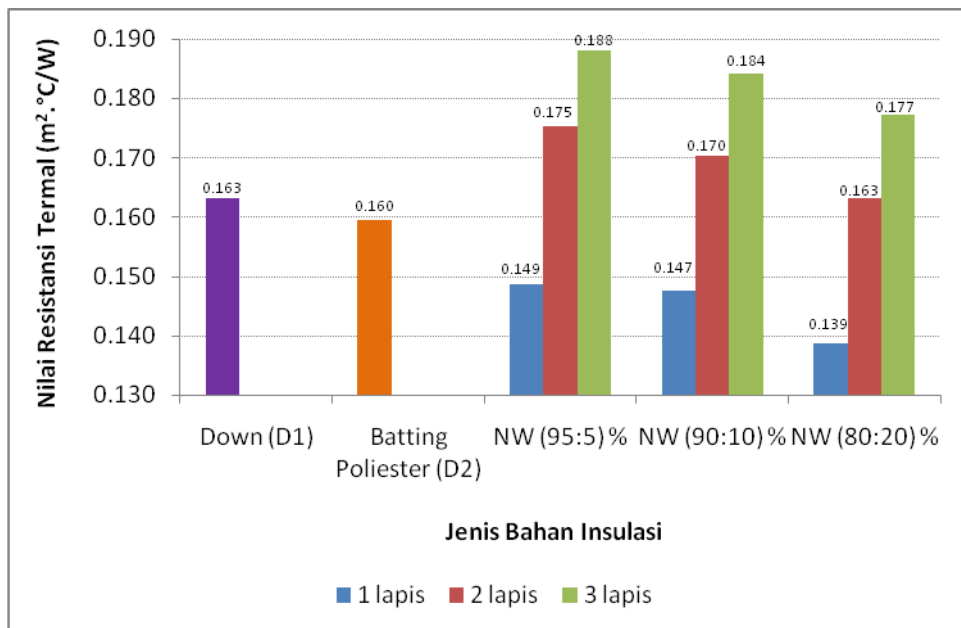
Perbandingan nilai R_{ct} pada bahan insulasi *nonwoven* biduri dan pembanding ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 8. Hasil pengukuran insulasi termal menunjukkan bahwa nilai R_{ct} pada bahan insulasi *nonwoven* biduri mengalami kenaikan signifikan seiring dengan kenaikan ketebalan lapisan. Pernyataan tersebut didukung dengan uji statistik ANOVA satu arah yang menunjukkan bahwa nilai ketiga variasi contoh uji tersebut dikategorikan berbeda secara signifikan, dengan nilai signifikansi (P-value) = 0,000 ($\alpha = 0,05$). Hal ini dapat disebabkan oleh meningkatnya ketebalan bahan. Penambahan lapisan *nonwoven* mengakibatkan perbedaan ketebalan pada *nonwoven* yang dihasilkan.

Menurut ISO 5085, nilai resistansi termal sebanding dengan ketebalan bahan (L) sehingga berkorelasi dengan hasil percobaan bahwa semakin tebal bahan insulasi maka semakin tinggi nilai insulasi termalnya.

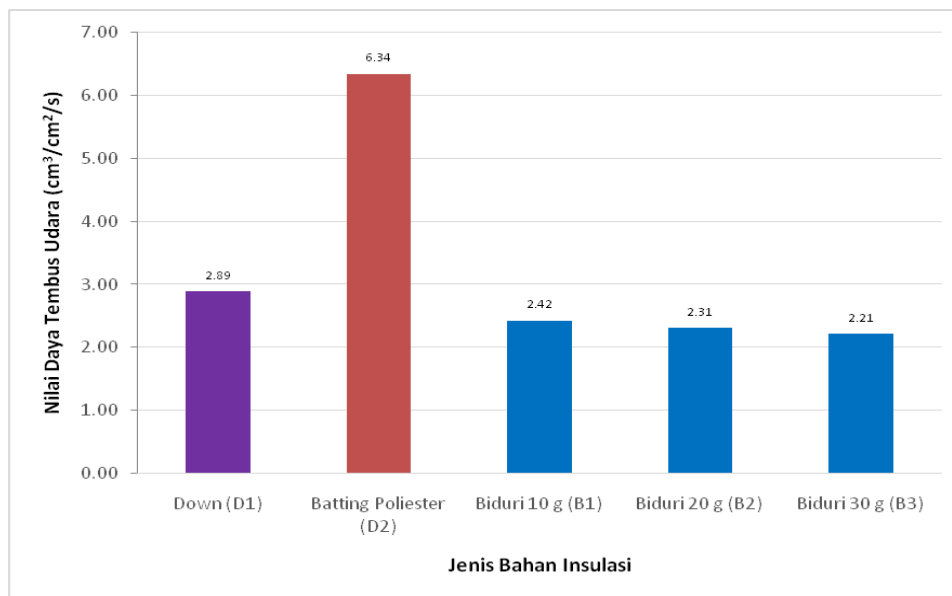
$$R = \frac{L}{k} \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan tersebut juga menunjukkan suatu hubungan bahwa nilai resistansi termal berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas termal (k). Ini bermakna bahwa bila suatu bahan memiliki nilai konduktivitas termal lebih kecil maka daya insulasinya lebih besar. Bila dibandingkan dengan R_{ct} *down* (0,163 m².C/W) dan *batting* poliester (0,160 m².C/W), maka nilai pada *nonwoven* biduri di semua variasi komposisi pada ketebalan 2 lapis

dan 3 lapis cenderung lebih besar. Pada komposisi *nonwoven* (95:5)% diperoleh nilai R_{ct} pada ketebalan 2 dan 3 lapis masing-masing sebesar 0,175 m².C/W dan 0,188 m².C/W. Pada komposisi (90:10)% diperoleh nilai R_{ct} pada ketebalan 2 dan 3 lapis masing-masing sebesar 0,170 m².C/W dan 0,184 m².C/W sedangkan pada komposisi (80:20)%, nilai R_{ct} yang lebih besar daripada pembanding (0,177 m².C/W) hanya diperoleh pada ketebalan 3 lapis. Data yang menunjukkan nilai R_{ct} yang lebih kecil adalah variasi dengan ketebalan 1 lapis di semua variasi komposisi dengan nilai R_{ct} masing-masing sebesar 0,149 m².C/W, 0,147 m².C/W, dan 0,139 m².C/W. Selain ketebalan, komposisi campuran biduri dan *low melt polyester* (LMP) juga berpengaruh pada nilai R_{ct} . Menurut literatur, densitas LMP (1,35 g/cm³) lebih tinggi daripada serat biduri (0,87 g/cm³)⁴³ sehingga apabila jumlah komposisi LMP meningkat maka kemungkinan densitas bahan campuran akan meningkat. Semakin tinggi densitas suatu bahan, semakin sedikit udara yang terjebak di dalam rongga bahan sehingga kemungkinan nilai R_{ct} juga akan semakin rendah. Data yang divisualisasikan pada Gambar 8 juga menunjukkan terjadinya penurunan nilai resistansi termal seiring dengan kenaikan kandungan LMP dan penurunan kandungan serat biduri. Meskipun penurunannya tidak terlalu besar, tetapi secara statistik (uji ANOVA satu arah) dapat dikategorikan signifikan, dengan nilai signifikansi (P-value) = 0,000 ($\alpha = 0,05$).



Gambar 8. Grafik hasil uji insulasi termal *nonwoven* biduri dan pembanding (*down* dan *batting* poliester)



Gambar 9. Grafik hasil uji daya tembus udara *web* biduri dan pembanding (*down* dan *batting* poliester)

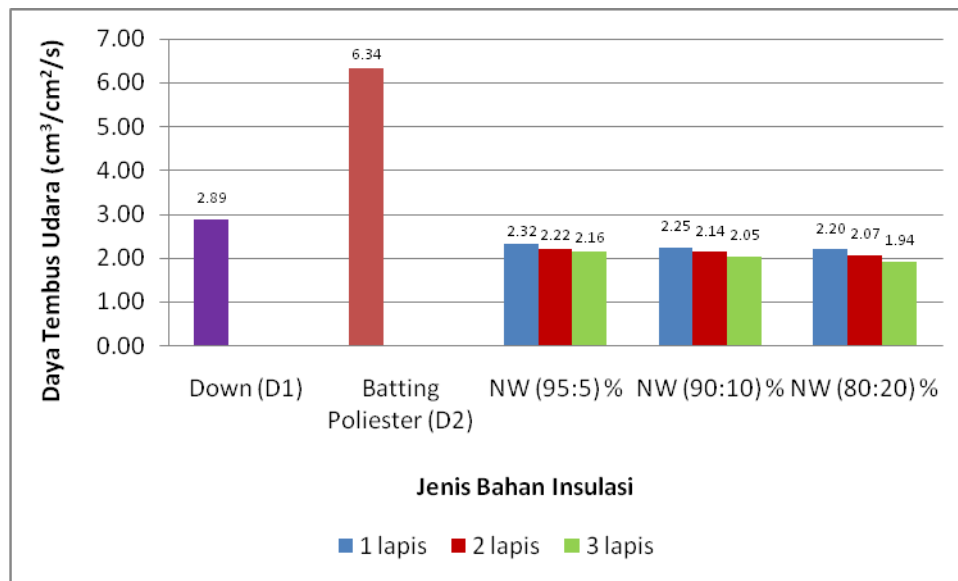
Hasil Uji Daya Tembus Udara

Hasil uji daya tembus udara pada contoh uji kain multilapis dengan bahan pengisi insulatif *web* biduri, yaitu variasi B1 (biduri 10 g), B2 (biduri 20 g), dan B3 (biduri 30 g) yang diperlihatkan pada Tabel 2 dan divisualisasikan pada Gambar 9 memperlihatkan suatu tren bahwa kenaikan massa/gramasi serat dan ketebalan lapisan *web* contoh uji mengakibatkan penurunan nilai daya tembus udara. Hal ini dapat dipahami bahwa semakin banyak serat biduri dan semakin tebal lapisan *web*, semakin sulit bahan untuk ditembus sehingga kemampuan menahan aliran udara lebih besar dan volume udara yang lolos lebih kecil. Bila dibandingkan dengan *down* (D1) dan *batting* poliester (D2), terlihat bahwa nilai DTU pada semua variasi *web* biduri memiliki nilai yang lebih rendah (2,42; 2,31; dan 2,21 cm³/cm²/s) daripada *down* (2,89 cm³/cm²/s) dan *batting* poliester (6,34 cm³/cm²/s). DTU paling kecil diperoleh pada contoh uji *web* biduri 30 g. Berdasarkan uji ANOVA satu arah, nilai DTU pada semua variasi massa serat biduri dikategorikan tidak berbeda signifikan (P-value) = 0,181 ($\alpha = 0,05$), begitu pula bila dianalisa lebih lanjut dengan uji statistik *Student Newman Keuls* (SNK), terlihat bahwa nilai DTU pada massa asupan serat 10 g, 20 g, dan 30 g berada pada *subset*/kelompok yang sama sehingga bisa dikatakan bahwa nilainya tidak berbeda signifikan. Secara keseluruhan, nilai DTU untuk semua contoh uji *web* biduri tergolong kecil.

Semakin kecil nilai DTU suatu bahan, semakin baik kemampuannya dalam menahan udara dari luar. Kontribusi paling besar dari perolehan nilai tersebut disebabkan oleh karakteristik salah satu jenis kain pelapis, yaitu kain nilon *water repellent* yang memiliki nilai DTU kecil dengan nilai 2,47 cm³/cm²/s.

Hasil uji daya tembus udara pada contoh uji kain multilapis dengan bahan insulasi *nonwoven* biduri beserta *down* (D1) dan *batting* poliester (D2) ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 10.

Pengaruh ketebalan dan gramasi *nonwoven* biduri terhadap nilai DTU dapat dilihat pada kelompok NW (95:5)%, yang mencakup NW1 untuk ketebalan 1 lapis, NW2 (2 lapis), dan NW3 (3 lapis), kelompok NW (90:10)%, yang mencakup NW4 (1 lapis), NW5 (2 lapis), dan NW6 (3 lapis), serta kelompok NW (80:20)%, yang mencakup NW7 (1 lapis), NW8 (2 lapis), dan NW9 (3 lapis). Data yang divisualisasikan pada Gambar 10 memperlihatkan adanya tren penurunan nilai DTU seiring dengan kenaikan ketebalan dan gramasi bahan. Hal ini dapat dipahami bahwa semakin tebal bahan insulasi, semakin tinggi hambatan terhadap udaranya sehingga volume udara yang mengalir lebih kecil. Bila dibandingkan dengan *down* dan *batting* poliester, terlihat bahwa nilai DTU pada semua variasi *nonwoven* biduri memiliki nilai yang lebih rendah (2,32; 2,22; 2,16; 2,25; 2,14; 2,05; 2,20; 2,07; 1,94 cm³/cm²/s) daripada *down* (2,89 cm³/cm²/s) dan *batting* poliester (6,34 cm³/cm²/s).



Gambar 10. Grafik hasil uji daya tembus udara *nonwoven* biduri dan pembanding (*down* dan *batting* poliester)

Tabel 2. Hasil karakterisasi contoh uji kain multilapis

Jenis Contoh Uji	Ketebalan* (mm)	Gramasi (g/m²)	Resistansi Termal = R_{ct} (m²·°C/W)	Daya Tembus Udara (cm³/cm²/s)
Kain pelapis; nilon dan poliester (PL)	0,16	115	0,075	2,43
PL + Down (D1)	8,32	410	0,163	2,89
PL + <i>Batting</i> Poliester (D2)	9,75	356	0,160	6,34
PL + Biduri 10 g (B1)	3,99	210	0,110	2,42
PL + Biduri 20 g (B2)	7,75	311	0,152	2,31
PL + Biduri 30 g (B3)	11,40	405	0,168	2,21
PL + <i>Nonwoven</i> Biduri-LMP : 95%-5% (NW1)	5,61	271	0,149	2,32
PL + <i>Nonwoven</i> Biduri-LMP : 95%-5% (NW2)	11,63	439	0,175	2,22
PL + <i>Nonwoven</i> Biduri-LMP : 95%-5% (NW3)	17,88	607	0,188	2,16
PL + <i>Nonwoven</i> Biduri-LMP : 90%-10% (NW4)	5,09	271	0,147	2,25
PL + <i>Nonwoven</i> Biduri-LMP : 90%-10% (NW5)	10,29	432	0,170	2,14
PL + <i>Nonwoven</i> Biduri-LMP : 90%-10% (NW6)	15,63	586	0,184	2,05
PL + <i>Nonwoven</i> Biduri-LMP : 80%-20% (NW7)	5,36	271	0,139	2,20
PL + <i>Nonwoven</i> Biduri-LMP : 80%-20% (NW8)	10,50	435	0,163	2,07
PL + <i>Nonwoven</i> Biduri-LMP : 80%-20% (NW9)	15,60	571	0,177	1,94

*pada pembebanan 0,1 kPa.

Selain ketebalan dan gramasi, komposisi campuran serat biduri dan *low melt polyester* (LMP) juga berpengaruh pada nilai DTU. Densitas LMP lebih tinggi daripada serat biduri sehingga apabila jumlah komposisi LMP meningkat maka kemungkinan densitas/kepadatan bahan campuran ikut meningkat. Data yang divisualisasikan pada Gambar 10 juga menunjukkan terjadinya penurunan

nilai DTU seiring dengan kenaikan kandungan LMP dan penurunan kandungan serat biduri.

Berdasarkan uji ANOVA satu arah, nilai DTU semua contoh uji *nonwoven* dikategorikan berbeda secara signifikan (P-value) = 0,000 ($\alpha = 0,05$), tetapi berdasarkan hasil uji statistik lanjutan *Student Newman Keuls* (SNK), terlihat bahwa nilai DTU pada variasi NW2, NW3, NW4, NW5, dan

NW7 berada pada kelompok yang sama (*subset 4*) serta variasi NW6 dan NW8 berada pada kelompok yang sama (*subset 2*) sehingga bisa dikatakan bahwa variasi komposisi campuran *nonwoven* pada masing-masing kelompok tersebut menghasilkan nilai yang relatif sama secara statistik sedangkan variasi NW1 dan NW9 tidak termasuk ke dalam 2 *subset* tersebut.

Secara keseluruhan nilai DTU untuk semua contoh uji *nonwoven* biduri tergolong kecil. Semakin kecil nilai DTU suatu bahan, semakin baik kemampuannya dalam menahan udara dari luar. Sebagaimana dijelaskan dalam pembahasan sebelumnya bahwa kontribusi paling besar dari perolehan nilai tersebut disebabkan oleh karakteristik salah satu jenis kain pelapis, yaitu kain nilon *water repellent* yang memiliki nilai DTU kecil dengan nilai 2,47 cm³/cm²/s.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kain multilapis dengan bahan insulasi *web* biduri 30 g serta *nonwoven* biduri dengan tebal lapisan 2 lapis dan 3 lapis memiliki nilai insulasi termal (R_{ct}) yang lebih tinggi dibanding *down* dan *batting* polyester. Selain itu, nilai daya tembus udara (DTU) kain multilapis dengan bahan insulasi *web* dan *nonwoven* biduri lebih rendah daripada *down* dan *batting* poliester sehingga diprediksi akan lebih kuat dalam menahan hembusan angin dingin yang berasal dari lingkungan luar. Nilai R_{ct} kain multilapis berinsulasi biduri meningkat seiring dengan peningkatan ketebalan dan gramasi bahan sedangkan pada nilai DTU berlaku sebaliknya. Hasil uji tersebut dapat menggambarkan potensi serat biduri sebagai bahan pengisi insulatif pada jaket musim dingin. Bila dievaluasi berdasarkan sifat insulasi termal dan kemampuan menahan udara serta dengan mempertimbangkan biaya proses dan dampak terhadap lingkungan, maka kondisi optimum pada penelitian ini diperoleh pada kain multilapis dengan bahan pengisi insulatif *web* biduri 30 g.

Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai sifat *breathability*, *durability*, dan *resiliency/lofty* dari bahan pengisi insulatif biduri, terutama ketika berinteraksi dengan cairan, uap air atau kelembaban eksternal sehingga lebih meyakinkan saat diaplikasikan pada produk jaket musim dingin.

PUSTAKA

1. Sukardan, M. D., Natawijaya, D., Prettyanti, P., Cahyadi & Novarini, E. Karakterisasi Serat dari Tanaman Biduri (*Calotropis gigantea*) dan Identifikasi Kemungkinan Pemanfaatannya sebagai Serat Tekstil. *Arena Tekst.* **31**, 51–62 (2016).
2. Verma, V. N. The Chemical Study of *Calotropis*. *Int. Lett. Chem. Phys. Astron.* **20**,

74–90 (2014).

3. Hassanzadeh, S. & Hasani, H. A Review on Milkweed Fiber Properties as a High-Potential Raw Material in Textile Applications. *J. Ind. Text.* (2015) doi:10.1177/1528083715620398.
4. Karthik, T. & Murugan, R. Milkweed - A Potential Sustainable Natural Fibre Crop. in *Sustainable Fibres for Fashion Industry* vol. 2 111–146 (2016).
5. Sakthivel, J. C. & Mukhopadhyay, S. Some Studies on Mudar Fibers. *J. Ind. Text.* **35**, 63–76 (2005).
6. Zhao, Z. *dkk.* Pre-treatment of *Calotropis gigantea* fibers with functional plasticizing and toughening auxiliary agents. *Text. Res. J.* (2019) doi:10.1177/0040517519826885.
7. Dilli Babu, G., Sivaji Babu, K. & Nanda Kishore, P. Tensile and wear behavior of *calotropis gigantea* fruit fiber reinforced polyester composites. *Procedia Eng.* **97**, 531–535 (2014).
8. Muniyasamy, S. Evaluation of Mechanical Properties of *Calotropis Gigantea* Stem Fiber-Reinforced Composite Material. 53–57 (2016).
9. Sayanjali Jasbi, M., Hasani, H., Zadhoush, A. & Safi, S. Effect of alkali treatment on mechanical properties of the green composites reinforced with milkweed fibers. *J. Text. Inst.* **109**, 24–31 (2018).
10. Ghosh, A., Chakraverty, R. & Sarkar, S. *Calotropis Gigantea* Linn. - A Complete Busket Of Indian Traditional Medicine. *Int. J. Pharm. Res. Sci.* **7**, 1–17 (2014).
11. Kori, P. & Alawa, P. Antimicrobial activity and phytochemical analysis of *Calotropis gigantea* root, latex extracts. *IOSR J. Pharm.* **4**, 07–11 (2014).
12. Kumala, S. & Pratiwi, A. A. Efek Antimikroba dari Kapang Endofit Ranting Tanaman Biduri. *J. Farm. Indones.* **7**, 111–120 (2014).
13. Hardi, J. & Diharnaini, D. Penggunaan Protease dari Getah Biduri dalam Produksi Flavor Udang Windu (*Penaeus monodon*) [Utilization of Protease from Biduri Sap for Production Windu Shrimp Flavor (*Penaeus monodon*)]. *Online J. Nat. Sci.* **3**, 39–49 (2014).
14. Witono, Y. *Enzim Biduri Agen Aktif Potensial Untuk Proses Pangan.* (Pustaka Radja, 2013).
15. Phoo, Z. W. M. M. *dkk.* Evaluation of Indian milkweed (*Calotropis gigantea*) seed oil as

- alternative feedstock for biodiesel. *Ind. Crops Prod.* **54**, 226–232 (2014).
16. Zheng, Y., Cao, E., Zhu, Y., Wang, A. & Hu, H. Perfluorosilane treated *Calotropis gigantea* fiber: Instant hydrophobic-oleophilic surface with efficient oil-absorbing performance. *Chem. Eng. J.* **295**, 477–483 (2016).
 17. Zheng, Y., Zhu, Y., Wang, A. & Hu, H. Potential of *Calotropis gigantea* fiber as an absorbent for removal of oil from water. *Ind. Crops Prod.* **83**, 387–390 (2016).
 18. Pusat Komunikasi Publik Kementerian Perindustrian. Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional 2015 - 2035. 1–98 <http://www.kemenperin.go.id/ripin.pdf> (2015) doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
 19. Ali, M. E. & Zeitoun, O. M. Discovering and Manufacturing a New Natural Insulating Material Extracted From a Plant Growing Up in Saudi Arabia. *J. Eng. Fiber. Fabr.* **7**, 88–94 (2012).
 20. Gupta, D. Functional clothing- Definition and classification. *Indian J. Fibre Text. Res.* **36**, 312–326 (2011).
 21. Li, Y., Hsu, J. & Fernie, G. Protective Winter Clothing. (2010).
 22. Bauer, E. Winter Wear Market : Jackets / Coats Expected to be the Dominating Product Type During the Forecast Period : Global Industry Analysis (2013 – 2017) & Opportunity. <https://www.futuremarketinsights.com/reports/winter-wear-market> (2018).
 23. Bolz, P. *The Right Stuff for Cold Weather*. vol. 1 (2005).
 24. Beaudry, F. Sustainable Insulation for Winter Clothes. <https://www.thoughtco.com/sustainable-insulation-for-winter-clothes-4114611> (2017).
 25. Fuller, M. E. The structure and properties of down feathers and their use in the outdoor industry. (The University of Leeds, 2015).
 26. Siler, W. Could Humble Milkweed Replace Down Feathers In Your Outdoor Gear? <https://gizmodo.com/could-humble-milkweed-replace-down-feathers-1698295598> (2009).
 27. Crews, P. C., Sievert, S. A., Woepel, L. T. & McCullough, E. A. Evaluation of Milkweed Floss as an Insulative Fill Material. *Text. Res. J.* **61**, 203–210 (1991).
 28. Kasturiya, N., Subbulakshmi, M. S., Gupta, S. C. & Raj, H. System Design of Cold Weather Protective Clothing. *Def. Sci. J.* **49**, 457–464 (1999).
 29. Steindhart, E. Determining an Easily Measured Factor of Merit for The Thermal Performance of Jackets. in *Measurement and Instrumentation* 1–7 (2015).
 30. Bernstien, J. How a Quebec company used a weed to create a one-of-a-kind winter coat Canadians warm , help monarch butterflies. <https://www.cbc.ca/news/canada/montreal/quebec-milkweed-winter-coat-1.3804138> (2016).
 31. Hauss, E. The Natural Insulator of the Future : Asclepias Animal-friendly Insulation. <http://altitude-blog.com/en/natural-insulator-future-asclepias/> (2019).
 32. Montgomery, M. Possible world first : canadian winter coat uses renewable plant insulation. <http://www.rcinet.ca/en/2016/10/13/world-first-canadian-winter-coat-uses-renewable-plant-insulation/> (2016).
 33. Baker, H. The Layering Systems. <https://www.blacks.co.uk/blog/2016/09/the-layering-system-a16> (2018).
 34. Oakes, J., Riewe, R., Kelker, D. & Forest, T. *Comparison of traditional and manufactured cold weather ensembles*. vol. 5 (1995).
 35. Zakriya, G. M. dkk. Design and development of winter over coat using Jute and hollow conjugated polyester non-woven flexible composite. *J. Ind. Text.* (2016) doi:10.1177/1528083716670314.
 36. ASTM D1518-14. Standard test method for thermal transmittance of textile materials. vol. 94 428–430 (1985).
 37. Song, G. *Thermal insulation properties of textiles and clothing. Textiles for cold weather apparel* (Woodhead Publishing Limited, 2009). doi:10.1533/9781845697174.1.19.
 38. Rossi, R. M. Cold Weather sports clothing. in *Textiles for Sportswear* (ed. Shisoo, R.) 197–212 (Woodhead Publishing Limited, 2015).
 39. Rees, W. H. The transmission of heat through textile fabrics. *J. Text. Inst. Trans.* **32**, T149–T165 (1941).
 40. Williams, J. T. *Textile for cold weather apparel*. (Woodhead Publishing Limited, 2009).
 41. Baxter, S. The thermal conductivity of textiles. *Proc. Phys. Soc.* (1946) doi:10.1088/0959-5309/45/4/304.

42. Holmer, I. Textiles for protection against cold. in *Textile for protection* (ed. Scott, R. A.) 378–397 (Woodhead Publishing Limited, 2005).
43. Sukmawati, A. Pembuatan dan Karakterisasi Nirtunun Serat Biduri (*Calotropis gigantea*) untuk Aplikasi Bahan Penyerap Bunyi. (Tesis Program Magister Ilmu dan Teknik Material, Institut Teknologi Bandung, 2018).
-