

KAIN RAJUT KAPAS DENGAN SISIPAN BENANG KARBON UNTUK KEPERLUAN TEKSTIL TEKNIK TAHAN API

COTTON KNITTING FABRIC WITH CARBON YARN INSERTION FOR FLAME RESISTANT TECHNICAL TEXTILE

Oleh : Yusniar Siregar, Rifaida Eriningsih

Balai Besar Tekstil

Jalan Jenderal A. Yani 390 Bandung, phone 62-22-7206214

E-mail : texirdti@bdg.centrin.net.id, yusniar@kemenperin.go.id

Tulisan diterima : 16 September 2011, Selesai diperiksa : 10 Nopember 2011

ABSTRAK

Serat karbon pada umumnya banyak digunakan untuk keperluan tekstil teknik dibandingkan untuk bahan sandang. Dalam penelitian ini, pemanfaatan serat karbon untuk tekstil proteksi tahan api dilakukan melalui proses perajutan dengan anyaman rib dengan metoda baru yaitu metode sisipan yang menggunakan bahan dasar benang kapas dan benang karbon sebagai sisipannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat bahan pelindung tahan api menggunakan serat alami dan serat karbon untuk menghasilkan kain yang memiliki sifat tahan api dan nyaman digunakan. Proses perajutan dilakukan dengan variasi skala *stitch cam* yaitu skala 15, 16, dan 17, agar mendapatkan konstruksi kain yang optimal.

Hasil uji tahan api kain rajut khusus pada bagian serat kapas yang telah diproses tahan api menggunakan 400 g/l senyawa organoposfat, menunjukkan sifat tidak terbakar dan permanen yang dibuktikan dari proses pencucian berulang sampai 15 kali pencucian rumah tangga, serta memenuhi persyaratan CFR Part 1610, Standard for The Flammability of Clothing and Industrial Protection Textiles. Hasil uji perubahan warna kain rajut pada komposisi serat kapas yang dicelup dengan zat warna reaktif, menunjukkan hasil yang baik (nilai 4 dan 3-4 sesuai skala perubahan warna). Kondisi optimum untuk tekstil proteksi tahan api dari hasil percobaan adalah kain rajut rib dengan skala *stitch cam* 17 yang memiliki komposisi serat kapas paling besar (41,64%) dibandingkan dengan hasil kain rajut skala 15 atau 16, serta tinggi jeratan tertinggi 10,77 mm menghasilkan penampakan kain dengan sifat permukaan lebih lembut, nyaman dipakai, fleksibel (tidak kaku) serta menunjukkan ketahanan jebol yang masih memenuhi syarat sesuai SNI 2367:2008 dan bersifat tahan api.

Kata kunci : serat karbon, kain rajut, metoda sisipan, tekstil proteksi, tahan api

ABSTRACT

Carbon fibers are generally used for technical textile purposes rather than apparel fabrics. In this research, the use of carbon fiber as flame resistant protective clothing has been carried out by knitting process with a new insertion method and a plaited rib design which used cotton yarn as basic material and carbon yarn as its insertion. The aim of this research is to manufacture flame resistant fabric using natural and carbon fibers that will provide flame resistant and comfort properties of fabric. Knitting process was conducted in different stitch cam scales i.e. 15, 16 and 17 in order to obtain the optimal fabric construction.

The result of flame resistant knitting fabric, for the part of cotton fiber after processing with 400 g/l of organophosphate derivate, shows that it has no burn permanently. This was proved after 15 times repeated home laundering and met the CFR Part 1610, Standard for The Flammability of Clothing and Industrial Protection Textiles. The color change test of knitting fabric for the composition of cotton fiber dyed with reactive dyes shows a good result (the value of 4 and 3-4 with reference to the scale of color change). The optimum condition for the flame resistant protective textile is the rib knitting fabric with 17 stitch cam scale which has the most content of cotton fibers (41,64%) compared with the results of knit fabrics scale 15 or 16, and obtain the longest loop 10.77 mm. Thus that composition results better fabric performance with softer surface, more comfortable, flexible (not rigid) and bursting resistance, and nonflammable. Therefore that properties is remain to meet SNI 2367:2008

Key words : carbon fiber, knitting fabric, insertion method, protective textile, nonflammable

PENDAHULUAN

Tekstil teknik adalah tekstil yang dibuat untuk fungsi tertentu, dengan lebih mengutamakan sifat-sifat teknik maupun unjuk-kerjanya daripada menampilkan karakteristik estetika dan dekoratif. Bahan baku tekstil teknik pada umumnya adalah logam, mineral (asbes, serat gelas, serat karbon), serat sintetik, serat selulosa regenerasi ataupun serat alam. Penggunaan tekstil teknik sangat beragam dan dapat dikelompokkan seperti disajikan pada Tabel 1.¹

Tabel 1. Kelompok Tekstil Teknik

No	Kelompok	Contoh Penggunaan Akhir
1	Tekstil agro	Sebagai pelindung pada horticultura, taman, agrikultur, penghijauan hutan, pemeliharaan satwa
2	Tekstil bangunan	Membran, konstruksi dan arsitektural, misalnya : penguat beton, absorpsi suara, konstruksi atap
3	Tekstil clothing	Benang jahit, komponen sepatu, label, interlining
4	Tekstil sport	Bahan pembantu untuk olah raga misalnya : terbang layang, dayung, mendaki
5	Geotekstil	Reklamasi pantai, konstruksi tanah dan jalan, irigasi, struktur hidrolik, sistem drainage
6	Tekstil rumah tangga	Mebel, interior perabot rumah tangga, karpet, gordena, tirai, wall covering
7	Tekstil medis	Produk hygiene, produk kesehatan, produk surgical
8	Okotek	Proteksi lingkungan, erosi, pembersih udara, polusi air, pembersih/penyaring air, pengolahan limbah/recycling, ekstraksi produk
9	Tekstil kemasan	Protective-cover systems, kantong teh/makanan, kemasan produk industri, container systems
10	Tekstil proteksi	Pakaian atau bahan pelindung seperti tahan panas, tahan api, tahan radiasi, tahan lelehan logam (pengelasan), jaket tahan peluru, tahan kimia.

Serat karbon merupakan serat yang mengandung paling sedikit 90% karbon yang diperoleh dari filament organik yang dikarbonkan. Bahan bakunya biasanya poliakrilonitril, Fortisan (selulosa dengan derajat orientasi tinggi) atau minyak / pitch batubara yang dioksidasi pada suhu (200–300)°C, kemudian dikarbonkan pada suhu 1.000°C, dan diubah menjadi grafit dengan pemanasan pada suhu (1.500–3.000)°C, sesuai dengan kekuatan yang diperlukan. Pada umumnya serat karbon lebih banyak digunakan untuk keperluan teknik dibandingkan untuk bahan tekstil. Sifatnya biasanya dinyatakan dalam kekuatan per satuan luas dan modulus young (tarikan per satuan luas dibagi dengan mulur) serta modulus spesifik. Klasifikasikan serat karbon menurut kekuatan dan modulus elastisitasnya adalah sebagai berikut :²

- UHM (*ultra high modulus*) dengan modulus elastisitas > 450GPa (4.588.722,95 kg/cm²)

- HM (*high modulus*) dengan modulus elastisitas (350-450)GPa atau (3.569.006,75-4.588.722,95) kg/cm²
- IM (*intermediate modulus*) dengan modulus elastisitas (200-350) GPa atau (2.039.432,43 - 3.569.006,75) kg/cm²
- HT (*high tensile, low modulus*) dengan kekuatan tarik >3 GPa (>30.591,49 kg/cm²), modulus elastisitas 100 GPa (1.019.716,21 kg/cm²)
- SHT (*super high tensile*) dengan kekuatan tarik >4,5GPa (45.887,23 kg/cm²).

Makin tinggi modulus spesifik serat maka akan diperoleh struktur yang makin ringan dan kaku. Sifat fisika serat karbon berdasarkan modulus, kekuatan, dan suhu pengerjaan akhir seperti disajikan pada Tabel 2.³ Sebagai pembandingan disajikan pula sifat fisika serat gelas, dan serat kapas.

Tabel 2. Sifat Fisika Serat Karbon

No	Jenis Serat	Kekuatan	Berat jenis, g/cm ³	Mulur, %	Modulus Young, 10 ⁶ lb/in ²	Modulus Spesifik, 10 ⁶ lb/in ²
1	Karbon Rolls Royce (3.000°C)	450 GPa	2,0	0,4	60	30
2	Karbon RAE Modulus tinggi (2.500°C)	(350-450) GPa	2,0	0,5	60	30
3	Karbon RAE Modulus rendah (1.500°C)	4 GPa	1,74	1,3	33	19
4	Serat gelas	3,4 GPa	2,54	2,5	10	3,9
5	Serat kapas (per bundle)	70 Psi (4,9 kg/cm ²)	1,56	7	0,34	0,22

Keterangan : 1 GPa = 10.197,162 kg/cm²

Serat karbon yang ada di pasaran dapat dibentuk dari lembaran kain berupa kain tenun (*twill*, satin atau polos), kain rajut, dan kain *non woven*. Penggunaannya antara lain untuk selimut pada pengelasan, penyekat panas, kain aluminium dan pakaian pelindung / keamanan. Adapun sifat termal serat karbon dibanding serat kapas (selulosa) seperti disajikan pada Tabel 3.⁴

Tabel 3. Sifat Termal Serat Karbon dan Serat Selulosa

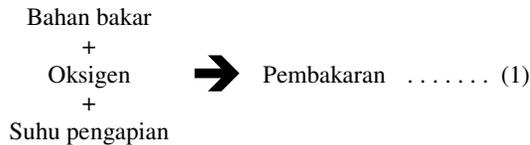
Parameter	Serat karbon	Serat selulosa
Termal konduktifitas, W m ⁻¹ K ⁻¹	LM = 8,5 HM = 70	0,03
Titik didih, °C	4403	255
Titik leleh, °C	3643	Tidak meleleh
Panas pembakaran (<i>heat of combustion</i>), cal/g	2700	74,3
Suhu pengapian (<i>ignition temperature</i>), °C	871,11	255
LOI	60 – 90	18,4
Titik bakar, °C	>800	210

Catatan :

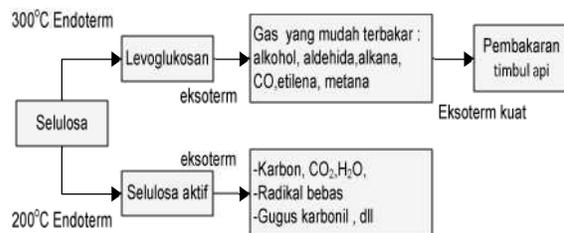
LM = low modulus, HM= High modulus

LOI (Limiting Oxygen index) = ukuran minimal kadar O₂ yang dapat menyalaikan api.

Pembakaran adalah suatu reaksi antara bahan bakar dan suatu oksidan dengan produksi panas yang dapat disertai cahaya dalam bentuk pendar atau api. Untuk mencapai proses pembakaran yang sempurna diperlukan oksigen dari udara yang berlebih dan temperatur yang cukup tinggi untuk membakar gas polutan - bahan bakar, agar reaksi oksidasi berjalan sempurna dan tingkat turbulensi yang cukup tinggi untuk memperoleh campuran yang sempurna antara udara (oksigen) dengan gas polutan bahan bakar.⁵



Selulosa seperti serat kapas memiliki sifat mudah terbakar. Hal ini disebabkan sifat termal serat kapas seperti panas pembakaran, suhu pengapian, LOI, dan titik bakarnya relatif rendah seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Titik bakar serat kapas 200°C, pada suhu tersebut akan mengeluarkan gas-gas yang mudah terbakar. Bila suhu sudah mencapai pada suhu pengapian (*ignition temperature*) yaitu untuk serat kapas 255°C, maka kapas akan mengalami dehidratasi, depolimerisasi dan oksidasi, selanjutnya pada suhu 300 °C akan menghasilkan komponen utama levoglukosan yang mudah terbakar. Dengan reaksi eksoterm yang kuat disertai timbulnya gas-gas yang mudah terbakar, maka mulai terjadi pembakaran dengan timbulnya api. Skema proses pembakaran selulosa seperti disajikan pada Gambar 1. Reaksi yang terjadi pada proses pembakaran adalah sebagai berikut.



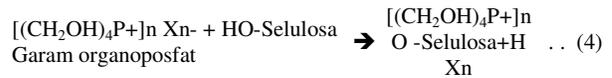
Gambar 1. Skema Proses Pembakaran Selulosa

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menahan proses pembakaran adalah dengan melakukan proses penyempurnaan tahan api menggunakan senyawa organoposfat, yang memiliki kemampuan untuk melepaskan gas yang tidak mudah terbakar sehingga dapat mengurangi konsentrasi oksigen pada proses pembakaran.

Pada proses penyempurnaan tahan api akan terjadi proses kimia pada fasa padat dan gas yang dapat menahan proses pembakaran, yaitu :

1. Pada fasa gas, senyawa garam organoposfat akan menghalangi mekanisme radikal bebas dari proses pembakaran yang terjadi. Ini akan menghentikan proses eksoterm, mendinginkan sistem serta mengurangi suplai gas-gas yang mudah terbakar.
2. Pada fasa padat, garam organoposfat tersebut dapat membentuk ikatan silang yang menutupi polimer yang dapat bertindak sebagai pelindung panas dan penghalang oksigen. Ikatan silang tersebut dapat meningkatkan stabilitas struktur polimer dengan adanya penambahan atau pembentukan ikatan yang lebih kuat dari ikatan hidrogen dan yang dapat putus sebelum terjadi degradasi rantai selulosa. Namun demikian dengan derajat ikatan silang yang rendah dapat menurunkan stabilitas termal.

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Keterangan : Xn- adalah Mg, Cl-, OH-, atau SO₄

Hasil samping berupa HXn- akan mengendap dengan titik leleh rendah, sehingga apabila terdapat api akan meleleh dan meliputi komposit seperti gelas dan uap yang dihasilkan tidak terbakar.

Dari hasil tinjauan pustaka, telah dilakukan penelitian sebelumnya mengenai pembuatan tekstil proteksi dengan menggunakan tekstil non woven yang terbuat dari kapas inovasi (*innovated cotton*) dengan pengisi (*filler*) benang karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekstil proteksi non woven tersebut telah memberikan kekuatan dan ketahanan api yang baik, namun permukaannya masih kaku dan belum memenuhi persyaratan dalam hal kenyamanan serta belum optimal dalam memberikan kemudahan mobilisasi gerakan bagi pemakai.⁶ Penggunaan teknik perajutan dengan menggunakan metode sisipan merupakan salah satu alternatif pembuatan tekstil proteksi tahan api dengan tetap memperhatikan unsur kenyamanan pakai, hal ini karena kain rajut pada dasarnya memiliki sifat yang elastis dan fleksibel yang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan kain poteksi.

Dengan didasarkan pada sifat fisika dan termal serat karbon antara lain sifat tahan api, maka penelitian ini bertujuan untuk membuat tekstil proteksi yaitu bahan pelindung tahan api seperti sarung tangan, rompi, topi dan barang keperluan

lainnya untuk para pekerja yang bekerja pada pemadam kebakaran, industri pengelasan, industri kimia dan lain-lain untuk menghindari risiko terkena api atau terbakar. Tekstil proteksi tersebut dibuat melalui proses perajutan dari benang kapas dengan sisipan benang karbon. Penggunaan sisipan benang karbon bertujuan agar diperoleh kain dengan kekuatan dan sifat mekanik lainnya yang tinggi, karena akan digunakan para pekerja dengan mobilitas tinggi seperti di industri / pabrik, sedangkan penggunaan benang kapas dimaksudkan untuk mendapatkan sifat kain lebih fleksibel, nyaman dipakai, namun tidak tahan api, sehingga perlu dilakukan proses penyempurnaan tahan api.

METODOLOGI

Bahan Baku dan Zat Kimia

Serat karbon (*Low Modulus*), benang kapas (Ne₁ 20/3), senyawa organoposfat sebagai zat aditif tahan api, katalisator MgCl₂, zat warna reaktif Remazol Red 3B dan Procion Yellow MX 4I, natrium karbonat dan natrium klorida.

Peralatan

Mesin rajut *double bed (V-Bed)* tipe 11095 merk Around Star, padder, mesin curing, oven, timbangan dan peralatan uji seperti alat uji tahan api (cara vertikal), Lounder O-meter, Bursting Strength Tester dan alat uji kekuatan tarik Instron.

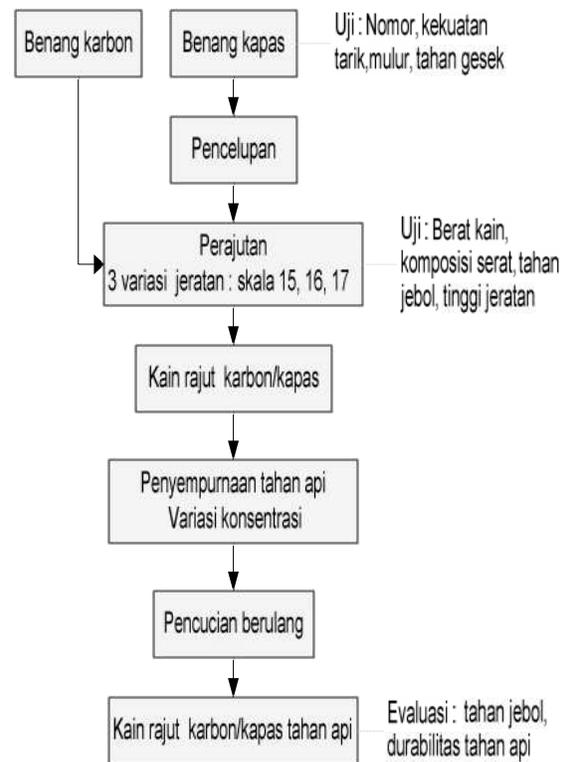
Prosedur

Percobaan yang dilakukan meliputi beberapa tahapan proses sebagai berikut :

1. Benang kapas dicelup dengan zat warna reaktif Remazol Red 3B dan Procion Yellow MX 4I untuk memberikan efek penampilan pada kain yang dihasilkan
2. Proses perajutan benang kapas dengan sisipan benang karbon,⁷ dilakukan dengan 3 variasi skala *stitch cam* yaitu pada skala 15, 16 dan 17, untuk mendapatkan kondisi optimum ditinjau dari kenyamanan dipakai, sifat fisik dan keawetannya terhadap sifat tahan api
3. Proses penyempurnaan tahan api kain rajut kapas sisipan benang karbon menggunakan senyawa organoposfat cara *pad-dry-cure* pada suhu 130°C selama 5 menit, dilakukan dengan variasi konsentrasi senyawa tersebut yaitu 200 g/l, 300 g/l dan 400 g/l, khusus untuk mendapatkan sifat tahan api pada benang kapasnya.
4. Proses pencucian berulang sebanyak 3 kali pencucian komersial dengan alat Launder-O meter atau ekuivalen dengan 15 kali pencucian rumah tangga untuk mengetahui keawetan sifat tahan api pada benang kapas.
5. Pengujian terhadap produk jadi kain rajut kapas sisipan benang karbon meliputi :

- Benang kapas :
 - nomor benang (SNI ISO 7611-5:2010 : Cara Uji Nomor Benang)
 - kekuatan tarik dan mulur (SNI 7610:2010 : Cara Uji Kekuatan dan Mulur Per Helai)
 - ketahanan gesek (SNI 08-0557: 1989 : Cara Uji Tahan Slip Benang)
- Kain rajut kapas sisipan benang karbon :
 - komposisi serat (SNI ISO 1833-1:2011 : Analisis Kimia Kuantitatif)
 - kekuatan jebol (SNI 08-0617:1989 : Cara Uji Kekuatan Jebol Kain)
 - berat kain per m² (SNI ISO 3601:2010 : Cara Uji Berat Kain Per Satuan Luas)
 - tinggi jeratan
 - tahan api pada kondisi awal dan setelah pencucian berulang (SNI 08-1512:1989 : Cara Uji Tahan Api, dan SNI- ISO 105 J02:2011 : Cara Uji Tahan Luntur Warna Terhadap Pencucian)

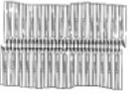
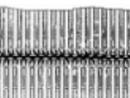
Prosedur penelitian dilakukan sesuai diagram alir seperti disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Percobaan

Proses pembuatan kain rajut pakan dengan metoda sisipan dilakukan melalui beberapa tahap seperti disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Proses Perajutan Benang Kapas dengan Sisipan Benang Karbon.⁸

No	Proses	Gambar	
		Tampak Samping	Tampak atas
1	Membuat <i>cast-on</i> awal merajut, yang dimulai dengan membuat jeratan awal		
2.	Jarum disusun sesuai motif yang ditentukan, kemudian membuat beberapa <i>course</i>		
3.	Sisipan diletakkan di atas anyaman rib dari atas mesin		
4.	Penyeret dijalankan untuk membuat beberapa <i>course</i> , dan sisipan sudah berada di dalam jeratan		

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kain Rajut Kapas Sisipan Benang Karbon

Dari hasil uji benang kapas yaitu :

- Nomor : Ne₁ 20/3
- Kekuatan Tarik : 422,40 g
- Mulur : 4,9 %
- *Tenacity* : 21,11 gram/denier
- Ketahanan gesek : 64 gesekan

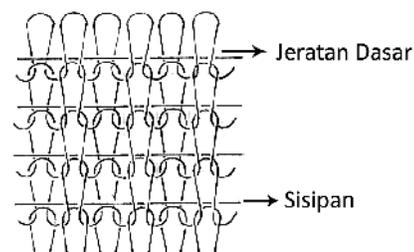
maka benang tersebut memiliki kemampuan untuk dirajut sesuai dengan standar SNI 2367:2008, Kain Rajut Pakan. Hal ini juga dapat dibuktikan dari hasil proses perajutan yang berjalan lancar, tidak terdapat benang putus pada saat proses dan hasilnya relatif baik dengan kekuatan jebol menunjukkan nilai relatif tinggi seperti disajikan pada Gambar 6.

Benang karbon yang diperoleh dari pasaran (jenis modulus rendah) memiliki sifat-sifat mekanik sangat tinggi seperti disajikan pada Tabel 2. Dibandingkan dengan serat kapas, maka serat karbon memiliki kekuatan tarik, *modulus young* dan modulus spesifiknya yang jauh lebih tinggi. Akan tetapi benang tersebut relatif ringan dengan berat jenis yang hampir sama dengan serat kapas, sehingga sesuai untuk dibuat pakaian pelindung. Dari Tabel 2

dapat dilihat bahwa serat kapas memiliki mulur sebesar 7%, sedangkan serat karbon memiliki mulur yang sangat rendah yaitu 1,3%. Hal inilah yang menyebabkan benang karbon tidak dapat dirajut secara langsung membentuk jeratan dasar, karena sifatnya yang kurang fleksibel dan kaku sehingga untuk membentuk lengkung jeratan pada proses perajutan agak sulit dilakukan. Pada proses pra percobaan, benang tersebut sering tersangkut pada jarum rajut dan proses rajut tidak lancar. Oleh karena itu proses perajutan dilakukan dengan alternatif lain yaitu menggunakan metoda sisipan.⁷ Proses perajutan dengan metoda sisipan terdiri dari dua cara, yaitu sisipan yang terikat dengan jeratan dasar dan sisipan yang tidak terikat pada jeratan dasar. Berdasarkan arah sisipannya, metoda ini dapat dibagi pula dalam dua kelompok yaitu sisipan ke arah lusi (vertikal) dan sisipan ke arah pakan (horizontal). Dalam penelitian ini digunakan metoda sisipan yang tidak terikat dengan jeratan dasar dan posisi sisipan ke arah pakan (horizontal).

Proses perajutan dilakukan dengan cara benang kapas dirajut membentuk anyaman rib pada Mesin Rajut Datar *V-Bed*. Anyaman rib 1x1 ini akan menghasilkan *covering area* yang lebih luas pada benang kapas sebagai benang dasar terhadap benang karbon sebagai sisipan, hal ini bila dibandingkan dengan anyaman lain seperti rib 2x2, 3x3, dan anyaman lainnya. *Covering area* benang kapas yang lebih luas akan memberikan kenyamanan saat dipakai, karena sifat benang kapas yang halus dan menyerap keringat, selain itu benang kapas dapat berfungsi sebagai penahan api setelah diproses menggunakan senyawa organofosfat dengan kondisi tertentu.

Benang karbon dimasukkan ke dalam kain secara periodik setiap jumlah *course* tertentu. Dengan cara ini benang karbon disisipkan diantara jeratan benang kapas, seperti halnya menyisipkan benang pakan pada proses pertenunan. Proses ini memerlukan teknik khusus karena penyisipan masih dilakukan secara manual. Posisi jeratan pada jarum *needle bed* depan dan *needle bed* belakang yang saling berhadapan memungkinkan sisipan dapat masuk ke dalam kain rajut, sehingga benang karbon tepat berada diantara jeratan-jeratan benang kapas (Gambar 3). Teknik proses perajutan cara sisipan ini disajikan pada Tabel 4.

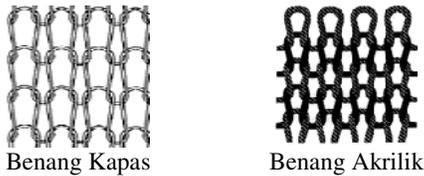


Gambar 3. Posisi Sisipan Dalam Kain Rajut

Dalam penelitian ini, dilakukan proses pembuatan kain rajut dengan membuat tiga variasi skala *stitch cam* yaitu skala 15, 16 dan 17 untuk

memberikan variasi tinggi jeratan. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan konstruksi yang optimal dan *performance* yang baik ditinjau dari kenyamanan dipakai.

Penyetelan skala *stitch cam* dalam proses perajutan sangat mempengaruhi tinggi jeratan yang dihasilkan dan hal ini berlaku untuk jenis dan nomor benang yang sama. Namun untuk jenis benang yang berbeda pada penyetelan skala *stitch cam* yang sama akan menghasilkan tinggi jeratan yang berbeda, karena mulur dan elastisitas benang yang digunakan sangat mempengaruhi jeratan yang terjadi pada kain rajut tersebut. Pada Gambar 4 dapat dilihat ilustrasi jeratan yang terjadi bila menggunakan skala *stitch cam* yang sama pada jenis benang yang berbeda.

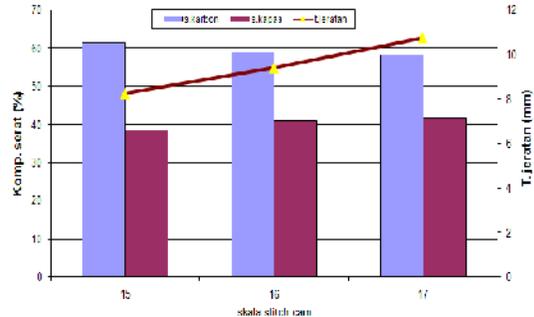


Gambar 4. Jeratan Benang Kapas dan Benang Akrilik Pada Skala *Stitch Cam* yang Sama

Oleh karena itu penyetelan skala *stitch cam* ini merupakan unsur yang sangat penting untuk menentukan konstruksi kain yaitu kerapatan jeratan pada kain rajut. Adapun skala *stitch cam* yang terdapat pada Mesin Rajut *V-bed* dalam penelitian ini terdiri dari skala 0 sampai dengan 20. Percobaan awal telah dilakukan untuk menentukan skala yang akan digunakan, dan skala yang sesuai untuk benang kapas ini adalah berkisar antara skala 15 sampai dengan 17. Dari percobaan awal tersebut, maka penelitian lebih lanjut dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisika dan kenyamanan pakai untuk kain rajut sisipan yang menggunakan skala 15, 16, maupun 17. Untuk jenis benang yang sama, secara garis besar dapat dikatakan bahwa semakin besar besaran skala *stitch cam* yang digunakan, maka makin besar pula lengkung jeratan yang terjadi.

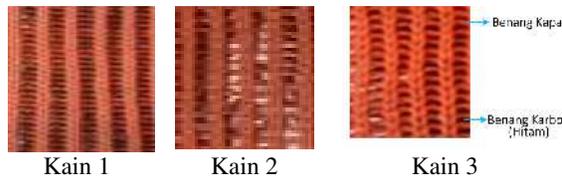
Kain rajut dengan sisipan benang karbon pada skala *stitch cam* 15 menghasilkan tinggi jeratan yang paling rendah dan konstruksi paling rapat dibandingkan dengan kain rajut dengan skala 16 maupun 17, namun memiliki jumlah *course* paling banyak pada ukuran panjang kain yang sama (*course/inch*). Oleh karena itu pada skala 15 justru memiliki berat kain yang tertinggi, karena dengan jumlah *course/inch* yang lebih besar akan memberikan lebih banyak tempat bagi benang karbon untuk disisipkan ke dalam kain. Jadi dengan skala 15 meskipun tinggi jeratannya paling rendah, namun memiliki komposisi benang karbon paling banyak, sehingga hal ini menjadikan kain tersebut memiliki relatif lebih tinggi dibanding kain pada skala 16 maupun 17 seperti ditunjukkan pada hasil uji berat kain (Gambar 7). Namun dari sisi *performance*-nya, permukaan kain rajut pada skala 15 bersifat kasar dan kaku.

Kain rajut pada skala *stitch cam* 17 memiliki tinggi jeratan yang paling besar dan konstruksi paling renggang dibandingkan dengan kain rajut dengan skala 15 maupun 16. Kain rajut skala 17 memiliki jumlah *course/inch* yang paling sedikit, sehingga memberikan tempat lebih sedikit bagi benang karbon untuk disisipkan ke dalam kain. Dengan demikian pada skala 17 menghasilkan kain yang lebih ringan dibandingkan dengan skala 15 dan 16, karena memiliki komposisi benang karbon yang paling sedikit. Semakin tinggi skala *stitch cam*, maka tinggi jeratan benang kapas semakin tinggi dan komposisi serat kapas semakin besar seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Komposisi Serat dan Tinggi Jeratan Kain Rajut Kapas Sisipan Benang Karbon

Seperti diketahui bahwa serat karbon selain memiliki karakteristik sangat tinggi untuk diterapkan dalam berbagai jenis penggunaan tekstil teknik, namun juga mempunyai kekurangan antara lain pada saat pembuatannya serat karbon dimungkinkan adanya debu karbon yang dapat membahayakan mata dan tenggorokan. Pemakaian kacamata, masker atau pelindung lain sangat dianjurkan bagi pekerja dalam pembuatan serat karbon. Serat atau benang karbon yang dihasilkan dalam pemakaiannya dimungkinkan terjadi gesekan, sehingga dapat menyebabkan gatal-gatal pada kulit. Dengan melakukan pencampuran dengan serat kapas dan variasi tinggi jeratan, maka diharapkan akan memberikan sifat kenyamanan dipakai. Semakin tinggi jeratan benang kapas, maka semakin tinggi komposisi serat kapas terhadap serat karbon dan benang karbon dalam rajutan akan tertutup atau terlindungi oleh tingginya jeratan benang kapas, maka kain rajut yang dihasilkan semakin nyaman dipakai. Hal ini karena serat kapas memiliki daya absorpsi terhadap air/ keringat manusia dan *moisture regain* yang relatif tinggi serta dengan semakin tingginya jeratan benang kapas, maka kulit akan terlindungi dari sentuhan benang karbon yang disisipkan pada rajutan. Dengan demikian kain rajut dengan skala 17 yang memiliki komposisi serat kapas paling besar (41,64%) dibandingkan pada skala 15 dan 16, serta tinggi jeratan yang dibentuk oleh benang kapas menunjukkan paling tinggi (10,77 mm), maka akan menghasilkan *performance* kain dengan sifat permukaan lebih lembut dan lebih nyaman untuk dipakai serta lebih fleksibel (tidak kaku).



Gambar 6. Hasil Kain Rajut Kapas Sisipan Benang Karbon

(Kain 1: Skala 15, Kain 2 : Skala 16, Kain 3: Skala 17)

Kain rajut kapas sisipan benang karbon yang diperoleh mempunyai berat kain relatif tinggi dan dapat dikategorikan sebagai kain berat ($>350 \text{ g/m}^2$), baik pada skala 15, 16 maupun 17. seperti disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Berat Kain Rajut Kapas Sisipan Benang Karbon

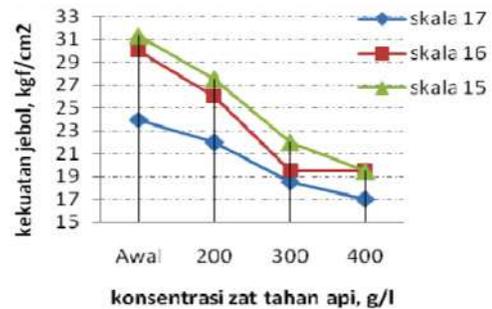
Ditinjau dari sifat termalnya seperti disajikan pada Tabel 3, maka serat karbon memiliki panas pembakaran (*heat of combustion*), suhu pengapian (*ignition temperature*), LOI (*Limiting Oxygen Index*) dan titik bakar yang sangat tinggi. Titik bakar serat karbon lebih besar dari 800°C dan LOI : 60 – 90. Menurut Yasushige Yagura dkk.,⁹ apabila nilai LOI > 30 , menunjukkan bahwa serat atau polimer termasuk kategori tahan terhadap api atau tidak terbakar, maka serat karbon termasuk bahan yang bersifat tahan api. Selain itu stabilitas termalnya sangat baik yang dapat dibuktikan dari hasil uji tahan api yang tidak memberikan efek perubahan secara visual, maka pemilihan serat karbon ini sangat sesuai untuk difungsikan sebagai tekstil proteksi yaitu bahan pelindung tahan api.

Benang kapas memiliki sifat termal yang rendah, dengan nilai LOI 18,4. Untuk mendapatkan sifat tahan api pada benang kapas sebagai campuran dalam proses perajutan, maka dilakukan proses penyempurnaan tahan api.

Ketahanan Jebol

Ketahanan jebol kain rajut kapas dengan sisipan benang karbon disajikan pada Gambar 8. Benang karbon sebagai sisipan dalam kain rajut tersebut hampir tidak mempengaruhi kerusakan akibat uji jebol, sedangkan benang kapas memberikan hasil yang dominan dan merusak kain tersebut setelah dilakukan uji jebol. Hal ini karena serat karbon memiliki kekuatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan serat kapas. Serat Karbon memiliki struktur kristalin dan derajat orientasi yang sangat tinggi, sehingga kekuatan arah

longitudinalnya sangat tinggi sebagai akibat dari ikatan kovalen antar atom C, sedangkan pada arah transversalnya merupakan ikatan Van Der Waals yang lebih rendah dibandingkan ikatan arah longitudinal. Selain itu ditinjau dari pembuatannya yang memerlukan suhu sangat tinggi yaitu $(1.000-3.000)^\circ\text{C}$ pada proses karbonisasi, maka akan diperoleh serat karbon dengan stabilitas, kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang tinggi.



Gambar 8. Ketahanan Jebol Kain Rajut Campuran Serat Karbon/Kapas

Pada kain rajut dengan skala *stitch cam* 15 menunjukkan ketahanan jebol relatif tinggi dibandingkan dengan kain pada skala 16 dan 17. Dari hasil uji komposisi serat yang menunjukkan bahwa kain rajut pada skala 15 memiliki komposisi serat karbon paling banyak yaitu 61,47 %, sedangkan pada skala 16 dan 17 masing-masing 58,90 % dan 58,36 %. Hal ini sangat berpengaruh pada kekuatan jebolnya, karena serat karbon memiliki sifat-sifat fisik yang jauh lebih tinggi dibandingkan serat kapas seperti disajikan pada Tabel 2. Selain itu kerapatan hasil perajutan pada skala 15 lebih rapat dibandingkan pada skala 16 dan 17, sehingga memungkinkan kekuatan jebolnya lebih tinggi.

Pengerjaan penyempurnaan tahan api pada kain rajut tersebut mempengaruhi ketahanan jebol kain. Pada konsentrasi 200 g/l zat tahan api, terjadi penurunan baik pada konstruksi skala 15, 16 maupun 17. Semakin tinggi konsentrasi zat tahan api yaitu pada 300 g/l dan 400 g/l, ketahanan jebolnya semakin menurun. Hal ini dimungkinkan karena semakin tinggi konsentrasi senyawa organofosfat akan semakin banyak memberikan hasil samping berupa endapan HXn- yang akan mempengaruhi penurunan ketahanan jebolnya.

Adapun penurunan kekuatan jebol tersebut masih memenuhi persyaratan standar sesuai SNI 2367:2008, Persyaratan Mutu Kain Rajut Pakan.

Tahan api

Menurut reaksi yang terjadi saat proses pembakaran seperti pada persamaan (2) dan (3), proses pembakaran sangat dipengaruhi oleh kandungan Oksigen dari udara. Untuk mendapatkan sifat tahan api pada serat kapas, maka titik bakar dan suhu pengapiannya perlu ditingkatkan atau pembentukan polimer yang dapat menghalangi Oksigen atau dengan pelepasan gas-gas yang tidak mudah terbakar seperti N_2 , CO_2 , air dan hidrogen

halida,¹⁰ dengan cara melakukan proses penyempurnaan tahan api. Gas-gas ini mengurangi konsentrasi O₂ karena oksigen membantu menimbulkan nyala api. Senyawa tahan api yang digunakan dalam percobaan ini adalah komponen organoposfat.

Pada suhu dibawah suhu pengapian, walaupun telah mengeluarkan senyawa yang mudah terbakar disertai adanya dukungan dari oksigen, serat tidak dapat terbakar. Bila komponen telah seluruhnya terbakar, maka reaksi yang terjadi adalah hidrokarbon dengan oksigen membentuk karbon dioksida, air dan energi panas (persamaan 2). Energi yang dilepaskan sebagai panas tersebut adalah panas pembakaran (*heat of combustion*). Hal tersebut terlihat dari hasil uji tahan api seperti disajikan pada Tabel 5, yang menunjukkan serat kapas tidak terbakar.

(*heat of combustion*) sebesar 2.700 cal/g yang dicapai apabila dipanaskan dan mulai terbakar pada suhu 871,11 °C.³ Apabila dibandingkan dengan serat kapas dengan panas pembakaran sebesar 74,3 cal/g dan titik bakar pada suhu 210 °C, menunjukkan bahwa serat karbon memiliki sifat tahan api dan sesuai untuk tekstil proteksi tahan api.

Pada pemakaian senyawa organoposfat 200 g/l menunjukkan bahwa kain tidak terbakar, namun tidak permanen. Hal ini dapat dibuktikan setelah dilakukan proses pencucian, benang kapas pada kain rajut terbakar dan api menjalar terus, baik pada konstruksi skala 15, 16 maupun 17. Pada konsentrasi senyawa organoposfat 300 g/l, hasil ujinya relatif lebih baik, namun benang kapas pada kain rajut terbakar dan menjalar sekitar 2,5 mm – 5,0 mm dan selanjutnya padam, baik pada pencucian komersial 1 kali, 2 kali maupun 3 kali dengan alat Lounder O-

Tabel 5. Hasil Uji Tahan Api pada Kain Rajut Kapas Sisipan Benang Karbon

Konsentrasi Organoposfat	Skala mesin rajut	Tanpa dicuci	Cuci I	Cuci II	Cuci III
0 g/l	15	Terbakar	-	-	-
	16				
	17				
200 g/l	15	Tidak terbakar	Kapas terbakar, api menjalar terus	Kapas terbakar, api menjalar terus	Kapas terbakar, api menjalar terus
	16				
	17				
300 g/l	15	Tidak terbakar	Kapas terbakar, api menjalar sampai 3 mm, padam pada 15,17 detik	Kapas terbakar, api menjalar sampai 3,5 mm, padam pada 15,20 detik	Kapas terbakar, api menjalar sampai 3,5 mm, padam pada 16,21 detik
	16	Tidak terbakar	Kapas terbakar, api menjalar sampai 2,5 mm, padam pada 14,08 detik	Kapas terbakar, api menjalar sampai 4 mm, padam pada 16,10 detik	Kapas terbakar, api menjalar sampai 5 mm, padam pada 18,11 detik
	17	Tidak terbakar	Kapas terbakar, api menjalar sampai 4,5 mm, padam pada 15,36 detik	Kapas terbakar, api menjalar sampai 4,5 mm, padam pada 16,14 detik	Kapas terbakar, api menjalar sampai 5 mm, padam pada 18,04 detik
400 g/l	15	Tidak terbakar	Kapas terbakar, api tidak menjalar langsung padam	Kapas terbakar, api tidak menjalar langsung padam	Kapas terbakar, api tidak menjalar langsung padam
	16	Tidak terbakar	Kapas terbakar, api tidak menjalar langsung padam	Kapas terbakar, api tidak menjalar langsung padam	Kapas terbakar, api tidak menjalar langsung padam
	17	Tidak terbakar	Kapas terbakar, api tidak menjalar langsung padam	Kapas terbakar, api tidak menjalar langsung padam	Kapas terbakar, api tidak menjalar langsung padam

Catatan : Bagian serat karbon pada kain rajut tidak terbakar, baik tanpa maupun dengan senyawa organoposfat

Hasil uji tahan api kain rajut kapas sisipan benang karbon setelah dilakukan penyempurnaan tahan api disajikan pada Tabel 6. Hasil penyempurnaan tersebut selanjutnya dilakukan proses pencucian sebanyak 3 kali pencucian komersial dengan alat Lounder O-meter atau ekuivalen dengan 15 kali pencucian rumah tangga, untuk mengetahui keawetan sifat tahan api.

Dari hasil uji tahan api kain rajut, diketahui bahwa pada bagian serat karbon tidak menunjukkan serat terbakar untuk ketiga variasi konsentrasi senyawa organoposfat. Hal ini disebabkan oleh serat karbon memiliki sifat termal relatif tinggi dengan energi yang dilepaskan sebagai panas pembakaran

Meter (5 kali, 10 kali atau 15 kali pencucian rumah tangga). Sedangkan pada konsentrasi senyawa tahan api 400 g/l menunjukkan hasil terbaik yaitu api tidak menjalar dan langsung padam. Hasil ini sangat sesuai dengan persyaratan CFR Part 1610 (Standard for The Flammibility of Clothing and Industrial protection Textiles),¹¹ dan ASTM F1506 - 10a Standard Performance Specification for Flame Resistant Textile Materials for Wearing Apparel for Use by Electrical Workers Exposed to Momentary Electric Arc and Related Thermal Hazards.¹²

Dari hasil percobaan tahan api, maka untuk penggunaan tekstil proteksi dengan senyawa organoposfat sebagai bahan tahan api disarankan

dilakukan pada konsentrasi 400 g/l. Konstruksi kain dalam hal ini tinggi jeratan, juga memberikan pengaruh terhadap sifat tahan api kain rajut kapas sisipan benang karbon. Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa benang kapas yang menggunakan senyawa organoposfat 300 g/l, setiap variasi skala *stitch cam* memberikan hasil uji tahan api yang berbeda, semakin besar skala *stitch cam* maka semakin lama dan panjang perambatan nyala api. Hal ini disebabkan pada skala *stitch cam* 15 (skala terkecil) kain rajut memiliki konstruksi lebih rapat, tinggi jeratan yang paling rendah dibandingkan skala 16 maupun 17, namun menghasilkan daerah penutupan (*covering area*) yang lebih tinggi dan struktur kain yang lebih kokoh untuk menahan api. Pada skala *stitch cam* 17 konstruksi kain yang dihasilkan lebih renggang, karena tinggi jeratan yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan skala 15 dan 16. Hal itu menyebabkan nyala api lebih lama karena memiliki daerah penutupan (*covering area*) yang lebih rendah.

Perubahan Warna

Data perubahan warna kain rajut pada bagian serat kapasnya yang dicelup dengan zat warna reaktif menunjukkan hasil yang baik (nilai 4 sesuai skala perubahan warna). Nilai tersebut tetap sama setelah dicuci 1 kali dengan alat Lounder O-Meter atau ekuivalen dengan 5 kali pencucian rumah tangga. Setelah pencucian 2 kali dengan alat tersebut atau ekuivalen dengan 10 kali pencucian rumah tangga terjadi penurunan perubahan warna setelah dilakukan proses penyempurnaan tahan api pada konsentrasi 300 g/l dan 400 g/l, yaitu pada konstruksi skala 15 dan 16 masing-masing dengan nilai 3 – 4. Pada pencucian 3 kali dengan alat Lounder O-Meter atau ekuivalen dengan 15 kali pencucian rumah tangga, pada umumnya seluruh konstruksi kain mengalami penurunan nilai perubahan warna. Namun penurunan perubahan warna tersebut relatif kecil dan masih menunjukkan nilai baik. Terjadinya perubahan warna tersebut, selain karena pengaruh pencucian berulang pada suhu 40°C dan adanya pengaruh lemparan bola-bola baja yang dimasukkan pada tabung cuci, juga karena pengaruh proses penyempurnaan tahan api yang dilakukan dengan proses pemanas awetan suhu 130°C.

Tabel 6. Hasil Perubahan Warna Kain Rajut Setelah Pencucian Berulang

Konsentrasi Organoposfat	Skala mesin rajut	Cuci I	Cuci II	Cuci III
200 g/l	15	4	4	3-4
	16	4	4	3-4
	17	4	4	3-4
300 g/l	15	4	3-4	3-4
	16	4	4	3-4
	17	4	4	4
400 g/l	15	4	3-4	3-4
	16	4	3-4	3-4
	17	4	4	3-4

KESIMPULAN

1. Benang karbon memiliki sifat-sifat mekanik dan termal yang tinggi, sehingga pada penggunaannya difungsikan sebagai tekstil teknik khususnya untuk tekstil proteksi tahan api.
2. Pembuatan kain rajut kapas untuk tekstil proteksi dilakukan dengan menyisipkan benang karbon yang tidak terikat dengan jeratan dasar, dengan variasi skala *stitch cam* 15, 16 dan 17.
3. Kain rajut pada skala *stitch cam* 15 menghasilkan tinggi jeratan yang paling rendah dan konstruksi paling rapat dibandingkan hasil penyetelan pada skala 16 dan 17, namun memiliki sisipan benang karbon paling banyak, sehingga berat kain dan kekuatan jebolnya relatif lebih tinggi dibandingkan pada skala 16 maupun 17. Namun demikian dari sisi *performance*, permukaan kain rajut pada skala 15 cenderung bersifat kasar dan kaku.
4. Pada kain rajut dengan skala *stitch cam* 15 menunjukkan ketahanan jebol relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kain pada skala 16 dan 17.
5. Sifat tahan api kain rajut kapas dengan sisipan benang karbon setelah diproses tahan api dengan 400 g/l senyawa organoposfat, menunjukkan tidak terbakar dan bersifat permanen yang dibuktikan dari proses pencucian berulang sampai 15 kali pencucian rumah tangga serta memenuhi persyaratan CFR Part 1610, Standard for The Flammability of Clothing and Industrial Protection Textiles.
6. Perubahan warna kain rajut pada bagian serat kapasnya yang dicelup dengan zat warna reaktif menunjukkan hasil yang baik dan permanen (nilai 4 dan 3-4 sesuai skala perubahan warna).
7. Kain rajut dengan skala 17 yang memiliki komposisi serat kapas paling besar (41,64%) dibandingkan pada skala 15 dan 16, serta tinggi jeratan yang dibentuk oleh benang kapas paling tinggi (10,77 mm), maka akan menghasilkan *performance* kain dengan sifat permukaan lebih lembut, lebih nyaman, dan lebih fleksibel (tidak kaku) kalau dipakai serta menunjukkan ketahanan jebol yang masih memenuhi syarat sesuai SNI 2367:2008 dan bersifat tahan api.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹ Richard A. Horrock, Subhash C. Anand, "Handbook of Technical Textile", Woodhead Publishing, the Textile Institute, Cambridge, England, 2000.
- ² The Japan Carbon Fiber Manufacture Association, "Type of Carbon Fiber Product and Their Special Feature", www.carbonfiber.gr.jp/english/tanso/02.html, april 5, 2011.
- ³ Vince Kelly, "Carbon Fiber Technology", www.carbon-fiber.com, januari 21, 2000.
- ⁴ J.M. Coram, RL Battiste, KC Liu, "Basic Properties of Reference Crossply Carbon fiber Composite", ORNL, JTM- 2000/29.

- ⁵ Gann, R. G., Babrauskas, V., Peacock, R. D., and Hall, J. R., Jr., "*Fire Conditions for Smoke Toxicity Measurement*", *Fire and Materials*, Vol. 18, No. 2, 1994.
 - ⁶ Warnock M. Mary, "*Cotton as an Innovative Fabric for Firefighter Protective Clothing*", *Summaries of Arkansas. Cotton Research*, 2006.
 - ⁷ Moekarto Moeliono, Yusniar Siregar, Dermawati, "*Pembuatan Kain Non Sandang Dengan Menggunakan Metoda Sisipan Pada Mesin Rajut Datar V-Bed*", *Arena Tekstil* Vol.25 No.2, 2010.
 - ⁸ Spencer D. , "*Knitting Technology*", *A Comprehensive Handbook and Practical Guide*, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge England 3, 2001.
 - ⁹ Yasushige Yagura et all., " Flame- Retardant Resin Composition, Flame-Retardant Fiber, Flame-Retardant Cloth And Heat-Resistant Protective Clothing " , Teijin Techno Products Limited, Ipc8 Class: Aa62b1700fi, February 10, 2009.
 - ¹⁰ Gunaseelan J, "*Flame Retardant Finishes for Cellulose*", www.fibre2.fashion.com, May 12, 2010.
 - ¹¹ CFR Part 1610, "Standard for The Flammibility of Clothing and Industrial Protection Textiles".
 - ¹² ASTM F1506 - 10a, "Standard Performance Specification for Flame Resistant Textile Materials for Wearing Apparel for Use by Electrical Workers Exposed to Momentary Electric Arc and Related Thermal Hazards".
-