

STUDI PEMANFAATAN CAMPURAN MATERIAL WASTE PADA PRODUKSI BENANG POLYESTER: PERBANDINGAN BLEND RATIO TERHADAP KUALITAS

Hasna Khairunnisa^{1*}, Firdainayah², Eki Dian Lestari³, Agus Ardiyanto⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Pembuatan Benang, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta

e-mail:¹hasna@ak-tekstilsolo.ac.id, ²firdainayah02@gmail.com, ³ekidianlestari@gmail.com

ABSTRACT

Textile industry is a big industrial sector which produces wastes in its processes, including the initial process of textile, the yarn spinning manufacturing. Yarn spinning process converts raw material of fibers into yarn, it also produces waste in each stage of the production. Waste generated from the blowing to winding process has various characteristics and properties. This study aims to identify waste generated in the polyester yarn spinning process and make a categorization of waste, based on the characteristics of waste: whether it can be reused or cannot be reused (called Unused). Waste sorting process parameters are also determined to be able to produce waste material that is ready to be reused for the yarn production. The mixing of waste material and original non-waste material is then used for production with 3 combinations of blend ratio, showing the percentage of waste content in each material mixing. After the mixing process, material is manufactured to produce finished yarn. Yarn quality testing is performed to test the effect of waste material mixtures on the yarn quality itself. The quality parameters involved are yarn unevenness, neps and trash contents. The test results show that the results of the material mixture for the 3 type of blend ratio meet the company's quality standards. To conclude, it is as expected that the lower the waste percentage, the higher the yarn quality. However, in order to optimize waste usage, as high as 3.2% waste still can be utilized while maintaining the yarn quality standards.

Keywords: reuse, textile, waste, yarn quality, yarn spinning

INTISARI

Industri tekstil merupakan sektor industri besar yang menghasilkan limbah pada prosesnya, termasuk pada proses pemintalan yang merupakan industri hulu tekstil. Proses pemintalan benang yang mengubah bahan baku serat menjadi benang juga menghasilkan waste atau limbah pada setiap tahapan proses produksinya. Waste yang dihasilkan dari proses blowing hingga winding memiliki karakteristik dan sifat yang bermacam-macam. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi waste yang dihasilkan pada proses pemintalan benang polyester serta melakukan kategorisasi terhadap karakteristik waste yang dapat digunakan kembali (Reuse) atau yang tidak dapat dimanfaatkan kembali (Unused). Parameter proses sortir juga ditentukan untuk dapat menghasilkan reuse material yang siap untuk digunakan kembali sebagai material produksi. Campuran material waste dan material asli non-waste kemudian digunakan untuk produksi dengan 3 macam kombinasi blend ratio yang menunjukkan persentase kandungan waste pada setiap mixing material. Setelah proses mixing dilakukan, produksi dijalankan hingga menghasilkan benang jadi. Pengujian kualitas benang dilakukan untuk menguji pengaruh campuran material waste pada kualitas, dilakukan dengan parameter ketidakrataan, kandungan neps, dan trash yang dilakukan untuk setiap kombinasi campuran. Hasil pengujian menunjukkan hasil campuran material untuk 3 kombinasi yang dibuat memenuhi standar kualitas yang ditetapkan perusahaan. Sehingga dapat disimpulkan berdasarkan uji coba blend ratio pada produksi, semakin rendah persentase waste, maka kualitas benang makin baik. Maka dari itu untuk mengoptimalkan penggunaan waste, hingga 3.2% waste pada campuran material dapat digunakan dengan hasil produksi benang yang masih memenuhi standar kualitas.

Kata kunci: kualitas benang, pemintalan benang, reuse, tekstil, waste.

1. PENDAHULUAN

Salah satu tantangan yang dihadapi oleh industri tekstil terkait dengan isu sustainability adalah terkait pengelolaan limbah. Industri tekstil merupakan salah satu sektor industri yang menjadi sumber polusi dan

penghasil *waste* atau limbah terbesar di dunia (Stanescu, 2021). Limbah ini dihasilkan di setiap tahapan produksi tekstil dari hulu ke hilir, mulai dari proses pemintalan benang, proses pertununan, proses penyempurnaan kain, hingga proses pembuatan pakaian jadi. Proses pemintalan merupakan proses pengolahan bahan baku serat (serat alami atau serat buatan) menjadi benang dengan melalui tahapan proses. Persiapan bahan baku dimulai dari pengambilan bale serat dari gudang berdasarkan pada urutan kedatangan. Proses pemintalan tidak lepas dari timbulnya limbah atau *waste* yang dihasilkan dalam proses produksinya. Semakin banyak *waste* yang dihasilkan maka semakin banyak masalah yang ditimbulkan oleh mesin dan semakin banyak pengeluaran dana perusahaan pada bahan baku, sehingga diperlukan sistem pengelolaan *waste* yang tepat.

Sejalan dengan semakin meningkatnya *awareness* dalam pentingnya memperhatikan isu lingkungan dan bagaimana dapat melakukan utilisasi material dan limbah dengan baik, mulai banyak studi yang dilakukan terkait dengan pemanfaatan *waste* pada tekstil, khususnya di pemintalan. Goyal (2021) telah meneliti bagaimana pengelolaan berbagai tipe *waste* pada proses pemintalan (spinning) dan pertununan (weaving), serta mesin apa saja yang diperlukan untuk membuat *waste* tersebut dapat digunakan kembali atau *recyclable* untuk proses selanjutnya. Studi terkait utilisasi *waste* pada pemintalan benang telah dilakukan dengan menggunakan material *cotton* yang merupakan serat alam ((Arafat & Jalal, 2022; Ute, T. B., Celik, P., & Uzumcu, 2019) menggunakan beberapa jenis *waste* dari proses pemintalan dan pertununan bahan baku *cotton* untuk kemudian dihancurkan menggunakan mesin *mechanical shredder* sehingga kembali menjadi serat untuk dapat diproses menjadi benang. Teknologi dan parameter juga dikembangkan untuk dapat menjalankan produksi dengan spinning *waste* dengan lebih baik, seperti mengoptimalkan proses cleaning *impurities* dan *trash* serat (Kadnikova & Nurmukhambetova, 2022), dan parameter material lain dengan mempertimbangkan tingkat *neps*, dan kandungan serat pendek pada serat (Wanassi et al., 2016).

Berbagai utilisasi *recycled yarns* yang berasal dari *waste* dimana jenis material *cotton* yang paling sering digunakan ((Kanan et al., 2022; Krupincov, 2024; Y. Liu et al., 2020). Sementara pemanfaatan untuk material dari serat buatan untuk proses pemintalan masih jarang ditemukan. Studi terkait *waste* untuk serat buatan lebih ke pemanfaatan limbah produk tekstil pakaian jadi yang diproses ulang menjadi *recycled fibers* atau serat yang dihasilkan dari proses *recycle*, untuk kemudian dimanfaatkan *recycled fibers* nya ((Bécher, W., Bécher, A., & Mohamed, 2018; W. Liu et al., 2018; Yousef et al., 2020), bukan merupakan *waste* yang dihasilkan oleh proses pemintalan itu sendiri.

Padahal serat buatan cenderung lebih tidak ramah lingkungan dibandingkan dengan serat alam, karena memerlukan proses tambahan dalam menghasilkan serat sintesis tersebut. Sehingga perlu untuk dilakukan studi dalam pemanfaatan *waste* pemintalan dari material serat sintesis atau buatan untuk dapat dimanfaatkan kembali pada proses pemintalan. Sehingga utilisasi material yang digunakan menjadi lebih maksimal.

Penelitian ini melakukan studi terkait *waste* yang terdapat pada proses pemintalan dan melakukan identifikasi jenis *waste* yang masih dapat digunakan kembali untuk produksi (*reused*) dan yang tidak (*unused*). Studi ini berfokus pada material dari serat sintesis yang banyak penggunaannya pada produk tekstil yakni Polyester. Untuk memastikan kualitas benang yang dihasilkan oleh material campuran *waste*, perlu dilakukan pengujian kombinasi campuran atau *blend ratio* untuk memperoleh kombinasi campuran material yang terbaik berdasarkan pada pengujian kualitas benang.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada salah satu industri pemintalan di Indonesia, dengan bahan baku serat jenis Polyester. Penelitian melibatkan keseluruhan mesin di proses pemintalan, yakni mesin Blowing, Carding, Drawing, Roving, Ring Spinning, dan Winding, serta mesin pengelolaan limbah yakni mesin hydraulic limbah. Penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi proses penyortiran *waste* proses pemintalan, untuk selanjutnya mendapatkan kategorisasi *waste* dalam keseluruhan proses pemintalan. Kategorisasi ini digunakan untuk melakukan identifikasi *waste* proses pemintalan dan melakukan penyortiran pada *waste* yang masih dapat dimanfaatkan dan yang tidak dapat digunakan lagi. Berdasarkan hasil sortir, dilakukan uji coba produksi menggunakan campuran material *waste* tersebut untuk menentukan kombinasi campuran dan *blend ratio* atau rasio pencampuran yang tepat untuk proses pemintalan benang menggunakan polyester. Uji coba dilakukan dalam 3 kombinasi *blend ratio* seperti pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Kombinasi *Blend ratio* Campuran Material *Waste*

Kombinasi	Jenis <i>Waste</i>	Persentase <i>Waste</i>	Persentase Serat Polyester
1	<i>Waste Sliver</i>	0,3%	99,7%
	<i>Waste Sliver</i>	1,8%	
2	Pneuma	0,7%	97,2%
	<i>Waste lainnya</i>	0,3%	
	<i>Waste Sliver</i>	1,9%	
3	Pneuma	0,9%	96,8%
	<i>Waste lainnya</i>	0,4%	

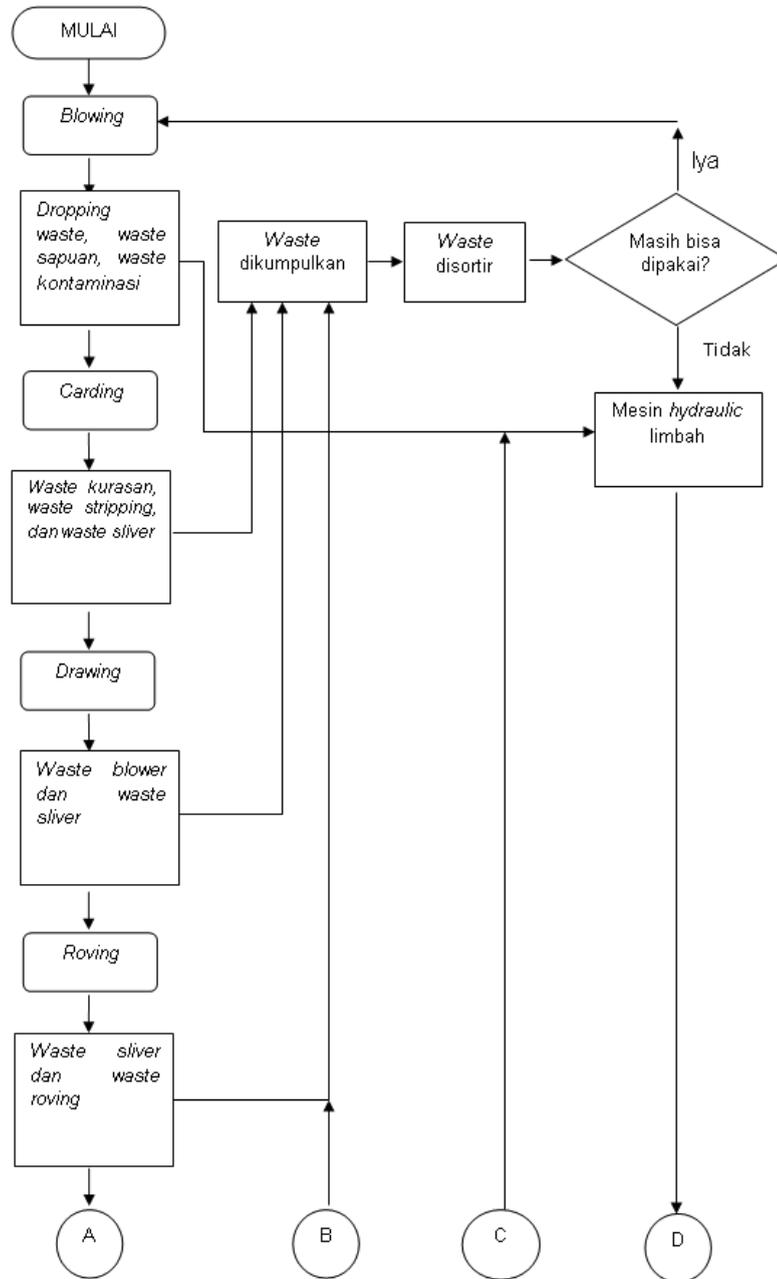
Masing-masing kombinasi *blend ratio* tersebut digunakan sebagai material produksi benang, kemudian dilakukan pengujian kualitas benang yakni pengujian ketidakrataan benang U% dengan koefisien variasi CV%, Pengujian *Neps*, dan Pengujian *Trash*. U% menunjukkan ketidakrataan benang dengan mengukur penyimpangan berat benang per satuan panjang, sedangkan CV% adalah perbandingan antara simpangan standar dan harga atau nilai rata-rata yang dinyatakan dengan persentase. Pengujian *Neps* akan menguji kandungan serat yang menggumpal dan tidak dapat diuraikan, sementara Pengujian *Trash* akan menguji kandungan serat pendek yang dinyatakan dalam persentase. Pengujian CV% dan U% menggunakan Uster Tester dengan setiap kombinasi campuran material, dilakukan pengambilan sampel dan dilakukan 5 kali pengambilan sampel. Sementara pengujian *Neps* dan *Trash* dilakukan menggunakan mesin NATI dilakukan dengan 3 kali pengambilan sampel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

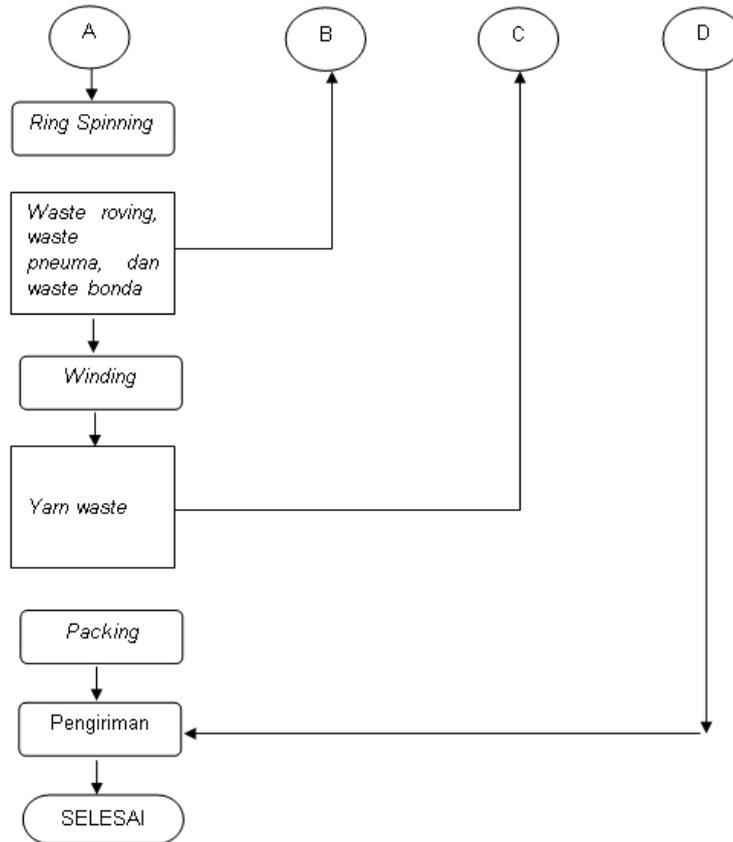
3.1. Identifikasi dan Kategorisasi *Waste* pada Proses Pemintalan

Pemintalan merupakan proses produksi pembuatan benang dengan bahan baku serat. Proses pemintalan melibatkan beberapa tahapan proses dan berbagai mesin, untuk setiap tahapan proses, terdapat *waste* bahan yang dihasilkan sehingga perlu diidentifikasi *waste* yang dihasilkan untuk dapat mengetahui *waste* yang dapat dimanfaatkan. Identifikasi *waste* dimulai dengan menganalisis proses penyortiran *waste* dengan menggunakan flowchart yang dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan flowchart pada Gambar 1 dapat disimpulkan bahwa pada setiap proses pemintalan menghasilkan *waste*. Mesin blowing menghasilkan dropping *waste*, material yang terkontaminasi dan *waste* sapuan. Mesin carding menghasilkan *waste* striping, *waste* sliver, dan *waste* blower. Mesin drawing menghasilkan *waste* sliver, dan *waste* blower. Mesin roving menghasilkan *waste* sliver, *waste* roving, dan *waste* blower. Mesin ring spinning menghasilkan *waste* roving, *waste* pneuma, dan *waste* bonda. Mesin winding menghasilkan yarn *waste*. Semua *waste* yang dihasilkan akan dikumpulkan, selanjutnya dilakukan proses sortir material *waste* dengan cara dilihat dari sifat serat dan visualnya. Serat yang kasar, kotor, terkontaminasi grease/oli, dan tidak dapat terurai akan dikategorikan sebagai *unuse waste*. Serat yang halus, dapat terurai, tidak terkontaminasi bahan lain dikategorikan sebagai *reuse waste*. *Unused waste* yang meliputi dropping *waste*, *waste* sapuan, *waste* kontaminasi, *waste* stripping, *waste* blower, *waste* roving, pneuma kasar, bonda kasar, *waste* sesetan, *waste* sloughing re-winding, yarn *waste* QC. *Unused waste* ini yang akan dikumpulkan setelah itu akan diproses menggunakan mesin hydraulic limbah untuk menjadi bentuk ball kemudian dijual, *unused waste*. Sementara *reuse waste* seperti *waste* kurasan, *waste* sliver, pneuma halus, dan bonda halus akan digunakan kembali untuk produksi.



Gambar 1. Proses Penyortiran Waste Pemintalan



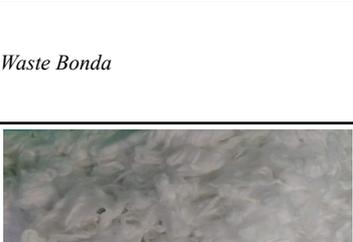
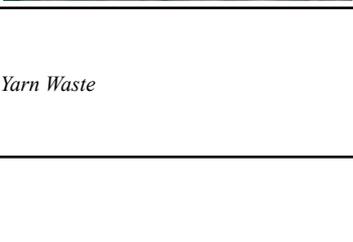
Gambar 2. Proses Penyortiran *Waste* Pemintalan (Lanjutan)

Penelitian ini mengidentifikasi kategorisasi dari *waste* yang dihasilkan pada proses pemintalan, yang dapat dilihat pada Tabel 2:

Tabel 2. Kategorisasi *Waste* Proses Pemintalan

No.	Gambar	Jenis <i>waste</i>	Karakteristik <i>waste</i>	Sumber <i>waste</i>	Potensi reuse <i>waste</i>	Produk <i>waste</i>
1.		<i>Dropping Waste</i>	Terdiri dari serat pendek yang jatuh pada mesin <i>bale opener</i> dan <i>condensor</i>	Mesin <i>blowing</i>	Tidak bisa diproduksi kembali	Ball material yang akan dijual
2.		<i>Waste Sapuan</i>	Secara visual <i>waste</i> sapuan kotor dan terkontaminasi oleh material lain yang berada dilantai	Mesin <i>blowing</i>	Tidak bisa diproduksi kembali	Ball material yang akan dijual

No.	Gambar	Jenis waste	Karakteristik waste	Sumber waste	Potensi reuse waste	Produk waste
3.		Waste Kontaminasi	serat baru yang terkontaminasi material lain seperti plastik bungkus material	Mesin <i>blowing</i>	Tidak bisa diproduksi kembali	Ball material yang akan dijual
4.		Waste Stripping	Terdiri dari serat pendek dan serat rusak.	Mesin <i>carding</i>	Tidak dapat direuse	Ball material yang akan dijual
5.		Waste Kurasan	Sifat serat dapat terurai	Mesin <i>carding</i>	Bisa direuse	Benang polyester
6.		Waste Blower	Sifat serat kasar, berbentuk menggumpal seperti handuk, dan sulit terurai	Mesin <i>drawing</i> , mesin <i>roving</i> , dan <i>ring spinning</i>	Tidak bisa diproduksi kembali	Ball material yang akan dijual
7.		Waste Sliver	Waste sliver berberbentuk panjang, sifat serat halus, dan dapat terurai	Mesin <i>carding</i> , mesin <i>drawing</i> , dan mesin <i>roving</i>	Bisa direuse	Benang polyester

No.	Gambar	Jenis waste	Karakteristik waste	Sumber waste	Potensi reuse waste	Produk waste
8.		Waste Roving	Waste roving berbentuk panjang dan berdiameter lebih kecil daripada sliver.	Mesin roving	Tidak bisa diproduksi kembali	Ball material yang akan dijual
			Waste pneuma terdiri dari dua jenis, pneuma halus dan pneuma kasar	Mesin ring spinning		Ball material yang akan dijual
9.		a. <i>Pneuma Kasar</i>	Sifat serat kasar, tidak dapat terurai, berbentuk seperti handuk	<i>Pneuma fill tube</i>	Tidak bisa diproduksi kembali	Ball material yang akan dijual
		b. <i>Pneuma Halus</i>	Sifat serat halus, masih bisa terurai,	<i>Pneuma fill tube</i>	Bisa direuse	Benang polyester
			Waste bonda terdiri dari dua jenis, bonda kasar dan bonda halus	Mesin ring spinning		Ball material yang akan dijual
10.		a. <i>Bonda Kasar</i>	Sifat serat keras dan kasar, tidak dapat diurai	<i>Lapping di top roll, dan top cleaner</i>	Tidak bisa diproduksi kembali	Ball material yang akan dijual
		b. <i>Bonda Halus</i>	Sifat serat halus, tidak terkena lapping keras	<i>Lapping di top cleaner</i>	Bisa direuse	Benang polyester
11.	<i>Yarn Waste</i>		<i>Yarn waste</i> terdiri dari tiga jenis, <i>waste sesetan, waste sloughing, yarn waste QC</i>	Mesin winding	Tidak bisa diproduksi kembali	Ball material yang akan dijual

No.	Gambar	Jenis waste	Karakteristik waste	Sumber waste	Potensi reuse waste	Produk waste
		a. <i>Waste Seseatan</i>	Berbentuk benang, tetapi sudah terpotong.	Berasal dari <i>cop reject</i> pada mesin <i>winding</i> kemudian dipotong menggunakan alat potong berupa silet	Tidak bisa diproduksi kembali	Ball material yang akan dijual
		b. <i>Waste Sloughing re-winding</i>	Sudah menjadi benang sehingga tidak dapat terurai kembali	Berasal dari benang yang di <i>sloughing</i> pada mesin <i>winding</i>	Tidak bisa diproduksi kembali	Ball material yang akan dijual
		c. <i>Yarn Waste QC (Quality Control)</i>	<i>Waste</i> benang yang tidak dapat terurai berasal dari sisa hasil pengecekan kualitas benang	Berasal dari departemen <i>Quality control</i>	Tidak bisa diproduksi kembali	Ball material yang akan dijual

Sebelum material *waste* dapat digunakan untuk produksi, perlu dilakukan terlebih dahulu penyortiran material dengan tahapan sebagai berikut:

1. Tahap pengecekan material

Pada tahap ini, harus dipastikan *waste* tersebut tidak terkontaminasi oleh material lain seperti plastik karung bungkus material, kotor terkena oli/greas. Tahap ini Penting karena Semua *waste* akan diperiksa kembali menggunakan sinar ultraviolet bertujuan untuk mencegah terjadinya produk belang.

2. Tahap pencabikan material

Tahap ini sangat penting karena *waste* yang dapat di-reuse memiliki bentuk yang panjang dan bulat sehingga perlu dilakukan pencabikan agar saat material *waste* diproses tidak mengakibatkan lapping pada mesin bale opener/plucker. Proses pencabikan dilakukan oleh operator blowing secara manual menggunakan tangan. Penerapan tahap pencabikan *waste* adalah sebagai berikut:

- Waste* sliver dipotong beberapa bagian, masing-masing berukuran ± 20 cm
- Waste* bonda halus yang semula berbentuk seperti donat dicabik menjadi bentuk yang sejajar
- Waste* pneuma halus harus dicabik-cabik agar material berbentuk pendek

3. Pemasangan material *reuse waste* pada mesin blowing.

Waste yang sudah melalui tahap pengecekan dan pencabikan, kemudian langsung ditempatkan pada laydown mesin blendomat/plucker di area blowing. Material *reuse waste* ditempatkan pada posisi tengah atau di sela-sela material baru dengan tujuan agar tercampur merata antara material baru dan material *reuse waste*.

3.2 Uji Coba Produksi Benang Polyester dengan Campuran Material Waste

Berdasarkan analisis sebelumnya yang melakukan identifikasi *waste*, selanjutnya dilakukan uji coba produksi benang polyester dengan menggunakan campuran material *waste* yang masih dapat digunakan. Sehingga uji coba produksi dilakukan dengan memanfaatkan material *waste* dari *Waste Sliver*, *Pneuma*, dan *Waste* lain yang masih dapat digunakan lagi sesuai dengan kombinasi *blend ratio* pada Tabel 1. Hasil pengujian CV% dan U% dari 5 tes replikasi dapat dilihat pada Tabel 3, dan hasil pengujian *Neps* dan *Trash* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Pengujian Ketidakrataan Benang (CV% dan U%)

Tes	CV%			U%		
	Kombinasi 1 (Waste 0,3%)	Kombinasi 2 (Waste 2,8%)	Kombinasi 3 (Waste 3,2%)	Kombinasi 1 (Waste 0,3%)	Kombinasi 2 (Waste 2,8%)	Kombinasi 3 (Waste 3,2%)
1	2.85	3.07	2.86	2.28	2.28	2.57
2	2.12	2.45	2.98	2.53	2.72	2.78
3	2.59	2.98	3.17	2.06	2.57	2.83
4	2.37	2.58	3.12	2.36	2.84	2.52
5	2.53	3.12	2.97	2.87	2.34	3.05
Mean	2.49	2.86	3.02	2.42	2.55	2.75

Nilai standar pengujian adalah maksimal CV% 3.75 dan maksimal U% 3.0 sehingga seluruh hasil pengujian hasil produksi dengan campuran material *waste* masih sesuai dengan standar yang ditetapkan. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi persentase *waste* dalam campuran material, nilai CV% dan U% juga semakin tinggi, yang menunjukkan ketidakrataan benang makin tinggi. Namun hingga persentase *waste* yang paling besar yakni 3,2%, hasil pengujian CV% dan U% nya masih aman di bawah standar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk dapat memaksimalkan penggunaan *waste* dapat dimaksimalkan hingga 3,2%, dengan tetap memperhatikan pula kombinasi *waste* yang digunakan adalah *waste* yang sudah melewati proses sortir dan memenuhi persyaratan untuk dapat digunakan kembali untuk produksi sesuai dengan kategorisasi *waste* yang telah dibuat.

Tabel 4. Hasil Pengujian NATI (*Neps* dan *Trash*)

Tes	<i>Neps</i>			<i>Trash</i>		
	Kombinasi 1 (Waste 0,3%)	Kombinasi 2 (Waste 2,8%)	Kombinasi 3 (Waste 3,2%)	Kombinasi 1 (Waste 0,3%)	Kombinasi 2 (Waste 2,8%)	Kombinasi 3 (Waste 3,2%)
1	0	0	0	1	1	1
2	0	0	0	0	0	4
3	0	0	0	1	2	1
Mean	0	0	0	0.6	1.0	1.0

Sementara itu, berdasarkan hasil pengujian NATI diperoleh nilai rata-rata *Neps* sebesar 0 untuk seluruh kombinasi, sedangkan *Trash* sebesar 0,6% untuk kombinasi 1, 1% untuk kombinasi 2, dan 1% untuk kombinasi 3. Apabila dibandingkan dengan standar pengujian yang telah ditetapkan oleh perusahaan adalah maksimal *Neps* 3.0 dan maksimal *Trash* 0. Sehingga dapat dilihat bahwa baik *Neps* maupun *Trash* masih memenuhi standar yang telah ditentukan. *Neps* untuk tiga kombinasi sama-sama menghasilkan nilai yang sama yaitu 0, ada kecenderungan bahwa adanya campuran material *waste* pada bahan baku tidak terpengaruh terhadap jumlah *Neps* pada benang. Sementara untuk tingkat *Trash*, semakin tinggi persentase *waste*, tingkat *trash* juga semakin tinggi, meskipun persentase *trash* untuk Kombinasi *waste* 2,8% dan 3,2% menunjukkan nilai yang sama. Dengan hasil ini dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan *waste* hingga 3.2% masih aman dan menghasilkan tingkat *trash* sesuai dengan standar.

4. KESIMPULAN

Studi ini dilakukan untuk mengetahui jenis dan tipe *waste* yang dihasilkan pada proses pemintalan benang, dan bagaimana kategorisasi *waste* tersebut untuk dapat dimanfaatkan kembali. Selanjutnya untuk memastikan *waste* dapat dimanfaatkan, studi ini juga menyelidiki pengaruh adanya campuran material *waste* pada proses pemintalan dan bagaimana kualitas benang yang dihasilkan dari hasil produksi dengan material campuran tersebut. 2 kategori *waste* ditentukan yakni *reused* dan *unused waste* tergantung pada apakah *waste* tersebut masih dapat digunakan kembali. Sehingga dari 15 keseluruhan kategori yang diidentifikasi diperoleh 4 kategori *waste* yang dapat di-reuse, yakni tipe *waste* *sliver*, *waste* *kurasan*, *pneuma halus*, dan *bonda halus*. Hasil uji coba produksi dengan 3 kombinasi campuran material *waste* menunjukkan bahwa campuran material *waste* hingga 3.2% dari keseluruhan material masih dapat menghasilkan benang yang memenuhi standar kualitas yakni ketidakrataan benang, *Neps*, dan *Trash*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arafat, Y., & Jalal, A. (2022). Heliyon Recycled fi bers from pre- and post-consumer textile *waste* as blend constituents in manufacturing 100 % cotton yarns in ring spinning : A sustainable and eco-friendly approach. *Heliyon*, 8(October), e11275. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11275>
- Bécher, W., Bécher, A., & Mohamed, B. H. (2018). (2018). *INDUSTRIAL COTTON WASTE : RECYCLING , RECLAIMED FIBER BEHAVIOR AND QUALITY PREDICTION OF ITS BLEND*. 28(11), 14–20.
- Goyal, A. (2021). Management of spinning and weaving wastes. *Waste Management in the Fashion and Textile Industries*, 61–82.
- Kadnikova, O., & Nurmukhambetova, B. (2022). *Optimization of Technology for the Use of Spinning Waste in Yarn Production*. 26(1), 1080–1091.

- Kanan, M., Wannassi, B., Barham, A. S., Hassen, M. Ben, & Assaf, R. (2022). *The Quality of Blended Cotton and Denim Waste Fibres : The Effect of Blend ratio and Waste Category*.
- Krupincov, G. (2024). *Heliyon Assessment of the effects of the use of preconsumer cotton waste on the quality of rotor yarns*. 10(February). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34482>
- Liu, W., Liu, S., Liu, T., Liu, T., Zhang, J., & Liu, H. (2018). Eco-friendly post-consumer cotton waste recycling for regenerated cellulose fibers. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.10.046>
- Liu, Y., Huang, H., Zhu, L., Zhang, C., Ren, F., & Liu, Z. (2020). *Could the recycled yarns substitute for the virgin cotton yarns : a comparative LCA*. September. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01815-8>
- Stanescu, M. D. (2021). *State of the art of post-consumer textile waste upcycling to reach the zero waste milestone*. 14253–14270.
- Ute, T. B., Celik, P., & Uzumcu, M. B. (2019). Utilization of cotton spinning mill wastes in yarn production. *Textile Industry and Environment*, 85, 13–17.
- Wanassi, B., Azzouz, B., & Ben, M. (2016). Value-added waste cotton yarn : Optimization of recycling process and spinning of reclaimed fibers. *Industrial Crops & Products*, 87, 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.020>
- Yousef, S., Tatariants, M., Tichonovas, M., & Kliucininkas, L. (2020). *Sustainable green technology for recovery of cotton fibers and polyester from textile waste*. 254. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120078>