

PENGARUH KECEPATAN DELIVERY ROLL TERHADAP NILAI DENSITAS VOLUME GULUNGAN BENANG RANGKAP PADA PROSES DOUBLING

Andrian Wijayono^{1*}, Verawati Nurazizah², Nurfadilah Ikhsani³, Fahmi Fawzy Rusman⁴, Wilda Murti⁵, Reski Alya Pradifta⁶

^{1,2} Prodi Teknik Pembuatan Kain Tenun, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk, Tekstil Surakarta ^{3,4} Prodi Teknik Pembuatan Benang, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta ^{5,6} Prodi Teknik Pembuatan Garmen, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta

e-mail: andrianw@kemenperin.go.id¹, verawatinurazizah@kemenperin.go.id²,
nurfadilahikhsani@kemenperin.go.id³, fahmirusman@kemenperin.go.id⁴,
wmurti@ak-tekstilsolo.ac.id⁵, reskialyap@kemenperin.go.id⁶

ABSTRAK

Penggulungan benang merupakan proses krusial dalam industri tekstil di mana densitas volume (kepadatan) gulungan menjadi parameter mutu yang esensial. Kepadatan gulungan secara langsung memengaruhi tegangan benang pada proses selanjutnya seperti *warping* dan *twisting*. Proses *doubling*, yang menggandakan benang sebelum proses *twisting*, memerlukan pengaturan densitas gulungan yang tepat untuk memenuhi standar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan *delivery roll* pada mesin *doubling* terhadap densitas volume gulungan benang rangkap. Metode eksperimental digunakan dengan membuat empat sampel benang katun Ne1 30 pada kecepatan *delivery roll* yang berbeda: 150, 300, 550, dan 750 meter/menit. Parameter lain seperti beban *ring tension* (10 gram) dan waktu akselerasi (90 detik) dijaga konstan untuk semua sampel. Hasil eksperimen menunjukkan adanya tren positif, di mana semakin tinggi kecepatan *delivery roll*, semakin besar pula nilai densitas gulungan yang dihasilkan. Dari empat variasi kecepatan, hanya kecepatan 550 dan 750 meter/menit yang mampu menghasilkan densitas gulungan sesuai standar proses *twisting* (di atas 0,4 gram/cm³). Analisis statistik menggunakan ANAVA juga mengonfirmasi bahwa kecepatan *delivery roll* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap densitas volume gulungan (nilai signifikansi 0,05). Dengan demikian, disimpulkan bahwa kecepatan *delivery roll* merupakan parameter kunci yang perlu dioptimalkan untuk mencapai densitas gulungan benang rangkap yang diinginkan.

Kata Kunci: Benang Rangkap, Densitas Volume Gulungan Benang, Kecepatan Delivery Roll

ABSTRACT

Yarn winding is a crucial process in the textile industry where the volume density (density) of the roll is an essential quality parameter. The roll density directly affects the yarn tension in subsequent processes such as *warping* and *twisting*. The doubling process, which doubles the yarn before the twisting process, requires proper roll density settings to meet standards. This study aims to analyze the effect of variations in the delivery roll speed on a doubling machine on the volume density of doubled yarn rolls. An experimental method was used by making four samples of Ne1 30 cotton yarn at different delivery roll speeds: 150, 300, 550, and 750 meters/minute. Other parameters such as ring tension load (10 grams) and acceleration time (90 seconds) were kept constant for all samples. The experimental results showed a positive trend, where the higher the delivery roll speed, the higher the resulting roll density value. Of the four speed variations, only speeds of 550 and 750 meters/minute were able to produce roll densities according to the twisting process standard (above 0.4 grams/cm³). Statistical analysis using ANOVA also confirmed that the delivery roll speed has a significant effect on the roll volume

density (significance value 0.05). Thus, it is concluded that the delivery roll speed is a key parameter that needs to be optimized to achieve the desired double yarn roll density.

Keywords: *Delivery Roll Speed, Plied Yarn, Volumetric Density Of Yarn Packages*

PENDAHULUAN

Tahap penggulungan (*winding*) merupakan sebuah proses fundamental dan esensial dalam alur persiapan pertentunan, sebagaimana ditekankan oleh para ahli seperti Gandhi (2020) serta Drean & Decrette (2022). Proses ini berfungsi untuk mentransfer benang dari *bobbin* atau *cop* hasil pemintalan ke dalam bentuk gulungan yang lebih besar, seragam, dan praktis. Produk akhir dari tahap ini, yaitu gulungan benang, memiliki peran vital karena kualitasnya secara langsung menentukan efisiensi dan kelancaran proses-proses berikutnya. Kualitas gulungan benang yang buruk dapat menyebabkan masalah signifikan seperti seringnya benang putus, yang pada akhirnya menurunkan produktivitas mesin secara keseluruhan. Pengaruh ini terasa pada berbagai tahapan, mulai dari proses penghanian (*warping*) (Fernando & Kuruppu, 2015; Hossain et al, 2019; Pereira et al, 2021), penggulungan pakan (*pirn-winding*) (Hossain et al, 2019), pertentunan modern tanpa teropong (*shuttleless*) (Eren et al, 2023; Hamdani, 2017), perajutan (*knitting*) (Ray & Blaga, 2022), hingga pencelupan (*dyeing*) (Ali et al, 2021).

Kualitas gulungan benang dievaluasi melalui pendekatan multifaset yang mencakup parameter mutu intrinsik benang dan karakteristik fisik gulungan itu sendiri. Parameter mutu benang pada gulungan menjadi fondasi utama, meliputi aspek-aspek kritis seperti nomor benang yang menentukan kehalusannya, kekuatan tarik, jumlah antihan (*twist*), dan persentase mulur benang. Selain itu, evaluasi juga mencakup tingkat ketidakrataan benang (*unevenness*), banyaknya serat yang menonjol atau bulu benang (*hairiness*), indeks cacat benang (*imperfection index*), serta kekuatan pada titik sambungan (*splice strength*). Potensi adanya kontaminasi serat asing juga menjadi perhatian penting (Gandhi, 2020; Murti et al, 2025; Nurazizah et al, 2025; Rumiati et al, 2025; Rusman et al, 2024; Rusman et al, 2025; Wijayono & Murti, 2024). Di sisi lain, mutu gulungan secara fisik dinilai dari kepadatan atau densitas volume, kekerasan permukaan, keseragaman panjang benang antar gulungan, pola penggulungan yang presisi, serta ada atau tidaknya cacat visual pada gulungan (Ali et al, 2021; Celik & Eren, 2019a; Tuan et al, 2024).

Pengaturan densitas penggulungan yang tidak tepat dapat menimbulkan serangkaian masalah yang merugikan. Jika densitas penggulungan diatur terlalu rendah, gulungan yang dihasilkan akan menjadi lunak, tidak stabil, dan rentan mengalami perubahan bentuk selama proses transportasi, penyimpanan, maupun saat dipasang di mesin. Kondisi ini juga menyulitkan operator, sebab ketika benang putus, ujung benang cenderung tenggelam atau melekat pada permukaan gulungan yang lunak, sehingga memperlambat proses penyambungan (Ali et al, 2021; Celik & Eren, 2019b; Tuan et al, 2024; Pereira et al, 2021). Sebaliknya, densitas yang terlalu tinggi juga sama merugikannya. Tegangan benang yang berlebihan selama proses penggulungan akan meningkatkan frekuensi putus benang, menyebabkan banyaknya sambungan dan menurunkan produktivitas. Selain itu, pada proses pencelupan, gulungan yang terlalu padat akan menghalangi penetrasi zat warna ke lapisan dalam, menghasilkan pewarnaan yang tidak merata (Ali et al, 2021; Celik & Eren, 2019b; Tuan et al, 2024; Pereira et al, 2021).

Setiap jenis proses dalam industri tekstil menuntut karakteristik gulungan benang yang berbeda dan spesifik untuk mencapai hasil optimal. Optimalisasi properti gulungan, terutama densitasnya, menjadi kunci efisiensi. Sebagai contoh, untuk proses pencelupan benang dalam bentuk gulungan, diperlukan gulungan yang lunak (*soft package*) agar sirkulasi larutan zat warna dapat menembus hingga ke lapisan terdalam secara merata. Untuk benang kapas, densitas penggulungan yang direkomendasikan berada pada rentang $0,28 \pm 0,4 \text{ g/cm}^3$. Di sisi lain, untuk

proses-proses mekanis berkecepatan tinggi seperti penghanian (*warping*), penggulungan pakan (*pirn-winding*), perajutan, dan pertenunan *shuttleless*, dibutuhkan gulungan yang lebih padat dan stabil. Densitas pada rentang 0,4 hingga 0,6 g/cm³ dianggap ideal karena mampu memastikan benang dapat ditarik keluar dari gulungan dengan lancar (*unwinding*) tanpa merusak struktur gulungan (Tuan et al, 2024). Penyesuaian ini menunjukkan pentingnya rekayasa proses penggulungan yang presisi.

Terdapat beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa terdapat banyak faktor yang memengaruhi nilai densitas penggulungan. Densitas penggulungan bervariasi tergantung pada diameter gulungan dan sudut silang 2β dari lilitan benang pada gulungan (Ali et al, 2021; Celik & Eren, 2019b; Doniyor & Khabibulla, 2021). Ketika sudut silang 2β adalah nol, gulungan akan memiliki densitas penggulungan tertinggi (pada gulungan tipe paralel), dan ketika 2β adalah 90°, gulungan akan memiliki densitas penggulungan terendah (Ali et al, 2021; Celik & Eren, 2019b; Tuan et al, 2024). Densitas penggulungan meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan benang. Saat menggulung benang katun 100% berukuran 30 tex dengan kecepatan penggulungan 10 m/s, jika tegangan benang meningkat sebesar 0,01 N, maka densitas penggulungan akan meningkat sebesar 0,005 g/cm³ (Ali et al, 2021; Celik & Eren, 2019b; Tuan et al, 2024). Kecepatan penggulungan dapat diatur dengan cara mengubah nilai kecepatan delivery roll pada mesin penggulung (Putra et al, 2019). Densitas penggulungan juga dipengaruhi oleh tekanan P yang diterima gulungan di atas silinder beralur (*grooved drum*). Pada penggulungan benang katun 100% ukuran 30 tex dengan kecepatan 800 m/menit, semakin besar tekanan P , semakin tinggi pula densitas penggulangannya; setiap kenaikan tekanan sebesar 1 N akan meningkatkan densitas penggulungan sebesar 0,004 g/cm³ (Tuan et al, 2024). Pada penggulungan benang katun 100% dengan kecepatan 450 m/menit, jika tekanan gulungan pada silinder beralur adalah 20 N, dan tegangan benang meningkat dari 8 hingga 30 cN, maka densitas penggulungan akan meningkat dari 0,381 g/cm³ menjadi 0,478 g/cm³ (Tuan et al, 2024). Berdasarkan studi tersebut, saat dibutuhkan densitas penggulungan tertentu, maka apabila tegangan benang dinaikkan, tekanan gulungan pada silinder beralur harus dikurangi (Doniyor & Khabibulla, 2021). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa peningkatan tegangan benang akan meningkatkan kekerasan gulungan, dan hubungan antara densitas penggulungan dan kekerasan gulungan bersifat linear (Çelik & Eren, 2019b). Hasil penelitian juga telah membuktikan adanya hubungan linear antara kekerasan gulungan dan beberapa parameter yang berkaitan dengan tegangan benang (Zhang et al, 2025). Penelitian lainnya menemukan bahwa semakin tinggi tegangan benang saat penggulungan, maka semakin tinggi densitas dan kekerasan (nilai Shore) gulungan, serta semakin besar perbedaan warna antar lapisan benang di dalam gulungan ketika dilakukan pencelupan. Praček et al (2016) juga telah menentukan hubungan matematis antara tiga parameter: kecepatan penggulungan, beban pada cakram gesek pengatur tegangan benang, dan tinggi balon benang terhadap densitas gulungan untuk tiga jenis benang: katun, poliester, dan campuran poliester-katun.

Sebagian besar penelitian sebelumnya cenderung berfokus pada fenomena penggulungan benang tunggal, namun pengaruh kecepatan penggulungan terhadap densitas volume dari gulungan benang berjenis benang rangkap pada mesin *doubling* masih belum diamati oleh para peneliti sebelumnya. Padahal bentuk gulungan rangkap ini sangat umum ditemui di industri, terutama pada proses *twisting* (Parpiev et al, 2023; Parpiev et al, 2024). Kepadatan gulungan sangat berpengaruh pada tegangan benang saat proses *unwinding* berlangsung (Praček et al, 2016), sehingga kepadatan gulungan pada benang rangkap juga penting untuk diteliti. Penelitian ini berkaitan dengan pentingnya mempelajari aspek yang mempengaruhi variabel densitas volume pada benang rangkap, terutama pada variabel kecepatan penggulungan di proses *doubling* yang umum digunakan di industri tekstil. Tujuan

dari penelitian ini adalah menemukan adanya pengaruh kecepatan penggulungan benang rangkap yang dapat menghasilkan kepadatan gulungan (densitas volume) yang tepat sesuai dengan proses lanjutannya. Penelitian ini mengamati pengaruh dari kecepatan penggulungan benang dengan jenis benang rangkap terhadap densitas volume gulungan pada proses *doubling*.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Pada penelitian ini telah digunakan mesin *doubling* merk Lewhaa dengan model L-202SDI-86708 Lab. Workshop - Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta untuk menghasilkan gulungan benang. Mesin ini bekerja dengan cara menggabungkan dua atau tiga helai benang dari beberapa gulungan menjadi satu gulungan benang. Beberapa gulungan benang bahan baku dapat ditempatkan pada creel di bagian bawah mesin. Benang lalu ditarik melalui jalur benang dan unit ring tension benang, lalu masuk ke unit pendeteksi putus benang, dan masuk ke unit penggulungan benang. Gambar 1 menunjukkan mesin *doubling* yang digunakan untuk membuat gulungan benang rangkap pada penelitian ini. Mesin tersebut dapat menggulung benang dengan kecepatan yang dapat diatur pada rentang nilai 0 – 800 meter/menit. Akselerasi kecepatan penggulungan dapat diatur pada mesin tersebut dalam satuan detik, yaitu jumlah detik yang diperlukan untuk mesin menggulung dari kecepatan nol menuju nilai kecepatan yang diatur. Panjang gulungan dapat diatur untuk menyeragamkan jumlah panjang untuk tiap gulungan benang. Gambar 2 menunjukkan tampilan dari panel untuk mengatur kecepatan penggulungan, panjang gulungan dan kecepatan akselerasi penggulungan pada mesin *doubling* merk Lewhaa dengan model L-202SDI-86708.



Gambar 1. Mesin *doubling* untuk membuat gulungan rangkapan benang



Gambar 2. Tampilan panel pada mesin *doubling* untuk mengatur kecepatan penggulungan (*set speed*), kecepatan akselerasi penggulungan (*acc time*), dan panjang untuk tiap gulungan benang (*set length*)

Pada penelitian ini akan mengamati pengaruh kecepatan penggulungan benang terhadap kepadatan gulungan benang (densitas volume gulungan benang). Untuk mengetahui pengaruh dari kecepatan tersebut, maka pada penelitian ini telah dilakukan variasi kecepatan penggulungan pada nilai 150 meter/menit, 300 meter/menit, 550 meter/menit, dan 750 meter/menit sesuai dengan Tabel 1. Waktu akselerasi kecepatan penggulungan untuk setiap jenis sampel diatur sesuai dengan standar mesin, yaitu pada nilai 90 detik. Jumlah ring tension yang digunakan untuk setiap sampel juga ditetapkan pada nilai 10 gram. Agar masing-masing gulungan memiliki dimensi yang tidak jauh berbeda, maka panjang benang per gulungan diatur pada nilai 4000 ± 15 meter. Pengaturan tersebut diambil dengan pertimbangan bahwa hanya variabel kecepatan penggulungan yang berpengaruh terhadap kepadatan gulungan.

Tabel 1. Parameter setelan mesin *doubling* untuk setiap sampel gulungan benang rangkap

Jenis Sampel	Kecepatan Penggulungan (meter/menit)	Waktu Akselerasi (detik)	Ring tension benang (gram)	Panjang benang per gulungan (meter)
A	150	90	10	4000 ± 15
B	300			
C	550			
D	750			

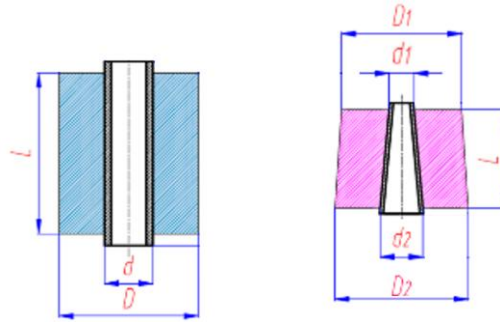
Bahan baku benang tunggal (*single yarn*) yang digunakan adalah benang *cotton* dengan nomor Ne₁ 30 dan jumlah antihan TPI 14,7. Setiap sampel ditetapkan jumlah rangkapan yang sama, yaitu sejumlah 3 rangkapan. Rangkapan tersebut dibuat dengan menggunakan variabel kecepatan penggulungan sebesar 150 meter/menit, 300 meter/menit, 550 meter/menit, dan 750 meter/menit. Tabel 2 menunjukkan bahan baku benang, jumlah rangkapan benang dan kecepatan penggulungan benang untuk setiap sampel. Pada penelitian ini telah dibuat sejumlah 12 sampel gulungan benang dengan rincian sesuai pada Tabel 2.

Tabel 2. Bahan baku benang, jumlah rangkapan, kecepatan *delivery roll*, dan jumlah gulungan benang untuk setiap sampel

Jenis Sampel	Kecepatan penggulungan (meter/menit)	Bahan baku benang tunggal	Jumlah rangkapan	Jumlah gulungan benang
A	150	Cotton Ne ₁ 30	3 rangkapan	3 gulungan
B	300			3 gulungan
C	550			3 gulungan
D	750			3 gulungan
Total gulungan benang yang dibuat				12 gulungan

Densitas volume gulungan benang dihitung dengan cara membagi massa benang terhadap volume gulungan benang. Umumnya densitas gulungan benang dinyatakan dalam satuan gram/cm³. Massa benang merupakan berat benang (berat netto) pada sebuah gulungan, yang diperoleh dengan cara menghitung selisih antara berat gulungan isi dan berat gulungan kosong. Volume gulungan benang dapat ditentukan dengan cara menghitung dimensi ukuran tinggi gulungan (L), diameter bobbin (d), dan diameter gulungan luar (D). Untuk bentuk gulungan cones terdapat perbedaan pada ukuran atas dan bawah gulungan ($d_1 < d_2$ dan $D_1 < D_2$), sedangkan pada bentuk gulungan cheese tidak terdapat perbedaan pada ukuran atas dan bawah ($d_1 = d_2$ dan $D_1 = D_2$). Gambar 3 menunjukkan ilustrasi dimensi ukuran pada gulungan benang yang digunakan dalam penghitungan volume gulungan benang. Rumusan Wang *et al* (2023) pada persamaan (1) dapat digunakan untuk menghitung densitas volume gulungan

benang berbentuk cones, sedangkan persamaan (2) digunakan untuk menghitung volume gulungan benang berbentuk cheese. Densitas gulungan benang dapat dihitung dengan membagi nilai netto benang (dalam satuan gram) terhadap volume benang (dalam satuan cm^3), sesuai rumusan Wang *et al* (2023) pada persamaan (3).



Gambar 3. Ilustrasi dimensi ukuran pada gulungan benang yang digunakan dalam penghitungan volume gulungan benang

$$V = \frac{L\pi}{3} \left(\left(\frac{D_1^2}{4} + \frac{D_2^2}{4} + \frac{D_1 D_2}{4} \right) - \left(\frac{d_1^2}{4} + \frac{d_2^2}{4} + \frac{d_1 d_2}{4} \right) \right) \quad (1)$$

$$V = \frac{L\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (2)$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Prosedur Eksperimen

Penelitian ini berfokus untuk menganalisis pengaruh kecepatan *delivery roll* mesin *doubling* terhadap nilai densitas volume gulungan benang rangkap. Terdapat empat tahapan dari kegiatan penelitian ini, yaitu (1) membuat sampel gulungan benang rangkap dengan menggunakan mesin *doubling*, (2) menguji nilai densitas volume gulungan benang rangkap, (3) menganalisis pengaruh kecepatan *delivery roll* mesin *doubling* terhadap nilai densitas volume gulungan benang rangkap menggunakan metode ANAVA, dan (4) menarik kesimpulan hasil eksperimen.

Analisis Data

Metode statistik ANAVA dan SNK digunakan pada penelitian ini untuk menguji perbedaan nilai rata-rata densitas volume antar populasi gulungan benang rangkap yang dihasilkan dari beberapa nilai kecepatan *delivery roll*. Jumlah populasi yang terlibat pada penelitian ini berjumlah empat, yaitu gulungan benang rangkap yang dibuat dengan menggunakan kecepatan *delivery roll* sebesar (1) 150 meter/menit, (2) 300 meter/menit, (3) 550 meter/menit, dan (4) 750 meter/menit. Pengujian ANAVA dan SNK dilakukan dengan bantuan perangkat SPSS Statistics 22.0 dengan asumsi taraf kepercayaan 95%. Setelah populasi diuji homogenitas, maka interpretasi ANAVA dapat dilakukan. Interpretasi terima H_0 (tidak ada perbedaan nilai yang signifikan) jika nilai $\text{Sig.} > 0,05$, sebaliknya tolak H_0 (ada perbedaan nilai yang signifikan) jika nilai $\text{Sig.} < 0,05$. Uji lanjutan berupa SNK dapat dikerjakan untuk melihat pengelompokan populasi berdasarkan nilai densitas volume gulungan benang rangkap.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pada penelitian ini telah dilakukan pengamatan terhadap nilai densitas volume gulungan benang rangkap yang dihasilkan dari beberapa nilai kecepatan *delivery roll* di mesin *doubling*. Pengukuran nilai densitas volume gulungan benang dilakukan dengan dua langkah, yaitu (1) menghitung selisih berat bobbin isi terhadap berat bobbin kosong, dan (2) menghitung volume gulungan benang dengan cara mengukur dimensi gulungan benang dan menghitungnya sesuai dengan rumusan volume benang. Untuk menentukan selisih berat bobbin isi dan bobbin kosong, maka untuk setiap proses penggulangan telah dilakukan penimbangan saat sebelum dan setelah proses penggulangan berlangsung. Tabel 3 menunjukkan hasil penimbangan berat bobbin isi dan bobbin kosong dari 12 gulungan benang rangkap yang telah dibuat pada penelitian ini. Selisih antara nilai bobbin isi dan bobbin kosong selanjutnya disebut dengan nilai netto benang.

Tabel 3. Nilai berat bobbin isi, berat bobbin kosong, dan netto benang sampel

	Sampel	Berat bobbin isi (gram)	Berat bobbin kosong (gram)	Netto benang (gram)
A	Gulungan ke-1	383	150	233
	Gulungan ke-2	382	150	232
	Gulungan ke-3	384	150	234
B	Gulungan ke-1	386	150	236
	Gulungan ke-2	386	150	236
	Gulungan ke-3	385	150	235
C	Gulungan ke-1	382	150	232
	Gulungan ke-2	382	150	232
	Gulungan ke-3	385	150	235
D	Gulungan ke-1	385	150	235
	Gulungan ke-2	386	150	236
	Gulungan ke-3	383	150	233

Tabel 3 menyajikan data hasil penimbangan berat untuk empat sampel benang yang berbeda (A, B, C, dan D), dengan masing-masing sampel diukur sebanyak tiga kali ulangan atau gulungan. Berat bersih (netto) benang diperoleh dengan mengurangi berat bobbin isi (bruto) dengan berat bobbin kosong (tara). Untuk semua pengukuran, berat bobbin kosong ditetapkan konstan pada nilai 150 gram. Hasil penimbangan menunjukkan adanya sedikit variasi berat bersih benang di setiap gulungan, dengan nilai terendah sebesar 232 gram dan tertinggi 236 gram. Meskipun terdapat fluktuasi minor, data secara umum menunjukkan konsistensi bobot benang yang relatif seragam di antara semua sampel yang diuji, mengindikasikan proses produksi dan penggulangan yang stabil.

. Tabel 4. Hasil pengukuran dimensi dan volume gulungan sampel

	Sampel	Tinggi gulungan isi benang (cm)	Diameter bobbin (cm)	Diameter gulungan luar (gram)	Volume gulungan benang (cm ³)
A	Gulungan ke-1	15,1	6,0	9,7	689,2
	Gulungan ke-2	15,0	6,0	9,9	730,8
	Gulungan ke-3	15,0	6,0	9,7	684,6
B	Gulungan ke-1	15,1	6,0	9,5	643,6
	Gulungan ke-2	15,0	6,0	9,4	617,1
	Gulungan ke-3	15,1	6,0	9,6	666,3

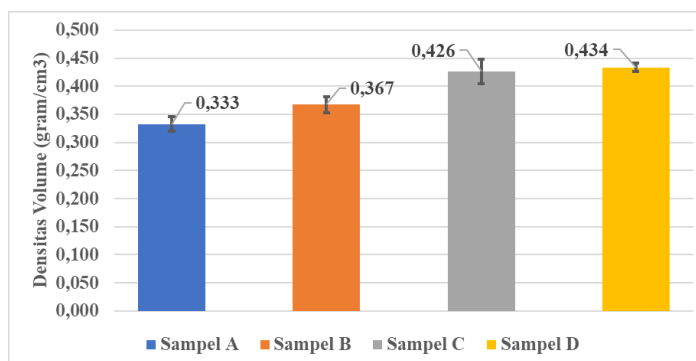
C	Gulungan ke-1	15,1	6,0	9,2	577,1
	Gulungan ke-2	15,0	6,0	9,0	530,4
	Gulungan ke-3	15,1	6,0	9,0	533,9
D	Gulungan ke-1	15,2	6,0	9,0	537,4
	Gulungan ke-2	15,1	6,0	9,1	555,4
	Gulungan ke-3	15,0	6,0	9,0	530,4

Tabel 4 menampilkan data pengukuran dimensi fisik meliputi tinggi, diameter dalam (bobbin), dan diameter luar serta hasil perhitungan volume untuk empat sampel gulungan benang (A, B, C, dan D). Diameter bobbin dalam dijaga konstan pada 6,0 cm untuk semua sampel. Dari data tersebut, terlihat korelasi langsung antara diameter gulungan luar dengan volume gulungan benang. Sampel A, yang memiliki diameter luar terbesar (9,7-9,9 cm), secara konsisten menghasilkan volume terbesar (684,6-730,8 cm³). Sebaliknya, sampel C dan D dengan diameter luar terkecil (9,0-9,2 cm) menunjukkan volume yang paling rendah. Variasi ini mengindikasikan adanya perbedaan pada jumlah atau kepadatan benang yang digulung untuk setiap sampel..

Tabel 5. Nilai densitas gulungan benang rangkap

Sampel		Kecepatan <i>delivery roll</i> pada mesin (meter/menit)	Volume gulungan benang (cm ³)	Netto benang (gram)	Densitas gulungan benang (gram/cm ³)
A	Gulungan ke-1	150	689,2	233	0,338
	Gulungan ke-2		730,8	232	0,318
	Gulungan ke-3		684,6	234	0,342
B	Gulungan ke-1	300	643,6	236	0,366
	Gulungan ke-2		617,1	236	0,382
	Gulungan ke-3		666,3	235	0,353
C	Gulungan ke-1	550	577,1	232	0,402
	Gulungan ke-2		530,4	232	0,437
	Gulungan ke-3		533,9	235	0,440
D	Gulungan ke-1	750	537,4	235	0,437
	Gulungan ke-2		555,4	236	0,425
	Gulungan ke-3		530,4	233	0,439

Tabel 5 menunjukkan hubungan antara kecepatan operasional mesin (*delivery roll*) dengan densitas gulungan benang yang dihasilkan. Nilai densitas ini diperoleh dengan membagi berat bersih (netto) benang dengan volume gulungan benang. Data secara konsisten menunjukkan tren yang sangat jelas: semakin tinggi kecepatan *delivery roll*, semakin tinggi pula densitas gulungan benang. Hal ini terlihat dari Sampel A yang dioperasikan pada kecepatan terendah (150 m/menit) memiliki densitas terkecil (sekitar 0,338 g/cm³), sementara Sampel C dan D pada kecepatan tertinggi (550-750 m/menit) mencapai densitas paling padat (hingga 0,440 g/cm³). Peningkatan densitas ini mengimplikasikan bahwa kecepatan mesin yang lebih tinggi menambah tegangan gulungan, sehingga benang tersusun lebih rapat dan kompak.



Gambar 4. Densitas volume yang dihasilkan dari variasi kecepatan *delivery roll*

Berdasarkan Gambar 4, dapat diamati bahwa variasi kecepatan *delivery roll* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap densitas volume produk yang dihasilkan. Terlihat adanya tren peningkatan densitas yang konsisten seiring dengan perubahan dari Sampel A ke Sampel D, yang diasumsikan merepresentasikan peningkatan kecepatan. Sampel A menunjukkan densitas volume terendah yaitu sebesar 0,333 gram/cm³, yang kemudian meningkat secara bertahap pada Sampel B menjadi 0,367 gram/cm³. Peningkatan yang lebih tajam terjadi pada Sampel C dengan densitas mencapai 0,426 gram/cm³, dan nilai tertinggi dicapai oleh Sampel D sebesar 0,434 gram/cm³. Kenaikan nilai densitas ini secara jelas mengindikasikan bahwa peningkatan kecepatan *delivery roll* menyebabkan material menjadi lebih padat dan mampat. Proses pemadatan yang lebih efektif pada kecepatan yang lebih tinggi mampu menyusun partikel lebih rapat, sehingga menghasilkan massa yang lebih besar per satuan volume dan secara langsung meningkatkan nilai densitas volume akhir dari produk.

Tabel 6. Hasil uji homogenitas pada setiap jenis sampel gulungan benang
 Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Densitas_Volume	Based on Mean	1.574	3	8	.270
	Based on Median	.222	3	8	.878
	Based on Median and with adjusted df	.222	3	4.499	.877
	Based on trimmed mean	1.386	3	8	.315

Tabel 6 menunjukkan hasil uji Homogenitas terhadap sampel gulungan benang. Hasil uji homogenitas menunjukkan bahwa keempat jenis sampel bersifat homogen (dengan nilai Sig.>0,05 untuk setiap jenis sampel). Hasil ANAVA menunjukkan nilai Sig.<0,05 untuk setiap jenis sampel sesuai dengan Tabel 7, yang menginterpretasikan bahwa ada perbedaan signifikan pada nilai rata-rata antar populasi sampel benang yang diproduksi dengan variasi nilai kecepatan *delivery roll*. Uji lanjutan Student Newman Keuls (SNK) menunjukkan bahwa terdapat tiga pengelompokan nilai sesuai dengan Tabel 8. Uji SNK menunjukkan bahwa variasi kecepatan *delivery roll* 550 meter/menit dan 750 meter/menit menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan.

Tabel 7. Hasil uji ANAVA pada setiap jenis sampel gulungan benang

ANOVA					
Densitas_Volume					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.021	3	.007	32.014	.000
Within Groups	.002	8	.000		
Total	.023	11			

Tabel 7 menampilkan hasil analisis statistik menggunakan Analysis of Variance (ANOVA) untuk menguji variabel Densitas_Volume. Uji ANOVA bertujuan untuk membandingkan rata-rata dari beberapa kelompok guna melihat apakah ada perbedaan yang signifikan secara statistik di antara mereka. Hasil analisis menunjukkan nilai F-hitung sebesar 32,014 dengan nilai signifikansi (Sig.) 0,000. Berdasarkan kaidah statistik, jika nilai signifikansi lebih kecil dari tingkat signifikansi yang ditentukan (umumnya $\alpha = 0,05$), maka terdapat perbedaan yang nyata antar kelompok. Karena nilai $0,000 < 0,05$, maka hipotesis nol (H_0) yang menyatakan tidak ada perbedaan rata-rata densitas antar kelompok ditolak. Kesimpulannya, terdapat perbedaan yang sangat signifikan pada densitas gulungan benang di antara kelompok-kelompok perlakuan yang diuji.

Tabel 8. Hasil uji SNK pada setiap jenis sampel gulungan benang

Densitas_Volume

Student-Newman-Keuls^a

Sampel	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Kecepatan Delivery Roll 150 m/menit	3	.33267		
Kecepatan Delivery Roll 300 m/menit	3		.36700	
Kecepatan Delivery Roll 550 m/menit	3			.42633
Kecepatan Delivery Roll 750 m/menit	3			.43367
Sig.		1.000	1.000	.562

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Tabel 8 menyajikan hasil uji lanjut Student-Newman-Keuls, yang digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan spesifik antar kelompok setelah uji ANOVA terbukti signifikan. Uji ini mengelompokkan rata-rata densitas dari empat perlakuan kecepatan ke dalam tiga subset (kelompok) homogen yang berbeda secara statistik. Hasilnya menunjukkan bahwa kecepatan 150 m/menit (Subset 1) dan 300 m/menit (Subset 2) masing-masing membentuk kelompoknya sendiri, yang berarti keduanya memiliki rata-rata densitas yang berbeda signifikan satu sama lain dan dari kelompok lainnya. Sementara itu, kecepatan 550 m/menit dan 750 m/menit berada dalam satu subset yang sama (Subset 3). Hal ini membuktikan bahwa meskipun densitasnya lebih tinggi, tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik di antara kedua kecepatan tertinggi tersebut.

Pembahasan

Hasil penelitian ini secara definitif menunjukkan adanya hubungan positif yang kuat antara kecepatan *delivery roll* pada mesin *doubling* dengan densitas volume gulungan benang yang dihasilkan. Analisis perbandingan nilai kepadatan gulungan, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 4, memperlihatkan tren yang konsisten pada keempat sampel. Variasi kecepatan yang diterapkan, mulai dari 150 meter/menit untuk Sampel A, 300 meter/menit untuk Sampel B, 550 meter/menit untuk Sampel C, hingga 750 meter/menit untuk Sampel D, memberikan dampak yang terukur. Sampel D, yang diproses dengan kecepatan tertinggi, secara signifikan mencapai kepadatan gulungan paling besar dengan nilai rata-rata densitas volume 0,434 gram/cm³. Sebaliknya, kepadatan gulungan terendah tercatat pada Sampel A yang dibuat dengan kecepatan paling lambat, menghasilkan nilai densitas volume hanya sebesar 0,333 gram/cm³. Fenomena ini mengonfirmasi bahwa parameter kecepatan mesin memegang peranan krusial dalam menentukan tingkat kepadatan akhir dari gulungan benang.

Jika dibandingkan dengan standar industri, hasil kepadatan gulungan ini memiliki implikasi praktis yang signifikan. Dari keempat sampel yang diuji, hanya Sampel C dan Sampel D yang berhasil mencapai karakteristik kepadatan yang sesuai dengan rekomendasi literatur,

yaitu di atas $0,4 \text{ gram/cm}^3$ (Tuan et al., 2024). Kepadatan yang tinggi ini sangat esensial untuk membentuk gulungan yang keras (*hard packages*) dan stabil, sehingga tidak mudah berubah bentuk selama proses logistik seperti transportasi dan penyimpanan, maupun saat digunakan pada proses selanjutnya. Gulungan yang lunak atau kurang padat cenderung memiliki integritas struktural yang lemah, membuatnya rentan terhadap kerusakan. Kebutuhan akan gulungan yang solid ini merupakan faktor kualitas yang penting untuk menjamin kelancaran proses produksi berikutnya dan meminimalkan potensi kerugian material akibat kerusakan paket benang selama penanganan (Ali et al., 2021; Pereira et al., 2021).

Mekanisme di balik pengaruh signifikan kecepatan *delivery roll* terhadap kepadatan gulungan dapat dijelaskan melalui konsep tegangan benang. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Tuan et al. (2024) pada benang kapas tunggal, yang juga menyimpulkan bahwa peningkatan kecepatan penggulungan secara langsung meningkatkan tegangan pada benang. Selama proses penggulungan, tegangan yang lebih besar ini akan menekan lapisan benang dengan lebih kuat ke permukaan gulungan di bawahnya. Hal ini tidak hanya merapatkan susunan benang secara eksternal, tetapi juga menghasilkan kontak permukaan antar helai benang yang lebih intim pada bagian internal gulungan (Tuan et al., 2024). Susunan yang lebih rapat dan minim rongga udara inilah yang pada akhirnya berkontribusi secara kumulatif terhadap peningkatan nilai densitas volume gulungan. Gagasan ini diperkuat oleh Wang et al. (2023), yang menyatakan bahwa kepadatan gulungan memang sangat dipengaruhi oleh tegangan selama proses penggulungan.

Selain stabilitas struktural, kepadatan gulungan juga berdampak pada efisiensi operasional. Salah satu masalah yang sering dihadapi pada gulungan lunak (densitas rendah) adalah sulitnya menemukan ujung benang untuk disambung kembali ketika terjadi putus benang. Hal ini disebabkan oleh ujung-ujung benang yang cenderung melekat atau bahkan tenggelam ke permukaan gulungan yang tidak kompak, sehingga memperlambat proses perbaikan dan menurunkan produktivitas operator. Permasalahan operasional seperti ini telah menjadi perhatian dalam berbagai penelitian yang menyoroti pentingnya paket gulungan yang baik untuk kelancaran proses tekstil lebih lanjut (Celik & Eren, 2019b; Tuan et al., 2024). Dengan demikian, pengaturan kecepatan *delivery roll* tidak hanya menjadi cara untuk mengontrol kualitas fisik gulungan, tetapi juga menjadi strategi untuk meningkatkan efisiensi kerja di rantai produksi dan memastikan kelancaran alur proses manufaktur secara keseluruhan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan *delivery roll* pada mesin *doubling* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai densitas volume gulungan benang rangkap. Semakin besar kecepatan *delivery roll* yang diatur pada mesin *doubling*, maka semakin tinggi pula nilai densitas volume yang diperoleh. Hal ini disebabkan oleh peningkatan tegangan benang saat proses penggulungan terjadi yang diakibatkan oleh kecepatan penggulungan yang semakin meningkat. Tegangan benang tersebut akan menekan benang untuk semakin rapat pada permukaan gulungan, serta menghasilkan kontak permukaan antar benang yang lebih rapat pada bagian internal gulungan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa gulungan benang rangkap yang diproduksi dengan kecepatan *delivery roll* sebesar 550 meter/menit dan 750 meter/menit memiliki kepadatan yang sesuai dengan rekomendasi literatur, yaitu berada di atas $0,4 \text{ gram/cm}^3$. Hasil uji statistik menggunakan ANAVA – SNK berhasil mengkonfirmasi bahwa kecepatan *delivery roll* mesin *doubling* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai densitas volume gulungan benang rangkap. Hasil penelitian ini memberikan wawasan bahwa kepadatan gulungan dapat dioptimasi dari faktor kecepatan *delivery roll* saat proses penggulungan berlangsung. Penelitian lanjutan dapat dilakukan pada tinjauan mengenai

pengaruh jenis serat yang digulung, nomor benang yang digulung, jumlah rangkapan yang diproses, dan besar *ring tension* terhadap kepadatan gulungan benang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M., et al. (2021). Yarn tension control technique for improving polyester soft winding process. *Scientific Reports*, 11(1), 1060.
- Çelik, Ö., & Eren, R. (2019a). Experimental investigation of effect of balloon length on yarn tension during unwinding. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 31(4), 495-509.
- Çelik, Ö., & Eren, R. (2019b). Analysis of hardness variations in radial and longitudinal direction of bobbins in step precision winding. *Textile and Apparel*, 29(1), 30-38.
- Doniyor, P., & Khabibulla, P. (2021). Theoretical research of mechanics of yarns in assembly winding machines. *International Research Journal of Engineering, IT and Scientific Research*, 7(5), 193-202.
- Drean, J. Y., & Decrette, M. (2022). Weaving preparation. In C. V. Kiekens & P. Kiekens (Eds.), *Advanced weaving technology* (pp. 3-80). Springer International Publishing.
- Duc, D. P., & Van, C. N. (2018). *Study on influence of yarn tension on quality of bobbin after dyeing* [Conference presentation]. The 2nd National Conference on Science and Technology of Textiles (2-NCSTEX 2018), Hanoi, Vietnam.
- Eren, R., et al. (2023). Experimental investigation of sensorless tension control system for textile processes. *Textile and Apparel*, 33(2), 125-134.
- Fernando, E., & Kuruppu, R. U. (2015). Tension variation in sectional warping, Part I: Mathematical modeling of yarn tension in a creel. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 4(3), 158-163.
- Gandhi, K. L. (2020). Yarn preparation for weaving: Winding. In K. L. Gandhi (Ed.), *Woven textiles: Principles, developments and applications* (pp. 35-79). Woodhead Publishing.
- Hamdani, S. T. A. (2017). Introduction to weaving. In S. T. A. Hamdani (Ed.), *Structural textile design: Interlacing and interlooping* (pp. 31-46). CRC Press.
- Hossain, M. M., et al. (2019). Study on yarn density and net winding rate. *International Journal of Scientific & Engineering Research (IJSER)*, 7(6), 80-90.
- Murti, W., et al. (2025). Studi perbandingan metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital dalam pengukuran hairiness pada benang spun. *Cendekia: Jurnal Ilmu Pengetahuan*, 5(2), 509-518.
- Nurazizah, V., et al. (2025). Pengaruh jumlah twist per meter (TPM) dan rangkapan benang terhadap kinerja mekanis benang gintir. *Metode: Jurnal Teknik Industri*, 11(1), 171-180.
- Parpiev, K., et al. (2023). The difference between the length of single yarns in plied yarn content in different twisting machines. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2789, No. 1). AIP Publishing.
- Parpiev, K., et al. (2024). Theoretical study of the tension force of spliced threads in doubling process. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 538, p. 04021). EDP Sciences.
- Pereira, F., et al. (2021). Textile yarn winding and unwinding system. In *International Conference Innovation in Engineering* (pp. 347-358). Springer International Publishing.
- Praček, S., et al. (2016). Balloon theory of yarn during unwinding from packages. *Textile Research Journal*, 86(14), 1522-1532.

- Putra, V. G. V., et al. (2019, November). Modelling of yarn count and speed of delivery roll to yarn strength in spinning machines based on analytical mechanics. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1381, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.
- Ray, S. C., & Blaga, M. (2022). Yarns for knitting and their selection. In S. C. Ray & M. Blaga (Eds.), *Advanced knitting technology* (pp. 141-159). Woodhead Publishing.
- Rumiyati, V. S. P., et al. (2025). Studi pengaruh tetal benang pakan dan nomor benang pakan terhadap karakteristik mutu kekuatan selip jahitan kain denim kapas 100%. *Cendekia: Jurnal Ilmu Pengetahuan*, 5(2), 487-495.
- Rusman, F. F., et al. (2024). Studi rancang bangun alat pengukur boiling water shrinkage pada benang tekstil. *Prosiding SNAST*, C159-165.
- Rusman, F. F., et al. (2025). Analisis pengaruh jumlah rangkapan dan pemberian twist terhadap sifat mekanis benang kapas murni: Analisis menggunakan Anova. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 5(2), 889-900.
- Tuan, D. A., et al. (2024). Effect of technological winding parameters on yarn package density. *HaUI Journal of Science and Technology*, 60(5), 135-142.
- Wang, J., et al. (2023). The detection of yarn roll's margin in complex background. *Sensors*, 23(4), 1993.
- Wijayono, A., & Murti, W. (2024). Study of measuring the cover factor of woven fabrics using image processing techniques. *Sainteks: Jurnal Sain dan Teknik*, 6(2), 245-255.
- Zhang, H., et al. (2025). Pressure control algorithm of yarn precision winding based on proportional–integral–derivative ant colony optimization. *Textile Research Journal*. <https://doi.org/10.1177/00405175251325792>