

## Pengaruh Jumlah *Twist per meter* (TPM) dan Rangkaian Benang terhadap Kinerja Mekanis Benang Gintir

### *Effect of Twist per meter (TPM) and Ply Number on the Mechanical Performance of Plyed Yarns*

Verawati Nurazizah<sup>1\*</sup>, Andrian Wijayono<sup>2</sup>, Fahmi Fawzy Rusman<sup>3</sup>, Nurfadilah Ikhsani<sup>4</sup>, Reski Alya Pradifta<sup>5</sup>, Wilda Murti<sup>6</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Pembuatan Kain Tenun, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta, Jl. Ki Hajar Dewantara, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah 57126

<sup>3,4</sup> Program Studi Teknik Pembuatan Benang, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta, Jl. Ki Hajar Dewantara, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah 57126

<sup>5,6</sup> Program Studi Teknik Pembuatan Garmen, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta, Jl. Ki Hajar Dewantara, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah 57126

e-mail: [1\\*verawatinurazizah@ak-tekstil.ac.id](mailto:1*verawatinurazizah@ak-tekstil.ac.id)

Diterima 16 Maret, 2025; Disetujui 25 maret, 2025; Dipublikasikan 31 Maret, 2025

#### Abstrak

Benang gintir banyak digunakan dalam tekstil berunjuk kerja tinggi karena memiliki kekuatan tarik dan ketahanan yang lebih baik dibandingkan benang tunggal. Namun, pemilihan jumlah *twist per meter* (TPM) dan jumlah rangkaian dalam benang gintir sangat menentukan sifat mekanisnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh TPM dan jumlah rangkaian terhadap kekuatan tarik dan mulur benang gintir. Pendekatan eksperimental digunakan dengan variasi TPM (550, 650, dan 750 TPM) serta jumlah rangkaian (2 dan 3). Uji tarik dilakukan untuk mengukur kekuatan tarik dan mulur benang, sedangkan analisis statistik ANOVA dua arah digunakan untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing variabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa TPM dan jumlah rangkaian secara signifikan mempengaruhi kekuatan tarik dan mulur benang gintir ( $p < 0,05$ ), tetapi interaksi antara keduanya tidak signifikan ( $p > 0,05$ ). Peningkatan TPM meningkatkan kekuatan tarik hingga batas tertentu sebelum mengalami penurunan, sedangkan jumlah rangkaian yang lebih tinggi meningkatkan kekuatan tarik dan mulur, tetapi dapat menyebabkan peningkatan kekakuan benang. Temuan ini menegaskan bahwa kombinasi optimal antara TPM dan jumlah rangkaian diperlukan untuk menghasilkan benang gintir dengan keseimbangan terbaik antara kekuatan tarik dan fleksibilitasnya.

**Kata kunci:** benang gintir, jumlah rangkaian, kekuatan tarik, mulur, *twist per meter*

#### Abstract

*Ply yarn is widely used in high-performance textiles due to its superior tensile strength and durability compared to single yarn. However, the selection of twist per meter (TPM) and the number of plies in ply yarn significantly influences its mechanical properties. This study aims to examine the effect of TPM and the number of plies on the tensile strength and elongation of ply yarn. An experimental approach was employed, varying TPM (550, 650, and 750 TPM) and the number of plies (2 and 3). Tensile tests were conducted to measure the yarn's tensile strength and elongation, while two-way ANOVA statistical analysis was used to evaluate the influence of each variable. The results indicated that TPM and the number of plies significantly affected the tensile strength and elongation of ply yarn ( $p < 0.05$ ), while their interaction was not significant ( $p > 0.05$ ). Increasing TPM enhanced tensile strength up to a certain limit before declining, whereas a higher number of plies improved both tensile strength and elongation but also increased yarn stiffness. These findings confirm that an optimal combination of TPM and the number of plies is essential to achieve the best balance between tensile strength and flexibility in ply yarn.*

**Keywords:** elongation, number of plies, ply yarn, tensile strength, twist per meter

## 1. Pendahuluan

Struktur benang memiliki peran yang penting dalam menentukan kualitas akhir kain yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri tekstil terutama pada tekstil berunjuk kerja tinggi. Tekstil berunjuk kerja tinggi dirancang untuk memenuhi tuntutan khusus seperti kekuatan tinggi, elastisitas, ketahanan api, konduktivitas listrik dan manajemen kelembaban. Tekstil ini digunakan pada berbagai sektor termasuk olahraga, medis, militer, otomotif dan sektor khusus lainnya (Paul, 2019). Pada aplikasi tersebut, sifat mekanis benang sangat berpengaruh terhadap kualitas, daya tahan dan kenyamanan produk akhir pada aplikasi tekstil berunjuk kerja tinggi (Abteu, et al., 2020). Salah satu faktor utama yang menentukan sifat mekanis benang adalah jumlah serat, kesejajaran serat dan tingkat puntiran (*twist*).

*Twist* pada benang mengikat serat-serat yang tersebar pada permukaan benang menjadi satu, menciptakan susunan spiral di sekitar sumbu benang serta meningkatkan kohesi antar serat. Struktur ini membantu mencegah kerusakan saat benang mengalami gaya atau tekanan eksternal (Walle, et al., 2022). *Twist* yang optimal dapat meningkatkan kekuatan benang, sedangkan *twist* yang terlalu tinggi akan mengurangi *hairiness* dan daya serap benang (Wang, et al., 2020). Penelitian lain menunjukkan bahwa semakin besar tingkat puntiran, umumnya kekuatan tarik benang juga meningkat tetapi sifat mulurnya berkurang (Atalie, et al., 2019; Walle, et al., 2022).

Selain pemberian *twist*, peningkatan kekuatan tarik juga dapat dilakukan melalui proses penggintiran (*plying*) benang. *Plying* merupakan proses penggabungan beberapa benang tunggal menjadi benang rangkap memiliki kerapatan linier yang lebih seragam, kekuatan yang lebih tinggi dan permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan benang tunggal (Kumar Sett, et al., 2014). Proses ini menguntungkan dalam pertunenan dan mempengaruhi kekuatan tarik benang. Pemberian *twist* pada benang rangkap dengan arah yang berlawanan terhadap *twist* benang tunggalnya dapat meningkatkan kekuatan tarik dan mulur pada benang secara signifikan (Elmogahzy, 2019; Yu, et al., 2021).

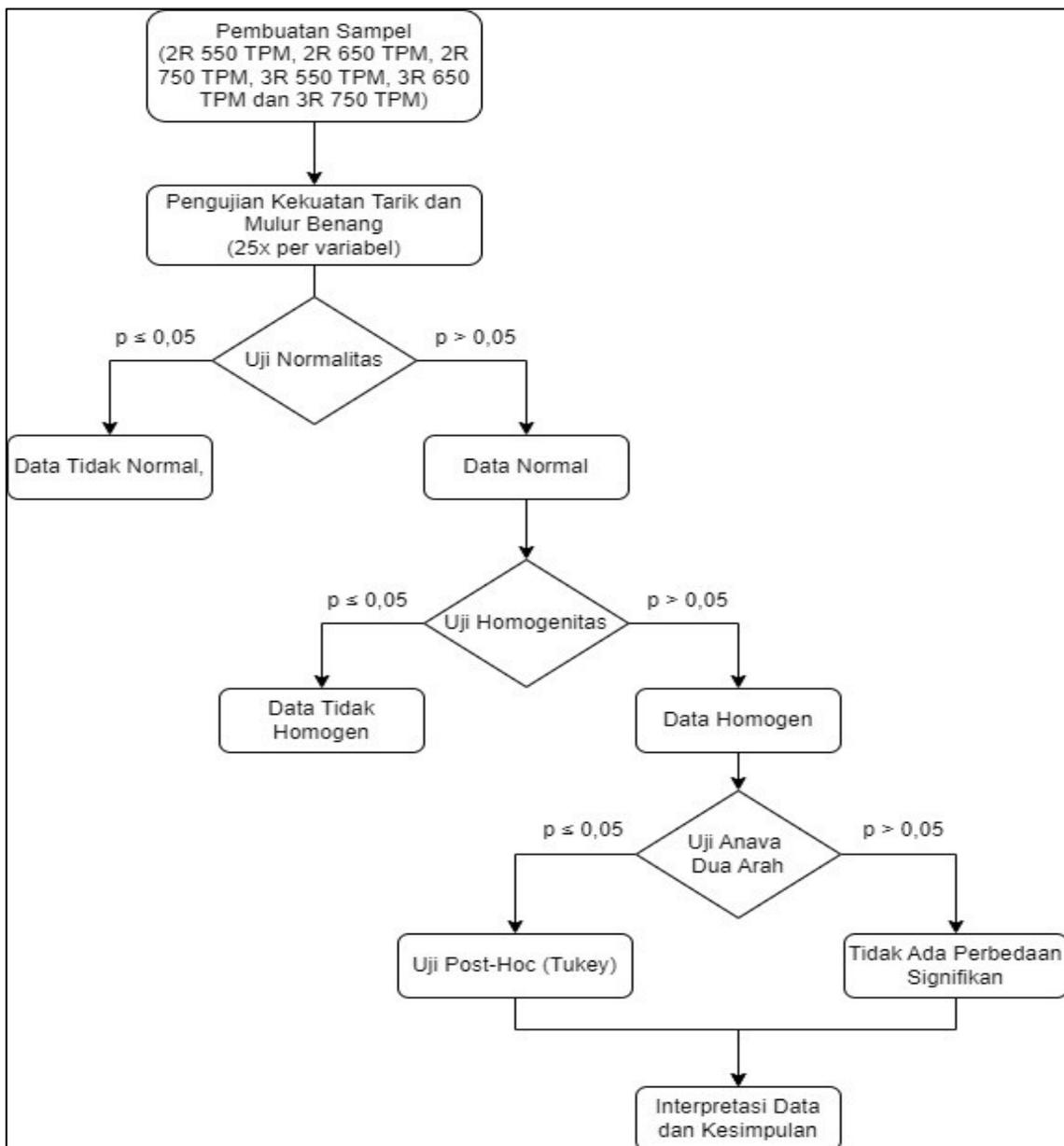
Salah satu jenis benang rangkap yang umum digunakan dalam teksil teknis adalah benang gintir. Benang gintir memiliki ketahanan abrasi dan kekuatan yang lebih baik dibandingkan benang tunggal (Heng, et al., 2020; Ng & Hu, 2017). Namun, penelitian lain menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat *twist* yang diberikan pada benang gintir, modulus tariknya cenderung menurun, sementara sifat mulurnya meningkat (Akgun, et al., 2023). Selain TPM, jumlah rangkapan dalam benang rangkap juga berpengaruh terhadap sifat mekanis benang. Meskipun peningkatan jumlah rangkapan benang dapat memperkuat benang (Maidina, et al., 2023), terdapat batas tertentu dimana peningkatan jumlah rangkapan justru meningkatkan kekakuan dan mengurangi fleksibilitas benang karena perubahan distribusi serat (Vysanska, 2024). Oleh karena itu, pengaturan *twist* yang optimal dalam benang rangkap menjadi faktor penting dalam menentukan keseimbangan antara kekuatan dan elastisitas benang sesuai dengan kebutuhan aplikasinya.

Meskipun telah banyak penelitian yang mempelajari pengaruh TPM terhadap sifat mekanis benang rangkap, masih terdapat kesenjangan dalam memahami interaksi optimal antara jumlah *twist* dan jumlah rangkapan untuk mencapai kombinasi sifat kekuatan tarik dan mulur yang optimal. Dalam penggunaan tekstil berunjuk kerja tinggi kekuatan tarik dan fleksibilitas berpengaruh terhadap kenyamanan akhir produk. Beberapa studi menunjukkan bahwa peningkatan TPM dapat meningkatkan kekuatan, tapi menurunkan elastisitas benang (Guo, et al., 2022; Heng, et al., 2020), sementara jumlah perangkapan yang lebih banyak dapat meningkatkan ketahanan benang karena terjadi pendistribusian gaya yang lebih merata pada serat sehingga kekuatan tarik benang meningkat. Penelitian terhadap benang *air jet* telah menunjukkan bahwa peningkatan jumlah rangkapan menghasilkan kekuatan tarik dan mulur saat putus yang lebih tinggi yang menunjukkan peningkatan kapasitas benang dalam menahan beban (Chattopadhyay, 1997). Penelitian lain menunjukkan bahwa proses perangkapan dapat meningkatkan tegangan, modulus Young serta kekuatan tarik benang secara signifikan (Wanasinghe & Mallikarachchi, 2024).

Beberapa penelitian sebelumnya umumnya hanya berfokus pada pengaruh salah satu variabel, yaitu TPM atau jumlah rangkapan. Penelitian yang mengkaji interaksi antara TPM dan jumlah rangkapan dalam menentukan titik optimal kekuatan tarik benang masih sangat terbatas. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh jumlah *twist* dan jumlah rangkapan serta interaksi keduanya terhadap kinerja mekanis benang. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan informasi baru yang dapat diaplikasikan dalam proses pembuatan benang untuk meningkatkan kualitas benang berunjuk kerja tinggi. Pendekatan eksperimental dengan berbagai variasi TPM dan jumlah rangkapan dilakukan untuk mengukur kekuatan tarik dan mulur benang.

**2. Metode Penelitian**

Pada penelitian ini digunakan metode eksperimen untuk mengkaji pengaruh jumlah *twist per meter* dan jumlah rangkapan terhadap kekuatan tarik dan mulur benang gintir. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jumlah TPM dan jumlah rangkapan, sedangkan variabel terikatnya adalah kekuatan tarik dan mulur benang gintir yang dihasilkan. Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah benang tunggal kapas 100% dengan nomor Ne 32 yang akan diproses menjadi benang gintir. Pertama, benang dilakukan perangkapan dilakukan menggunakan mesin *assembly winder* LW 202SDI. Benang tunggal digulung secara bersamaan pada *bobin cheese plastic* dengan kecepatan konstan. Variasi jumlah rangkapan yang dibuat adalah dua rangkap dan tiga rangkap.



Gambar 2 Mesin Assembly Winder



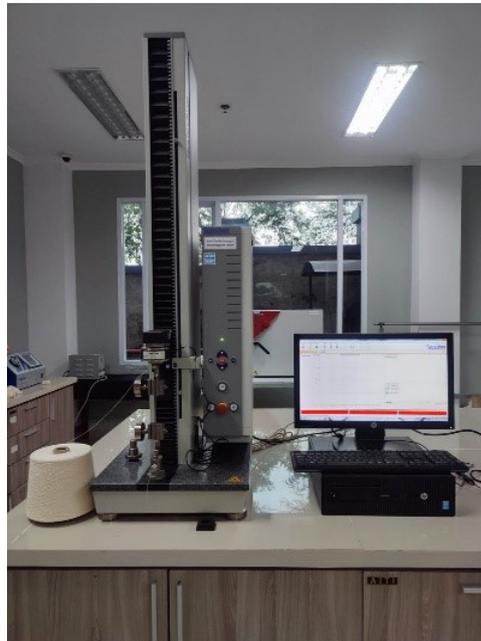
Gambar 3 Mesin Two for One Twister (TFO)

Selanjutnya benang rangkap dari *assembly winder* diberikan puntiran (*twist*) pada mesin *Winding Two for One Twister* (TFO) dengan tiga variasi jumlah *twist per meter* (TPM) yaitu pada 550 TPM, 650 TPM dan 750 TPM dengan arah *twist* S untuk setiap variasi jumlah rangkapan, sehingga didapatkan 6 sampel bahan seperti disajikan pada tabel 1.

Tabel 1 Sampel Benang Gintir

Kode Sampel	Jumlah Rangkapan	TPM	Nomor Benang Gintir (Ne)
A	2	550	16
B	2	650	16
C	2	750	16
D	3	550	9
E	3	650	9
F	3	750	9

Pengujian kinerja mekanis benang dilakukan dengan mengevaluasi sifat kekuatan tarik dan mulur benang dilakukan sesuai dengan SNI 7650:2010 dengan metode *Constant Rate of Extension (CRE)* menggunakan *Textechno Yarn Tensile Test*.



**Gambar 4** Textechno Tensile Test

Pengujian kinerja mekanis benang dilakukan dengan mengevaluasi sifat kekuatan tarik dan mulur benang dilakukan sesuai dengan SNI 7650:2010 dengan metode *Constant Rate of Extension (CRE)* menggunakan *Textechno Yarn Tensile Test*. Benang dijepit diantara dua klem dengan jarak jepit 75 mm, kemudian diberikan beban atau gaya tarik ( $F$ ) yang diberikan secara bertahap pada kecepatan penarikan 300 m/min hingga benang mencapai titik putus. Beban yang dapat ditahan benang sesaat sebelum putus dinyatakan dalam gram dan cN/tex. Selain itu, pada pengujian ini juga didapatkan informasi pertambahan panjang benang saat ditarik hingga sebelum putus yang disebut mulur, dinyatakan dalam %. Pengujian dilakukan sebanyak 25 kali untuk masing-masing sampel.

Setelah pengujian dilakukan, data yang diperoleh dianalisis menggunakan statistik deskriptif untuk mengamati pola perubahan sifat mekanis benang. Selanjutnya, analisis varian (ANOVA) dua arah digunakan untuk mengevaluasi pengaruh utama jumlah TPM dan jumlah rangkapan, serta interaksi antara kedua faktor tersebut. Jika hasil uji statistik menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan, maka dilakukan uji lanjut untuk menentukan kelompok perlakuan yang memiliki perbedaan nyata.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Pengujian Hipotesis Penelitian

Pada bagian ini disajikan nilai rata-rata hasil pengujian kekuatan tarik dan mulur benang gintir dengan jumlah *twist per meter (TPM)* dan jumlah rangkapan yang telah divariasikan.

**Tabel 2** Hasil Pengujian Kekuatan Tarik dan Mulur

Kode Sampel	Jumlah Rangkapan	Ne	TPM	Kekuatan Tarik (gram)	Kekuatan Tarik (cN/tex)	Mulur (%)
A	2	16	550	487	13	4,7
B	2	16	650	508	13,6	5
C	2	16	750	487	13	4,8
D	3	9	550	972	14,7	6,7
E	3	9	650	1000	15,2	6,9
F	3	9	750	1050	15,9	7

Data yang diperoleh dari hasil pengujian, selanjutnya dilakukan analisis varians (ANOVA) dua arah untuk mengevaluasi signifikansi pengaruh dari masing-masing faktor serta interaksinya terhadap kekuatan tarik dan mulur benang.

**3.1.1 Kekuatan Tarik**

Uji anava dua arah dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah TPM dan jumlah rangkapan terhadap *tenacity* (kekuatan tarik spesifik) benang gintir, serta interaksi antara kedua faktor tersebut.

**Tabel 3** Hasil Uji Statistik Anava Dua Arah terhadap Kekuatan Tarik

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: <i>Tenacity</i>					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	181.676 <sup>a</sup>	5	36.335	53.831	.000
Intercept	30348.326	1	30348.326	44961.594	.000
TPM	9.708	2	4.854	7.192	.001
Rangkapan	160.994	1	160.994	238.516	.000
TPM * Rangkapan	10.973	2	5.487	8.128	.000
Error	97.198	144	.675		
Total	30627.200	150			
Corrected Total	278.874	149			

a. R Squared = ,651 (Adjusted R Squared = ,639)

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa sig <0.001, yang berarti terdapat pengaruh dan interaksi antar kelompok antara jumlah TPM dan jumlah rangkapan terhadap kekuatan tarik benang gintir. Jumlah TPM berpengaruh signifikan terhadap *tenacity* dengan nilai F = 7,192 dan p = 0,001 (p < 0,05). Hal ini menunjukkan bahwa perubahan jumlah TPM menyebabkan variasi yang signifikan dalam kekuatan tarik benang gintir. Jumlah rangkapan memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap *tenacity* dengan F = 238,516 dan p < 0,001. Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan faktor TPM, hal ini menunjukkan bahwa jumlah rangkapan merupakan faktor dominan dalam menentukan kekuatan tarik benang gintir. Interaksi antara jumlah TPM dan jumlah rangkapan juga memberikan pengaruh signifikan terhadap *tenacity* dengan F = 8,128 dan p < 0,001. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi jumlah TPM dan jumlah rangkapan memengaruhi kekuatan tarik benang gintir secara bersama-sama, tidak hanya secara independen. Nilai R Squared = 0,651 menunjukkan bahwa 65,1% variasi dalam *tenacity* dipengaruhi oleh jumlah TPM dan jumlah rangkapan serta interaksinya sehingga dapat dikatakan bahwa model cukup kuat dalam menjelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik benang gintir.

Uji lanjut Tukey dilakukan untuk mengetahui perbedaan signifikan antara setiap kelompok perlakuan jumlah TPM dan jumlah rangkapan terhadap kekuatan tarik benang gintir.

**Tabel 4** Uji Tukey Kekuatan Tarik

Uji Tukey HSD						
(I) TPM	(J) TPM	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
550	650	-.5060*	.16431	.007	-.8951	-.1169
	750	-.5680*	.16431	.002	-.9571	-.1789
650	550	.5060*	.16431	.007	.1169	.8951
	750	-.0620	.16431	.925	-.4511	.3271
750	550	.5680*	.16431	.002	.1789	.9571
	650	.0620	.16431	.925	-.3271	.4511

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,675.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Hasil uji lanjut Tukey HSD menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan dalam *tenacity* benang gintir antara TPM 550 dan TPM 650 (p = 0.007) serta antara TPM 550 dan TPM 750 (p = 0.002). Ini mengindikasikan bahwa benang dengan TPM lebih tinggi (650 dan 750) memiliki kekuatan tarik

lebih baik dibandingkan TPM 550. Namun, tidak ditemukan perbedaan signifikan antara TPM 650 dan TPM 750 ( $p = 0.925$ ), yang berarti peningkatan TPM dari 650 ke 750 tidak memberikan peningkatan kekuatan tarik yang signifikan. Maka dari itu, jika tujuan produksi adalah mendapatkan benang gintir dengan kekuatan tarik optimal, TPM minimal yang direkomendasikan adalah 650, karena kenaikan lebih lanjut ke 750 tidak memberikan keuntungan signifikan dalam hal *tenacity*.

### 3.1.2 Mulur

Uji anava dua arah dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah TPM dan jumlah rangkapan terhadap mulur benang gintir, serta interaksi antara kedua faktor tersebut.

**Tabel 5** Hasil Uji Statistik Anava Dua Arah terhadap Mulur

**Tests of Between-Subjects Effects**  
Dependent Variable: *Elongation*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	154.576 <sup>a</sup>	5	30.915	165.199	.000
Intercept	5176.756	1	5176.756	27662.643	.000
TPM	1.825	2	.912	4.876	.009
Rangkaian	152.410	1	152.410	814.420	.000
TPM * Rangkaian	.341	2	.171	.912	.404
Error	26.948	144	.187		
Total	5358.280	150			
Corrected Total	181.524	149			

a. R Squared = .852 (Adjusted R Squared = .846)

Hasil analisis anava dua arah menunjukkan bahwa model yang digunakan secara signifikan mempengaruhi elongasi ( $F = 165.199$ ,  $p < 0.001$ ) dengan koefisien determinasi  $R^2 = 0.852$ , yang berarti model menjelaskan 85.2% variabilitas data. Faktor TPM memiliki pengaruh signifikan terhadap elongasi ( $F = 4.876$ ,  $p = 0.009$ ), sementara faktor rangkaian menunjukkan pengaruh yang sangat dominan ( $F = 814.420$ ,  $p < 0.001$ ). Namun, tidak terdapat interaksi yang signifikan antara TPM dan rangkaian ( $F = 0.912$ ,  $p = 0.404$ ), sehingga efek masing-masing faktor terhadap elongasi bersifat independen. Dengan demikian, rangkaian merupakan faktor utama yang menentukan elongasi, sedangkan TPM juga berperan meskipun dengan pengaruh yang lebih kecil.

Uji lebih lanjut Tukey dilakukan untuk mengetahui perbedaan signifikan antara setiap kelompok perlakuan jumlah TPM dan jumlah rangkaian terhadap mulur benang gintir.

**Tabel 6** Uji Tukey terhadap Mulur Benang Gintir

Tukey HSD

(I) TPM	(J) TPM	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
550	650	-.2660*	.08652	.007	-.4709	-.0611
	750	-.1740	.08652	.113	-.3789	.0309
650	550	.2660*	.08652	.007	.0611	.4709
	750	.0920	.08652	.538	-.1129	.2969
750	550	.1740	.08652	.113	-.0309	.3789
	650	-.0920	.08652	.538	-.2969	.1129

Based on observed means.

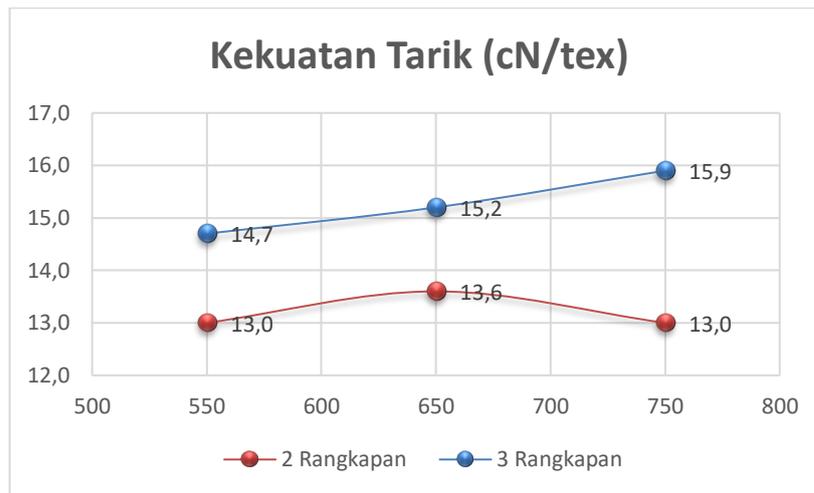
The error term is Mean Square(Error) = .187.

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

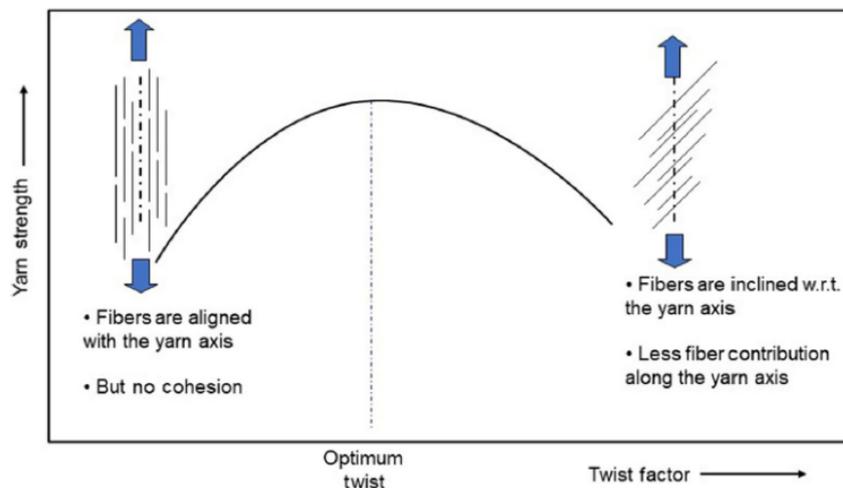
Hasil uji Tukey HSD menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan dalam elongasi antara TPM 550 dan TPM 650 ( $p = 0.007$ ), dengan perbedaan rata-rata -0.266. Artinya, elongasi pada TPM 650 secara signifikan lebih tinggi dibandingkan TPM 550. Sebaliknya, tidak ditemukan perbedaan yang signifikan antara TPM 550 dan TPM 750 ( $p = 0.113$ ) maupun antara TPM 650 dan TPM 750 ( $p = 0.538$ ). Dengan demikian, TPM 650 menunjukkan perbedaan signifikan dibandingkan TPM 550, tetapi tidak ada perbedaan yang nyata antara TPM 750 dengan kedua level TPM lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh TPM terhadap elongasi lebih dominan pada perbedaan antara TPM 550 dan 650.

3.2 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik benang umumnya meningkat seiring dengan meningkatnya TPM pada benang. Pada benang gintir 2 rangkapan, awalnya peningkatan TPM menyebabkan peningkatan kekuatan tarik pada benang, namun terjadi penurunan kekuatan tarik pada benang dengan jumlah TPM yang paling tinggi. Elmogahzy (2019) pada studinya menyatakan bahwa peningkatan jumlah *twist* pada awalnya meningkatkan kontak dan kohesi antar serat sejajar dengan sumbu benang sehingga serat akan saling mengunci satu sama lain, namun setelah melewati titik *twist* optimum peningkatan jumlah *twist* akan menurunkan kekuatan benang karena penurunan kontribusi efektif terhadap beban aksial benang akibat serat yang cenderung miring terhadap sumbu benang (gambar 5).



Gambar 5 Diagram pengaruh jumlah TPM terhadap kekuatan tarik



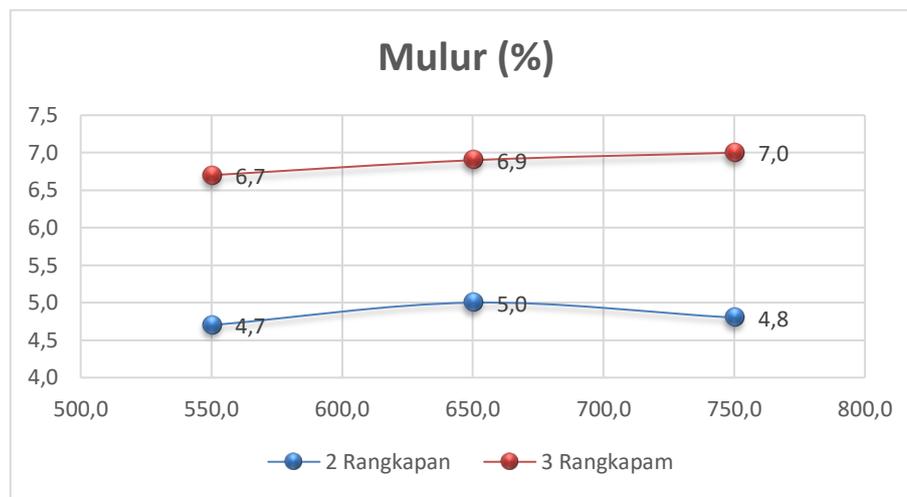
Gambar 6 Pengaruh *twist* terhadap kekuatan benang spun (Sumber: Elmogahzy, 2019)

Pada benang gintir dengan 3 rangkapan, peningkatan jumlah *twist* secara berturut-turut juga meningkatkan kekuatan tarik pada benang. Perbedaan tren hasil yang terjadi pada benang gintir dengan 2 rangkapan dan 3 rangkapan dapat disebabkan karena distribusi gaya untuk menahan beban yang diberikan terhadap benang dengan tiga rangkapan lebih tersebar dibandingkan pada benang 2 rangkapan. Jumlah serat pada benang 3 rangkap lebih banyak daripada jumlah serat pada benang 2 rangkap.

Berdasarkan hasil uji statistik anava dua arah pada tabel 3 jumlah *twist per meter* (TPM), jumlah rangkapan dan interaksi antara keduanya berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik benang gintir. Jumlah *twist* (TPM) yang lebih tinggi, menyebabkan gaya gesek antar serat meningkat sehingga kekuatan tarik meningkat hingga mencapai titik optimum. Namun, setelah melewati batas optimum,

peningkatan *twist* justru dapat menurunkan kekuatan tarik benang akibat efek *twist liveliness* yang menyebabkan deformasi serat. Sedangkan jumlah perangkapan menyebabkan distribusi beban yang ditahan lebih merata dan daya tahan terhadap gaya tarik meningkat. Gambar 4 menunjukkan bahwa pada jumlah *twist* yang sama benang dengan 3 rangkapan memiliki kekuatan tarik yang lebih besar daripada benang dengan 2 rangkapan. Interaksi antara TPM dan jumlah rangkapan juga berpengaruh signifikan. Peningkatan TPM pada benang dengan lebih banyak rangkapan menghasilkan ikatan antar serat yang lebih kuat, sehingga meningkatkan kekuatan tarik secara keseluruhan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat mulur benang yang dihasilkan memiliki tren yang sama dengan sifat kekuatannya, dimana peningkatan jumlah rangkapan dan jumlah *twist* menghasilkan mulur yang lebih tinggi sebagaimana terlihat pada gambar 6.



Gambar 7 Diagram pengaruh jumlah TPM terhadap mulur benang

Hasil uji statistik anova dua arah pada tabel 4 menunjukkan bahwa jumlah TPM dan jumlah rangkapan secara individual berpengaruh signifikan terhadap *elongation* (mulur) benang gintir, sedangkan interaksi antara keduanya tidak berpengaruh signifikan. Hal ini sesuai dengan teori bahwa *twist* dalam benang berfungsi untuk meningkatkan kohesi antar serat dan memperbaiki karakteristik mekanisnya (Walle, et al., 2022). Semakin tinggi TPM, mulur benang cenderung meningkat hingga titik tertentu, tetapi cenderung menurun jika *twist* terlalu tinggi akibat meningkatnya modulus tarik (Atalie, et al., 2019). Dalam penelitian ini, mulur benang gintir dengan 2 rangkapan meningkat dari 4,7% (550 TPM) menjadi 5,0% (650 TPM), kemudian menurun menjadi 4,8% (750 TPM). Tren ini menunjukkan bahwa peningkatan TPM mempengaruhi elongasi hingga titik optimal sebelum menurun akibat peningkatan kekakuan benang (Guo, et al., 2022). Sedangkan benang gintir dengan 3 rangkapan menunjukkan tren yang berbeda dimana mulur benang masih meningkat seiring dengan peningkatan jumlah TPM.

Sementara itu, jumlah rangkapan memiliki pengaruh yang jauh lebih besar terhadap mulur benang dibandingkan dengan jumlah TPM. Hal ini mendukung teori yang menyatakan bahwa peningkatan jumlah rangkapan menyebabkan distribusi gaya yang lebih merata di dalam benang, sehingga meningkatkan daya regang sebelum putus (Wanasinghe & Mallikarachchi, 2024).

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa jumlah TPM dan jumlah rangkapan berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan mulur benang, sedangkan interaksi keduanya hanya berpengaruh terhadap sifat kekuatan tarik benang. Peningkatan *twist* cenderung meningkatkan kekuatan tarik dan mulur, tetapi setelah melewati titik optimum *twist* kekuatan tarik dan mulur benang cenderung menurun. Pada penelitian ini didapatkan bahwa *twist* optimum untuk benang gintir 2 rangkapan adalah pada 650 TPM, dimana kekuatan tarik benang yang dihasilkan adalah 13,6 cN/tex dan mulur 5%. Sedangkan untuk benang gintir 3 rangkapan titik optimum *twist* belum diketahui, karena pada *twist* 750 TPM kekuatan

tarik benang mencapai nilai tertinggi, yaitu 15,9 cN/tex dan mulur pada 7%. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan untuk mengetahui titik optimum pada benang gintir dengan 3 rangkapan.

## Referensi

- Abteu, M. A., Boussu, F., Bruniaux, P., & Liu, H. (2020). Fabrication and mechanical characterization of dry three-dimensional warp interlock para-aramid woven fabrics: Experimental methods toward applications in composite reinforcement and soft body armor. *Materials*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/MA13194233>
- Akgun, M., Eren, R., Suvari, F., & Yurdakul, T. (2023). Effect of Different Yarn Combinations on Auxetic Properties of Plied Yarns. *Autex Research Journal*, 23(1), 77–88. <https://doi.org/10.2478/aut-2021-0045>
- Atalie, D., Ferede, A., & Rotich, G. K. (2019). Effect of weft yarn twist level on mechanical and sensorial comfort of 100% woven cotton fabrics. *Fashion and Textiles*, 6(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40691-018-0169-6>
- Chattopadhyay, R. (1997). The Influence of Plying on the Tenacity, Breaking Extension, and Flexural Rigidity of Air-jet-spun Yarn. Dalam *Journal of the Textile Institute* (Vol. 88, Nomor 1, hlm. 76–78). <https://doi.org/10.1080/00405009708658531>
- Elmogahzy, Y. (2019). Structure and mechanics of yarns. Dalam *Structure and Mechanics of Textile Fibre Assemblies* (hlm. 1–25). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102619-9.00001-8>
- Guo, Zitong, Shan, Zhongde, Huang, Ji H, Wang, Dong, Huang, Hao, & Chen, Zhe. (2022). Effect of fiber twisting on the Z-directional properties of composites. *Textile Research Journal*, 92(23–24), 4933–4953. <https://doi.org/10.1177/00405175221112412>
- Heng, Y., Gao, B., Wu, C., Mingqing, L., & Yunbo, Z. (2020). *Cutting-resistant plied yarn and preparation method thereof*.
- Kumar Sett, S., Mukherjee, A., & Kundu, N. (2014). Influence of twist on tensile and abrasion properties of DREF-II friction spun plied yarns. *American International Journal of Research in Science*, 14–316. <http://www.iasir.net>
- Maidina, M., Muslim, F., Sudarmanto, S., Purnomo, D., Sumarno, A., & Purnomo, H. (2023). Experimental Investigation on Tensile Strength of Twisted Ramie Fiber Yarns. *Key Engineering Materials*, 963, 119–124. <https://doi.org/10.4028/p-sbxzF0>
- Ng, W. S., & Hu, H. (2017). Tensile and Deformation Behavior of Auxetic Plied Yarns. *Physica Status Solidi (B) Basic Research*, 254(12). <https://doi.org/10.1002/pssb.201600790>
- Paul, R. (2019). High Performance Technical Textiles: An Overview. *High Performance Technical Textiles*. <https://doi.org/10.1002/9781119325062.CH1>
- Vysanska, M. (2024). Counter-plying of two-ply yarn: inner structure changes and external response. *Textile Research Journal*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:269260556>
- Walle, G. A., Atalie, D., Tarekegn, E., Wudneh, A., & Desalegn, A. (2022). Prediction of Mechanical, Evenness and Imperfection Properties of 100% Cotton Ring Spun Yarns with Different Twist Levels. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 41(1), 14–22. <https://doi.org/10.22581/muet1982.2201.02>
- Wanasinghe, W. M. C. S., & Mallikarachchi, H. M. Y. C. (2024). Influence of number of plies on flexural behaviour of ultra-thin woven composites. *Proceedings of Civil Engineering Research Symposium 2024*, 49–50. <https://doi.org/10.31705/CERS.2024.25>
- Wang, Y., Gordon, S., Yu, W.-D., & Li, C. (2020). Twist-dependent behavior of helical-shaped elastic composite yarns containing metal wire produced on a modified ring spinning system. *Polymer Testing*, 91, 106822. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106822>
- Yu, X., Fan, W., Azwar, E., Ge, S., Xia, C., Sun, Y., Gao, X., Yang, X., Wang, S., & Lam, S. S. (2021). Twisting in improving processing of waste-derived yarn into high-performance reinforced composite. *Journal of Cleaner Production*, 317. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128446>