



Pemodelan Pengaruh Nomor dan Kecepatan Pengantar Benang Terhadap Kekuatan Benang *Ring Spinning* Menggunakan Mekanika Klasik dan Regresi Multivarian Nonlinear

Valentinus Galih Vidia Putra^{1)*}, Andrian Wijayono¹⁾, Irwan¹⁾, Sarah Saribanon¹⁾, Roni Sahroni¹⁾, Totong¹⁾, Cahaya Rosyidan²⁾

1)Jurusan Teknik Tekstil, Politeknik STTT Bandung, Bandung

2)Laboratorium Fisika, Universitas Trisakti, Jakarta

Email korespodensi : valentinus@kemenperin.go.id

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v16i2.5989>

Submitted: 15 Februari 2019; Accepted: 14 Juni 2019

ABSTRACT– The application of theoretical physics can be found in textile processing such as yarn manufacturing process. The aim of this research is to determine and to develop a new model to predict the yarn strength of ring spun yarn influenced by the yarn count number (in unit m/g) as well as the delivery speed of yarn in bobbin (v). In this research we have found a new model to predict the yarn strength on ring spinning machine based on classical mechanics as well as statistical method using nonlinear multivariate regression. According to this research, we have established that both classical mechanics and nonlinear multivariate regression can be applied and developed to predict yarn strength as a function of yarn delivery speed and yarn count number both theoretically and experimentally.

KEYWORDS : Ring Spinning, textile, classical mechanics

PENDAHULUAN

Menurut Putra, Iskandar dan Kartika (2015) serta Putra (2017) penerapan ilmu fisika khususnya mekanika klasik (analitik) dalam berbagai bidang kajian terapan telah banyak ditemui, salah satunya adalah pada bidang tekstil, yaitu pada kasus pemintalan atau *spinning*. Dalam pemintalan (proses pembuatan benang dari serat pendek/ *staple yarn*) terdapat beberapa mesin yang dipakai dalam proses pembuatan benang, salah satunya adalah pembuatan benang menggunakan mesin *ring spinning*. Dalam ilmu tekstil, khususnya pembuatan benang, teori pergerakan benang yang membahas mengenai pengaruh nomor benang secara langsung (T_t) dalam dimensi densitas panjang ataupun nomor benang dalam metric memiliki satuan (m/g) dan kecepatan pengantar benang (V_f) terhadap kekuatan benang, T_w , pada mesin Ring Spinning selama ini belum diteliti

secara detail. Zhang, Xuefeng, & Yonglan (2011) menjelaskan pengaruh nomor benang terhadap kekuatan benang Ring Spinning adalah berbanding terbalik, yaitu semakin besar nilai nomor benang (Nm) dalam satuan (m/g) maka akan semakin kecil nilai kekuatan benang, hal yang sama dinyatakan oleh Andriansyah (2017) yang memaparkan hubungan antara kekuatan benang sebagai fungsi nomor benang adalah berbanding terbalik.

Beberapa peneliti yang berupaya untuk memodelkan pergerakan benang dalam proses pemintalan adalah: Putra, Rosyid, & Maruto (2016) yang memperlihatkan pemodelan persamaan gerak benang dengan menggunakan mekanika analitik pada koordinat solenoid, Putra, Maruto, & Rosyid (2017) serta Putra (2017) juga berupaya memodelkan pergerakan benang menggunakan mekanika klasik serta kalkulus

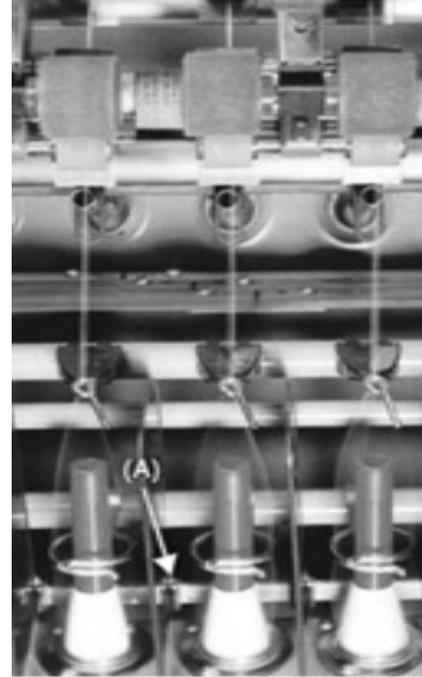
tensor dalam koordinat torus, Putra, Rosyid & Maruto (2016) yang mencoba memodelkan hubungan antara pengaruh bentuk puntiran terhadap besar puntiran (*twist*), Zeidman, Shawney dan Herington (2003) menjelaskan pergerakan serat dalam benang menggunakan pemodelan geometri dalam koordinat silinder dengan besar puntiran didefinisikan sebagai rasio kecepatan putar benang terhadap kecepatan pengantar benang. Pada pemodelan Zeidman, Shawney & Herington (2003) tidak dijelaskan hubungan antara nomor benang terhadap besar puntiran dan besar sudut puntiran serta pengaruhnya terhadap kekuatan benang pada proses pemintalan. Lawrence (2003) menjelaskan pergerakan benang pada proses pemintalan di mesin Ring Spinning menggunakan mekanika analitik dan mekanika klasik. Hasil pemodelan Lawrence (2003) tidak menjabarkan secara detail pengaruh nomor benang dan kecepatan pengantar benang terhadap kekuatan benang. Beberapa peneliti lain seperti Putra (2015), Rohlena (1975), Hearle & Gupta (1965) memodelkan bentuk persamaan gerak serat dan benang pada proses pemintalan benang pendek (*staple*) melalui tinjauan puntiran benang (*twist*), Herawati, Fauzi, & Putra (2015) memodelkan persamaan gerak benang pada mesin rotor untuk mencari hubungan antara kekuatan benang terhadap kecepatan putar benang pada mesin pintal.

Penelitian secara teoritik dan validasi secara eksperimental pada proses pemintalan sangat perlu dilakukan untuk mendapatkan persamaan gerak dan bentuk pemodelan yang sesuai. Pada penelitian ini dikaji perumusan persamaan gerak benang pada mesin Ring Spinning untuk mendapatkan hubungan antara kekuatan benang sebagai fungsi kecepatan benang dan juga nomor benang menggunakan pemodelan mekanika klasik serta regresi multivarian nonlinear.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dimodelkan persamaan gerak benang pada mesin Ring Spinning menggunakan mekanika analitik

klasik dan juga statistik nonlinear multivarian dengan validasi pada percobaan di mesin ring spinning (Gambar 1) serta dengan asumsi bobbin bergerak melingkar bersamaan dengan spindle dan benang bergerak melalui *traveler* menuju ke arah bobbin.



Gambar 1 Sistem Mesin Ring Spinning (Lawrence, 2003)

Bobbin berotasi dengan kecepatan putar n_b bersamaan dengan spindle yang berputar dengan kecepatan putar, $\omega = n_b = n_s$, serta benang pada *traveler* dengan kecepatan putar *traveler*, $n_t \approx n_s$. Benang bergerak dengan kecepatan pengantar, v_f , melewati *lappet* yang memiliki kekuatan *spinning* tertentu, T_s . Benang bergerak menuju ke ring rail dengan kecepatan konstan tertentu (tidak terdapat percepatan) dan kekuatan benang awal pada *lappet* adalah T_0 dengan koefisien gesek antara benang dan *lappet* sebesar μ sedangkan besar sudut yang terbentuk adalah $\Delta\theta$ seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Persamaan gerakan benang pada *Lappet* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum \mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} \quad (1)$$

$$\sum \mathbf{F} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad (2)$$

Saat kecepatan konstan, maka

$$\sum \mathbf{F} = 0 \quad (3)$$

Tinjau komponen pada sumbu-x dan sumbu-y, maka dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\sum F_x = 0 \tag{4}$$

$$(T_s - T_o) \cos\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right) - f_{gesek} = 0 \tag{5}$$

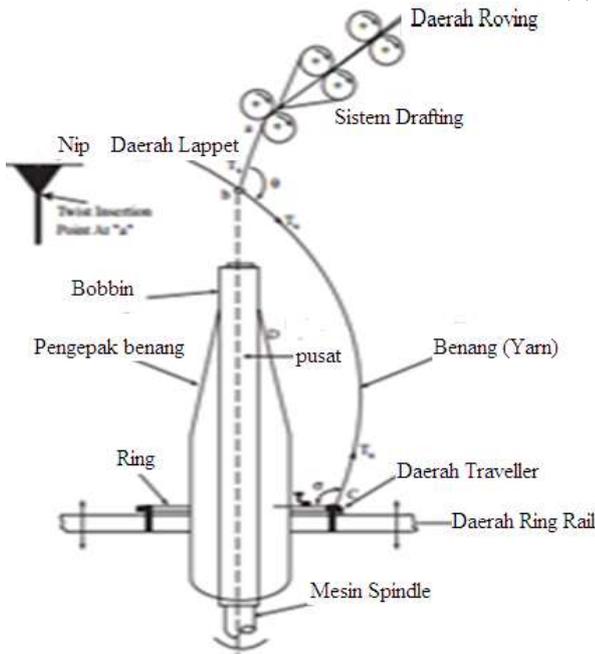
Untuk sudut $\frac{\Delta\theta}{2}$ sangat kecil, maka

$$(T_s - T_o) - f_{gesek} \approx 0 \tag{6}$$

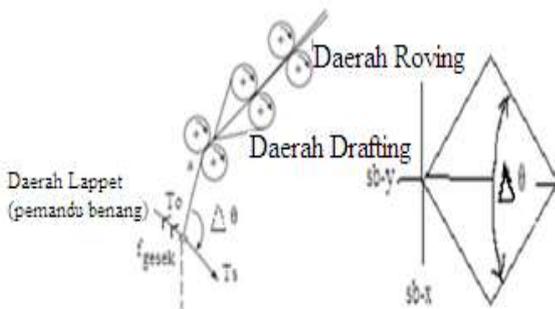
$$T_s - T_o \approx f_{gesek} \tag{7}$$

$$\Delta T \approx f_{gesek} \tag{8}$$

$$\Delta T \approx \mu N \tag{9}$$



Gambar 2 Pergerakan benang pada mesin Ring Spinning



Gambar 3 Pergerakan benang pada daerah Lappet

Untuk komponen gaya pada sumbu-y didapatkan:

$$\sum F_y = 0 \tag{10}$$

$$(T_s + T_o) \sin\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right) - N = 0 \tag{11}$$

Untuk sudut $\frac{\Delta\theta}{2}$ sangat kecil, maka

$$(T_s + T_o) \frac{\Delta\theta}{2} \approx N \tag{12}$$

Jika $T_s + T_o \approx 2T$, maka

$$2T \frac{\Delta\theta}{2} \approx N \tag{13}$$

$$T\Delta\theta \approx N \tag{14}$$

Dengan mensubstitusikan Pers. (9) ke dalam Pers. (14) maka didapatkan:

$$T\Delta\theta \approx \frac{\Delta T}{\mu} \tag{15}$$

Sehingga dihasilkan persamaan (16)

$$\frac{\Delta T}{T} = \mu\Delta\theta \tag{16}$$

Untuk ΔT serta $\Delta\theta$ sangat kecil serta dengan melakukan integral pada kedua sisi, maka didapatkan

$$\int \frac{dT}{T} = \int \mu d\theta \tag{17}$$

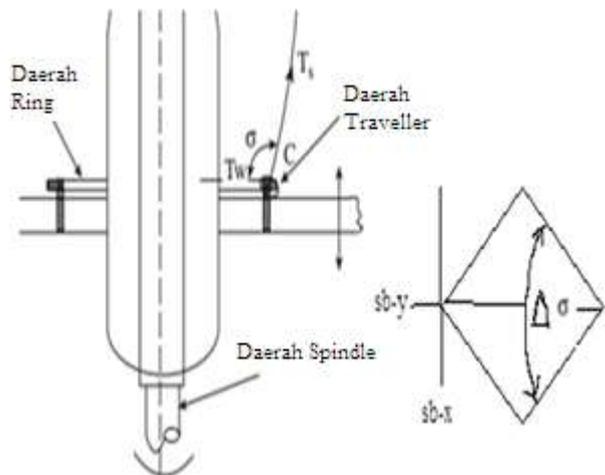
Sehingga dihasilkan Pers. (18)

$$\ln\left(\frac{T_s}{T_o}\right) = \mu\Delta\theta \tag{18}$$

Atau dapat dituliskan

$$\frac{T_s}{T_o} = e^{\mu\Delta\theta} \tag{19}$$

$$T_s = T_o e^{\mu\Delta\theta} \tag{20}$$



Gambar 4 Pergerakan pada bobbin

Benang yang bergerak dengan kecepatan konstan dan besar kekuatan T_s dari lappet guide tersebut kemudian ditarik ke arah bobbin dengan suatu kekuatan tertentu sebesar T_w seperti pada Gambar 4. Benang bergerak konstan menuju bobbin dengan suatu kecepatan tertentu yang dipengaruhi oleh koefisien gesek traveler terhadap benang sebesar μ_t . Besar kekuatan benang yang menuju ke bobbin dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\sum F_x = 0 \tag{21}$$

$$(T_w - T_s) \cos\left(\frac{\Delta\sigma}{2}\right) - f_{gesek} = 0 \quad (22)$$

Untuk sudut $\frac{\Delta\sigma}{2}$ sangat kecil, maka didapatkan Pers. (23) hingga Pers. (26)

$$(T_w - T_s) - f_{gesek} \approx 0 \quad (23)$$

$$T_w - T_s \approx f_{gesek} \quad (24)$$

$$\Delta T \approx f_{gesek} \quad (25)$$

$$\Delta T \approx \mu_t N \quad (26)$$

Untuk komponen gaya pada sumbu-y didapatkan: Pers. (27) hingga Pers. (31)

$$\sum F_y = 0 \quad (27)$$

$$(T_w + T_s) \sin\left(\frac{\Delta\sigma}{2}\right) - N = 0 \quad (28)$$

Untuk sudut $\frac{\Delta\sigma}{2}$ sangat kecil, maka

$$(T_w + T_s) \frac{\Delta\sigma}{2} \approx N \quad (29)$$

Jika $T_w + T_s \approx 2T$, maka

$$2T \frac{\Delta\sigma}{2} \approx N \quad (30)$$

$$T\Delta\sigma \approx N \quad (31)$$

Dengan mensubstitusikan Pers. (31) ke dalam Pers. (26) maka didapatkan Pers. (32):

$$T\Delta\sigma \approx \frac{\Delta T}{\mu_t} \quad (32)$$

Sehingga didapatkan Pers.(33)

$$\frac{\Delta T}{T} = \mu_t \Delta\sigma \quad (33)$$

Untuk ΔT serta $\Delta\sigma$ sangat kecil serta dengan melakukan integral pada kedua sisi, maka didapatkan Pers. (34)

$$\int \frac{dT}{T} = \int \mu_t d\sigma \quad (34)$$

Sehingga dihasilkan Pers. (35)

$$\ln\left(\frac{T_w}{T_s}\right) = \mu_t \Delta\sigma \quad (35)$$

atau dapat dituliskan ke dalam Pers. (36)

$$T_w = T_s e^{\mu_t \Delta\sigma} \quad (36)$$

Substitusikan Pers. (20) ke dalam Pers. (36) didapatkan Pers. (37)

$$T_w = T_o e^{\mu\Delta\theta} e^{\mu_t \Delta\sigma} = T_o e^{(\mu\Delta\theta + \mu_t \Delta\sigma)} \quad (37)$$

Jika besar $\mu\Delta\theta = \mu_t \Delta\sigma$, maka dapat dituliskan ke dalam Pers. (38) hingga Pers. (40)

$$T_w = T_o e^{2\mu\Delta\theta} \quad (38)$$

$$T_w - T_o = T_o e^{2\mu\Delta\theta} - T_o = T_o (e^{2\mu\Delta\theta} - 1) \quad (39)$$

$$\frac{T_w - T_o}{T_o} = \frac{\Delta T}{T_o} = e^{2\mu\Delta\theta} - 1 \quad (40)$$

Besar perubahan kekuatan benang ΔT yang dikarenakan adanya kekuatan benang yang menuju ke bobbin serta kekuatan spinning

sepanjang daerah $y = R$ pada daerah ring rail dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum F = my\omega^2 \quad (41)$$

$$\Delta T = my\omega^2 \quad (42)$$

$$\Delta T = (\lambda dy) y\omega^2 \quad (43)$$

Nomor benang secara langsung T_t dalam tekstil didefinisikan sebagai massa benang tiap satuan panjang dan memiliki dimensi densitas panjang dengan satuan tex atau g/km

$$\Delta T = (T_t dy) y\omega^2 \quad (44)$$

Sehingga

$$\int dT = \int (T_t \omega^2) y dy \quad (45)$$

$$\Delta T = \frac{1}{2} T_t \omega^2 (R^2 - y_o^2) \quad (46)$$

Untuk kondisi saat $y_o = 0$ (berada pada pusat bobbin), maka

$$\Delta T = \frac{1}{2} T_t \omega^2 R^2 \quad (47)$$

Substitusikan Pers. (47) ke dalam Pers. (40) maka didapatkan Pers. (48)

$$\frac{T_t \omega^2 R^2}{2T_o} = e^{2\mu\Delta\theta} - 1 \quad (48)$$

Besar kekuatan awal benang pada daerah *lappet* dapat dituliskan seperti Pers. (49)

$$T_o = \frac{T_t \omega^2 R^2}{2(e^{2\mu\Delta\theta} - 1)} = \frac{1000 n_b^2 R^2}{2N_m (e^{2\mu\Delta\theta} - 1)} \quad (49)$$

Menurut Rohlena (1975), Lawrence (2003) dan juga Trommer (1995) mengenai penomoran benang pada tekstil menggunakan sistem metric (nomor benang tidak langsung) dapat dituliskan sebagai $N_m = \frac{1000}{T_t}$ dengan satuan (m/g). besar kecepatan pengantar dapat dituliskan sebagai $v_f = n_b R$, sehingga untuk $\mu, \Delta\theta, R$, bernilai konstan maka dapat dituliskan sebagai berikut

$$T_o = \left(\frac{1000}{2(e^{2\mu\Delta\theta} - 1)} \right) \frac{n_b^2 R^2}{N_m} = \left(\frac{1000}{2(e^{2\mu\Delta\theta} - 1)} \right) v_f^2 N_m^{-1} \quad (50)$$

Substitusikan Pers.(50) ke Pers. (38) didapatkan besar kekuatan akhir benang yaitu sebesar

$$T_w = \left(\frac{500 e^{(2\mu\Delta\theta)}}{(e^{2\mu\Delta\theta} - 1)} v_f^2 \right) N_m^{-1} \quad (51.a)$$

$$T_w = a v_f^2 N_e^{-1} \quad (51.b)$$

dengan nilai $a > 0$ dan $b=2$ yang bernilai konstan. Pers. (51) adalah persamaan untuk

kondisi ideal pergerakan benang. Untuk memvalidasi maka dapat digunakan hasil percobaan benang menggunakan mesin Ring Spinning merk RY 240 Toyoda dengan kecepatan putar spindle konstan dan kecepatan front roller bervariasi. Untuk benang dengan nomor benang tertentu dalam N_e yang dirumuskan $N_e = 0,59 N_m$ (konversi satuan nomor benang dalam metrik) dengan satuan Ne (hank/lbs), dengan 1 hank adalah sebesar 840 yd dan 1 lbs memiliki nilai yaitu 453,6 g (Trommer, 1995) dan nomor benang N_e adalah 40 (hank/lbs), 50 (hank/lbs) dan 60(hank/lbs) dengan kecepatan pengantar benang adalah 70,7 yd/min, 63 yd/min dan 57,4 yd/min dengan kekuatan benang adalah 211 cN, 169 cN dan 140 cN. Untuk menentukan bentuk persamaan non linear dapat digunakan bentuk persamaan multivariat regresi yang adalah suatu bentuk model statistik dengan input variabel yang memiliki nilai lebih dari satu, semisal hubungan antara kecepatan pengantar dan nomor benang terhadap besar kekuatan benang. Semisal dimodelkan seperti pada Pers. (52- 55).

$$\sum_{i=1}^n \hat{y}_i = a_0 + a_1 \sum x_{i1} + a_2 \sum x_{i2} + \dots + a_k \sum x_{ik}$$

$$\hat{y}_1 = a_0 + a_1 x_{11} + a_2 x_{12} + a_3 x_{13} + \dots + a_k x_{1k}$$

$$\hat{y}_2 = a_0 + a_1 x_{21} + a_2 x_{22} + a_3 x_{23} + \dots + a_k x_{2k}$$

$$\hat{y}_n = a_0 + a_1 x_{n1} + a_2 x_{n2} + a_3 x_{n3} + \dots + a_k x_{nk}$$

$$\begin{pmatrix} \hat{y}_1 \\ \vdots \\ \hat{y}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \dots & x_{1k} \\ 1 & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & x_{nk} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ \vdots \\ a_k \end{pmatrix}$$

$$\hat{y}_i = x_{ik} a_k$$

$$\hat{y} = Xa$$

Selisih antara data eksperimen dengan data prediksi pemodelan disebut sebagai error ϵ dan memiliki nilai sebesar

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) = \epsilon$$

Jika persamaan (56) dikuadratkan, maka akan menghasilkan Pers.(57) di bawah

$$\epsilon^T \epsilon = L$$

Untuk mencari nilai a maka dapat dilakukan optimasi melalui differensial kuadrat Pers. (56) dan Pers. (57) terhadap a

$$L = \epsilon^T \epsilon = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$\begin{aligned} L = \epsilon^T \epsilon &= (y - Xa)^T (y - Xa) \\ &= (y^T - a^T X^T)(y - Xa) \\ &= y^T y - y^T Xa - a^T X^T y + a^T X^T Xa \\ &= y^T y - y^T Xa - (y^T Xa)^T + a^T X^T Xa \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dL}{da} &= \frac{d}{da} (y^T y - y^T Xa - (y^T Xa)^T + a^T X^T Xa) \\ &= -2y^T X + 2a^T X^T X \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2y^T X &= 2a^T X^T X \\ a^T X^T X &= y^T X \text{ dengan } a^T = (X^T X)^{-1} y^T X \end{aligned}$$

$$(a^T X^T X)^T = (y^T X)^T$$

$$(X^T X)a = X^T y$$

$$a = (X^T X)^{-1} X^T y$$

dengan $\hat{y} = Xa = X(X^T X)^{-1} X^T y$

error ϵ

$$\epsilon = y - \hat{y} = (1 - X(X^T X)^{-1} X^T)y = (1 - H)y = \bar{H}y$$

Berdasarkan Pers.(64) di atas dengan matrik X didapatkan melalui persamaan berikut:

$$T_w = a_0 N_e^{a_1} v_f^{a_2}$$

$$\ln T_w = \ln a_0 + a_1 \ln N_e + a_2 \ln v_f$$

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2$$

$$\begin{pmatrix} \hat{y}_1 \\ \hat{y}_2 \\ \hat{y}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \ln(40,1) & \ln(70,7) \\ 1 & \ln(50,1) & \ln(63,0) \\ 1 & \ln(60,1) & \ln(57,4) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

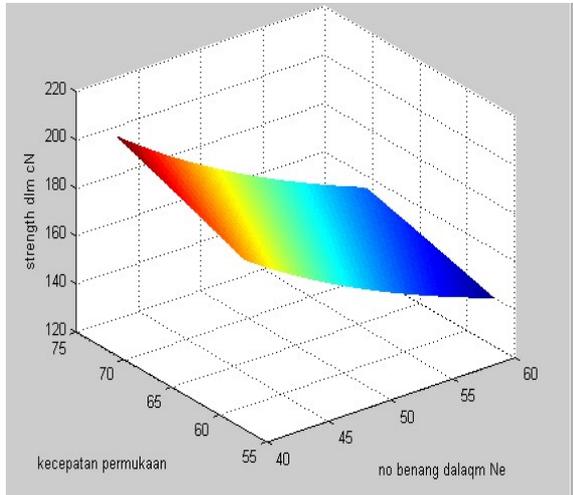
dengan menggunakan pemrograman MATLAB maka didapatkan Pers. (70) dengan $a_0 = e^{A_0}$ dan $a_1 = A_1, a_2 = A_2$

$$\begin{aligned} T_w &= 451,73 v_f^{0,5} N_e^{-0,8} \\ &\approx 451,73 v_f^{0,5} N_e^{-1} \end{aligned}$$

Hasil prediksi teori dan eksperimen besar kekuatan benang dapat diperlihatkan pada Tabel 1. Hasil tampilan kurva tiga dimensi hubungan antara kecepatan pengantar dan nomor benang terhadap kekuatan benang pada software MATLAB dapat diperlihatkan seperti pada Gambar 5.

Tabel 1 Hasil Pemodelan Multivarian Regresi

N_e (hank/lbs)	V_f (yd/min)	$F_{eksperimen}$.10 ² (cN)	$F_{prediksi}$.10 ² (cN)
40	70,7	2,1	2,0
50	63	1,7	1,6
60	57,4	1,4	1,3



Gambar 5 Hasil kurva kekuatan benang sebagai fungsi nomor benang dan kecepatan pengantar

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dikaji perumusan persamaan gerak benang pada mesin *Ring Spinning* untuk mendapatkan hubungan antara kekuatan benang sebagai fungsi kecepatan benang dan juga nomor benang menggunakan pemodelan mekanika klasik serta pemodelan menggunakan regresi multivarian nonlinear. Berdasarkan hasil perhitungan dan juga validasi eksperimen didapatkan hubungan kekuatan benang sebagai fungsi kecepatan pengantar serta nomor benang menggunakan mekanika klasik yang dapat dirumuskan pada Pers. (71) dan Pers. (72) serta hasil validasi dapat diperlihatkan pada Tabel 2.

$$T_w = \left(\frac{500 e^{(2\mu\Delta\theta)}}{(e^{2\mu\Delta\theta} - 1)} \right) v_f^2 N_m^{-1} \quad (71)$$

$$T_w = konst v_f^2 N_m^{-1} = a v_f^2 N_e^{-1} \quad (72)$$

Hasil pemodelan menggunakan mekanika klasik memperlihatkan suatu nilai yang cukup baik. Pemodelan statistika multivarian dapat digunakan untuk mendapatkan hubungan antara kekuatan benang terhadap fungsi kecepatan pengantar serta nomor benang yaitu:

$$T_w = 451,73 v_f^{0,5} N_e^{-0,8} \quad (73)$$

$$\approx 451,73 v_f^{0,5} N_e^{-1}$$

Tabel 2 Hasil Pemodelan Mekanika Klasik

N_e (hank/lbs)	V_f (yd/min)	$F_{eksperimen}$.10 ² (cN)	$F_{prediksi}$.10 ² (cN)
40	70,7	2,1	2,1
50	63,0	1,7	1,4
60	57,4	1,4	0,1

Berdasarkan Pers. (71) dapat disimpulkan bahwa besar kecepatan pengantar benang serta nomor benang mempengaruhi besar kekuatan benang. semakin besar nomor benang N_e , maka besar kekuatan benang semakin turun, sedangkan semakin besar kecepatan pengantar benang maka semakin besar pula kekuatan benang. Hasil penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian Zhang, Xuefeng, & Yonglan (2011) yang menjelaskan pengaruh nomor benang terhadap kekuatan benang Ring Spinning adalah berbanding terbalik, yaitu semakin besar nilai nomor benang (N_m) dalam satuan (m/g) maka akan semakin kecil nilai kekuatan benang, hal yang sama dinyatakan oleh Andriansyah (2017) yang memaparkan hubungan antara kekuatan benang sebagai fungsi nomor benang adalah berbanding terbalik.

Pada penelitian ini juga didapatkan hubungan bahwa hubungan antara kekuatan benang terhadap koefisien gesek benang pada *lappet guide* dan juga *traveler* adalah seperti pada Pers. (73) dan Pers. (74).

$$T_s = T_o e^{\mu\Delta\theta} \quad (74)$$

$$T_w = T_o e^{(\mu\Delta\theta + \mu_t\Delta\sigma)} \quad (75)$$

Besar koefisien gesekan benang akan meningkatkan kekuatan benang pada daerah *lappet* dan juga pada daerah *traveler* yang menuju ke *bobbin*. Berdasarkan hasil eksperimen didapatkan bahwa besar kekuatan benang pada daerah bobbin adalah sebesar:

$$T_w = T_o e^{(2\mu\Delta\theta)} \quad (76)$$

Untuk kondisi $\mu\Delta\theta = \mu_t\Delta\sigma$.

Besar koefisien gesek dapat diperlihatkan seperti Pers. (77) dengan C adalah suatu konstanta sebagai fungsi sudut kontak benang.

$$\mu = \frac{1}{2\Delta\theta} (\ln(T_w) - \ln(T_o)) = C \left(\ln \left(\frac{T_w}{T_o} \right) \right) \quad (77)$$

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 dapat diperlihatkan bahwa hasil pemodelan multivarian regresi nonlinear memperlihatkan hasil yang cukup mendekati data-data validasi eksperimen jika dibandingkan dengan bentuk pemodelan menggunakan mekanika klasik. Hasil selisih pemodelan dengan data validasi eksperimen menggunakan pemodelan mekanika klasik untuk nomor benang 40; 50; dan 60 serta kecepatan pengantar benang 70,7; 63,0; dan 57,4 didapatkan besar selisih rerata antara eksperimen dan model sebesar 0,533. Hasil selisih pemodelan dengan data validasi eksperimen menggunakan pemodelan regresi multivarian nonlinear untuk nomor benang 40; 50; dan 60 serta kecepatan pengantar benang 70,7; 63; dan 57,4 didapatkan besar selisih rerata antara eksperimen dan model sebesar 0,1.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dimodelkan persamaan kekuatan benang sebagai fungsi kecepatan pengantar dan juga nomor benang dalam proses pemintalan Ring Spinning. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pemodelan menggunakan mekanika klasik dan regresi multivarian nonlinear mampu memperlihatkan hubungan antara kekuatan benang sebagai fungsi nomor benang dan kecepatan pengantar benang dengan cukup baik. baik mekanika klasik dan juga regresi multivarian nonlinear memperlihatkan kesesuaian antara beberapa literatur teori dan eksperimen dengan cukup baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada jurusan Teknik Tekstil Politeknik STTT Bandung yang telah mendukung kegiatan penelitian ini sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Andriansyah (2017). Pemodelan dan Validasi Eksperimen untuk Menentukan Actual

Twist tipe Z terhadap Kualitas Benang Kappas pada Mesin Ring Spinning, *Skripsi*, Politeknik STTT Bandung, Bandung.

- Hearle, J. W. S., & Gupta, B. S. (1965). Migration of Fibres in Yarns Part III: A Study of Migration of Staple Rayon Yarn, *Textile Research Journal*, 35(9), 788-795.
- Herawati, R. M., Fauzi, I., & Putra, V. G. V. (2015). Predicting the Actual Strength of Open-End Spun Yarn Using Mechanical Model, *Applied Mechanics and Materials*, 780(1), 69-74.
- Lawrence, C. A. (2003). *Fundamentals of Spun Yarn Technology*, New York: CRC Press.
- Putra, V. G. V., Maruto, G., & Rosyid, M. F. (2017). New theoretical modeling for predicting yarn angle on OE yarn influenced by fibre movement on torus coordinate based on classical mechanics approach, *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 42, 359-363.
- Putra, V. G. V. (2015). Hubungan Actual Twist Tipe -Z Terhadap Kecepatan Benang Pada Mesin Pintal (Pendekatan Fisika), *Prosiding 1st Indonesian Textile Conference Politeknik STTT Bandung*, Bandung, 117-124
- Putra, V. G. V. (2017). *Penerapan Kalkulus Tensor pada Kasus Pemintalan Benang*, Yogyakarta: CV. Mulia Jaya Publisher.
- Putra, V. G. V. (2017). *Pengantar Fisika Dasar*. Yogyakarta: CV. Mulia Jaya Publisher.
- Putra, V. G. V., Iskandar, S., & Kartika. (2015). Studi Bentuk Permukaan Navel terhadap Hairiness, *Prosiding 1st Indonesian Textile Conference Politeknik STTT Bandung*, Bandung, 95-99.
- Putra, V. G. V., Rosyid, M. F., & Maruto, G. (2016). Predicting Non Inertia Frame Related By Speed Of Bobbin Compared By Speed Of Rotor, *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, 12(5), 4107-4114.
- Putra, V. G. V., Rosyid, M. F., & Maruto, G. (2016). A Simulation Model of Twist Influenced by Fibre Movement Inside Yarn on Solenoid Coordinate, *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, 12(1), 405-412.

Rohlena, V. (1975). *Open-End Spinning*, New York: Elsevier Scientific Publishing Company.

Trommer, G. (1995). *Rotor Spinning*, Frankfurt: Deutscher fachverlag.

Zhang, H., Xuefeng, & Yonglan. (2011). Mechanical Properties of Ring-spun Yarn

and Its Strength Prediction Model, *Fibres & Textiles Journal*, 19(3), 17-20.

Zeidman, Shawney, & Herington. (2003). Fiber Migration Theory of Ring Spun Yarn, *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 28, 123-133.