Bentuk Pemodelan Pergerakan Serat-Benang dalam Tampang Lintang Struktur Benang Ring Spinning (Tinjauan Fisika Teori)

Valentinus Galih Vidia Putra*, Resty Maysepheny Hernawati dan Wine Regyandhea Putri

Abstrak

Proses pembentukan benang dalam industri tekstil di Indonesia umumnya menggunakan mesin ring spinning. Benang yang diproduksi menggunakan mesin ring spinning memiliki suatu tekstur yang berbeda dengan benang yang diproduksi dengan jenis mesin yang lain seperti mesin OE, mesin Air jet dsb. Pada penelitian ini dikaji bentuk pergerakan serat-benang dalam tampang lintang yang mendekati bentuk struktur benang Ring Spinning menggunakan persamaan geodesik.

Kata-kata kunci: benang pintal, Ring Spinning, Persamaan geodesik

Pendahuluan

Mesin Ring spinning di industri tekstil adalah salah satu jenis mesin yang digunakan untuk membentuk benang. Benang yang diproduksi dengan mesin ring spinning disebut benang ring spinning. Para peneliti memperlihatkan secara eksperimen bentuk pergerakan serat pada tampang lintang benang (dapat diperlihatkan pada Tabel-1 dan Tabel-2.) [2],[4]

Tabel-1 Bentuk Pergerakan serat pada mesin spinning (Lawrence, 2010)

Jenis Mesin	Bentuk Pergerakan serat pada tampang lintang benang	Micrograph yarn structure
Pintal		
Air jet spinning
Ring Spinning

Tabel-2 Perbandingan sifat jenis benang

Sifat	Ring spinning	Rotor spinning	Airjet spinning
Hairiness, curling	Maksimum	50% lebih rendah dibandingkan ring spinning untuk benang katun	Minimal
Kekuatan benang	Maksimum	Lebih rendah 20% hingga 30% dari ring spinning untuk benang katun	Minimal
Ketidakrataan/ unevenness, Imperfection (neps, thin places, thick places)	Maksimum	Lebih rendah dari ring spinning	Minimal
Tenacity	Maksimum	Lebih rendah 20% dari ring spinning	Minimal

Dari pergerakan serat pada tampang lintang benang. Lawrence memperlihatkan kualitas benang yaitu seperti kekuatan benang, ketidakrataan (*unevenness*), jumlah bulu pada benang/*hairiness*, dan sebagainya [2]. Furter memperlihatkan perbandingan struktur benang yang bergantung pada karakteristik jenis benang

yang diproduksi dengan jenis mesin pintal yang berbeda. Dapat diperlihatkan pada Gambar-1 struktur benang mesin Ring Spinning, Compact, OE Rotor dan Air Jet Vortex Spinning. [1] Tampak bahwa benang ring spinning memperlihatkan jumlah hairiness yang paling tinggi. Hal serupa diungkapkan oleh Rohlena [3].

Gambar-1 Struktur benang mesin spinning

Tensor Metrik Pergerakan Serat-Benang

Dalam bab ini akan diuraikan analisa teori yang mendukung, yaitu: (1) Bentuk tensor metrik pemodelan gerakan serat pada benang, serta (2) Pergerakan serat terhadap faktor penentu kualitas pemintalan benang.

Dapat dimodelkan sebagai berikut: jika benang diputar dengan suatu kecepatan putar sebesar $\dot{\phi}(rpm)$ dan panjang jejari benang adalah $\rho(mm)$ serta panjang benang adalah $z=l$. Bentuk tensor metrik serat dalam benang berbentuk koordinat silinder dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$S = (x, y, z) = (\rho \cos \varphi, \rho \sin \varphi, z) \quad (1)$$

Transformasi vektor dari koordinat K' (koordinat baru) ke koordinat K (koordinat lama) adalah

$$\tilde{\beta}_1 = \frac{dx^1}{dx^1} \beta_1 + \frac{dx^2}{dx^1} \beta_2 + \frac{dx^3}{dx^1} \beta_3 = \frac{dx}{d\rho} i + \frac{dy}{d\rho} j + \frac{dz}{d\rho} k \quad (2)$$

$$\tilde{\beta}_1 = \frac{dx}{d\rho} i + \frac{dy}{d\rho} j + \frac{dz}{d\rho} k = \cos \varphi i + \sin \varphi j + 0 k \quad (3)$$

$$\tilde{\beta}_2 = \frac{dx^1}{dx^2} \beta_1 + \frac{dx^2}{dx^2} \beta_2 + \frac{dx^3}{dx^2} \beta_3 = \frac{dx}{d\varphi} i + \frac{dy}{d\varphi} j + \frac{dz}{d\varphi} k \quad (4)$$

$$\tilde{\beta}_2 = \frac{dx}{d\varphi} i + \frac{dy}{d\varphi} j + \frac{dz}{d\varphi} k = -\rho \sin \varphi i + \rho \cos \varphi j + 0 k \quad (5)$$

$$\tilde{\beta}_3 = \frac{dx}{dz} i + \frac{dy}{dz} j + \frac{dz}{dz} k = 0 i + 0 j + k \quad (6)$$

Dalam bentuk matrik vektor basis dapat dituliskan sebagai berikut

$$\begin{pmatrix} \tilde{\beta}_1 \\ \tilde{\beta}_2 \\ \tilde{\beta}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\rho \sin \varphi & \rho \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i \\ j \\ k \end{pmatrix} \quad (7)$$

Hasil perkalian skalar produk menghasilkan

$$g_{mn} = \begin{pmatrix} g_{11} & 0 & 0 \\ 0 & g_{22} & 0 \\ 0 & 0 & g_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \rho^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Untuk keadaan benang dalam posisi lurus, dengan menggunakan koordinat silinder, maka dapat dijabarkan bentuk elemen panjang kuadrat sebagai berikut

$$ds^2 = g_{mn} dx^m dx^n = (dx^2 + dy^2 + dz^2) = (d\rho^2 + \rho^2 d\varphi^2 + dz^2) \quad (9)$$

dengan menggunakan persamaan geodesik di bawah

$$\frac{d^2 x^\eta}{dt^2} + \Gamma_{\alpha\beta}^\eta \frac{dx^\alpha}{dt} \frac{dx^\beta}{dt} = A^\eta = 0 \quad (10)$$

$$\Gamma_{ab}^c = g^{ck} \frac{1}{2} [d_a g_{bk} + d_b g_{ka} - d_k g_{ab}] \quad (11)$$

Dengan menggunakan persamaan (10) dan persamaan (11) maka didapatkan bentuk persamaan gerak adalah

$$\frac{d^2 x^1}{dt^2} + \Gamma_{\alpha\beta}^1 \frac{dx^\alpha}{dt} \frac{dx^\beta}{dt} = 0 \quad (12)$$

$$\frac{d^2 \rho}{dt^2} - \rho \dot{\varphi}^2 = A^\rho = 0 \quad (13)$$

$$\frac{d^2 x^2}{dt^2} + \Gamma_{\alpha\beta}^2 \frac{dx^\alpha}{dt} \frac{dx^\beta}{dt} = 0 \quad (14)$$

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{2}{\rho} \dot{\varphi} \dot{\rho} = A^\varphi = 0 \quad (15)$$

$$\frac{d^2 x^3}{dt^2} + \Gamma_{\alpha\beta}^3 \frac{dx^\alpha}{dt} \frac{dx^\beta}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2} = A^z = 0 \quad (16)$$

$$\frac{dz}{dt} = \dot{z} = \text{Const} \quad (17)$$

Hasil persamaan (13),(14) dan (15) adalah bentuk persamaan gerak serat-benang dalam tampang lintang benang koordinat silinder. Dengan menggunakan komputasi didapatkan seperti pada Tabel-3

Tabel-3 Simulasi Pergerakan Serat

Listing program	Simulasi pergerakan serat	Hasil	Tensor metrik untuk pergerakan serat
<pre>r=linspace(0,0.7,20); theta=linspace(0,2*pi,40); [r,theta]=meshgrid(r,theta); x=2*cos(theta); y=2*sin(theta); z=r; mshnd=mesh(x,y,z); set(mshnd,... 'EdgeColor',[6,6,6],... 'FaceAlpha',0.5,... 'EdgeAlpha',0.5); axis equal t=linspace(0,1,200); x=2*cos(20*t); y=2*sin(20*t); z=t; lshnd=line(x,y,z); set(lshnd,... 'Color',[625,0,0],... 'LineWidth',2)</pre>			$ds^2 = \rho^2 d\varphi^2 + dz^2$ untuk nilai $\rho=1$, rasio panjang benang dan panjang serat adalah 0,7. Untuk benang dalam keadaan ideal (tanpa ada penyusutan)
<pre>r=linspace(0,3,0.7,20); theta=linspace(0,2*pi,40); [r,theta]=meshgrid(r,theta); x=r*cos(theta); y=r*sin(theta); z=r; mshnd=mesh(x,y,z); set(mshnd,... 'EdgeColor',[6,6,6],... 'FaceAlpha',0.5,... 'EdgeAlpha',0.5); axis equal t=linspace(0,3,1,200); x=t*cos(20*t); y=t*sin(20*t); z=t; lshnd=line(x,y,z); set(lshnd,... 'Color',[625,0,0],... 'LineWidth',2)</pre>			$ds^2 = d\rho^2 + \rho^2 d\varphi^2 + dz^2$ untuk nilai $\rho=1$, rasio panjang benang dan panjang serat adalah 0,6 untuk benang dalam tampang lintang silinder (keadaan ideal)

untuk menganalisa bentuk pergerakan serat serta hubungannya dengan besar sudut twist yang merupakan salah satu variabel penting dalam analisa kekuatan benang, maka dapat digunakan persamaan (9), yaitu

$$\left(\frac{dl}{dz}\right)^2 = 1 + \left(\frac{d\rho}{dz}\right)^2 + \left(\rho \frac{d\phi}{dz}\right)^2 \quad (18)$$

$$\left(\frac{dl}{dz}\right)^2 = 1 + m_{\text{serat}}^2 + (\tan\alpha)^2 \quad (19)$$

$$(\sec\theta)^2 = 1 + m_{\text{serat}}^2 + (\tan\alpha)^2 \quad (20)$$

$$\tan^2\theta = m_{\text{serat}}^2 + \tan^2\alpha \quad (21)$$

$$\tan^2\theta - \tan^2\alpha = m_{\text{serat}}^2 \quad (22)$$

Menurut Lawrence[2] besar migrasi serat pada benang umumnya sangat kecil, sehingga bisa diabaikan. Dengan mengabaikan besar migrasi serat, maka pada persamaan (22) dapat dituliskan sebagai berikut

$$\sqrt{\tan^2\theta - \tan^2\alpha} = m_{\text{serat}} = 0 \quad (23)$$

$$\tan\theta = \tan\alpha \quad (24)$$

Umumnya besar sudut twist pada benang berkisar antara sudut $\theta = 37^\circ - 45^\circ$ jika dipilih bahwa besar sudut adalah $\theta = 45^\circ$ maka

$$\cos\theta = \frac{dz}{dl} = 0,7 \quad (25)$$

$$\frac{l_{\text{benang}}}{l_{\text{serat}}} \approx \frac{r_{\text{bobbin}}}{l_{\text{serat}}} = \frac{h}{l_{\text{serat}}} = 0,7 \quad (26)$$

$$\frac{\sum_i L_{\text{Benang}}^i}{\sum_i L_{\text{Serat}}^i} \approx \frac{2h}{2l_{\text{serat}}} = 0,7 \quad (27)$$

Dapat diperlihatkan pada Gambar-2 bentuk persamaan gerak pada serat-benang

Gambar-2 Pergerakan serat benang pada mesin Ring Spinning

Hasil dan diskusi

Telah dikaji bentuk persamaan gerak serat dalam benang dengan koordinat silinder (bentuk benang ideal) dengan menggunakan persamaan geodesik. Didapatkan bahwa untuk pergerakan serat dalam koordinat silinder mengharuskan besar migrasi serat dapat diabaikan. Dapat diperlihatkan pada persamaan (13),(14) dan (15) adalah bentuk persamaan gerak serat-benang dalam tampang lintang benang koordinat silinder.

Jika dipilih besar sudut twist adalah $\theta = 45^\circ$ maka dari persamaan (15) dapat ditentukan bahwa persamaan gerak untuk migrasi serat yang konstan ($\dot{\rho} = \text{Const}$), maka besar kecepatan pengantar benang (yarn delivery)

adalah $\dot{z} = \dot{l} \cos\theta = \frac{\dot{l}}{\sqrt{2}}$ sedangkan besar

kelajuan putar benang adalah $|\dot{\phi}| = C_1 e^{(-2\dot{\rho}/\rho)t}$

Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dikaji bentuk pergerakan serat-benang dalam tampang lintang yang mendekati bentuk struktur benang Ring Spinning menggunakan persamaan geodesik dengan pengabaian migrasi serat yang dikarenakan besar migrasi serat sangat kecil. Dari hasil analisa teori didapatkan bahwa besar kecepatan pengantar benang (yarn delivery)

adalah $\dot{z} = \dot{l} \cos\theta = \frac{\dot{l}}{\sqrt{2}}$ sedangkan besar

kecepatan putar benang adalah $|\dot{\phi}| = C_1 e^{(-2\dot{\rho}/\rho)t}$

Referensi

- [1] Furter, *Measurement and significance of yarn twist*, Uster Technology AG, Switzerland, 2009
- [2] Lawrence, *Advances in Yarn Spinning Technology*, Woodhead Publishing, Cambridge. 2010
- [3] Rohlena, Vaclav et al., *Open-End Spinning*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 1975.
- [4] Trommer, Gunter., *Rotor Spinning*, Deutscher fachverlag, Frankfurt, 1995.

Valentinus Galih Vidia Putra*
Politeknik STTT Bandung (Mahasiswa S3 UGM)
galih_vidia@yahoo.com

Wine Regyandhea Putri
Politeknik STTT Bandung
reyandheawine@yahoo.com

Resty Mayseptheny Hernawati
Politeknik STTT Bandung
resty.mayseptheny.h@gmail.com

*Corresponding author