Pemodelan Dan Validasi Nilai Konstanta Diameter Benang Secara Teori Dan Pengolahan Citra Digital

Andrian Wijayono^{1,*}, Wilda Murti¹, Valentinus Galih Vidia Putra² and Siti Rohmah³

¹ Politeknik STTT Bandung, Textile Engineering, Jl. Jakarta no.31, Bandung, Indonesia;
andrianwijayono@windowslive.com

² Politeknik STTT Bandung, Head of Physics Laboratory, Jl. Jakarta no.31, Bandung, Indonesia;
valentinus@kemenperin.go.id

³ Politeknik STTT Bandung, Head of Textile Design Laboratory, Jl. Jakarta no.31, Bandung, Indonesia;
sitifirdaus2013@gmail.com

* Correspondence: andrianwijayono@windowslive.com; Tel.: +62-8180-9980-810

Intisari: Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran diameter guna mengukur nilai konstanta diameter benang secara teori dan pengolahan citra. Hubungan antara variabel diameter benang dan nomor benang secara teoritis dirumuskan sebagai $d_{yarn} = (0,035...0,04)\sqrt{Tex}$. Perbandingan hasil pengukuran konstanta diameter benang secara eksperimen dari beberapa sampel benang telah didapatkan. Telah ditemukan suatu nilai konstanta hubungan antara diameter benang dengan nomor benang dalam Tex secara eksperimen, yaitu sebesar $d_{benang} = 0,0359 Tex^{0,5269}$.

Kata Kunci: diameter benang, nilai konstanta diameter benang, nomor benang, pengolahan citra.

1. Pendahuluan

V. Carvalho, dkk (2009) mengatakan bahwa diameter benang merupakan panjang sumbu lintang pada tepi benang satu terhadap lainnya, umumnya dinyatakan dalam bentuk nilai diameter rata-rata. Gambar 1 menunjukkan skema jejari (r) dan sudut twist (θ) dari suatu benang. Kretzschmar, Donmez dan Further (2009) menyatakan bahwa diameter benang bergantung pada jumlah serat yang berada pada penampang melintang benang, tingkat kehalusan serat, kerapatan serat, antihian pada benang dan struktur permukaan benang. Selain itu, Kretzschmar, Donmez dan Further (2009) juga mengatakan bahwa pengukuran diameter benang juga penting untuk mengestimasi parameter *cover factor*, *porosity* dari struktur kain tenun dan struktur kain rajut. Diameter juga dapat digunakan untuk menentukan parameter *stitch length* (panjang benang pada satu jeratan) dari struktur kain rajut.

Mengacu pada SNI 8213:2016 Tekstil – Benang Jahit, diameter benang dikategorikan sebagai salah satu syarat mutu pada benang jahit. Selain itu semakin kecil diameter benang, semakin sedikit jumlah serat pada daerah tampang lintang benang yang mengakibatkan kekuatan benang menurun dan hal ini menyebabkan putus benang semakin besar (Penava, 1997). Hal senada dikatakan oleh Prenzova (2000) yaitu kekuatan benang akan berkurang seiring dengan berkurangnya diameter benang yang dikarenakan berkurangnya serat pada daerah tampang lintang benang. Berdasarkan hal tersebut, suatu rumusan baku untuk mencari nilai diameter benang adalah penting untuk diketahui. Untuk menghitung besar diameter benang secara teori dapat digunakan rumusan Trommer (1995), yaitu $d_{yarn} = (0,035...0,04)\sqrt{Tex}$, dengan nilai konstanta diameter benang secara teori adalah berkisar antara 0,035 hingga 0,04. Menurut Neckar (1980), diameter benang secara teori dapat dihitung dengan rumusan $d_{yarn} = K\sqrt{Tex}$.

Gambar 1. Skema jejari (r) dan sudut twist (θ) benang.

Pada penelitian ini telah diuji diameter benang dan nomor benang dari empat buah sampel benang poliester dari mesin *ring spinning* dengan nilai nomor benang yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konstanta serta rumus hubungan antara diameter benang dengan nomor benang secara eksperimen.

2. Pemodelan Hubungan Diameter Benang dan Nomor Benang Pada Koordinat Silinder

Menurut Putra (2017), dapat dimodelkan secara teori hubungan antara diameter benang terhadap nomor benang dalam Nm pada koordinat silinder sebagai berikut:

$$ds^2 = g_{mn} dx^m dx^n = (ds^2 + dy^2 + dz^2) = (d\rho^2 + \rho^2 d\varphi^2 + dz^2), \quad (1)$$

Transformasi vector dari koordinat K' ke koordinat K adalah $\tilde{\beta}_\mu = \frac{dx^m}{d\tilde{x}^\mu} \beta_m$

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

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

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

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

$$\tilde{\beta}_3 = \frac{dx^1}{d\tilde{x}^3} \beta_1 + \frac{dx^1}{d\tilde{x}^3} \beta_2 + \frac{dx^1}{d\tilde{x}^3} \beta_3 = \frac{dx}{dz} i + \frac{dy}{dz} j + \frac{dz}{dz} k \quad (6)$$

$$\tilde{\beta}_3 = \frac{dx}{dz} i + \frac{dy}{dz} j + \frac{dz}{dz} k = 0 \cdot i + 0 \cdot j + k \quad (7)$$

Dalam bentuk matrik dapat dituliskan sebagai berikut

$$\begin{pmatrix} \tilde{\beta}_1 \\ \tilde{\beta}_2 \\ \tilde{\beta}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ -\rho \sin\varphi & \rho \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i \\ j \\ k \end{pmatrix} \quad (8)$$

Hasil perkalian dot produk menghasilkan

$$\tilde{\beta}_u \bullet \tilde{\beta}_v = \frac{dx^m}{d\tilde{x}^u} \frac{dx^n}{d\tilde{x}^v} \beta_m \beta_n \quad (9)$$

$$\tilde{\beta}_1 \bullet \tilde{\beta}_1 = (\cos\varphi.i + \sin\varphi.j + 0.k) \bullet (\cos\varphi.i + \sin\varphi.j + 0.k) = 1 \quad (10)$$

$$\tilde{\beta}_2 \bullet \tilde{\beta}_2 = (-\rho \sin\varphi.i + \rho \cos\varphi.j + 0.k) \bullet (-\rho \sin\varphi.i + \rho \cos\varphi.j + 0.k) = \rho^2 \quad (11)$$

$$\tilde{\beta}_3 \bullet \tilde{\beta}_3 = 1 \quad (12)$$

$$g_{mn} = \begin{pmatrix} g_{11} & 0 & 0 \\ 0 & g_{22} & 0 \\ 0 & 0 & g_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \rho^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

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

Dengan menggunakan simbol cristoffel, didapatkan persamaan berikut:

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

$$\frac{dz}{dt} = \dot{z} = \text{const}, \quad (16)$$

$$\left(\frac{dl}{dz}\right)^2 = 1 + \left(\frac{d\rho}{dz}\right)^2 + \left(\rho \frac{d\varphi}{dz}\right)^2. \quad (17)$$

$$\left(\frac{dl}{dz}\right)^2 = 1 + m_{\text{serat}}^2 + (\tan \alpha)^2. \quad (18)$$

$$(\sec \theta)^2 = 1 + m_{\text{serat}}^2 + (\tan \alpha)^2. \quad (19)$$

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

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

Dari persamaan (10), jika nilai migrasi serat bernilai nol untuk satu putaran penuh, sehingga:

$$\sqrt{\tan^2 \theta - \tan^2 \alpha} = m_{\text{serat}}^2 = 0. \quad (22)$$

$$\tan \theta = \tan \alpha. \quad (23)$$

$$\tan \theta = 2\pi r T. \quad (24)$$

Dari persamaan ini dapat pula ditentukan diameter yarn terhadap Nm (Nomor Metrik):

$$T = \frac{n_r}{v_d} = \frac{\tan \alpha}{2\pi a} = \frac{\tan \alpha}{\pi d_{\text{benang}}} = \beta \sqrt{N_m}. \quad (25)$$

$$\frac{\tan \alpha}{\pi d_{\text{benang}}} = \beta \sqrt{N_m}. \quad (26)$$

Dapat pula ditentukan diameter yarn terhadap Tt (Tex), β dalam $[M]^{1/2} [L]^{-3/2}$, Tt dalam satuan g/km, sedangkan N_m dalam satuan m/g:

$$d_{benang} = \frac{\tan \alpha}{\pi \beta \sqrt{N_m}} = \frac{\tan \alpha}{\pi \beta'} \sqrt{Tt}. \quad (27)$$

Berdasarkan rumusan Trommer (1995), hubungan diameter benang dengan nomor benang memiliki rumusan sebagai berikut:

$$d_{yarn} = (0,035 \dots 0,04) \sqrt{Tex} \quad (28)$$

Rumusan hubungan diameter benang dengan nomor benang (*yarn count*) menurut Neckar (1980) adalah sebagai berikut:

$$d_{yarn} = K \sqrt{Tex} \quad (29/18)$$

Berdasarkan persamaan (16), persamaan (17) dan persamaan (18), maka dapat dihitung secara teori nilai konstanta diameter benang K sebagai berikut:

$$d_{benang} = \frac{\tan \alpha}{\pi \beta'} \sqrt{Tt} = K \sqrt{Tex} = (0,035 \dots 0,04) \sqrt{Tex} \quad (30)$$

$$K = \frac{\tan \alpha}{\pi \beta'} = (0,035 \dots 0,04) \quad (31)$$

3. Validasi Eksperimen

Validasi eksperimen pada penelitian ini dilakukan untuk membuktikan nilai konstanta diameter benang dari hasil pemodelan terhadap nilai konstanta diameter secara eksperimen. Pada penelitian ini telah didapatkan hasil pengukuran diameter benang dan nomor benang pada empat jenis benang sampel berbahan poliester dari mesin *ring spinning* seperti tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil eksperimen pengukuran diameter benang dan nomor benang sampel uji

No	Jenis sampel benang	Nomor benang (Tex)	Diameter benang (mm)	Nilai konstanta diameter (K)
1	Benang polyester <i>ring spinning</i> Ne1 10	$59,172 \pm 0,519$	$0,297 \pm 0,015$	$0,0386 \pm 0,0025$
2	Benang polyester <i>ring spinning</i> Ne1 20	$29,33 \pm 0,422$	$0,201 \pm 0,02$	$0,0371 \pm 0,0025$

3	Benang polyester spinning Ne ₁ 30	ring	$19,405 \pm 0,544$	$0,149 \pm 0,02$	$0,0338 \pm 0,0027$
4	Benang polyester spinning Ne ₁ 40	ring	$14,852 \pm 0,237$	$0,133 \pm 0,01$	$0,0345 \pm 0,0021$

Pengukuran diameter benang telah dilakukan dengan menggunakan alat *yarn diameter tester device*. Pengukuran yang telah dilakukan termasuk pada sistem visual. Pengukuran dilakukan dengan cara menganalisis citra digital pandangan benang yang ditangkap dengan menggunakan suatu perangkat mikroskop digital dan menggunakan teknik analisis *image processing*. Perangkat mikroskop yang telah digunakan untuk mengukur diameter benang yaitu perangkat mikroskop digital endoskop berkapasitas pembesaran 500x dengan ketajaman $1200 \times 900 \text{ pixel}$. Pada penelitian ini, analisis *image processing* telah dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak pengolah citra digital dengan metode seleksi daerah. Perangkat lunak tersebut dapat menganalisis citra digital serta menghasilkan hasil pengukuran diameter benang dalam satuan milimeter.

Dengan mengetahui nomor benang dari hasil pengujian nomor benang pada setiap sampel uji, serta mengetahui diameter benang dari hasil pengukuran diameter benang, dapat diketahui nilai konstanta diameter benang dengan menggunakan persamaan (18). Nilai konstanta K dari hasil validasi eksperimen dapat dilihat pada Tabel 1. Grafik perbandingan nilai K secara eksperimen dan pemodelan dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Perbandingan nilai K secara eksperimen dan pemodelan

4. Hasil dan Pembahasan

Dari pemodelan hubungan diameter benang terhadap nomor benang, dapat diperlihatkan hubungan yang berbanding lurus, yaitu mengikuti persamaan (29) dan persamaan (30). Hasil validasi

secara eksperimen memperlihatkan hubungan serupa dengan hasil pemodelan teori. Secara teori nomor benang Tex merupakan satuan densitas panjang yang menyatakan berat benang per satuan panjang 1000 meter. Semakin besar nomor benang Tex, maka akan semakin besar pula berat benang per satuan panjang. Berdasarkan hasil validasi eksperimen, didapatkan hubungan antara diameter benang terhadap nomor benang berbanding lurus diperlihatkan pada grafik Gambar 3.

Gambar-3. Grafik analisis regresi perbandingan teori dan eksperimen

Gambar-3 merunjukkan grafik hubungan diameter benang dengan nomor benang. Pada grafik tersebut memperlihatkan bahwa secara pemodelan (warna biru) menunjukkan rumus hubungan antara nilai diameter benang dengan nomor benang sebagai berikut:

$$y = 0,04 \text{ Tex}^{0,5} \quad (32)$$

sedangkan secara eksperimen (warna jingga) menunjukkan hubungan antara nilai diameter benang dengan nomor benang sebagai berikut:

$$y = 0,0359 \text{ Tex}^{0,5269} \quad (33)$$

5. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah didapatkan bahwa rumusan diameter terhadap nomor benang tex menggunakan pemodelan benang pada koordinat silinder adalah $d_{benang} = \frac{\tan \alpha}{\pi \beta'} \sqrt{Tt} = 0,035 \dots 0,04 \sqrt{\text{Tex}}$ dan nilai konstanta diameter benang yang nilainya berkisar pada rentang 0,035 hingga 0,04, dengan hubungan antara diameter benang dengan nomor benang adalah berbanding lurus (semakin besar nomor benang dalam tex, maka akan semakin besar diameter benang). Berdasarkan analisis regresi pada hasil validasi eksperimen, telah didapatkan rumusan hubungan diameter terhadap nomor benang tex sebesar $d_{benang} = 0,0359 \text{ Tex}^{0,5269}$, sedangkan berdasarkan analisis pemodelan telah didapatkan rumusan hubungan diameter terhadap nomor benang tex sebesar $y = 0,04 \text{ Tex}^{0,5}$.

Author Contributions: Andrian Wijayono designed, performed validation of experiment and wrote the paper; Wilda Murti performed the statistical analysis from the experimental result; Valentimus Galih Vidia Putra designed the yarn diameter modelling; and Siti Rohmah conceived and designed the experiments.

References

1. Donmez S., Kretzschmar and R. Further. 2009. Uster Tester 5-S800 Aplication Report: The measurement of the yarn diameter, density and shape of yarn. Uster. Switzerland.
2. Lawrence, 2010, Advances in Yarn Spinning Technology , Woodhead Publishing, Cambridge.
3. Neckar, 1980, Yarn-structure-physical Model of Inner Structure, SVUT, Liberec.

4. Penava, 1997, *Journal of the Textile Institute*, , 88, Hal. 21-32.
5. Prendžova, 2000, *International Journal of Polymeric Materials*, , 47, Hal. 701-707.
6. Putra, VGV, 2017, *Pemodelan Analisa Struktur dan Mekanis Serat Benang Open End Spinning Dalam Rangka Menentukan Sudut Puntiran (Kajian Teoritik)*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
7. SNI 8213:2016, *Teskitil-Benang Jahit*. Badan Standarisasi Nasional. (BSN)
8. Trommer, Gunter., 1995, *Rotor Spinning*, Deutscher fachverlag, Frankfurt.
9. V. Carvalho. 2010. Yarn Diameter Characterization Using Two Orthogonal Direction. *IEEE Transactions On Instrumentation and Measurement*, Vol. 58, No. 3, Hal 594-601.