



STUDI PERBANDINGAN METODE KAPASITANSI DAN METODE PENGOLAHAN CITRA DIGITAL DALAM PENGUKURAN *HAIRINESS* PADA BENANG SPUN

Wilda Murti^{1*}, Reski Alya Pradifta², Andrian Wijayono³, Verawati Nurazizah⁴, Fahmi Fawzy Rusman⁵, Nurfadilah Ikhsani⁶

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

e-mail: wmurti@ak-tekstilsolo.ac.id^{1*}, reskialyap@kemenperin.go.id²,

andrianw@kemenperin.go.id³, verawatinurazizah@kemenperin.go.id⁴,

fahmirusman@kemenperin.go.id⁵, nurfadilahikhsani@kemenperin.go.id⁶

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui hubungan antara metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital dalam pengukuran *hairiness index* pada benang serta mengevaluasi kemungkinan metode pengolahan citra digital sebagai alternatif pengujian *hairiness* benang spun. Pada penelitian ini, digunakan tiga jenis benang dengan nomor Nec 12, Nec 16, dan Nec 24. Pengukuran *hairiness* dilakukan dengan dua metode: metode kapasitansi berdasarkan standar SNI ISO 16549:2010 (*Tekstil – Ketidakrataan Benang dan Sejenisnya*) menggunakan alat Textechno Covatest, serta metode pengolahan citra digital dengan kamera CMOS Dino-Lite dan perangkat lunak berbasis pemrograman Java. Proses pengolahan citra digital dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu akuisisi citra benang, segmentasi latar belakang dan ekstraksi fitur serat bebas, konversi citra ke dalam format biner dan analisis kuantitatif dan perhitungan *Hairiness index* (HI). Hasil *hairiness index* dari kedua metode dibandingkan dengan analisis regresi linier untuk mengetahui hubungan antara keduanya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital memiliki hubungan yang sangat kuat dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 90,23%. Nilai ini menunjukkan bahwa metode pengolahan citra digital memiliki potensi sebagai alternatif dalam pengukuran *hairiness* benang spun.

Kata Kunci: *Bulu benang, Indeks Hairiness, Metode Kapasitansi, Metode Pengolahan Citra Digital.*

ABSTRACT

The objective of this study is to determine the relationship between the capacitance method and the digital image processing method in measuring the *hairiness index* of yarn, as well as to evaluate the potential of digital image processing as an alternative method for testing spun yarn hairiness. This study utilizes three types of yarn with counts of Nec 12, Nec 16, and Nec 24. Hairiness measurement is conducted using two methods: the capacitance method, based on the SNI ISO 16549:2010 standard (*Textiles – Yarn Evenness and Similar Properties*), utilizing the Textechno Covatest instrument, and the digital image processing method, employing a CMOS Dino-Lite camera and Java-based software. The digital image processing procedure consists of several stages, including yarn image acquisition, background segmentation and free fiber feature extraction, image conversion to binary format, quantitative analysis, and *Hairiness index* (HI) calculation. The *hairiness index* results from both methods are compared using linear regression analysis to determine their correlation. The findings indicate that the capacitance method and the digital image processing method exhibit a very strong relationship, with a coefficient of determination (R^2) of 90.23%. This result suggests that the digital image processing method has significant potential as an alternative for measuring spun yarn hairiness.

Keywords: *Hairiness, Hairiness Index, Capacitance Method, Image Processing Method.*

PENDAHULUAN

Derajat bulu atau serat bebas yang menonjol pada permukaan kain atau benang dikenal sebagai fuzziness (Yao *et al*, 2008). Secara spesifik, terdapat perbedaan istilah untuk serat halus yang menonjol pada permukaan benang filamen dan benang spun. Pada benang filamen, serat yang mencuat dari permukaan disebut wild filament (Lord, 2003), sedangkan pada benang spun disebut *hairiness*. *Hairiness* pada benang dikarakterisasi oleh jumlah serat bebas yang menonjol dari tubuh benang menuju permukaan luar (Harianto *et al*, 2024; Afifuddin *et al*, 2024; Giyanto, 2023).

Hairiness merupakan indikator penting dalam menentukan kualitas benang. Panjang dan jumlah *hairiness* secara langsung memengaruhi mutu produk, tingkat produksi, produktivitas, serta proses tekstil selanjutnya (Li, 2003). Oleh karena itu, deteksi *hairiness* pada benang menjadi aspek krusial dalam industri tekstil. *Hairiness* tidak hanya memengaruhi tampilan dan tekstur benang, tetapi juga berdampak pada keseimbangan dan kelicinan permukaan benang. Selain itu, keberadaan *hairiness* dapat meningkatkan abrasi serta melemahkan kekuatan benang (Zhang & Xin, 2016).

Pengukuran *hairiness* di Indonesia mengacu pada SNI ISO 16549:2010 dengan judul "Tekstil – Ketidakrataan Benang dan Sejenisnya." Prinsip kerja metode ini didasarkan pada perubahan kapasitansi listrik saat benang melewati sensor dalam alat uji. Perubahan kapasitansi terjadi akibat perbedaan konduktivitas antara udara dan serat benang, menghasilkan data berupa indeks *hairiness*.

Pengujian dengan metode kapasitansi memerlukan panjang benang yang cukup besar, berkisar antara 400 hingga 1000 meter per sampel. Selain itu, alat uji juga membutuhkan kompresor dalam proses pengoperasiannya, sehingga penggunaan metode ini memiliki keterbatasan dalam hal efisiensi. Menurut Fang & Xin (2015), penerapan metode image processing dalam evaluasi *hairiness* dapat menjadi solusi alternatif yang lebih efisien bagi industri tekstil.

Teknik pengolahan citra digital telah banyak digunakan sebagai alternatif dalam pengukuran sifat fisik tekstil dan produk tekstil, seperti pengukuran diameter benang (Wijayono *et al*, 2017), pengukuran antihan benang (Murti *et al*, 2017), cover factor kain (Wijayono & Murti 2024), serta pengukuran dimensi produk tekstil (Murti *et al*, 2024). Berbagai penelitian tentang *hairiness* menggunakan metode pengolahan citra digital juga telah banyak dilakukan (Wang *et al*, 2019; Deng *et al*, 2024). Secara umum, pengujian *hairiness* berbasis pengolahan citra digital melewati tiga proses utama, yaitu: 1) proses penangkapan citra benang, 2) proses pengolahan citra digital, dan 3) proses pembacaan citra digital untuk menghasilkan indeks *hairiness* relatif. *Hairiness index* sendiri didefinisikan sebagai jumlah total panjang serat bebas (protruding fibers) per satuan panjang tertentu (Huang *et al*, 2021).

Berbagai penelitian terkait pengujian *hairiness* menggunakan metode pengolahan citra digital telah menggunakan beberapa perangkat keras seperti pemindai (scanner) (Chi *et al*, 2012), mikroskop video (Sun *et al*, 2013), kamera berbasis CCD (Zhao, 2014) atau CMOS (Roy *et al*, 2014). Dari sisi perangkat lunak, pengembangan sistem pemrosesan citra (image processing) dalam deteksi *hairiness* telah banyak menggunakan berbagai lingkungan pemrograman dan *software development kits* (SDK), seperti MATLAB (Telli, 2023), Visual C++ (Lu & Liu, 2009), dan LabVIEW (Pan, 2005).

Namun, meskipun telah terdapat studi seperti yang dilakukan oleh Telli (2023) yang mencoba menghubungkan metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital dalam pengukuran *hairiness*, studi tersebut masih terbatas pada analisis korelasi sederhana menggunakan koefisien korelasi (r). Padahal, untuk memahami hubungan secara lebih mendalam dan kuantitatif, diperlukan analisis menggunakan model regresi dan koefisien determinasi (R^2). Model regresi tidak hanya menunjukkan arah dan kekuatan hubungan, tetapi



juga menghasilkan persamaan matematis yang dapat digunakan untuk memprediksi hasil pengukuran salah satu metode berdasarkan metode lainnya. Sementara itu, koefisien determinasi menunjukkan sejauh mana variasi dalam hasil pengukuran kapasitansi dapat dijelaskan oleh hasil pengolahan citra digital. Pendekatan ini penting dilakukan untuk mengevaluasi secara objektif potensi metode pengolahan citra digital sebagai alternatif yang efisien dan akurat dalam industri tekstil. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara metode pengolahan citra digital dan metode kapasitansi dalam pengukuran hairiness, tidak hanya melalui korelasi tetapi juga dengan membangun model regresi dan mengevaluasi koefisien determinasi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem pengukuran hairiness yang lebih efisien dan terjangkau bagi industri tekstil.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk menganalisis hubungan antara metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital dalam pengukuran *hairiness* pada benang. Penelitian ini menggunakan tiga jenis benang spun dengan nomor Nec 12, Nec 16, dan Nec 24 sebagai sampel. Pengujian dilakukan dengan dua metode, yaitu metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital. Pengujian menggunakan metode kapasitansi mengacu pada SNI ISO 16549:2010 dengan judul "*Tekstil – Ketidakrataan Benang dan Sejenisnya*", menggunakan alat Texttechno Covatest. Metode ini bekerja dengan prinsip perubahan kapasitansi listrik yang terjadi saat benang melewati sensor, sehingga menghasilkan data berupa indeks *hairiness*.

Selanjutnya, pengujian *hairiness* dilakukan kembali menggunakan metode pengolahan citra digital. Dalam metode ini, benang diamati menggunakan kamera CMOS Dino-Lite, dan citra yang diperoleh diproses menggunakan perangkat lunak berbasis pemrograman Java. Pemrosesan citra dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu (1) akuisisi citra benang, (2) segmentasi latar belakang dan ekstraksi fitur serat bebas, (3) konversi citra ke dalam format biner dan (4) analisis kuantitatif dan perhitungan *Hairiness index* (HI).

Indeks *hairiness* yang diperoleh dari kedua metode tersebut kemudian dianalisis untuk melihat hubungan antara metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital. Analisis hubungan dilakukan dengan uji regresi guna menentukan korelasi antara kedua metode dalam mengukur tingkat *hairiness* pada benang.

Tabel 1. Sampel benang yang digunakan pada penelitian ini

Nomor banang	Pengujian <i>Hairiness</i>	
	Metode kapasitansi	Metode Pengolahan Citra Digital
Nec 12	5 kali pengujian	5 kali pengujian
Nec 16	5 kali pengujian	5 kali pengujian
Nec 24	5 kali pengujian	5 kali pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian hubungan antara metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital dalam pengukuran indeks *hairiness* pada benang. Terdapat dua metode pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu metode kapasitansi sesuai dengan SNI ISO 16549:2010 menggunakan alat Texttechno Covatest dan metode pengolahan citra digital menggunakan kamera CMOS Dino-Lite serta software berbasis pemrograman Java. Terdapat tiga jenis benang yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu benang dengan nomor

Nec 12, Nec 16, dan Nec 24. Setiap benang diuji menggunakan kedua metode untuk memperoleh indeks *hairiness* masing-masing. Hasil pengukuran dari kedua metode kemudian dianalisis menggunakan uji regresi untuk menentukan hubungan atau korelasi antara metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital dalam evaluasi *hairiness* pada benang.

Hasil Penelitian

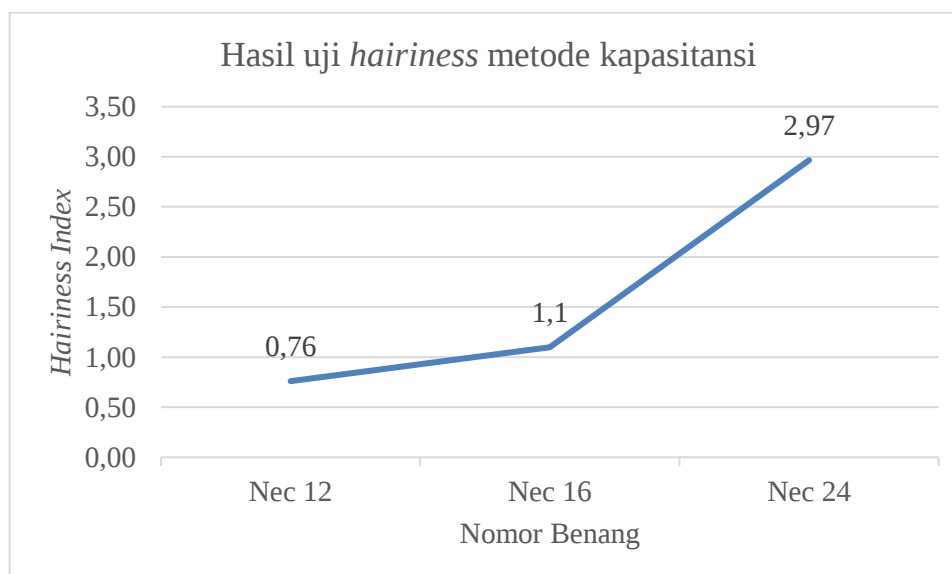
Hasil Uji *Hairiness* dengan Menggunakan Metode Kapasitansi

Benang dengan tiga variasi nomor, yaitu Nec 12, Nec 16, dan Nec 24, diuji *hairiness index*-nya menggunakan metode kapasitansi berdasarkan standar pengujian SNI ISO 16549:2010 (*Tekstil – Ketidakrataan Benang dan Sejenisnya*). Metode ini memerlukan panjang benang sebesar 400 meter untuk setiap pengujian dan dilakukan sebanyak lima kali pengulangan. Hasil pengujian menggunakan metode kapasitansi menghasilkan parameter H, yaitu total panjang serat bebas (bulu) dalam 1 cm benang.

Hasil pengujian *hairiness* dengan metode kapasitansi disajikan pada Tabel 2, sedangkan Gambar 1 memperlihatkan grafik perbandingan *hairiness index* dari ketiga sampel benang.

Tabel 2. Hasil uji *hairiness* – metode kapasitansi

Nomor Benang	<i>Hairiness index</i>	Standar deviasi
Nec 12	0,76	0,01
Nec 16	1,10	0,03
Nec 24	2,97	0,06



Gambar 1. Grafik hasil uji *hairiness* metode kapasitansi

Berdasarkan hasil uji *hairiness* dengan metode kapasitansi, diperoleh bahwa benang dengan nomor Nec 12 memiliki nilai *hairiness index* paling kecil, yaitu 0,76, sedangkan benang dengan nomor Nec 24 memiliki nilai *hairiness index* tertinggi, yaitu 2,97. Adapun benang dengan nomor Nec 16 menunjukkan nilai *hairiness index* sebesar 1,10.

Selanjutnya, nilai *hairiness index* yang diperoleh melalui metode kapasitansi ini akan dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan metode pengolahan citra digital. Perbandingan ini bertujuan untuk melihat hubungan antara kedua metode dalam mengukur tingkat *hairiness* pada benang serta mengevaluasi efektivitas metode pengolahan citra digital sebagai alternatif dalam proses pengujian *hairiness*.

Hasil Uji *Hairiness* dengan Menggunakan Metode Pengolahan Citra Digital

Benang uji dengan nomor Nec 12, Nec 16 dan Nec 24 dilakukan uji *hairiness* dengan menggunakan metode pengolahan citra digital. Terdapat empat tahapan proses dalam pengukuran *hairiness* menggunakan método pengolahan citra digital yaitu (1) akuisisi citra benang, (2) segmentasi latar belakang dan ekstraksi fitur serat bebas, (3) konversi citra ke dalam format biner dan (4) analisis kuantitatif dan perhitungan *Hairiness index* (HI).

Pengukuran *hairiness index* pada benang dilakukan melalui metode pengolahan citra digital yang terdiri dari lima tahapan utama. Tahap pertama adalah akuisisi citra benang, yaitu proses pengambilan gambar benang menggunakan kamera CMOS Dino-Lite. Citra yang diperoleh kemudian disimpan dalam komputer untuk diproses lebih lanjut. Selanjutnya, dilakukan preprocessing citra yaitu dengan mensegmentasi latar belakang dan ekstraksi fitur serat bebas guna menghilangkan elemen yang tidak relevan sehingga hanya menyisakan objek utama, yaitu *hairiness*/serat benang. Proses ini dilakukan menggunakan perangkat lunak open-source Paint untuk mengoptimalkan pemisahan antara benang dan latar belakang sekaligus penghilangan inti benang sehingga yang tersisa adalah serat bebas/*hairiness*.

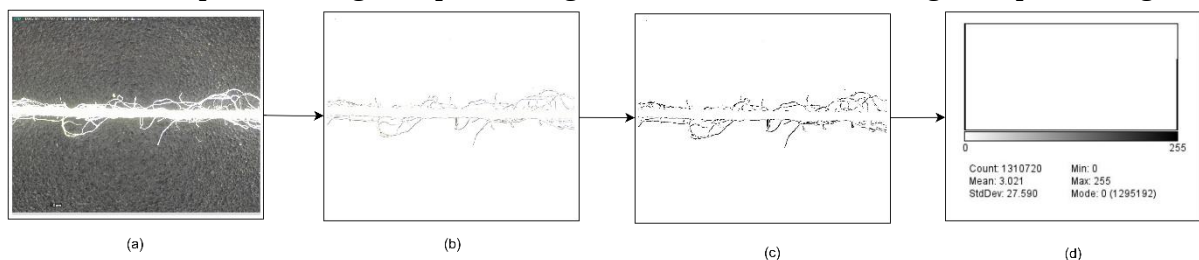
Setelah latar belakang dan inti benang dihilangkan, citra dikonversi ke dalam format biner menggunakan perangkat lunak berbasiskan Java. Pada tahap ini, citra hanya terdiri dari dua tingkat warna, yaitu hitam untuk representasi serat bebas (*hairiness*) dan putih untuk latar belakang. Konversi ini bertujuan untuk menyederhanakan analisis bentuk dan panjang serat bebas yang menonjol dari permukaan benang.

Tahap terakhir adalah analisis kuantitatif dan perhitungan *Hairiness index* (HI). Pada tahap ini, histogram citra dianalisis untuk menentukan jumlah serta distribusi piksel yang merepresentasikan serat bebas. Berdasarkan hasil tersebut, nilai *Hairiness index* (HI) dihitung menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Xu *et al*, (2010):

$$HI = \frac{\sum L_h}{L_b} \quad (1)$$

dengan $\sum L_h$ merupakan total panjang serat bebas yang menonjol dari permukaan benang (dalam piksel), dan L_b adalah panjang utama benang dalam citra (dalam piksel).

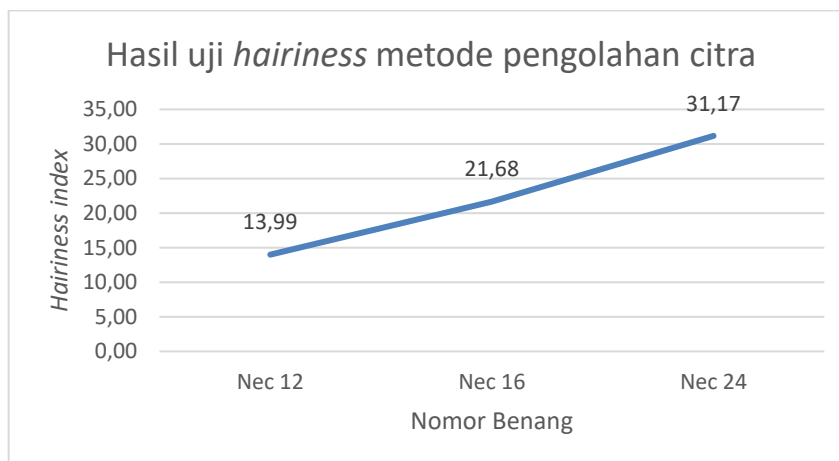
Gambar 2 menunjukkan tahapan proses pengolahan citra digital, sedangkan Tabel 3 menyajikan hasil pengujian dan perhitungan *hairiness index* (HI). Pada gambar 2 (d) dapat dilihat bahwa histogram citra dapat membaca seberapa banyak piksel keseluruhan dalam citra yang didefinisikan sebagai (count) dan seberapa banyak piksel warna putih (mode 0), dalam gambar tersebut jumlah piksel putih (mode 0) sejumlah 1295192 piksel dan jumlah piksel keseluruhan (count) adalah 1310720 piksel. Dalam rangka mendapatkan piksel warna hitam (*hairiness*) seperti pada gambar 2 (c) maka dapat dilakukan dengan mengurangi jumlah piksel keseluruhan (count) dengan piksel warna putih (mode 0), sehingga didapatkan hasil 15528 piksel hitam. Setelah jumlah piksel hitam diketahui maka dengan menggunakan rumusan 1, nilai *hairiness index* dapat diketahui. Nilai *hairiness index* dapat dilihat pada tabel 3 sedangkan Gambar 3 memperlihatkan grafik perbandingan *hairiness index* dari ketiga sampel benang.



Gambar 2. Tahapan proses metode pengolahan citra digital (a) akuisisi citra; (b) segmentasi latar belakang dan ekstraksi fitur serat bebas; (c) konversi citra ke dalam format biner; (d) analisis histogram citra

Tabel 3. Hasil uji *hairiness* – metode pengolahan citra digital

Nomor Benang	<i>Hairiness index</i>	Standar deviasi
Nec 12	13,99	3,04
Nec 16	21,68	1,16
Nec 24	31,17	1,80

**Gambar 3. Grafik hasil uji *hairiness* metode pengolahan citra digital**

Berdasarkan hasil uji *hairiness* dengan metode pengolahan citra digital, diperoleh bahwa benang dengan nomor Nec 12 memiliki nilai *hairiness index* paling kecil, yaitu 13,99, sedangkan benang dengan nomor Nec 24 memiliki nilai *hairiness index* tertinggi, yaitu 31,17. Adapun benang dengan nomor Nec 16 menunjukkan nilai *hairiness index* sebesar 21,68.

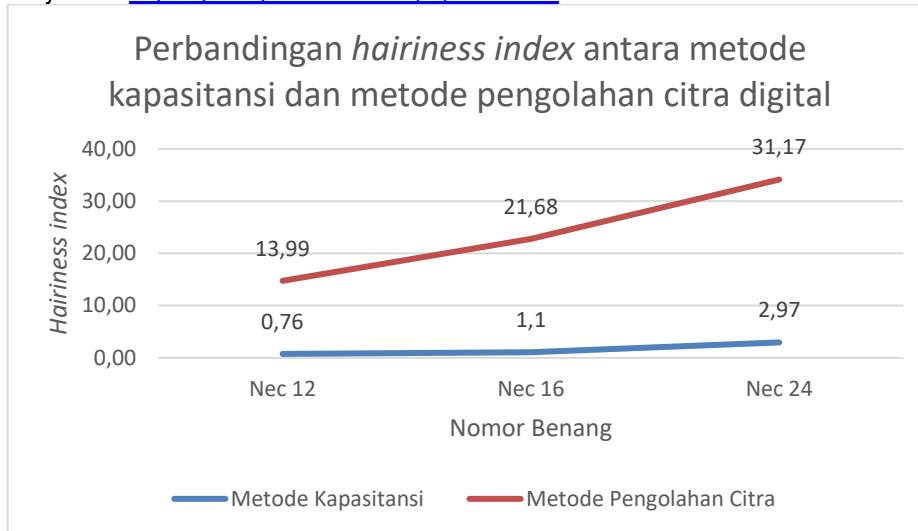
Selanjutnya, nilai *hairiness index* yang diperoleh melalui metode pengolahan citra digital ini akan dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan metode kapasitansi atau metode SNI ISO 16549:2010 dengan judul "Tekstil – Ketidakrataan Benang dan Sejenisnya". Perbandingan ini bertujuan untuk melihat hubungan antara kedua metode dalam mengukur tingkat *hairiness* pada benang serta mengevaluasi efektivitas metode pengolahan citra digital sebagai alternatif dalam proses pengujian *hairiness*.

Pembahasan

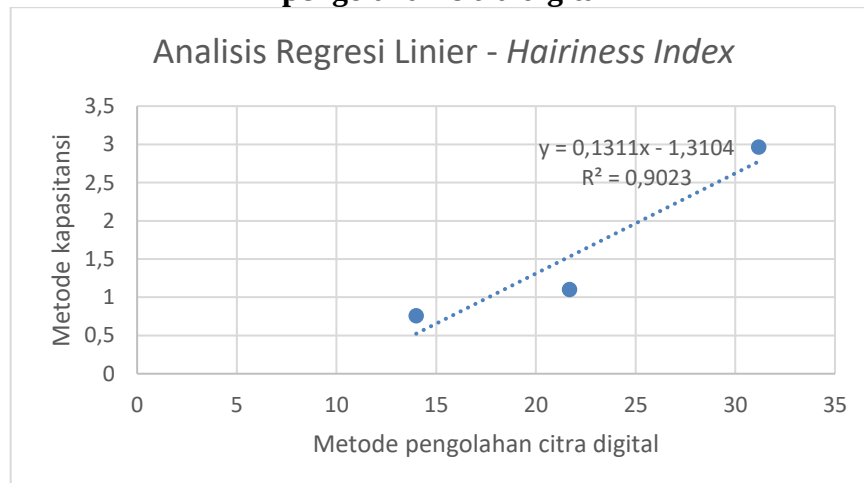
Hubungan Antara Metode Kapasitansi dan Metode Pengolahan citra digital

Untuk memahami hubungan antara metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital dalam pengukuran indeks *hairiness*, dilakukan analisis korelasi menggunakan uji regresi. Hasil pengukuran indeks *hairiness* dari kedua metode kemudian dibandingkan untuk melihat apakah terdapat hubungan linier yang signifikan antara keduanya.

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh bahwa pola perubahan nilai *hairiness index* pada metode kapasitansi menunjukkan tren yang sejalan dengan hasil yang diperoleh dari metode pengolahan citra digital. Hal ini terlihat dari peningkatan nilai *hairiness index* pada setiap kenaikan nomor benang, baik pada metode kapasitansi maupun metode pengolahan citra digital. Gambar 4 merupakan perbandingan antara hasil uji *hairiness* antara metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital sedangkan gambar 5 menunjukkan analisis regresi linier *hairiness index* antara metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital



Gambar 4. Perbandingan *hairiness index* antara metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital



Gambar 5. Analisis regresi linier – *hairiness index* antara metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital

Untuk mengukur kekuatan hubungan antara kedua metode, dilakukan analisis regresi linier yang dapat dilihat pada gambar 5, dari analisis tersebut menghasilkan persamaan regresi sebagai berikut:

$$y = 0,1311x - 1,3104 \quad (2)$$

di mana y merupakan nilai *hairiness index* dari metode kapasitansi, x adalah nilai *hairiness index* dari metode pengolahan citra digital, serta a dan b merupakan konstanta regresi.

Sebagai contoh penerapan, misalkan suatu laboratorium tekstil melakukan pengukuran *hairiness* benang menggunakan metode pengolahan citra digital dan memperoleh nilai *hairiness index* sebesar 50. Dengan menggunakan persamaan regresi di atas, estimasi nilai *hairiness index* dari metode kapasitansi dapat dihitung sebagai berikut:

$$y = 0,1311(50) - 1,3104 = 5,24 \quad (3)$$

Artinya, jika metode pengolahan citra digital mengukur *hairiness index* sebesar 50,0, maka metode kapasitansi diperkirakan akan menghasilkan *hairiness index* sebesar 5,24. Sebaliknya, jika pengukuran dilakukan menggunakan metode kapasitansi dan diperoleh *hairiness index* sebesar 7,0, maka nilai *hairiness index* dari metode pengolahan citra digital dapat dihitung dengan membalikkan persamaan regresi:

$$x = \frac{y+1,3104}{0,1311} \quad (4)$$

$$x = \frac{7+1,3104}{0,1311} = 63,4 \quad (5)$$

Hasil ini menunjukkan bahwa jika metode kapasitansi mengukur *hairiness index* sebesar 7, maka metode pengolahan citra digital diperkirakan akan menghasilkan *hairiness index* sebesar 63.4. Dengan demikian, persamaan regresi ini dapat digunakan untuk mengonversi nilai *hairiness index* antara kedua metode, yang bermanfaat dalam penelitian maupun industri tekstil untuk membandingkan hasil dari alat yang berbeda.

Selanjutnya, berdasarkan analisis regresi diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 90,23%, yang menunjukkan bahwa metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital memiliki hubungan yang sangat kuat (Ghozali, 2016). Semakin mendekati nilai $R^2 = 1$, maka semakin kuat hubungan antara kedua metode tersebut, yang berarti metode pengolahan citra digital dapat menjadi alternatif dalam mengukur *hairiness index* benang.

Perbedaan signifikan seringkali teramati antara hasil indeks kebuluan benang (*hairiness index*) yang diperoleh dari metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital. Perbedaan ini utamanya disebabkan oleh perbedaan fundamental dalam prinsip kerja kedua metode tersebut dalam mendeteksi dan mengukur bulu benang. Metode kapasitansi, yang umum digunakan pada alat uji standar industri, bekerja dengan mengukur ketidakrataan massa benang berdasarkan perubahan kapasitas listrik akibat adanya serat-serat yang menonjol (bulu) di medan listrik antara elektroda; hasil pengukuran indeks kebuluannya dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor benang seperti densitas linear dan faktor puntir (Jeddi et al., 2012). Di sisi lain, metode pengolahan citra digital menganalisis karakteristik visual benang melalui akuisisi gambar digital, di mana algoritma khusus digunakan untuk mendeteksi, menghitung, dan bahkan mengukur dimensi serta distribusi panjang serat-serat yang menonjol dari badan benang utama berdasarkan analisis piksel warna dan kontras (Zheng et al., 2015). Perbedaan cara deteksi dan kuantifikasi bulu inilah yang mendasari potensi variasi hasil pengukuran antara kedua pendekatan tersebut.

Meskipun prinsip kerjanya berbeda, beberapa studi menunjukkan adanya korelasi yang cukup baik antara hasil pengukuran kedua metode, seperti yang mungkin diindikasikan oleh nilai R^2 yang diperoleh dalam studi perbandingan (misalnya, Telli, 2020). Hal ini menguatkan potensi metode pengolahan citra digital sebagai alternatif yang valid untuk metode kapasitansi dalam pengukuran indeks kebuluan. Potensi ini menjadi sangat relevan, terutama ketika pengujian menggunakan metode kapasitansi standar menghadapi kendala, seperti keterbatasan jumlah sampel yang dapat diuji, biaya investasi alat yang tinggi, atau kebutuhan akan analisis morfologi bulu yang lebih mendetail yang tidak dapat disediakan oleh sensor kapasitansi. Dengan kemampuannya memberikan evaluasi objektif dan analisis yang lebih mendalam mengenai karakteristik bulu benang (Du et al., 2017), metode pengolahan citra digital semakin dipertimbangkan sebagai alat ukur komplementer atau alternatif yang berharga dalam riset dan kontrol kualitas di industri tekstil.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah membandingkan metode kapasitansi berdasarkan SNI ISO 16549:2010 (Tekstil – Ketidakrataan Benang dan Sejenisnya) dengan metode pengolahan citra digital dalam mengukur *hairiness index* pada benang spun dengan tiga variasi nomor Nec 12, Nec 16, dan Nec 24. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua metode menghasilkan tren yang sejalan. Selain itu, analisis regresi linier menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara metode kapasitansi dan metode pengolahan citra digital, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 90,23%. Hasil ini menunjukkan bahwa metode pengolahan citra digital memiliki



tingkat keandalan yang tinggi dalam mengukur *hairiness index*, sehingga dapat digunakan sebagai alternatif dalam pengukuran.

Penelitian ini merupakan studi yang menerapkan metode pengolahan citra digital sebagai alternatif dalam pengukuran *hairiness index*. Dengan hasil yang menjanjikan, metode ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk menjadi standar pengukuran baru, terutama dalam kondisi di mana metode kapasitansi memiliki keterbatasan, seperti kebutuhan sampel yang besar atau keterbatasan alat uji.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifuddin, M., et al. (2024). Analisis penyebab tingginya angka *hairiness* pada benang Cd 40's di mesin ring spinning perusahaan pembuatan benang PT XYZ. *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*, 20(1), 1–5.
- Chi, K. L., et al. (2012). Study on yarn evenness detection digital image processing. *Textile Research*, 33(12), 91–94.
- Deng, Z., et al. (2024). An algorithm for cross-fiber separation in yarn *hairiness* image processing. *Visual Computer*, 40, 3591–3599. <https://doi.org/10.1007/s00371-023-03053-z>
- Du, G., et al. (2017). Objective evaluation of yarn *hairiness* using digital image processing and machine learning. *Measurement*, 103, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.02.030>
- Fang, H., & Xin, B. (2015). Research on a new type of yarn *hairiness* image feature recognition algorithm. *Journal of Hebei University of Science and Technology* [Nama Jurnal Asumsi], 36(1), 63–72.
- Ghozali, I. (2016). *Aplikasi analisis multivariate dengan program IBM SPSS 23*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Giyanto, G. (2023). Pengaruh tension benang dan kecepatan penggulungan benang ulang (rewinding) terhadap bulu (*hairiness*) benang kapas carded Ne 30/1. *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, 3(2), 176–187.
- Hariato, D., et al. (2024). Perbandingan kinerja yarn guide tipe pig tail dan snail wire dalam kualitas *hairiness* benang ring spinning frame. *Jurnal Tekstil: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Bidang Tekstil dan Manajemen Industri*, 7(2), 111–119.
- Huang, X., et al. (2021). A relative *hairiness* index for evaluating the securities of fiber ends in staple yarns and its application. *Textile Research Journal*, 91(19-20), 2455–2466. <https://doi.org/10.1177/00405175211035136>
- Jeddi, A. A., et al. (2012). A study on the effect of yarn linear density and twist factor on results obtained from different yarn *hairiness* testers. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 7(4), 80–86. <https://doi.org/10.1177/155892501200700411>
- Li, X. L. (2003). Effect of yarn *hairiness* on fabric properties. *Cotton Textile Technology*, 31(4), 63–64.
- Lord, P. R. (2003). *Handbook of yarn production: Technology, science and economics*. Woodhead Publishing Limited.
- Lu, M., & Liu, Y. P. (2009). *Hairiness* binary image processing and matlab realization. *Shandong Textile Science & Technology*, 50(2), 37–39
- Murti, W., et al. (2017). Pemodelan dan validasi nilai sudut antihan benang secara teori dan pengolahan citra digital. *2nd Indonesian Textile Conference..* (ISSN: 2356-5407).
- Murti, W., et al. (2024). Pengembangan sistema pengukur pakaian berbasis pengolahan citra digital. In *Prosiding SNAST* (pp. E259–E268).
- Pan, Z. J. (2005). *Modern fiber materials testing technology*. China Textile Press. [Catatan: Publikasi sebelum 2010].

- Roy, S., et al. (2014). Yarn hairiness evaluation using image processing. *International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication* (pp. 588–592).
- Sun, Y. Y., et al. (2013). Yarn hairiness testing based on digital image processing. *Textile Research*, 34(6), 102–106.
- Telli, A. (2023). The evaluation of uster hairiness results with an image analysis approach. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 38(4), 899–905. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1410206>
- Wang, W., et al. (2019). Objective evaluation on yarn hairiness detection based on multi-view imaging and processing method. *Measurement*, 148, Article 106905. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106905>
- 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.
- Wijayono, A., et al. (2017). Pemodelan dan validasi nilai konstanta diameter benang secara teori dan pengolahan citra digital. *2nd Indonesian Textile Conference*. (ISSN: 2356-5407).
- Xu, B., et al. (2010). Measurement of yarn hairiness based on digital image processing. *Textile Research Journal*, 80(7), 607–613. <https://doi.org/10.1177/0040517509346444>
- Yao, M., et al. (2008). Evaluating fabric fuzziness using laser range sensing. *Optical Engineering*, 47(1), Article 013603.
- Zhang, G., & Xin, B. (2016). An overview of the application of image processing technology for yarn hairiness evaluation. *Research Journal of Textile and Apparel*, 20(1), 24–36. <https://doi.org/10.1108/RJTA-09-2015-0027>
- Zhao, L. Y. (2014). *Development and application of digital image processing technology intelligent detection system based yarn..* Jilin University.
- Zheng, Y., et al. (2015). An improved image processing method for characterizing yarn hairiness based on hair morphology. *Textile Research Journal*, 85(10), 1045–1055. <https://doi.org/10.1177/0040517514558571>