

DAMPAK PENGENDALIAN PH MENGGUNAKAN ASAM ASETAT TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STABILITAS DERAJAT PUTIH PADA KAIN RAJUT POLIESTER

Ratih Kurniasari

Universitas Islam Syekh Yusuf
rkurniasari@unis.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penyesuaian pH berbasis asam asetat terhadap sifat mekanik dan stabilitas derajat putih kain rajut poliester. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi konsentrasi asam asetat (0–12%) untuk menghasilkan kondisi pH yang berbeda, kemudian dilakukan pengujian pH kain, kekuatan pecah (*bursting strength*), dan *phenolic yellowing* sesuai standar AATCC, ASTM, dan ISO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asam asetat secara signifikan menurunkan pH kain. Penurunan pH terbukti meningkatkan stabilitas derajat putih melalui penurunan kecenderungan *yellowing*, namun pada kondisi pH rendah terjadi penurunan kekuatan mekanik kain. Hubungan antara pH, kekuatan mekanik, dan kualitas estetika menunjukkan pola non-linear dengan adanya *trade-off* antarparameter. Simpulan, penelitian ini mengidentifikasi rentang pH optimum yang mampu menyeimbangkan kekuatan mekanik dan stabilitas derajat putih, sehingga berpotensi mendukung optimasi proses finishing dan peningkatan kualitas produk industri poliester.

Kata Kunci: Asam Asetat, Kain Rajut Poliester, Kekuatan Pecah, Penyesuaian pH, Stabilitas Derajat Putih

ABSTRACT

This study aimed to analyze the effect of acetic acid-based pH adjustment on the mechanical properties and whiteness stability of polyester knitted fabrics. The method employed was an experimental approach using varying acetic acid concentrations (0–12%) to generate different pH conditions, followed by testing fabric pH, bursting strength, and phenolic yellowing according to AATCC, ASTM, and ISO standards. The results showed that increasing acetic acid concentration significantly reduced fabric pH. Lower pH conditions improved whiteness stability by reducing yellowing tendency; however, excessive acidity led to decreased mechanical strength. The relationship among pH, mechanical strength, and aesthetic quality exhibited a non-linear pattern with a trade-off between parameters. In conclusion, an optimum pH range was identified to balance

mechanical performance and whiteness stability, providing potential contributions to process optimization and quality improvement in polyester textile finishing.

Keywords: *Acetic Acid, Bursting Strength, pH Adjustment, Polyester Knitted Fabric, Whiteness Stability*

PENDAHULUAN

Kain rajut poliester merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan dalam industri tekstil dan garmen karena memiliki sifat mekanik yang baik, stabilitas dimensi yang tinggi, serta ketahanan terhadap perlakuan kimia selama proses produksi (Nandy, 2021; Sinclair, 2015). Selain itu, sebagai material berbasis polimer sintesis, poliester menunjukkan daya tahan yang tinggi terhadap degradasi lingkungan dan memiliki kemampuan adaptasi proses yang sangat baik, sehingga sesuai untuk proses pencelupan dan *finishing* berkecepatan tinggi dalam skala industri (Kusrianto, 2020; Broadbent, 2001). Meskipun demikian, kinerja akhir kain poliester tidak hanya ditentukan oleh sifat intrinsik serat, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh parameter proses yang diterapkan selama tahapan pengolahan basah, khususnya pada proses pencelupan dan *finishing* (Shore, 2002; Nandy, 2021).

Dalam proses pencelupan poliester, kondisi alkali umumnya digunakan untuk meningkatkan dispersi zat warna disperse, mempercepat difusi zat warna ke dalam serat, serta meningkatkan efisiensi fiksasi warna (Broadbent, 2001; Lestari et al., 2020). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa lingkungan alkali mampu meningkatkan daya serap zat warna dan menghasilkan keseragaman warna yang lebih baik pada kain poliester (Shore, 2002; Lestari et al., 2020). Namun demikian, sisa alkalinitas yang tertinggal pada kain setelah proses pencelupan dan *reduction cleaning* dapat memberikan dampak negatif terhadap kualitas kain (Broadbent, 2001; Lestari et al., 2020). Nilai pH kain yang terlalu tinggi diketahui berkaitan dengan degradasi permukaan serat, ketidakstabilan warna, serta potensi iritasi kulit ketika kain digunakan sebagai bahan pakaian (Lambers et al., 2006; Hashem et al., 2013). Oleh karena itu, pengendalian pH pascapencelupan menjadi tahapan kritis dalam rekayasa proses tekstil untuk menjamin performa fungsional dan keamanan pengguna (Hashem et al., 2013; Nandy, 2021).

Pengaturan pH pada tahap *finishing* tekstil umumnya dilakukan melalui proses netralisasi menggunakan asam organik lemah, di mana asam asetat merupakan bahan yang paling banyak digunakan dalam industri (Brown, 2021; Broadbent, 2001). Asam asetat dipilih karena memiliki kompatibilitas kimia yang baik dengan serat poliester, bersifat relatif aman, serta efektif dalam menyesuaikan pH kain ke dalam rentang standar yang direkomendasikan (Hashem et al., 2013; Brown, 2021). Namun demikian, beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan asam yang tidak tepat dapat menimbulkan dampak yang tidak diinginkan terhadap struktur material (Suhardjo & Legowo, 2015; Holme, 2010). Perlakuan asam yang tidak mencukupi dapat menyebabkan alkalinitas sisa tidak

ternetralisasi secara optimal, sedangkan penggunaan konsentrasi asam yang berlebihan dapat menyebabkan erosi permukaan serat yang berujung pada penurunan kekuatan mekanik dan peningkatan kerapuhan kain (Holme, 2010; Suhardjo & Legowo, 2015). Temuan ini menunjukkan bahwa proses penyesuaian pH seharusnya diperlakukan sebagai suatu proses optimasi berbasis parameter, bukan sekadar tahap netralisasi sederhana (Montgomery, 2017).

Selain memengaruhi sifat mekanik, pH kain juga berperan penting dalam menentukan kualitas permukaan kain, khususnya stabilitas derajat putih (Williams, 2022; Burkinshaw, 2016). Kain poliester berwarna putih rentan mengalami *phenolic yellowing*, yaitu fenomena perubahan warna menjadi kekuningan yang biasanya terjadi selama penyimpanan atau transportasi akibat reaksi kimia tertentu (Burkinshaw, 2016; Williams, 2022). Fenomena ini dilaporkan terjadi akibat reaksi antara nitrogen oksida di lingkungan dengan senyawa fenolik yang terdapat pada permukaan kain atau bahan kemasan, yang menghasilkan senyawa berwarna kuning (Burkinshaw, 2016; Williams, 2022). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa residu kimia dan kondisi permukaan kain, termasuk tingkat pH, dapat mempercepat atau menghambat reaksi tersebut secara signifikan (Yuliasari et al., 2004; Hashem et al., 2013). Dengan demikian, pengendalian pH yang tidak tepat dapat menurunkan kualitas estetika kain meskipun nilai derajat putih awal telah memenuhi standar industri (Williams, 2022).

Meskipun pengaruh pH terhadap sifat tekstil tertentu telah banyak dibahas dalam penelitian sebelumnya, studi yang secara sistematis mengevaluasi pengaruh penyesuaian pH terhadap kombinasi sifat mekanik dan stabilitas derajat putih pada kain rajut poliester masih terbatas (Taufiq, 2006; Holme, 2010). Sebagian besar literatur hanya berfokus pada performa pencelupan, hasil warna, atau satu parameter kualitas secara terpisah tanpa mempertimbangkan hubungan *trade-off* antara integritas struktural dan kualitas visual dari perspektif rekayasa proses (Gustiani & Eriningsih, 2013; Burkinshaw, 2016). Keterbatasan ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang memerlukan pendekatan evaluasi terintegrasi terhadap berbagai parameter kualitas secara simultan (Montgomery, 2017).

Novelty penelitian ini terletak pada pendekatan evaluasi terintegrasi yang mengkaji secara simultan pengaruh penyesuaian pH menggunakan asam asetat terhadap sifat mekanik dan stabilitas derajat putih pada kain rajut poliester dalam kondisi pascapencelupan. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus secara terpisah pada aspek kekuatan mekanik atau perubahan warna, penelitian ini secara bersamaan menganalisis interaksi antara kekuatan pecah (*bursting strength*) dan fenomena *phenolic yellowing* sebagai fungsi variasi pH.

Selain itu, penelitian ini mengungkap adanya hubungan non-linear antara pH dan performa kain yang menunjukkan adanya mekanisme *trade-off* antara integritas mekanik dan stabilitas estetika. Lebih lanjut, penelitian ini mengidentifikasi adanya rentang pH optimum yang mampu menyeimbangkan

kedua parameter tersebut dalam proses finishing kain poliester, yang belum banyak dikaji secara komprehensif dalam penelitian-penelitian sebelumnya di bidang rekayasa proses tekstil.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penyesuaian pH berbasis asam asetat terhadap sifat mekanik dan stabilitas derajat putih kain rajut poliester (Brown, 2021). Penelitian ini menggunakan metode pengujian standar untuk pH kain, kekuatan pecah (*bursting strength*), dan *phenolic yellowing* guna memperoleh hasil yang terukur dan dapat dibandingkan secara ilmiah (AATCC, 2022; ISO, 2015). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi rentang pH optimal yang mampu menyeimbangkan kekuatan mekanik dan ketahanan estetika kain (Montgomery, 2017; Williams, 2022). Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan strategi optimasi proses serta praktik pengendalian mutu pada industri *finishing* kain poliester (Kusrianto, 2020; Nandy, 2021).

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kain rajut poliester berwarna putih dengan struktur waffle yang diperoleh setelah proses pencelupan dan sebelum tahap finishing industri akhir (Nandy, 2021). Kain poliester dipilih karena merupakan salah satu material sintetis yang banyak digunakan dalam industri tekstil dan memiliki sensitivitas terhadap kondisi proses kimia, khususnya pH (Kusrianto, 2020). Asam asetat dengan kualitas glasial digunakan sebagai agen pengatur pH karena umum diaplikasikan dalam proses finishing tekstil dan memiliki kompatibilitas kimia yang baik dengan serat poliester (Brown, 2021). Air suling digunakan dalam seluruh proses pembuatan larutan dan pengujian untuk memastikan akurasi pengukuran serta menghindari kontaminasi ionik dari air biasa (ASTM, 2019).

Desain Eksperimen dan Penyesuaian pH

Desain eksperimen dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi asam asetat secara terkontrol untuk menghasilkan kondisi pH kain yang berbeda (Montgomery, 2017). Larutan asam asetat disiapkan dalam konsentrasi 0%, 1%, 3%, 6%, 9%, dan 12% (v/v) untuk merepresentasikan rentang kondisi netral hingga asam kuat dalam proses finishing tekstil (Brown, 2021). Setiap larutan diaplikasikan secara merata pada sampel kain menggunakan metode penyemprotan untuk mensimulasikan proses penyesuaian pH pasca pencelupan yang umum diterapkan di industri (Kusrianto, 2020).

Setelah perlakuan, seluruh sampel kain dikeringkan pada suhu ruang untuk menghindari degradasi termal akibat pemanasan berlebih (ASTM, 2019). Selanjutnya, sampel dikondisikan selama 24 jam dalam ruang standar pengujian

tekstil dengan suhu 20 ± 4 °C dan kelembaban relatif $65 \pm 4\%$ untuk memastikan stabilitas kondisi material sebelum pengujian (ISO, 2019). Proses pengkondisian ini penting untuk meminimalkan pengaruh lingkungan terhadap hasil pengujian serta meningkatkan reproduibilitas data (ISO, 2019).

Pengukuran pH Kain

Nilai pH kain diukur berdasarkan standar AATCC Test Method 81 yang umum digunakan untuk menentukan tingkat keasaman atau alkalinitas bahan tekstil (AATCC, 2022). Pada setiap pengujian, sampel kain dengan berat 10 gram dipotong kecil-kecil untuk meningkatkan luas permukaan ekstraksi (AATCC, 2022). Sampel kemudian direbus dalam 250 mL air suling selama 10 menit untuk mengekstrak residu kimia yang terdapat pada kain (AATCC, 2022).

Larutan ekstrak didinginkan hingga suhu ruang sebelum dilakukan pengukuran untuk menghindari kesalahan pembacaan akibat suhu tinggi (ASTM, 2019). Pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter digital yang telah dikalibrasi menggunakan larutan buffer standar dengan pH 4,0; 7,0; dan 10,0 untuk memastikan akurasi alat (ASTM, 2019). Nilai pH yang diperoleh merepresentasikan kondisi keasaman kain setelah perlakuan asam asetat (AATCC, 2022).

Pengujian Kekuatan Mekanik

Kinerja mekanik kain rajut poliester dievaluasi menggunakan metode uji kekuatan pecah (*bursting strength*) sesuai dengan standar ASTM D6797 yang dirancang khusus untuk bahan tekstil rajut dengan karakteristik tegangan multidireksional (ASTM, 1999). Metode ini dipilih karena mampu merepresentasikan kondisi pembebanan aktual pada kain rajut yang mengalami gaya dari berbagai arah secara simultan, sehingga lebih relevan dibandingkan uji tarik satu arah.

Sampel kain dipotong dengan ukuran 5 inci \times 5 inci untuk setiap kondisi perlakuan guna memastikan keseragaman dimensi dan meminimalkan variasi akibat perbedaan ukuran spesimen (ASTM, 1999). Setiap sampel kemudian dipersiapkan secara seragam sebelum pengujian untuk menjaga konsistensi hasil dan meningkatkan reliabilitas data antar perlakuan.

Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tipe *constant-rate-of-extension* (CRE) yang dilengkapi bola baja berdiameter 25,4 mm sebagai penekan (ASTM, 1999). Kecepatan pergerakan crosshead diatur sebesar 305 mm/menit sesuai dengan standar pengujian (ASTM, 1999). Setiap sampel dijepit secara kuat dan diuji hingga terjadi kerusakan atau pecah pada kain (ASTM, 1999). Gaya maksimum yang tercatat pada saat kain pecah ditetapkan sebagai nilai kekuatan pecah (ASTM, 1999). Untuk menjamin reliabilitas data, setiap kondisi pH diuji sebanyak lima kali pengulangan (Montgomery, 2017).

Pengujian Stabilitas Derajat Putih

Stabilitas derajat putih dievaluasi melalui pengujian *phenolic yellowing* berdasarkan standar ISO 105-X18 yang digunakan untuk menilai kecenderungan perubahan warna pada bahan tekstil (ISO, 2015). Metode ini dirancang untuk mensimulasikan kondisi penyimpanan dan transportasi yang berpotensi memicu terjadinya perubahan warna pada kain poliester putih akibat interaksi senyawa fenolik dengan nitrogen oksida di lingkungan.

Sampel kain dipotong dengan ukuran 100 mm × 30 mm dan disusun dalam paket uji yang terdiri atas kain uji, kertas uji, pelat kaca, serta kain kontrol sebagai pembanding visual (ISO, 2015). Penyusunan ini bertujuan untuk memastikan adanya kontak langsung antara komponen uji sehingga proses migrasi senyawa penyebab perubahan warna dapat berlangsung secara representatif.

Selanjutnya, paket uji disegel menggunakan film polietilena bebas BHT untuk mencegah kontaminasi eksternal yang dapat memengaruhi hasil pengujian, khususnya dari senyawa antioksidan atau bahan kimia volatil lainnya (ISO, 2015). Paket kemudian ditempatkan dalam oven pada suhu 50 ± 3 °C selama 16 jam di bawah beban standar, guna memberikan tekanan dan kondisi termal yang menyerupai kondisi aktual penyimpanan tekstil dalam jangka waktu tertentu (ISO, 2015).

Setelah proses pemanasan selesai, sampel didinginkan hingga mencapai suhu ruang untuk menstabilkan kondisi fisik sebelum dilakukan evaluasi visual. Penilaian perubahan warna dilakukan menggunakan *grey scale* di bawah kondisi pencahayaan terkontrol (standard daylight) untuk memastikan konsistensi pengamatan antar sampel (ISO, 2015). Hasil pengamatan kemudian digunakan untuk menentukan tingkat kekuningan yang terjadi sebagai indikator penurunan stabilitas derajat putih.

Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis dengan membandingkan nilai pH kain, kekuatan pecah (*bursting strength*), dan tingkat *phenolic yellowing* pada berbagai variasi konsentrasi asam asetat (Montgomery, 2017). Pendekatan analisis ini digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antarvariabel proses (pH) terhadap respons material, baik dari aspek mekanik maupun estetika secara simultan.

Hubungan antara penyesuaian pH dan performa kain dievaluasi untuk mengungkap pola perubahan sifat yang bersifat linier maupun non-linier, sehingga dapat diketahui karakteristik respons material terhadap kondisi keasaman yang berbeda (Nandy, 2021). Analisis dilakukan secara deskriptif dan komparatif dengan membandingkan kecenderungan setiap parameter pada masing-masing kondisi perlakuan.

Selanjutnya, hasil analisis digunakan untuk mengidentifikasi rentang pH optimal yang mampu menyeimbangkan kekuatan mekanik dan stabilitas derajat

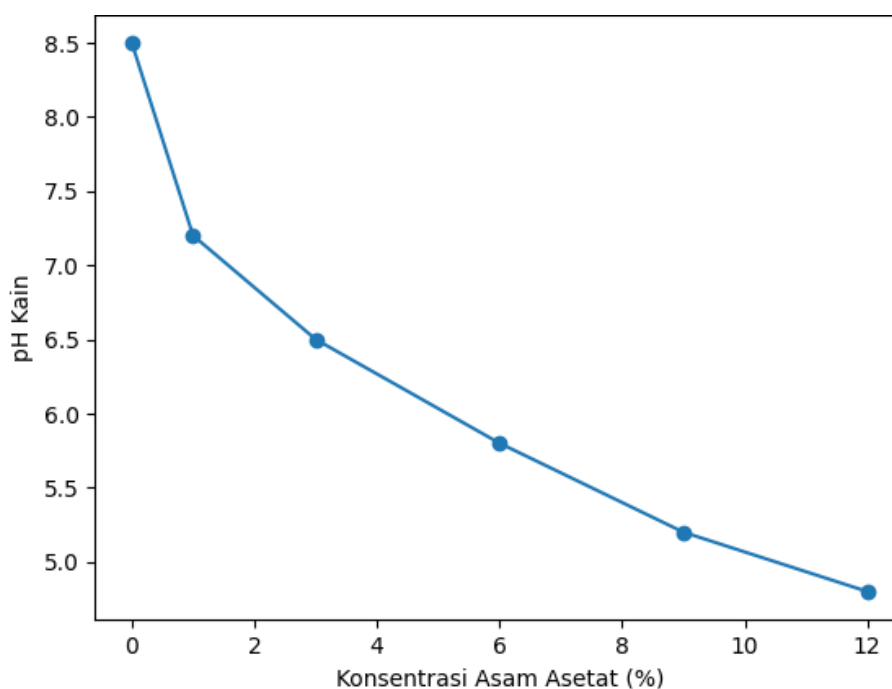
putih, sebagai bagian dari pendekatan optimasi parameter proses dalam finishing tekstil (Montgomery, 2017). Interpretasi hasil dilakukan dalam konteks pengendalian proses industri tekstil guna mendukung peningkatan kualitas produk serta efisiensi proses produksi (Kusrianto, 2020).

HASIL PENELITIAN

Pengaruh Perlakuan Asam Asetat terhadap pH Kain

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asam asetat menyebabkan penurunan nilai pH kain secara konsisten (Brown, 2021). Pada kondisi tanpa perlakuan, kain menunjukkan pH relatif tinggi yang mengindikasikan adanya residu alkali dari proses pencelupan (Lestari et al., 2020). Seiring dengan peningkatan konsentrasi asam asetat dari 0% hingga 12%, nilai pH kain menurun secara bertahap dari kondisi alkali menuju kondisi asam (AATCC, 2022).

Tren ini menunjukkan bahwa konsentrasi asam asetat berbanding terbalik dengan nilai pH kain, di mana peningkatan konsentrasi menghasilkan penurunan pH yang signifikan (Brown, 2021).



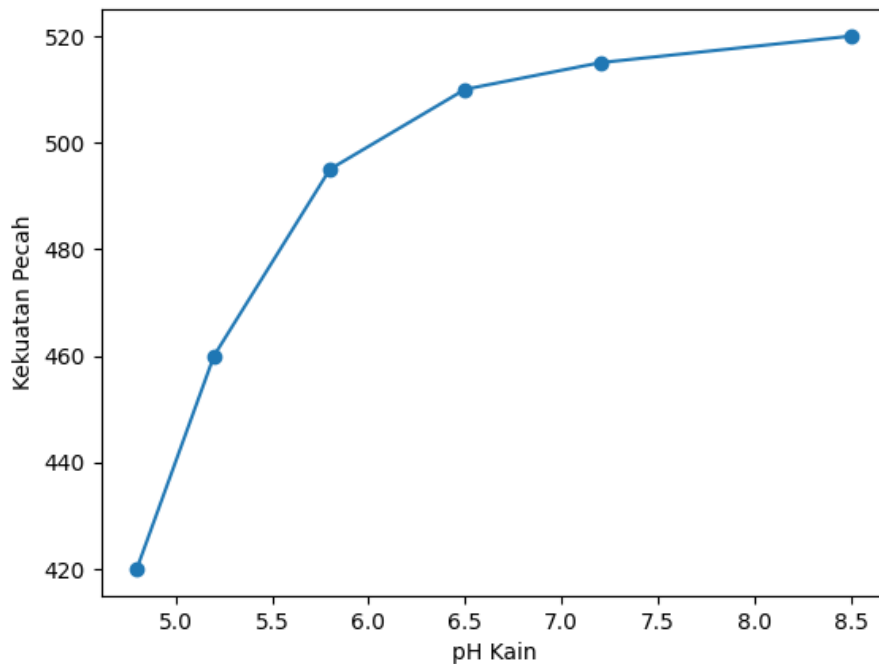
Gambar 1. Pengaruh Perlakuan Asam Asetat terhadap pH Kain

Berdasarkan Gambar 1, kekuatan pecah kain meningkat seiring dengan meningkatnya nilai pH. Pada kondisi pH rendah, kekuatan pecah cenderung lebih rendah, sedangkan pada pH netral hingga alkali, nilai kekuatan pecah menunjukkan peningkatan yang signifikan. Kondisi optimum terlihat pada pH menengah hingga tinggi, di mana kain memiliki ketahanan mekanik yang lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa lingkungan yang lebih basa cenderung mendukung kestabilan struktur serat poliester terhadap gaya tekan.

Pengaruh Penyesuaian pH terhadap Kekuatan Letus (Bursting Strength)

Hasil pengujian kekuatan pecah menunjukkan bahwa kain dengan pH tinggi (netral–alkali) memiliki nilai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan kain dengan pH rendah (ASTM, 1999). Pada kondisi pH sekitar 8,5, kekuatan pecah mencapai nilai maksimum, sedangkan pada pH sekitar 4,8, nilai kekuatan pecah mengalami penurunan yang signifikan (Suhardjo & Legowo, 2015).

Selain itu, penurunan kekuatan pecah terjadi secara bertahap seiring dengan penurunan pH kain, yang menunjukkan adanya hubungan antara kondisi keasaman dan performa mekanik (Nandy, 2021).



Gambar 2. Hubungan pH dengan Kekuatan Pecah

Berdasarkan Gambar 2, stabilitas derajat putih kain menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan peningkatan pH kain. Pada kondisi pH rendah hingga menengah, nilai *whiteness* relatif lebih tinggi yang mengindikasikan berkurangnya kecenderungan *yellowing*. Namun, pada pH yang lebih tinggi, nilai *whiteness* mengalami penurunan yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi pH yang lebih asam cenderung memberikan kontribusi positif terhadap stabilitas derajat putih kain, meskipun pada rentang tertentu peningkatannya mulai melambat.

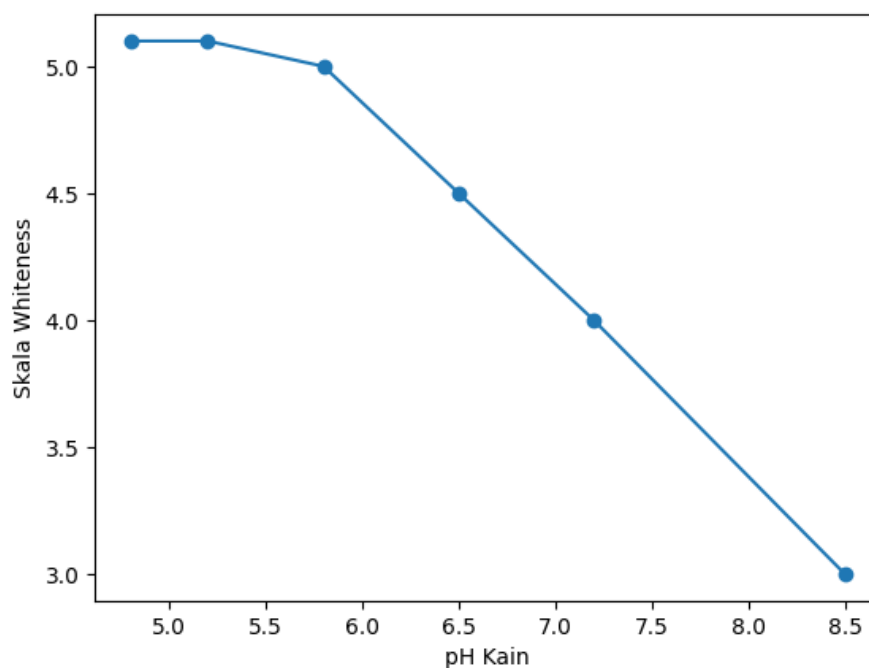
Pengaruh pH terhadap Stabilitas Derajat Putih

Hasil pengujian menunjukkan bahwa stabilitas derajat putih meningkat seiring dengan penurunan pH kain hingga mencapai kondisi tertentu (ISO, 2015).

Pada pH tinggi, nilai whiteness relatif rendah yang menunjukkan kecenderungan terjadinya *yellowing* (Williams, 2022).

Seiring dengan penurunan pH, nilai whiteness meningkat secara signifikan hingga mencapai kondisi optimum pada pH menengah (sekitar 5–6) (Yuliasari et al., 2004). Namun, pada pH yang lebih rendah lagi, peningkatan whiteness cenderung tidak signifikan, yang menunjukkan adanya kondisi plateau (Montgomery, 2017).

Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh pH terhadap whiteness tidak bersifat linear, melainkan memiliki batas efektivitas tertentu (Williams, 2022).



Gambar 3. Hubungan pH dengan Stabilitas Derajat Putih

Berdasarkan Gambar 3, peningkatan konsentrasi asam asetat menyebabkan penurunan nilai pH kain secara bertahap. Pada konsentrasi rendah, penurunan pH masih relatif kecil, namun semakin tinggi konsentrasi asam asetat, penurunan pH menjadi lebih signifikan hingga mencapai kondisi lebih asam. Hal ini menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara konsentrasi asam asetat dan nilai pH kain, di mana peningkatan konsentrasi secara langsung memengaruhi tingkat keasaman kain hasil perlakuan.

PEMBAHASAN

Hubungan antara Konsentrasi Asam Asetat dan pH Kain

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asam asetat menyebabkan penurunan pH kain secara signifikan, yang menegaskan peran asam asetat sebagai agen netralisasi yang efektif terhadap residu alkali pada kain poliester (Brown, 2021). Temuan ini sejalan dengan penelitian Lestari et al. (2020) yang

menyatakan bahwa proses pencelupan poliester meninggalkan residu alkali yang dapat meningkatkan pH kain secara signifikan. Dalam eksperimen ini, penurunan pH terjadi secara bertahap, yang menunjukkan bahwa mekanisme netralisasi berlangsung melalui reaksi antara ion hidrogen dari asam asetat dengan sisa basa pada permukaan serat (Kusrianto, 2020).

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, tren penurunan pH yang diperoleh menunjukkan pola yang konsisten dengan sistem netralisasi asam–basa pada material tekstil sintetis (Brown, 2021). Namun, pada konsentrasi tinggi, pH kain mendekati kondisi sangat asam, yang mengindikasikan bahwa sistem telah melampaui titik netralisasi optimal (Suhardjo & Legowo, 2015). Kondisi ini penting karena pH yang terlalu rendah dapat memicu perubahan struktur permukaan serat akibat interaksi kimia yang lebih agresif (Nandy, 2021).

Mekanisme Degradasi Mekanis pada Kondisi Asam

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan pecah relatif stabil pada pH netral hingga sedikit asam, namun menurun secara signifikan pada kondisi pH rendah, yang menunjukkan adanya pengaruh kondisi kimia terhadap integritas mekanik kain (ASTM, 1999). Temuan ini konsisten dengan penelitian Suhardjo dan Legowo (2015) yang melaporkan bahwa perlakuan asam berlebih dapat menyebabkan degradasi pada serat sintetis.

Secara mekanistik, penurunan kekuatan ini dapat dijelaskan melalui degradasi permukaan serat poliester akibat kondisi asam, yang menyebabkan melemahnya ikatan intermolekuler dalam struktur polimer (Brown, 2021). Pada kain rajut, khususnya struktur *waffle*, distribusi beban sangat bergantung pada interaksi antarbenang dan kondisi permukaan serat (Nandy, 2021). Oleh karena itu, kerusakan mikro pada permukaan serat dapat menyebabkan penurunan signifikan pada kekuatan pecah karena kegagalan lokal akan cepat menyebar dalam struktur rajut (ASTM, 1999).

Dibandingkan dengan studi sebelumnya yang umumnya hanya menilai pengaruh kimia terhadap satu parameter mekanik, penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan pH memiliki efek non-linear terhadap kekuatan kain (Montgomery, 2017). Hal ini ditunjukkan dengan adanya kondisi stabil pada pH menengah dan penurunan tajam pada pH rendah, yang mengindikasikan adanya ambang batas degradasi (*critical threshold*) (Brown, 2021).

Mekanisme Penguningan Fenolik dan Pengaruh pH

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan pH kain meningkatkan stabilitas derajat putih dan mengurangi kecenderungan terjadinya *phenolic yellowing*, yang sejalan dengan penelitian Williams (2022). Fenomena *phenolic yellowing* diketahui terjadi akibat reaksi antara senyawa fenolik dan nitrogen oksida yang menghasilkan senyawa berwarna kuning pada permukaan kain (Williams, 2022). Dalam kondisi alkali, reaksi ini berlangsung lebih cepat karena lingkungan

basa mempercepat pembentukan senyawa antara yang reaktif (Yuliasari et al., 2004).

Dalam eksperimen ini, penurunan pH melalui penambahan asam asetat terbukti mampu menekan reaksi tersebut, sehingga meningkatkan stabilitas warna putih kain (ISO, 2015). Hasil ini juga didukung oleh penelitian Yuliasari et al. (2004) yang menunjukkan bahwa kondisi pH merupakan faktor penting dalam mengendalikan reaksi *discoloration* pada tekstil poliester.

Namun demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah mencapai pH tertentu, peningkatan konsentrasi asam tidak memberikan peningkatan signifikan terhadap stabilitas derajat putih (Montgomery, 2017). Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme penghambatan reaksi *phenolic yellowing* memiliki batas efektivitas, di mana setelah kondisi optimal tercapai, faktor lain seperti lingkungan penyimpanan menjadi lebih dominan (Williams, 2022).

Trade-off antara Kekuatan Mekanis dan Stabilitas Derajat Putih

Salah satu temuan penting dalam penelitian ini adalah adanya *trade-off* antara kekuatan mekanik dan stabilitas derajat putih sebagai fungsi dari pH kain (Montgomery, 2017). Pada pH tinggi, kekuatan mekanik relatif tinggi namun stabilitas warna rendah akibat meningkatnya *yellowing* (Williams, 2022). Sebaliknya, pada pH rendah, stabilitas warna meningkat tetapi kekuatan mekanik menurun akibat degradasi serat (Suhardjo & Legowo, 2015).

Temuan ini memperluas penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada satu parameter kualitas tanpa mempertimbangkan interaksi antarvariabel (Taufiq, 2006; Gustiani & Eriningsih, 2013). Dalam konteks ini, penelitian ini menunjukkan bahwa optimasi proses *finishing* harus mempertimbangkan keseimbangan antara sifat mekanik dan estetika secara simultan (Kusrianto, 2020).

Secara konseptual, hasil ini dapat dijelaskan melalui pendekatan optimasi multi-parameter, di mana pH bertindak sebagai variabel kontrol yang memengaruhi dua respons utama secara berlawanan (Montgomery, 2017). Oleh karena itu, pendekatan berbasis optimasi lebih relevan dibandingkan pendekatan konvensional yang hanya menargetkan satu parameter kualitas (Nandy, 2021).

Implikasi Industri dan Optimasi Proses

Dari perspektif industri, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengendalian pH merupakan parameter kritis dalam proses *finishing* kain poliester (Kusrianto, 2020). Penggunaan asam asetat sebagai agen pengatur pH memberikan fleksibilitas dalam mengontrol kondisi kimia kain secara presisi (Brown, 2021). Namun, penggunaan yang tidak terkontrol dapat menyebabkan penurunan kualitas produk baik dari sisi mekanik maupun estetika (Suhardjo & Legowo, 2015).

Implementasi hasil penelitian ini dalam skala industri dapat dilakukan dengan menetapkan rentang pH optimal yang mempertimbangkan keseimbangan

antara kekuatan dan stabilitas warna (Montgomery, 2017). Pendekatan ini dapat meningkatkan konsistensi kualitas produk, mengurangi cacat akibat *yellowing* selama penyimpanan, serta meningkatkan daya saing produk tekstil di pasar global (Nandy, 2021).

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi teoritis dalam memahami hubungan antara pH dan sifat kain, tetapi juga memberikan implikasi praktis dalam pengembangan strategi pengendalian proses berbasis optimasi (Kusrianto, 2020).

SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penyesuaian pH menggunakan asam asetat berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik dan stabilitas derajat putih kain rajut poliester, di mana peningkatan konsentrasi asam asetat menurunkan pH secara sistematis dan efektif dalam menetralkan residu alkali hasil pencelupan sehingga meningkatkan stabilitas derajat putih melalui penurunan risiko *phenolic yellowing*. Namun, penurunan pH yang berlebihan menyebabkan penurunan kekuatan mekanik kain akibat degradasi serat dalam kondisi asam, sehingga menunjukkan adanya hubungan nonlinier dan fenomena *trade-off* antara kekuatan mekanik dan stabilitas estetika. Temuan ini menegaskan bahwa pH merupakan parameter kritis dalam proses finishing tekstil yang harus dioptimalkan secara seimbang untuk mencapai kualitas produk yang optimal, dengan mempertimbangkan kedua aspek tersebut secara simultan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of Textile Chemists and Colorists (AATCC). (2022). *AATCC Test Method 81: pH of the water-extract of textiles*. AATCC.
- ASTM International. (1999). *ASTM D6797: Standard test method for bursting strength of fabrics constant-rate-of-extension (CRE) ball burst test*. ASTM International.
- ASTM International. (2019). *ASTM E70: Standard test method for pH of aqueous solutions with the glass electrode*. ASTM International.
- Broadbent, A. D. (2001). *Basic principles of textile coloration*. Society of Dyers and Colourists.
- Brown, T. (2021). *Textile finishing processes and chemical applications*. Woodhead Publishing.
- Burkinshaw, S. M. (2016). *Physico-chemical aspects of textile coloration*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118725658>
- Gustiani, R., & Eriningsih, R. (2013). Pengaruh kondisi proses terhadap mutu kain poliester pada tahap finishing. *Jurnal Teknologi Tekstil*, 7(2), 85–92.
- Hashem, M., Sharaf, S., & El-Hady, M. M. (2013). Improvement of polyester dyeability and functionality using chemical treatments. *Carbohydrate Polymers*, 92(1), 687–692. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.09.070>

- Holme, I. (2010). Innovative technologies for high performance textiles. *Coloration Technology*, 126(6), 279–289. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2010.00270.x>
- International Organization for Standardization (ISO). (2015). *ISO 105-X18: Textiles Tests for colour fastness Part X18: Assessment of potential phenolic yellowing*. ISO.
- International Organization for Standardization (ISO). (2019). *ISO 139: Textiles Standard atmospheres for conditioning and testing*. ISO.
- Kusrianto, A. (2020). *Teknologi pengolahan tekstil modern*. Bandung: Penerbit ITB.
- Lambers, H., Piessens, S., Bloem, A., Pronk, H., & Finkel, P. (2006). Natural skin surface pH is on average below 5, which is beneficial for its resident flora. *International Journal of Cosmetic Science*, 28(5), 359–370. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2494.2006.00344.x>
- Lestari, D., Sari, M., & Putra, R. (2020). Pengaruh kondisi alkali terhadap hasil pencelupan kain poliester dengan zat warna disperse. *Jurnal Kimia dan Aplikasi Tekstil*, 9(1), 45–52.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons.
- Nandy, A. (2021). *Principles of textile finishing*. CRC Press.
- Shore, J. (2002). *Colorants and auxiliaries: Organic chemistry and application properties* (Vol. 1). Society of Dyers and Colourists.
- Sinclair, R. (2015). *Textiles and fashion: Materials, design and technology*. Woodhead Publishing.
- Suhardjo, S., & Legowo, E. (2015). Pengaruh konsentrasi asam terhadap sifat mekanik serat sintetis pada proses finishing. *Jurnal Tekstil Indonesia*, 10(1), 12–18.
- Taufiq, M. (2006). Studi pengaruh parameter proses terhadap kualitas kain rajut poliester. *Jurnal Riset Industri Tekstil*, 5(1), 23–30.
- Williams, J. (2022). Phenolic yellowing in synthetic textiles: Mechanisms and prevention strategies. *Textile Research Journal*, 92(4), 567–578. <https://doi.org/10.1177/00405175211000000>
- Yuliasari, I., Widodo, S., & Handayani, T. (2004). Studi fenomena yellowing pada kain poliester akibat pengaruh lingkungan. *Jurnal Tekstil dan Produk Tekstil*, 3(2), 101–108.