

**PENGARUH PENGGUNAAN ZAT AKTIF PERMUKAAN KATIONIK  
POLYQUATERNARY AMMONIUM UNTUK MENINGKATKAN  
KETUAAN DAN KETAHANAN LUNTUR WARNA HASIL  
PENCELUPAN KAIN KAPAS DENGAN ZAT WARNA REAKTIF**  
*THE EFFECT OF USING POLYQUATERNARY AMMONIUM CATIONIC  
SURFACE ACTIVE AGENTS TO IMPROVE THE FASTNESS AND  
COLOR FASTNESS OF COTTON FABRIC DYED WITH REACTIVE  
DYES*

**Desti Martina\***, Nafisa Rizki Maulida, Rr. Wiwiek Eka Mulyani  
Politeknik STTT Bandung, Kota Bandung, 40272, Indonesia

\*Penulis korespondensi:  
Alamat Email: destimartina@gmail.com

Tanggal diterima: 17 Desember 2025, direvisi: 02 Januari 2026,  
disetujui terbit: 05 Januari 2026

**Abstrak**

Kain berbahan dasar serat kapas banyak dimanfaatkan dalam industri tekstil karena memiliki sifat nyaman dipakai, higroskopis, sirkulasi udara yang baik, serta bersifat biodegradable dan ramah lingkungan. Serat kapas tersusun terutama oleh selulosa yang memiliki gugus hidroksil ( $-OH$ ) sehingga memungkinkan terjadinya interaksi kimia dengan berbagai jenis zat pewarna, khususnya zat warna reaktif. Zat warna reaktif mampu membentuk ikatan kovalen dengan gugus hidroksil pada serat kapas, yang menghasilkan warna cerah serta ketahanan luntur yang baik. Namun, efektivitas proses fiksasi zat warna sangat dipengaruhi oleh kondisi pencelupan, terutama pH larutan dan interaksi antara zat warna dan serat. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk meningkatkan afinitas zat warna terhadap serat adalah melalui penambahan zat aktif permukaan kationik berbasis *polyquaternary ammonium*, yang bekerja melalui interaksi elektrostatik antara serat dan zat warna. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan zat aktif permukaan kationik terhadap ketuaan warna serta ketahanan luntur warna terhadap pencucian dan gosokan.

Kata kunci: serat kapas, zat warna reaktif, kationisasi, pH, zat aktif permukaan kationik, ketahanan luntur, *Polyquaternary Ammonium*.

**Abstract**

*Cotton-based fabrics are widely used in the textile industry due to their wearing comfort, hygroscopic properties, good air permeability, as well as their biodegradable and environmentally friendly nature. Cotton fibers are primarily composed of cellulose, which contains abundant hydroxyl ( $-OH$ ) groups that enable chemical interactions with various types of dyes, particularly reactive dyes. Reactive dyes are capable of forming covalent bonds with the hydroxyl groups of cellulose, resulting in bright color shades and good color fastness properties. However, the effectiveness of dye fixation is strongly influenced by dyeing conditions, especially the pH of the dye bath and the interaction between the dye and the fiber. One approach to enhancing dye-fiber affinity is the application of cationic surfactants based on polyquaternary ammonium*

*compounds, which promote electrostatic interactions between the fiber and the dye. This study aims to evaluate the effect of dyeing pH variation in cotton fabric dyeing with the addition of a cationic surfactant on color depth and color fastness to washing and rubbing.*

*Keywords: cotton fiber, reactive dyestuff, cationization, pH, cationic surface active agent, fastness, Polyquaternary Ammonium.*

## PENDAHULUAN

Kain berbahan dasar serat kapas banyak digunakan dalam industri tekstil karena memiliki sifat yang nyaman dipakai, mampu menyerap kelembapan (higroskopis), memiliki permeabilitas udara yang baik, serta bersifat biodegradabel. Serat kapas tersusun atas selulosa dengan kandungan gugus hidroksil (-OH) yang tinggi<sup>1</sup>, sehingga memungkinkan terjadinya interaksi kimia dengan berbagai jenis zat warna, terutama zat warna reaktif. Zat warna reaktif mampu membentuk ikatan kovalen dengan gugus hidroksil pada selulosa sehingga menghasilkan ketahanan luntur yang baik<sup>2,3</sup>. Maka upaya memperbaiki penurunan intensitas warna dapat dilakukan dengan penambahan kationisasi telah dikembangkan dengan menambahkan senyawa bermuatan positif ke permukaan serat guna meningkatkan afinitas zat warna terhadap selulosa.<sup>4</sup>

Penelitian yang dilakukan Akbas membahas mengenai interaksi zat warna reaktif anionik dengan zat aktif jenis surfaktan kationik *tetradecyltrimethyl ammonium bromide (TTAB)* (Akbas, 2013)<sup>5</sup>. Penambahan zat aktif permukaan menjadi alternatif untuk memperbaiki intensitas warna dan kerataan, serta untuk meningkatkan ketahanan luntur terhadap gosokan dan pencucian. Sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan zat bersifat kationik, seperti di antaranya turunan amonium kuarterner dan amonium tersier, seperti *3-kloro-2-hidroksipropil trimetil amonium klorida (CHPTAC)*, *poliepioklorohidrin, dimetilamin N-metilolakrilamida*, serta

*polidialildimetil amonium klorida (PDADMAC)*<sup>6</sup>. Menurut Yu dan Zhang, *3-kloro-2-hidroksipropil trimetil amonium klorida (CHPTAC)* dapat meningkatkan afinitas zat warna, tetapi memiliki stabilitas rendah pada suhu tinggi<sup>7</sup>. Rafiq et al, menjelaskan bahwa penggunaan *polidialildimetilamonium klorida (PDADMAC)* sebagai zat kationisasi pada kain kapas terbukti efektif dalam meningkatkan substantivitas zat warna. Namun, ukuran molekul besar sering menyebabkan penurunan kerataan warna hasil pencelupan<sup>8</sup>. Selain itu, menurut Wu dengan penambahan zat kationisasi yang berbasis amonium kuarterner dapat meningkatkan ikatan zat warna dengan serat, sehingga dapat memperbaiki intensitas warna dan ketahanan luntur terhadap pencucian<sup>9</sup>. Yuanjun et al, menjelaskan penggunaan zat kationik tipe amonium kuarterner (WLSPR) menghasilkan fiksasi yang baik dan warna yang merata pada permukaan kain, selain itu menghasilkan ketahanan luntur yang baik terhadap pencucian dan gosokan<sup>10</sup>. Pada larutan alkali, polimer *polyquaternary ammonium* akan bermuatan positif, karena amina kuarterner bermuatan pada semua tingkat pH (Tietcha, 2023)<sup>11</sup>.

Keunggulan lain dari *Polyquaternary Ammonium* memiliki sifat antibakteri yang dapat diaplikasikan dalam tekstil dan biomaterial (Rusli., dkk., 2023, Meier, 2023)<sup>12</sup>. Selain itu zat aktif permukaan kationik seperti dapat *Polyquaternary Ammonium* digunakan untuk memodifikasi permukaan kain

kapas sehingga dapat dicelup dengan zat warna reaktif tanpa garam dengan suhu pencelupan yang rendah (suhu kamar) (Niu, 2020)<sup>13</sup>.

Mengacu pada penelitian Tiecha (2023), *polyquaternary ammonium* memiliki gugus amina kuaterner yang bermuatan positif pada rentang pH tertentu, termasuk dalam kondisi alkali. Muatan positif ini memungkinkan terjadinya interaksi elektrostatis antara polimer dan molekul zat warna reaktif bermuatan negatif, sehingga meningkatkan afinitas zat warna terhadap serat kapas. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi pengaruh penambahan zat aktif permukaan *polyquaternary ammonium* pada kain kapas yang dicelup dengan zat warna reaktif *choranil* terhadap hasil pencelupan. Zat warna reaktif *choranil* merupakan zat warna anionik berstruktur azo(Akbas, 2013)<sup>5</sup> Proses pencelupan zat warna reaktif dengan penambahan proses kationisasi diharapkan dapat meningkatkan ketahanan luntur pada hasil pencelupan.

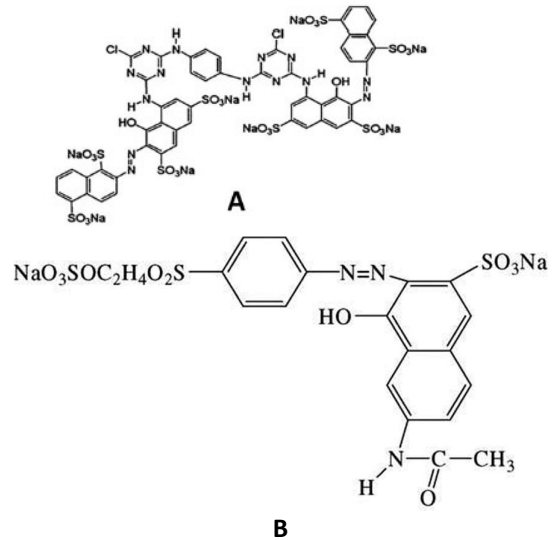
## BAHAN DAN METODE

Zat warna reaktif yang digunakan *Chloranil Red HE-7B*, *Chloranil Orange HER*, Natrium Klorida (NaCl), Natrium Karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), zat aktif permukaan kationik. Material kain rajut kapas 100%. Jenis jeratan, rajut polos. Berikut ini data konstruksi : No Benang Tex 29,5, Cpi : 67 hl/inci, Wpi: 42 hl/inci, Berat Kain 115,65 g/m<sup>2</sup>. Struktur zat warna reaktif *Red HE7B* dan zat warna reaktif *Orange 16* dapat dilihat pada Gambar 1<sup>5,14</sup>.

## PROSES PENCELUPAN KAPAS

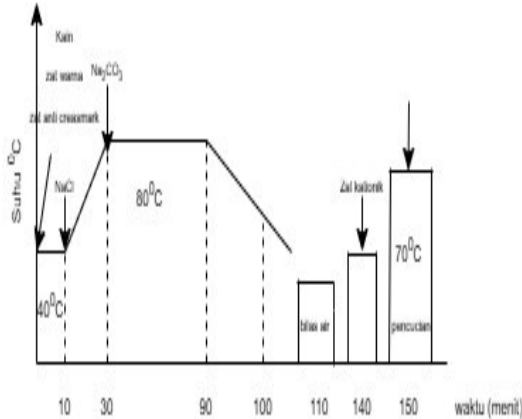
Proses pencelupan kain kapas dengan zat warna reaktif dilakukan pada kondisi alkali dengan variasi pH pencelupan (pH 10 sampai 11) diperoleh melalui penyesuaian secara

bertahap pada penambahan larutan alkali, sehingga setiap kondisi pH merepresentasikan kondisi reaksi yang berbeda.



Gambar 1. Struktur Zat warna reaktif *Red HE7B* (A) dan Zat warna reaktif *Orange 16* sumber Sheam., dkk 2021, Akbas., 2013.

Penelitian ini tidak bertujuan untuk mempelajari mekanisme reaksi secara kinetik, melainkan untuk mengamati kecenderungan perubahan ketahanan warna dan ketahanan luntur sebagai respon terhadap variasi pH pencelupan. Pengukuran pH dilakukan secara langsung pada larutan pencelupan menggunakan pH meter. Natrium klorida ditambahkan sebagai elektrolit dengan konsentrasi sebesar 60 g/L, sedangkan zat anti-crease mark sebanyak 0,5 ml/L. Proses pencelupan dilakukan menggunakan metoda *one-bath* dengan perbandingan (vlot) 1:30 pada suhu 80°C selama 45 menit. Selanjutnya, perlakuan kationisasi dilakukan dengan penambahan zat aktif permukaan kationik pada suhu 40°C selama 30 menit. Skema proses pencelupan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema proses pencelupan menggunakan zat warna reaktif Terhadap kain kapas.

### Pengujian Ketuaan

Pengujian ketuaan warna dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh pH pencelupan dan Zat Aktif Permukaan mempengaruhi hasil pencelupan. Proses ini dilakukan berdasarkan SNI ISO 150 – J01:2010 dengan menggunakan alat *spektrofotometer*. Alat ini bekerja pada panjang gelombang 400 hingga 700 nm dengan interval 20 nm.

### Pengujian Ketahanan Luntur Warna Terhadap Pencucian

Penggunaan *Launder O meter* bertujuan untuk mengukur sejauh mana perubahan warna dan perpindahan warna pada kain uji setelah pencucian sesuai dengan standar SNI ISO 105-C06:2010.

### Pengujian Tahan Luntur Warna Terhadap Gosokan

*Crockmeter* digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap tingkat ketahanan luntur warna kain uji terhadap gesekan mekanis, baik dalam keadaan kering (*dry rubbing*) maupun metode basah (*wet rubbing*) berdasar kepada SNI ISO 105-X12:2016.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Evaluasi Ketuaan Warna

Ketuaan warna hasil pencelupan dapat diketahui dengan mengukur reflektansi pada panjang gelombang maksimum, dari nilai reflektansi dapat dihitung nilai K/S yang menunjukkan jumlah zat warna yang diserap oleh bahan/kain. Jika nilai K/S bertambah tinggi maka penyerapan zat warna pada kain lebih besar atau warna yang dihasilkan lebih tua dan sebaliknya jika nilai ketuaan warna makin rendah maka penyerapan zat warna lebih sedikit, sehingga warna yang dihasilkan lebih muda.

Berdasarkan data pada tabel 1, terlihat bahwa variasi pH dan penambahan zat aktif permukaan kationik memberikan pengaruh terhadap ketuaan warna.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Ketuaan Warna (K/S)

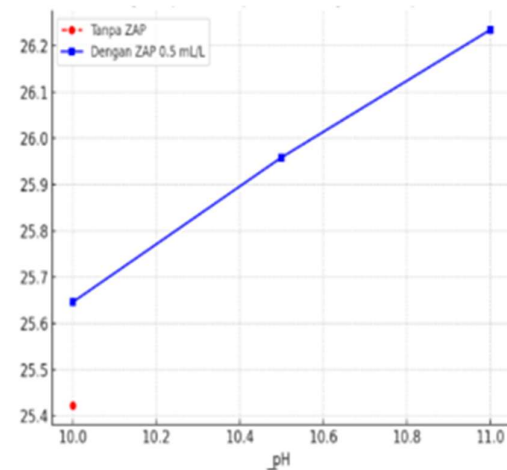
Konsentrasi zat aktif permukaan ml/L	pH	K/S
Tanpa ZAP	10	25,422
0.5	10	25,646
	10,5	25,959
	11	26,235

Peningkatan nilai K/S pada kain yang diberi perlakuan *polyquaternary ammonium* dibandingkan dengan blanko terutama disebabkan oleh meningkatnya afinitas zat warna terhadap serat kapas. *Polyquaternary ammonium* memiliki gugus amina kuaterner bermuatan positif<sup>11</sup>, yang mampu berinteraksi secara elektrostatis dengan molekul zat warna reaktif bermuatan negatif. Interaksi ini meningkatkan jumlah zat warna yang terserap dan tertahan pada serat, sehingga menghasilkan nilai K/S yang lebih tinggi. Selain itu, peningkatan pH pencelupan memperkuat kondisi reaksi dan interaksi zat warna dengan serat, yang dapat meningkatkan ketuaan warna.

Dapat dilihat pada kondisi tanpa penambahan zat kationik, pencelupan pada pH 10 menghasilkan nilai K/S sebesar 25,422. Setelah penambahan *Polyquaternary Ammonium* sebesar 0,5 ml/L, nilai K/S pada pH 10 meningkat menjadi 25,646, yang menunjukkan bahwa perlakuan kationisasi mampu meningkatkan penyerapan zat warna meskipun pada pH yang sama. Peningkatan nilai K/S yang lebih signifikan terjadi seiring dengan kenaikan pH. Pada pH 10,5 dengan penambahan *Polyquaternary Ammonium* 0,5 ml/L, nilai K/S meningkat menjadi 25,959, sedangkan pada pH 11 diperoleh nilai K/S tertinggi, yaitu 26,235. Kondisi ini menunjukkan bahwa kenaikan pH hingga batas tertentu meningkatkan jumlah gugus selulosa OH<sup>-</sup> yang bersifat nukleofilik antara zat warna reaktif dan serat kapas. Pada saat yang sama, *Polyquaternary Ammonium* berperan sebagai penguat fiksasi dengan membentuk ikatan kompleks ionik antara gugus amonium kuarterner bermuatan positif dan molekul zat warna bermuatan negatif. Kombinasi kedua mekanisme ini menghasilkan peningkatan ketahanan warna.

Zat aktif permukaan kationik berperan dalam meningkatkan retensi zat warna dan memperbaiki distribusi warna pada serat, sementara pH mengendalikan keseimbangan antara reaktivitas zat warna reaktif. Menunjukkan bahwa perlakuan kationisasi berpengaruh terhadap ketahanan warna yang dihasilkan pada kain kapas. Pada penelitian ini, evaluasi dilakukan dengan membandingkan kain tanpa penambahan zat (blanko) dan kain yang diberi penambahan zat *polyquaternary ammonium* sebesar 0,5 g/L, pada Gambar 3 menjelaskan hubungan antara pH pencelupan dan nilai K/S (ketahanan warna) pada kain kapas dengan perbandingan antara pencelupan tanpa dan dengan

penambahan zat aktif permukaan kationik (*Polyquaternary Ammonium* 0,5 ml/L). Menunjukkan bahwa peningkatan pH pencelupan dari 10 hingga 11 menyebabkan peningkatan nilai K/S, yang menandakan warna menjadi lebih tua. Pada kondisi tanpa zat aktif permukaan (blanko), nilai K/S lebih rendah, menunjukkan keterbatasan penyerapan atau fiksasi zat warna oleh serat kapas.



Gambar 3. Pengaruh pH pencelupan terhadap nilai K/S kain kapas dengan dan tanpa perlakuan *Polyquaternary Ammonium*

Penambahan *Polyquaternary Ammonium* 0,5 ml/L menghasilkan nilai K/S yang lebih tinggi, tidak hanya meningkatkan daya serap zat warna, tetapi juga membantu memperbaiki distribusi warna sehingga kain tampak lebih merata. Interaksi elektrostatik antara muatan positif pada gugus amonium kuarterner dengan muatan negatif dari molekul zat warna memperkuat retensi zat warna di dalam serat, dan proses pencelupan menghasilkan ketahanan luntur terhadap gosokan dan pencucian yang baik<sup>15</sup>.

### Ketahanan Luntur Warna Terhadap Pencucian

Pengujian ketahanan luntur warna terhadap pencucian dilakukan untuk mengetahui sejauh mana warna pada kain uji bertahan setelah melalui proses pencucian yang disimulasikan. Prinsip pengujian ini didasarkan pada pengaruh gerakan mekanis dan gesekan yang terjadi saat pencucian, yang berpotensi menyebabkan zat warna terlepas dari serat. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan perubahan warna pada sampel menggunakan *Grey Scale for Color Change*, serta menilai tingkat penodaan pada kain multifiber standar dengan *Grey Scale for Staining*.

Pada Tabel 2 menunjukkan nilai perubahan warna hal ini terjadi adanya ikatan antara gugus pelarut zat warna dengan zat kationik. Dimana zat warna reaktif yang bermuatan negatif, sedangkan Polimer *polyquaternary ammonium* memiliki muatan positif sehingga terbentuknya interaksi elektrostatis antara gugus bermuatan positif pada polimer kationik dengan gugus bermuatan negatif pada molekul zat warna reaktif, sehingga terbentuk molekul yang lebih besar maka zat warna tidak mudah keluar dari permukaan serat.

Tabel 2. Ketahanan luntur warna terhadap uji pencucian

Konsentrasi Zat Aktif Permukaan ml/L	pH	Ketahanan Luntur Warna Terhadap Pencucian	
		Perubahan Warna	Penodaan Pada Kapas
Tanpa ZAP	10	3	3
0,5	10	4	3
	10,5	4	4
	11	4	4

Pada pH pencelupan 10,5 dengan penambahan konsentrasi zat aktif permukaan kationik sebanyak 0,5 ml/L, dengan hasil ketahanan luntur terhadap pencucian menghasilkan nilai

penodaan pada kain pelapis 4 dan perubahan warna 4. Hal ini, terbentuknya interaksi elektrostatis antara gugus bermuatan positif pada polimer kationik dengan gugus bermuatan negatif pada molekul zat warna reaktif, sehingga memberikan nilai ketahanan luntur yang relatif lebih baik. Pada kondisi pencelupan dengan zat aktif permukaan kationik 0,5 ml/L pada pH 10, ketahanan luntur terhadap pencucian menunjukkan nilai penodaan pada kain pelapis sebesar 3 dan perubahan warna berada pada kisaran 2–3. pH pencelupan berpengaruh terhadap kereaktifan zat warna makin tinggi pH maka makin menjadi alkali, sehingga meningkatkan kereaktifan dan membantu fiksasi zat warna reaktif. Selain itu juga dapat memperbesar substantivitas zat warna atau penyerapan warna .

### Ketahanan Luntur Warna Terhadap Gosokan

Kain hasil pencelupan selanjutnya diuji ketahanan warnanya terhadap gosokan menggunakan dua cara, yaitu gosokan dalam kondisi kering (*dry rubbing*) dan gosokan dalam kondisi basah (*wet rubbing*). Hasil uji yang disajikan pada tabel 3 menunjukkan bahwa proses fiksasi dengan penambahan zat aktif permukaan kationik sebanyak 0,5 ml/L pada kondisi pH pencelupan 10,5 mampu menghasilkan nilai ketahanan luntur warna terhadap gosokan basah maupun gosokan kering dengan nilai 4. Peningkatan konsentrasi zat aktif permukaan kationik terbukti dapat memperbaiki ketahanan luntur terhadap gosokan.

Tabel 3. Data uji ketahanan luntur warna terhadap gosokan

Konsentrasi Zat Aktif	pH	Ketahanan Luntur Warna Terhadap Pencucian

Permukaan ml/L		Perubahan Warna	Penodaan Pada Kapas
Tanpa ZAP	10	3	3
0,5	10	4	3
	10,5	4	4
	11	4	4/5

Pada pengujian ketahanan luntur warna terhadap gosokan, hasil menunjukkan bahwa nilai pada gosokan kering lebih tinggi dibandingkan dengan gosokan basah. Penambahan zat aktif permukaan kationik memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan daya tahan warna ketika mengalami terhadap ketahanan luntur warna terhadap gosokan. Hal ini, dikarenakan zat aktif permukaan kationik memiliki gugus yang bermuatan positif, sehingga dapat meningkatkan proses migrasi zat warna pada permukaan serat dengan adanya interaksi elektrostatis serta reaksi *nukleofilik* antara gugus amino pada zat warna dan gugus hidroksil pada serat dan menghasilkan warna yang merata<sup>16</sup>.

Saat kain dilakukan gosokan secara mekanik, zat warna yang telah terfiksasi tidak mudah lepas sehingga tidak menodai kain pelapis. Namun, pada uji ketahanan luntur terhadap gosokan basah dengan menggunakan air sebagai media, gesekan mekanik pada permukaan kain yang dalam keadaan basah dapat memicu keluarnya sisa zat warna di permukaan kain, sehingga berpotensi menodai kain kapas pelapis.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi pH pencelupan dan penambahan zat aktif permukaan kationik berbasis *Polyquaternary Ammonium* memberikan pengaruh signifikan terhadap ketahanan warna dan ketahanan luntur kain kapas yang dicelup menggunakan zat warna reaktif. Peningkatan pH pencelupan hingga batas tertentu meningkatkan

reaktivitas zat warna terhadap serat selulosa, sehingga memperbesar peluang terbentuknya ikatan kovalen antara zat warna dan serat. Penambahan *polyquaternary ammonium* terbukti mampu meningkatkan fiksasi zat warna melalui mekanisme interaksi elektrostatis antara gugus amonium kuarterner bermuatan positif dan molekul zat warna bermuatan negatif. Kombinasi variasi pH dan perlakuan kationisasi menghasilkan peningkatan ketahanan warna yang ditunjukkan oleh nilai K/S yang lebih tinggi serta ketahanan luntur warna yang lebih baik terhadap pencucian dan gosokan. Kondisi optimum diperoleh pada pH 10,5 dengan penambahan *Polyquaternary Ammonium* sebesar 0,5 ml/L, meskipun konsentrasi *polyquaternary ammonium* yang digunakan sama, yaitu 0,5 mL/L, nilai pH sistem pencelupan tetap dapat bervariasi karena pH dikendalikan oleh keseimbangan antara alkali, zat warna, elektrolit, dan interaksi dengan serat kapas. *Polyquaternary ammonium* tidak berfungsi sebagai pengatur pH, melainkan sebagai zat kationisasi yang meningkatkan afinitas zat warna terhadap serat.

## Saran

Pengaturan pH pencelupan pada kondisi alkali (pH 10-11) disarankan untuk memperoleh hasil warna yang lebih baik serta meningkatkan ketahanan luntur warna, baik terhadap gosokan maupun pencucian. Selain itu, penggunaan zat kationik berbasis biomaterial seperti kitosan atau protein alami, yang lebih ramah lingkungan dibandingkan senyawa sintetik *polyquaternary ammonium*. Pendekatan ini tidak hanya mendukung hasil pencelupan yang berkualitas, tetapi juga sejalan dengan konsep produksi tekstil berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Wagaye, B. T., Adamu, B. F. & Jhatial, A. K. Recycled Cotton Fibers for Melange Yarn Manufacturing. in (2020). doi:10.1007/978-981-15-9169-3\_21.
2. Rattee, I. D. Reactive Dyes for Cellulose 1953–1983. Review of Progress in Coloration and Related Topics 14, (1984).
3. Shahid, M. A., Hossain, M. I., Hossain, D. & Ali, A. Effect of Different Dyeing Parameters on Color Strength & Fastness Properties of Cotton-Elastane (CE) and Lyocell-Elastane (LE) Knit Fabric. International Journal of Textile Science 5, 1–7 (2016).
4. Sharif, S., Ahmad, S. & Izhar-ul-Haq, M. M. Role of quaternary ammonium salts in improving the fastness properties of anionic dyes on cellulose fibres. Coloration Technology vol. 123 Preprint at <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2006.00053.x> (2007).  
10.3139@113.110235.
5. Kim, J. Y. & Choi, H. M. Cationization of periodate-oxidized cotton cellulose with choline chloride. Cellulose Chemistry and Technology 48, (2014).
6. Yu, Y. & Zhang, Y. Roles of novel reactive cationic copolymers of 3-chloro-2-hydroxypropylmethylallylammonium chloride and dimethylallylammonium chloride in fixing anionic dyes on cotton fabric. J Chem <https://doi.org/10.1155/2013/365103> (2013) doi:10.1155/2013/365103.
7. Negi, A. Cationized Cellulose Materials: Enhancing Surface Adsorption Properties Towards Synthetic and Natural Dyes. Polymers vol. 17 Preprint at <https://doi.org/10.3390/polym17010036> (2025).
8. Wu, Y. & Zhang, Z. Application of cationic modification agent to pigment dyeing. in Advanced Materials Research vol. 627 (2013).
9. Liu, Y. & Zhao, X. Preparation of a cationic environment-friendly fixing agent. Fibres and Textiles in Eastern Europe 25, (2017).
10. Félicité Tiétcha, G. Effect of Polyquaternary Ammonium Polymer on the Electrochemical Deposition of Zinc.
11. Rusli, W., Halleluyah, P. M., Jun, L. X., Lakshminarayanan, R. & Parthiban, A. Synthesis, characterization and cell selectivity of poly(quaternary ammonium chlorides): effect of the degree of quaternization and copolymer composition. Mater Adv 4, (2023).
12. Niu, T. et al. Chemical Modification of Cotton Fabrics by a Bifunctional Cationic Polymer for Salt-Free Reactive Dyeing. ACS Omega 5, (2020).
13. Sheam, M. M. et al. Mycoremediation of reactive red HE7B dye by *Aspergillus salinarus* isolated from textile effluents. Curr Res Microb Sci 2, (2021).
14. Baldwinson, T. M. & Shore, J. Colorants and Auxiliaries. J. Shore (Ed.) 2, (1990).
15. Blackburn, R. S. & Burkinshaw, S. M. A greener approach to cotton dyeings with excellent wash fastness. Green Chemistry 4, (2002).