

PENGGUNAAN KUPRISULFAT PADA PENCAPAN RINTANG METODA KHELASI LOGAM (*METAL CHELATION*) PADA KAIN POLIESTER DENGAN ZAT WARNA DISPERSI

Luciana

Universitas Insan Cendikia Mandiri dh Unbar

lucianalaksmi697@gmail.com

Abstrak – Pencapan rintang metode khelasi logam (*metal chelation*) pada kain poliester menggunakan zat warna dispersi jenis antrakinon sebagai warna dasarnya, karena zat warna tersebut tidak tahan terhadap logam-logam transisi contohnya logam tembaga yang diperoleh dari senyawa kuprisulfat. Untuk warna motifnya digunakan zat warna dispersi jenis azo karena zat warna azo tahan terhadap logam-logam transisi. Senyawa kuprisulfat berfungsi menghalangi terfiksasinya zat warna pada serat yang ditambahkan pada pasta warna motifnya, sehingga perlu dilakukan optimasi pemakaiannya dengan variasi konsentrasi dan waktu fiksasi pengukusan, pada proses pencapan rintang metode khelasi logam (*metal chelation*) kemudian dilakukan pengujian terhadap derajat putih kain, beda warna, dan sifat fisik kain poliester. Keadaan terbaik dicapai pada konsentrasi kuprisulfat 35 g/kg pasta dan waktu fiksasi 180 derajat Celcius 6 menit dengan nilai derajat putih kain Delta K/S 0,0092, nilai beda warna Delta E= 1,09, kekuatan tarik kain dengan nilai 22,80 kg kearah lusi 19,50 kg kearah pakan, tahan luntur warna terhadap pencucian dan gosokan dengan nilai 4- 5.

Kata kunci : kuprisulfat, rintang, azo, antrakinon, poliester

Abstract – Resist printing the metal chelation method on a polyester fabric uses an antrakinon dispersion dyes as its base color, because the dye is not resistant to transition metals, for example copper metal obtained from copper compound. Azo dispersion dyes are used for motif color because they are resistant to transition metals. Kuprisulfate compound functions to prevent the fixation of dyes in the fiber added to the color paste of the motif, so it is necessary to optimize its use with variations in concentration and time of streaming fixation in the metal chelation method, then testing the degree of white fabric, different colors, fabric tensile strength and color fastness to washing and rubbing. Optimum conditions were achieved at a concentration of kuprisulfate 35 g/kg paste and a fixation time of 180 Degrees Celcius for 6 minutes with a white degree of fabric Delta K/S 0.0092, color difference value Delta E= 1.09, fabric tensile strength with a value of 22.80 kg towards the warp 19.50 kg towards the feed, fastness to washing and rubbing with a value of 4- 5.

Keywords : kuprisulfate, resist, azo, antrakinon, polyester

1. PENDAHULUAN

Pada masa kini pencapan rintang dan etsa (*discharge*) telah mengalami perubahan besar-besaran, terutama pada penggunaan serat warna alam. Ini disebabkan desain motif-motif kecil khususnya yang bercorak bunga pada dasar warna gelap. Desain-desain tekstil semacam ini hanya diperoleh dengan cara pencapan rintang dan etsa (*discharge*) yang tidak mudah dikerjakan dengan cara pencapan langsung .

Untuk mendapatkan motif garis – garis atau titik-titik kecil dan lebih dari satu warna dengan warna yang cerah cemerlang, pencapan rintang merupakan metode yang dapat digunakan, sebab pencapan langsung tidak dapat memberikan ketajaman motif dan kecerahan seperti yang disebutkan sebelumnya. Pencapan rintang (*resist*) merupakan pencapan dengan menggunakan sesuatu zat kimia yang berfungsi untuk menghalangi atau merintang terfiksasinya zat warna pada serat. Pada pencapan rintang (*resist*) digunakan zat warna dispersi jenis azo sebagai warna dasar karena zat warna dispersi jenis azo tidak tahan terhadap pereduksi atau

pengoksidasian. Sedangkan untuk warna pada motif digunakan zat warna dispersi jenis antrakinon karena zat warna ini tidak tahan terhadap logam – logam transisi (Borisova, A., 2019).

Dalam penelitian ini dilakukan suatu percobaan terhadap pencapan rintang dengan zat warna dispersi pada kain poliester, dimana zat warna dispersi jenis antrakinon digunakan sebagai warna dasar dan zat warna azo digunakan sebagai warna pada motif dengan metoda khelasi logam (*metal chelation*). Prinsip dasar metoda khelasi logam (*metal chelation*) adalah membentuk ikatan koordinasi dari pasangan elektron bebas pada gugus fungsional yang terdapat pada kromofor (gugus pembawa warna) dari zat warna dispersi dengan ion-ion logam transisi (Flora & Pachauri, 2010). Zat warna dispersi yang telah membentuk ikatan koordinasi dengan logam – logam transisi tersebut mengakibatkan ikatan rangkap pada zat warna dispersi terputus dan tidak berwarna lagi. Logam transisi yang digunakan dalam pencapan rintang ini adalah logam tembaga (Cu) yang diperoleh dari senyawa kuprisulfat (CuSO₄) sebagai zat perintang nya (Stallmann, 1960). Tujuan penelitian

ini adalah untuk mengetahui sejauh mana daya rintang kupri sulfat terhadap warna yang dihasilkan serta pengaruhnya terhadap sifat fisik kain poliester.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh konsentrasi kuprisulfat dan waktu fiksasi pada proses pencapan rintang metode khelasi logam (*metal chelation*) serta pengaruhnya terhadap sifat fisik kain poliester.

Pemanfaatan hasil penelitian ini diharapkan :

1. Mahasiswa dapat mengetahui proses pencapan rintang metode khelasi logam (*metal chelation*) dan pengaruhnya terhadap sifat fisik kain poliester.
2. Bagi instansi terkait dapat mengimplementasikan hasil penelitian untuk diaplikasikan sehingga meningkatkan mutu produksi dan menambah nilai jual

2. KAJIAN PUSTAKA DAN PERUMUSAN HIPOTESA

Serat Poliester

Serat poliester merupakan serat sintetik yang bersifat hidrofob artinya serat yang tidak mempunyai daya serap terhadap air atau kecil sekali. Berbeda dengan serat alam yang bersifat hidrofil artinya serat yang mempunyai daya serap terhadap air sangat baik. Sehingga zat warna yang digunakan bersifat mudah larut dalam air (Smigiel-Kamiska, 2019). Masing-masing serat mempunyai karakteristik yang berbeda antara satu dengan serat lainnya sehingga proses pencelupan dan pencapannya juga berbeda perlakuannya tergantung jenis seratnya .

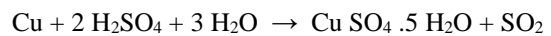
- 1) Sifat kimia :
 - o Tahan asam lemah dan asam kuat.
 - o Tahan zat oksidator, Alkohol.
 - o Larut di dalam metakresol panas, asam triflourasetat-orto-klorofenol.
- 2) Karakteristik serat poliester :
 - o Memiliki kekuatan tarik yang sangat baik
 - o Tahan panas yang sangat baik dan tahan sinar
 - o Tahan terhadap zat kimia
 - o Memiliki stabilitas dimensi yang sangat baik dan anti crease mark
 - o Serat poliester memiliki berat jenis yang lebih kecil dibandingkan dengan serat kapas dan rayon viskosa yaitu 1,38.
 - o Moisture regain serat poliester adalah 0,4%
 - o Bisa dicelup atau dicap dengan zat warna dispersi.

Zat Warna Dispersi

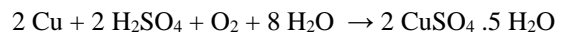
Zat warna dispersi banyak digunakan untuk mewarnai bahan tekstil dari serat sintetik contohnya adalah serat poliester. Zat warna dispersi bersifat hidrofob (Isminingsih & Rasjid, 1979), demikian juga dengan serat poliester bersifat hidrofob sehingga mekanisme pewarnaannya secara teoritis dikatakan larut dalam serat tersebut (*solid solution*). Ada beberapa jenis zat warna dispersi diantaranya-Nya jenis azo, antraknon dan difenilamina (Rys dan Zollinger, 1972). Zat warna dispersi dari jenis tersebut sebenarnya sudah memberikan warna dalam pencelupan dan pencapan. Zat warna dispersi yang digunakan dalam pencapan rintang metoda khelasi logam (*metal chelation*) terdapat pada jenis azo dan antraknon (Dawson , J.F., 1978).

Kuprisulfat

Senyawa kuprisulfat yang umumnya dikenal sebagai tembaga sulfat, berbentuk Kristal-kristal triklin biru dengan rumus $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang disebut vitrol biru atau batu biru (*bluestone*). Ini diperoleh dengan jalan kuprioksid dilarutkan dalam larutan asam sulfat encer dan kemudian larutan itu di uapkan, maka terbentuklah kristal biru (Vogel, 1961). Reaksinya dapat dituliskan :



atau



Jika kristal biru tersebut dipanaskan lagi, maka hilanglah semua air kristalnya dan berubah menjadi CuSO_4 yang putih warnanya.

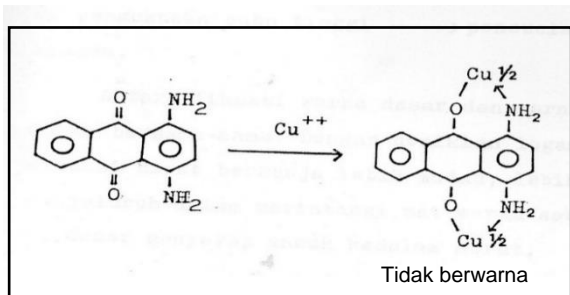
Pencapan rintang metode khelasi logam (*metal chelation*) dan mekanisme proses.

Proses pencapan metode khelasi logam (*metal chelation*) prinsipnya adalah pembentukan ikatan koordinasi dari pasangan elektron bebas pada gugus fungsional yang terdapat pada kromofor (gugus pembawa warna, misalnya gugus antraknon) dari zat warna dispersi dengan ion-ion logam transisi seperti tembaga, kromium, kobal, besi, aluminium, nikel, dan lain lain . Zat warna yang gugus kromofornya telah diikat oleh ion-ion logam seperti tersebut diatas, memiliki sedikit sekali daya gabung atau tidak sama sekali terhadap serat poliester. Sehingga pada waktu proses pencucian zat warna yang tidak terfiksasi ini akan lepas dan menghasilkan warna motif putih pada dasar yang diwarnai (Provost,J.R., 1988)

Pada umumnya warna-warna yang sesuai sebagai warna dasar, adalah warna-warna yang memiliki kelompok- kelompok koordinasi, seperti terdapat pada jenis antraknon, sedangkan untuk warna – warna motif terdapat pada jenis azo dari zat warna dispersi .

Di samping itu zat khelasi yang dipakai biasanya merupakan zat kimia yang mengandung ion-ion logam transisi yang bersifat elektropositif, sehingga mudah membentuk senyawa khelat dengan lebih dari satu ion kompleks yang mempunyai pasangan elektron bebas.

Zat warna dispersi dari jenis antrakinon kemudian ditambahkan dengan gugus fungsional yang bersifat pengikat dipol (dwi kutub) dan juga membentuk ikatan hidrogen dengan gugus karbonil atau asetil dari serat polister . Contoh gugus fungsional -OH, -NH₂, -NHR. Adapun reaksi antara logam Cu dengan zat warna dispersi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi zat warna dan zat perintang

Untuk warna motifnya dipilih zat warna dispersi yang tidak mempunyai kelompok-kelompok koordinasi biasanya terdapat pada zat warna jenis azo, karena logam-logam yang digunakan tidak dapat menimbulkan reaksi, sehingga zat warna dapat mewarnai serat poliester.

3. METODE PENELITIAN

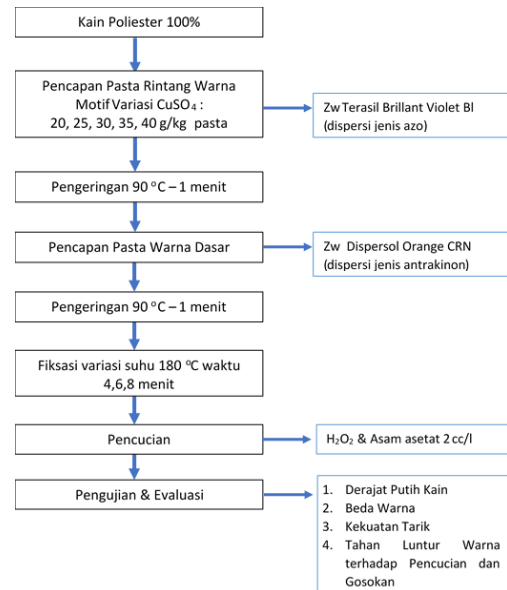
Material

Bahan yang digunakan adalah kain 100% poliester yang dijual di pasaran merupakan anyaman polos dengan gramasi 96 g/m², nomor lusi 9,8 Tex nomor pakan 10,6 Tex. Tetal lusi 64 helai/cm dan Tetal pakan 32 helai/cm

Zat warna yang digunakan sebagai warna dasar adalah Zat warna Dispersi (*C.I Disperse violet 57*), untuk warna motif digunakan *Dispersol Orange CRN (C.I Disperse orange 30)* (Epps,H., 2003) . Senyawa kuprisulfat dengan kadar 32,38% digunakan sebagai zat perintang.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan percobaan di Laboratorium Tekstil UICM dh UNBAR sehingga diperoleh data percobaan. Alur proses penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur proses penelitian

Evaluasi pencapan rintang metode khelasi logam (*metal chelation*) meliputi :

1. Pengujian derajat putih kain dengan menggunakan cara uji SNI-ISO-JO1-2010
2. Pengujian beda warna dengan menggunakan cara uji SNI-ISO-JO2- 2010
3. Pengujian kekuatan tarik kain dengan menggunakan cara uji SNI-ISO08-027-2009
4. Pengujian tahan luntur warna terhadap pencucian dengan menggunakan cara uji SNI-ISO-C06: 2010
5. Pengujian tahan luntur warna terhadap gosokan dengan menggunakan cara uji SNI-ISO-105-X12-2013

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

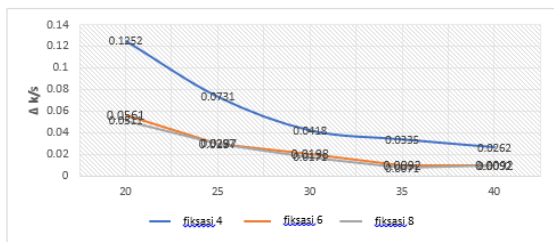
Derajat Putih

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemakaian variasi konsentrasi kuprisulfat dan waktu fiksasi terhadap derajat putih kain hasil pencapan rintang putih dengan menggunakan cara uji SNI-ISO-JO1- 2010.

Berdasarkan hasil perhitungan dengan statistik di dapat bahwa F_{hitung} untuk pengaruh $CuSO_4$ adalah 1186,87 yang lebih besar dari F_{tabel} pada taraf 5% yaitu 2,41. Demikian juga hasil perhitungan statistika F_{hitung} untuk pengaruh waktu fiksasi pengukusan adalah 1185,00 yang lebih besar dari F_{tabel} pada taraf 5% yaitu 3,04. Ini menunjukkan bahwa konsentrasi $CuSO_4$ dan waktu fiksasi berpengaruh terhadap derajat putih kain hasil pencapan rintang putih. Pada zat warna *Terasil Brilliant Violet BL*, konsentrasi $CuSO_4$ 20 g/kg pasta suhu 4 menit menghasilkan harga $\Delta K/S$ warna motif sebesar 0,1252 sedangkan untuk konsentrasi $CuSO_4$ 35g/kg pasta harga $\Delta K/S$ warna motif sebesar 0,0335. Bila kita lihat pada

Penggunaan Kuprisulfat Pada Pencapan Rintang Metoda Khelasi Logam (Metal Chelation) Pada Kain Poliester Dengan Zat Warna Dispersi

Gambar 3 terlihat jelas bahwa kenaikan konsentrasi CuSO_4 menyebabkan penurunan harga $\Delta K/S$ warna motif, yang artinya penodaan warna dasar pada motif putih semakin sedikit. Hal tersebut dapat terjadi karena logam Cu pada senyawa CuSO_4 dapat membentuk ikatan koordinasi dengan zat warna dispersi yang mempunyai gugus antrakinon, sehingga mengakibatkan ikatan rangkap pada gugus antrakinon terputus dan zat warna dispersi menjadi tidak berwarna lagi. Akan tetapi bila kita lihat pada pemakaian konsentrasi 35 dan 40 g/kg pasta menghasilkan harga $\Delta K/S$ yang relatif tetap. Ini menunjukkan pada kondisi tersebut logam-logam Cu sudah semakin sulit membentuk senyawa koordinasi dengan senyawa antrakinon. Kemungkinan lain zat warna dispersi yang digunakan sebagai warna dasar sebagian kecil sudah ada yang masuk ke dalam serat, sehingga logam Cu lebih sulit membentuk ikatan koordinasi karena terhalang oleh serat. Hal ini didukung dengan pengaruh dari waktu fiksasi, didapat bahwa semakin lama waktu fiksasi, derajat putih contoh uji kurva reflektansinya semakin mendekati kurva reflektansi kain putih asal. Hal ini disebabkan dengan semakin lama waktu fiksasi semakin memberikan kesempatan kepada CuSO_4 untuk membentuk ikatan rangkap pada gugus antrakinon yang mengakibatkan ikatan rangkap pada senyawa antrakinon terputus.



Gambar 3. Grafik Hubungan Konsentrasi CuSO_4 dengan $\Delta K/S$

Beda Warna

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemakaian variasi konsentrasi kuprisulfat dan waktu fiksasi dengan menggunakan cara uji SNI-ISO-JO2-2010. Pengujian beda warna dimaksudkan untuk menentukan perbedaan warna antara contoh uji warna hasil pencapan rintang warna dan blanko, di samping tujuan utamanya yang merupakan penerapan yang diperoleh dari pencapan rintang putih. Dari hasil pencapan rintang warna dengan menggunakan zat warna *Dispersol Orange CRN* pada konsentrasi kuprisulfat 35 g/kg pasta didapat nilai $\Delta E = 1,09$ sedangkan pada konsentrasi kuprisulfat 40 g/kg pasta didapat nilai $\Delta E = 0,83$ pada konsentrasi 35 dan 40 g/kg pasta secara visual sulit untuk dibedakan, hasil pengujian beda warna didapat nilai ΔE yang relatif sama. Hal tersebut menjelaskan bahwa dengan semakin naiknya konsentrasi kuprisulfat (CuSO_4) tidak memberikan adanya perbedaan warna pada hasil pencapan, hal ini terjadi karena logam Cu pada

senyawa CuSO_4 tidak menimbulkan reaksi – reaksi yang dapat mengubah struktur zat warna dispersi jenis Azo, atau tidak terjadinya kerusakan pada auksokrom dari jenis zat warna Azo.

Kekuatan tarik kain

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kuprisulfat (CuSO_4) dan waktu fiksasi terhadap perubahan sifat fisik serat poliester hasil pencapan rintang metoda khelasi logam (*metal chelation*).

Tabel 1. Hasil pengujian kekuatan tarik lusi (kg) dan pakan (kg).

no	konsentrasi CuSO_4 (g/kg pasta)	waktu fiksasi pengukusan (menit)	kekuatan tarik lusi (kg)	kekuatan tarik pakan(kg)
1	20	4	22,6	19,0
		6	22,5	19,2
		8	23,4	19,3
2	25	4	22,2	19,0
		6	22,7	19,2
		8	22,6	19,2
3	30	4	22,7	19,8
		6	23,0	19,3
		8	22,6	19,0
4	35	4	22,8	19,0
		6	22,8	19,5
		8	22,8	19,2
5	40	4	22,2	19,0
		6	22,6	19,5
		8	22,8	19,2

Hasil perhitungan statistik kekuatan tarik lusi variasi konsentrasi CuSO_4 F_{hitung} adalah 0,6765 lebih kecil dari F_{tabel} pada taraf 5% adalah 2,41. Sedangkan hasil perhitungan statistik variasi waktu fiksasi pengukusan F_{hitung} adalah 1,7696 lebih kecil dari F_{tabel} pada taraf 5% adalah 3,04. Demikian juga perhitungan kekuatan tarik pakan variasi konsentrasi CuSO_4 diperoleh F_{hitung} adalah 0,2686 lebih kecil dari F_{tabel} pada taraf 5% adalah 2,41. Perhitungan kekuatan tarik pakan variasi waktu fiksasi pengukusan diperoleh data F_{hitung} adalah 0,0026 lebih kecil dari F_{tabel} pada taraf 5% adalah 3,40. Ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi CuSO_4 dan variasi waktu fiksasi pengukusan tidak berpengaruh terhadap hasil kekuatan tarik baik ke arah lusi maupun ke arah pakan pada kain poliester hasil pencapan rintang putih dan warna. Dari tabel 1 dapat dilihat penggunaan konsentrasi CuSO_4 35 g/kg pasta dengan waktu fiksasi pengukusan 4,6,8 menit kekuatan tarik lusi adalah 22,8 kg hasilnya sama. Pada konsentrasi CuSO_4 40 g/kg pasta waktu fiksasi 4,6,8 menit kekuatan tarik pakan adalah 19,0 kg, 19,5kg, 19,2 kg hasilnya sama dengan konsentrasi CuSO_4 35g/kg pasta. Jelas terlihat pemakaian variasi konsentrasi kuprisulfat (CuSO_4) dan waktu fiksasi pengukusan tidak berparuh terhadap kekuatan tarik kain. Hasil pengujian kekuatan tarik arah lusi yaitu 22,8 Kg dan kekuatan tarik arah pakan sebesar 19,5 Kg untuk kain poliester. Hal ini disebabkan karena CuSO_4 tidak berpengaruh terhadap degradasi rantai molekul serat poliester.

Tahan luntur warna terhadap pencucian dan gosokan.

Tujuan percobaan ini untuk mengetahui pengaruh pemakaian variasi konsentrasi kuprisulfat dan waktu fiksasi terhadap perubahan warna yang disebabkan oleh pencucian dengan menggunakan cara uji SNI-ISO- C06 : 2010 . dan perubahan warna yang disebabkan oleh gosokan dengan menggunakan cara uji SNI-ISO-105-X12-2013 . Dari hasil pengujian di peroleh nilai :

- Tahan luntur warna terhadap pencucian : 4- 5,
- Tahan luntur warna terhadap gosokan :
 - gosokan kering : 4-5
 - gosokan basah : 4-5

Ini ditunjukkan dengan tidak adanya sama sekali penodaan warna pada kain kapas putih. Jadi hasil pengujian menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi kuprisulfat (CuSO_4) dan waktu fiksasi tidak memberikan pengaruh terhadap hasil tahan luntur warna terhadap pencucian maupun gosokan Hal ini menunjukkan bahwa fiksasi zat warna terhadap serat sangat baik. Seperti diketahui bahwa fiksasi zat warna dispersi ke dalam serat poliester berdasarkan sistem larutan padat (*solid solution*). Zat warna pada suhu tinggi akan menguap kemudian masuk ke dalam serat yang mengembang dan setelah masuk zat warna menyublim dalam serat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan pada proses pencapan rintang metode *metal chelation* pada kain poliester, di simpulkan :

1. Konsentrasi kuprisulfat dan waktu fiksasi pengukusan berpengaruh terhadap derajat putih kain.
2. Semakin tinggi konsentrasi kuprisulfat sampai konsentrasi 35 g/kg pasta ,derajat putih kain semakin baik.
3. Semakin lama waktu fiksasi pengukusan sampai 6 menit pada suhu 180 °C, derajat putih kain semakin baik.
4. Konsentrasi kuprisulfat dan waktu fiksasi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap beda warna dan sifat fisik kain.
5. Keadaan terbaik dicapai dalam percobaan ini adalah pada konsentrasi kuprisulfat 35 g/kg pasta dengan waktu fiksasi 6 menit pada suhu 180⁰ C dengan nilai derajat putih kain $\Delta K/S$ 0,0092, nilai beda warna $\Delta E = 1,59$. kekuatan tarik kain dengan nilai 22.8 kg ke arah lusi 19,50 kg ke arah pakan, tahan luntur warna terhadap pencucian dan gosokan dengan nilai 4-5.

Saran

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan dapat disarankan untuk penelitian lebih lanjut pada proses pencapan rintang metode khelasi logam (*metal chelation*) pada kain poliester dengan zat warna dispersi yang menggunakan logam transisi lainnya seperti logam nikel, kobal sebagai zat perintangnya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Borisova, A. (2019). Study of print paste composition for natural and synthetic textiles. Part 2: Printing of polyester fabrics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 500(1), 0–5. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/500/1/012029>
- Dawson.J.F., (1978), *Development in Disperse Dyes*, Review Progress of Coloration, 9.
- Epps, H. H. (2003). Basic principles of textile coloration. *Color Research & Application*, 28(3), 230–231. <https://doi.org/10.1002/col.10152>
- Flora, S. J. S., & Pachauri, V. (2010). Chelation in metal intoxication. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(7), 2745–2788. <https://doi.org/10.3390/ijerph7072745>
- Ismorningsih, & Rasjid Djufri. 1979. *Pengantar Kimia Zat Warna*. ITT.Bandung.
- Provost, J. R. (1988). *Discharge and resist printing - a review*. *Review of Progress in Coloration and Related Topics*, 18(1), 29–36. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.1988.tb00064.x>
- Rys and Zollinger. (1972), *Foundamentals of Chemistry and Application of Dyes* John Willey and Sonns, New York.
- Smigiel-Kaminska, D., Pospiech, J., Makowska, J., Stepnowski, P., Was-Gubała, J., & Kumirska, J. (2019). *The identification of polyester fibers dyed with disperse dyes for forensic purposes*. *Molecules*, 24(3), 1–13. <https://doi.org/10.3390/molecules24030613>
- Stallmann, O. (1960). Use of metal complexes in organic dyes and pigments. *Journal of Chemical Education*, 37(5), 220–230.
- Vogel, (1961). *Texbook of Quantitative Inorganic Analysis*, 3^{ed}, Longmans, London.