

STUDI PENGGUNAAN MESIN PENCELUPAN SISTEM JET TIPE SOFT FLOW UNTUK PENCELUPAN KAIN POLIESTER DAN KAIN RAYON

A STUDY ON SOFT FLOW TYPE JET DYEING MACHINE APPLICATION FOR POLYESTER AND RAYON FABRIC DYEING PROCESS

Arif Wibi Sana, Eva Novarini, Untung Prayudie, Rini Marlina

Balai Besar Tekstil, Jalan Jenderal Ahmad Yani No. 390 Bandung
E-mail: texirdti@bdg.centrin.net.id

Tanggal diterima: 22 Januari 2015, direvisi: 9 Februari 2015, disetujui terbit: 25 Februari 2015

ABSTRAK

Studi ini dilakukan untuk mendapatkan kondisi optimum pencelupan kain poliester dan rayon pada mesin *jet dyeing* tipe *soft flow*. Untuk mengetahui kondisi optimum proses pencelupan poliester, dilakukan variasi kecepatan sirkulasi (rendah (42,84 m/menit), sedang (67,56 m/menit), dan tinggi (110,0 m/menit)), konstruksi kain (gramasi 65, 90 dan 175 g/m²) dan zat warna dispersi dengan berat molekul berbeda (BM 248.36, BM 519.93 dan BM 625.38). Proses pencelupan rayon dilakukan dengan variasi kecepatan sirkulasi (rendah (42,84 m/menit), sedang (67,56 m/menit), dan tinggi (110,0 m/menit)). Hasil pencelupan diujiketauan warna (*K/S*), daya serap warna dan ketahanan luntur warna terhadap pencucian, gosokan kering dan basah, serta kekuatan tarik. Pada kain poliester, nilai *K/S* tertinggi didapatkan pada kain dengan gramasi rendah yang dicelup menggunakan zat warna dispersi dengan berat molekul paling kecil, sedangkan pada kain rayon *K/S* tertinggi diperoleh pada hasil pencelupan dengan kecepatan sirkulasi sedang. Kain poliester maupun rayon hasil pencelupan memiliki nilai ketahanan luntur warna terhadap pencucian, gosokan kering dan basah yang baik dan tidak mengalami penurunan kekuatan tarik yang signifikan. Mesin *jet dyeing* tipe *soft flow* ini lebih sesuai untuk digunakan pada proses pencelupan dengan kecepatan sirkulasi kain tidak lebih dari 110meter/menit dan lebih disarankan untuk digunakan pada kain-kain ringan. Sedangkan untuk kain rayon, proses pencelupan sebaiknya dilakukan pada kecepatan sirkulasi sedang ($\pm 67,56$ m/menit).

Kata kunci: *jet dyeing*, poliester, rayon, kecepatan sirkulasi

ABSTRACT

This study was carried out to obtain optimum conditions of polyester and rayon dyeing process on soft flow type jet dyeing machine. The circulation speed (low (42,84 m/min), moderate (67,56 m/min), and high (110,0 m/min), fabric construction (65, 90 dan 175 g/m²) and disperse dyestuff with different molecular weight (MW 248.36, MW 519.93 and MW 625.38) were varied in order to determine the optimum conditions of polyester dyeing process. The rayon dyeing process was done by varying the circulation speed low (42,84 m/min), moderate (67,56 m/min), and high (110,0 m/min). The color depth (K/S), color absorption, color fastness to washing, dry and wet rubbing and tensile strength were evaluated on the dyed fabrics. The highest value of K/S of polyester fabric is obtained in light weight fabrics dyed with low molecular weight disperse dyestuff, whilst the highest value of K/S of polyester fabric is obtained at the dyeing process with moderate circulation speed. The dyed polyester and rayon fabrics have a good value in color fastness to washing, dry and wet scrubbing and do not experience a significant reduction in tensile strength. This soft flow type jet dyeing machine is more appropriate to be used in the dyeing process with the circulation speed not over than 110meter/minute and preferable for use on lightweight fabrics. Whilst for rayon fabrics, the dyeing process should be done at a moderate circulation speed ($\pm 67,56$ m/minutes).

Keywords: *jet dyeing, polyester, rayon, circulation speed*

PENDAHULUAN

Proses pencelupan termasuk salah satu tahapan dalam proses basah tekstil yang bertujuan untuk menambah nilai guna dan nilai ekonomi suatu komoditi tekstil (serat, benang atau kain). Salah satu yang menjadi indikator keberhasilan proses pencelupan adalah warna yang merata pada seluruh

bagian bahan tekstil. Proses pewarnaan bahan tekstil ditentukan oleh sifat serat, proses persiapan penyempurnaan (*pretreatment*) yang dilakukan, kemurnian serta konsentrasi zat warna dan zat pembantu yang digunakan, kualitas air proses, kondisi proses (pH larutan, temperatur dan durasi waktu), kinerja mesin serta ketepatan dalam pengerjaan setiap tahapan proses (*workmanship*).

Ketepatan pengaturan seluruh parameter proses tersebut sangat penting untuk mendapatkan hasil pencelupan yang rata dan *right first time dyeing ratio* yang tinggi. Di antara parameter-parameter tersebut, jenis mesin dan teknologinya cukup berperan penting dalam proses pencelupan dan kualitas hasil produknya.¹

Mesin pencelupan sistem jet (*jet dyeing machine*) adalah mesin yang digunakan untuk mencelup kain dalam bentuk untaian (*rope*). Mesin ini dirancang untuk meminimalisasi kekurangan yang kerap terjadi pada pencelupan menggunakan mesin jenis *winch*, *jigger* maupun *beam*. Mesin *jet dyeing* dapat digunakan untuk proses *pretreatment* (pengelantangan), pencelupan termasuk pencucian serta pembilasan. Mesin *jet dyeing* sesuai untuk pencelupan berbagai jenis serat alam, serat sintetis, campuran serat buatan dan elastan, serta pencelupan serat mikro (*microfiber*). Pencelupan pada mesin *jet dyeing* dilakukan dengan sistem tubular tertutup. Saat proses berlangsung, kain maupun larutan zat warna mengalami pergerakan atau agitasi mekanik. Turbulensi terbentuk melalui bantuan jet untuk penetrasi zat warna dan untuk mencegah kain agar tidak menyentuh dinding tabung. Mesin *jet dyeing* di desain secara khusus untuk memastikan pertukaran kain dan larutan terjadi secara konsisten, sehingga kerataan warna hasil pencelupan lebih terjamin dengan durasi waktu proses yang lebih singkat. Hal tersebutlah yang membedakannya dengan proses pencelupan menggunakan sistem *batch* seperti pada mesin *jigger*, *winch* dan *beam*. Pada mesin *jigger* dan *winch*, hanya kain yang bergerak secara mekanik sedangkan larutan tidak bersirkulasi. Pada mesin *beam* hal yang terjadi adalah sebaliknya, hanya larutan yang bersirkulasi sedangkan kain tidak mengalami pergerakan.²

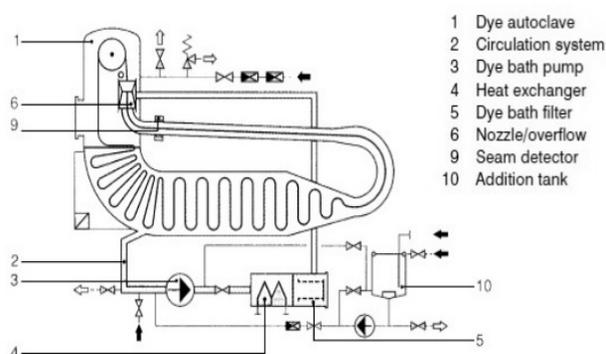
Proses pencelupan menggunakan mesin *jet dyeing* terutama untuk pencelupan kain sintetis seperti poliester memberikan banyak keuntungan, diantaranya adalah:^{2,3}

- Konsumsi air relatif rendah
- Durasi waktu pencelupan relatif lebih singkat
- Mudah dioperasikan pada temperatur dan tekanan tinggi
- Rasio larutan (vlot) rendah, biasanya berkisar antara 1:4 hingga 1:6 untuk pencelupan kain sintetis. Untuk kain kapas atau selulosa lainnya vlot berkisar antara 1:6 hingga 1:10. Rasio larutan untuk karpet dapat mencapai 1:20
- Kain dengan dua lebar yang berbeda dapat dicelup pada waktu yang sama sehingga dua lot berbeda dapat dikombinasikan bersama dalam satu kali pencelupan
- Tidak memerlukan perangkat *batching* khusus untuk gerakan sirkulasi kain seperti pada proses pencelupan *beam*

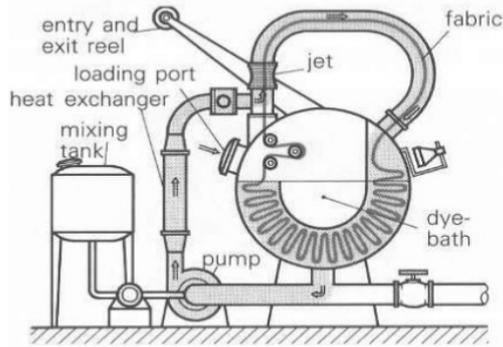
Nozzle jet merupakan komponen utama dari mesin *jet dyeing* yang menjamin *rope* kain terus

bergerak melalui dorongan sirkulasi larutan dengan kecepatan tinggi. Posisi *nozzle* berada di atas atau di bawah ruang pencelupan (*chamber*). *Nozzle jet* akan membuat kain, larutan serta arus udara saling bertemu dan menghasilkan pertukaran kain serta larutan yang saling bergerak. Desain *nozzle* dan kecepatan sirkulasi larutan menentukan jumlah energi kinetik dari larutan yang ditransfer pada kain.^{4,5} Udara yang tersedot melalui celah antara *nozzle* dan *rope* kain membantu mengatur untaian kain pada *nozzle* secara otomatis sehingga lipatan permanen pada kain dapat dihindari. *Reel winch* pada mesin *jet dyeing* didesain untuk menjaga agar gerakan kain tetap stabil. Pada proses pencelupan, pergerakan kain dari *chamber* disebabkan gerakan gabungan *reel winch* dan *nozzle jet*. Kecepatan gerak kain bergantung pada jenis, kapasitas dan komponen mesin. Bejana (*chamber*) adalah ruang pertukaran gerakan kain dan larutan yang memiliki *outlet*, pintu masuk, dinding samping dan lantai.⁶

Mesin *jet dyeing* dapat digunakan dalam kondisi proses yang berbeda. Bejana pencelupan yang hanya diisi sebagian larutan sesuai untuk digunakan mencelup kain poliester, poliamida atau kain filamen sintetis lainnya. Sedangkan bejana pencelupan yang terisi penuh larutan sesuai untuk mencelup kain-kain halus, sehingga kain akan selalu terendam di dalam larutan. Mesin *jet dyeing* tersedia dalam dua bentuk yaitu bentuk panjang (*banana type*) dan bentuk kompak/J Box (*apple type*) seperti yang terlihat pada Gambar 1 dan 2.^{5,7} Desain yang berbeda ditujukan untuk kebutuhan keseimbangan antara sifat kain yang berbeda-beda dengan tuntutan pencelupan komersial. Beberapa jenis kain seperti kapas dapat diproses pada mesin dengan bentuk kompak tanpa terjadi kerusakan pada kain sedangkan kain sintetis atau kain dengan campuran elastan cukup sensitif terhadap gerakan-gerakan mekanik selama proses pencelupan sehingga akan lebih sesuai jika menggunakan mesin *jet dyeing* dengan bentuk panjang.



Gambar 1. Skema mesin *over flow jet dyeing* bentuk panjang^{5,7}



Gambar 2. Skema mesin *jet dyeing* bentuk *J.Box*^{5,7}

Mesin *jet dyeing* dapat dibedakan menurut tipe dan mekanisme pencelupannya, yaitu mesin *over flow dyeing*, mesin *soft flow dyeing* dan mesin *air flow dyeing*.^{8,9} Mesin *over flow dyeing* ditujukan untuk pencelupan kain-kain halus dan kain rajut yang terbuat dari serat alam maupun serat sintetis. Pada mesin *over flow dyeing* gaya gravitasi dari gerakan sirkulasi larutan dalam bak pencelupan akan menggerakkan kain sehingga kain di dalam bejana bergerak tanpa tegangan. Mesin ini digunakan untuk proses *pretreatment* dan pencelupan kain dalam bentuk *rope* dengan larutan dan kain yang sama-sama bergerak. Perbedaan yang utama ada pada sistem transportasi kain yang didorong oleh rel bermotor dan aliran larutan. Sistem *nozzle jet* digantikan oleh sebuah *vessel* berisi larutan yang memasuki bagian pipa lurus yang kemudian mengalir melalui saluran transportasi bersama-sama dengan *rope* kain. Pada tahapan ini, kain mengalami sedikit tegangan tarik dan gaya gesekan kecil yang disebabkan percepatan progresif karena penurunan larutan dengan kecepatan yang terbatas pada satu sisi dan di sisi lain ada aliran larutan yang tinggi untuk transportasi. Mesin jenis ini cocok untuk pencelupan kain-kain halus yang mudah kusut. Kecepatan transportasi kain dapat disesuaikan dengan kecepatan rel oleh aliran air yang dipompa ke dalam tabung transportasi kain dengan laju 60-250 meter/menit. Kendali mesin dioperasikan oleh komputer sehingga kesalahan yang disebabkan oleh operator dapat diabaikan.

Mesin *soft flow dyeing* menggunakan prinsip transportasi antara kain dan larutan sama halnya seperti pada mesin *over flow dyeing* yaitu kain digerakkan dalam aliran larutan. *Reel winch* dan *jet* bekerja selaras dan konstan menggerakkan kain dari depan bejana (*chamber*) hingga masuk ke dalam larutan zat warna pada tabung transportasi dan selanjutnya kembali ke bagian belakang bejana. Mesin *soft flow dyeing* umumnya digunakan untuk kain-kain lembut seperti handuk dan lain sebagainya.¹² Mesin *air flow dyeing* adalah mesin pencelupan dengan aliran udara yang berasal dari *jet* untuk menjaga agar kain tetap bergerak. Kain masuk ke dalam bejana yang berisi larutan dalam jumlah

yang sedikit. Mesin ini lebih efisien dalam konsumsi air, energi serta zat-zat kimia.⁹

Mesin *jet dyeing* yang digunakan pada studi ini termasuk kedalam jenis mesin *soft flow dyeing*. Mesin ini dapat digunakan untuk mencelup kain-kain halus bergramasi rendah serta kain rajut dari serat alam maupun serat sintetis. Parameter proses dapat diatur melalui panel *dyeing controller* yang terdapat pada mesin, yang meliputi pengaturan waktu, temperatur, kecepatan sirkulasi dan jumlah *liquor ratio*. Pada saat kain dimasukkan ke dalam bejana, akan terjadi proses pencelupan dalam suatu sistem tubular tertutup. Kain akan bergerak melalui tabung *jet* oleh karena sirkulasi pada *reel winch* dan larutan zat warna masuk melalui venturi hingga terjadi pembentukan sirkulasi turbulensi oleh sistem *jet* dari larutan yang masuk. Hal ini akan membantu penetrasi zat warna ke dalam serat dan mencegah kain supaya tidak menyentuh dinding tabung.^{3,4} Tidak seperti mesin *soft flow dyeing* pada umumnya, mesin *jet dyeing* Wuxi Dongzhou tipe SME-50C ini tidak dilengkapi dengan *nozzle jet* sehingga kecepatan sirkulasi kain menjadi terbatas.

Pada penelitian ini akan dilakukan proses pencelupan kain poliester dan rayon dengan variasi zat warna, konstruksi kain dan kecepatan sirkulasi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi optimum proses pencelupan kain poliester dan rayon dengan menggunakan mesin *jet dyeing* tipe SME-50C melalui pengaturan beberapa parameter proses. Pengetahuan mengenai kondisi optimum proses ini sangat penting untuk menjaga *reproducibility/repeatability* proses. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai rujukan untuk melaksanakan proses pencelupan yang tepat dan efisien.

METODA

Bahan-bahan

- Kain poliester 100% dan kain rayon 100% siap celup sesuai spesifikasi pada Tabel 1
- Zat warna dispersi
 - *C.I. Disperse Red 73*, CAS No. 16889-10-4, BM 348,36; kelas azo
 - *C.I. Disperse Red 167*, CAS No. 61968-52-3/26850-12-4, BM 519,93; kelas azo
 - *C.I. Disperse Blue 79:1*, CAS No. 75497-74-4, BM 625,38; kelas azo
- Zat warna reaktif
 - *Reactive Blue HF-RL*
 - *C.I. Reactive Yellow 176*, CAS No. 140876-15-9, BM 1025,26; kelas azo
- Zat pembantu meliputi: pembasah (teepol), zat anti sadah (*sequestering agent*), zat pendispersi (*dispersing agent*), zat perata (*levelling agent*), garam glauber (Na_2SO_4), natrium karbonat (Na_2CO_3), dan asam asetat (CH_3COOH)

Tabel 1. Spesifikasi kain untuk percobaan

Kode kain	Konstruksi	Nomor Benang Lusi x Pakan (denier)	Tetal/inci Lusi xPakan	Lebar Kain, (meter)	Berat Kain, (g/m ²)
Kain Pe- 65	Polos	80 x 80	105 x 86	110	65
Kain Pe-90	Satin 5 Gun	50 x 50 + 20	294 x 116	145	90
Kain Pe-175	Polos	130 x 150	169 x 75	145	175
Rayon	Keper 2/1 / 1	79 x 188	118 x 59	115	186

Peralatan dan mesin

- Mesin *jet dyeing* Wuxi Dongzhou tipe SME-50C kapasitas maksimum 50 kg (Gambar 3)
- Tachometer terkalibrasi, roll meter terkalibrasi, stopwatch terkalibrasi dan termometer digital terkalibrasi
- Peralatan uji meliputi: alat uji ketahanan luntur warna terhadap gosokan (*crockmeter*) merek James H. Heal, alat uji ketahanan luntur warna terhadap pencucian (*Launder-O-meter*) merek SDL Atlas, alat uji ketahanan luntur warna terhadap penyinaran buatan (*xenon test chamber*) merek Q-Sun, instrumen pengukur ketuaan warna dan beda warna (*spectrophotometer*) merek X-rite, instrumen pengukur absorbansi larutan (*UV-VIS spectrophotometer*) merek Shimadzu, skala untuk pengukuran perubahan warna (*grey scale*) dan penodaan (*staining scale*) merek SDL Atlas dan *lightbox* merek Verivide, serta alat uji kekuatan tarik kain (*tensile strength tester*) merek Testometric.
- Mesin *steam boiler* Jiangsu Runli kapasitas uap maksimum 500 kilogram/jam
- Mesin hidroekstraktor sentrifugal
- Peralatan gelas lengkap dan neraca analitik

Pengaturan (*adjustment*) mesin *jet dyeing*

Adjustment mesin *jet dyeing* sebelum digunakan meliputi kecepatan motor, kecepatan dan keliling *reeling winch*, kecepatan sirkulasi kain, serta temperatur larutan.

Proses pencelupan pada mesin *jet dyeing*

Proses pencelupan pada kain poliester 100% dan rayon 100% menggunakan mesin *jet dyeing*

dilakukan berdasarkan tahapan proses seperti diagram alir pada Gambar 4.

Pengujian

- **Ketuaan Warna**
Penilaian ketuaan warna (*K/S*) bertujuan untuk merepresentasikan jumlah zat warna yang terfiksasi ke dalam serat. *K/S* adalah rasio absorpsi warna terhadap koefisien penyebaran. *K/S* dihitung menggunakan persamaan [1] dari nilai *R* (reflektansi) terendah yang diukur menggunakan spektrofotometer berdasarkan persamaan Kubelka-Munk.¹⁰

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad [1]$$

Keterangan:

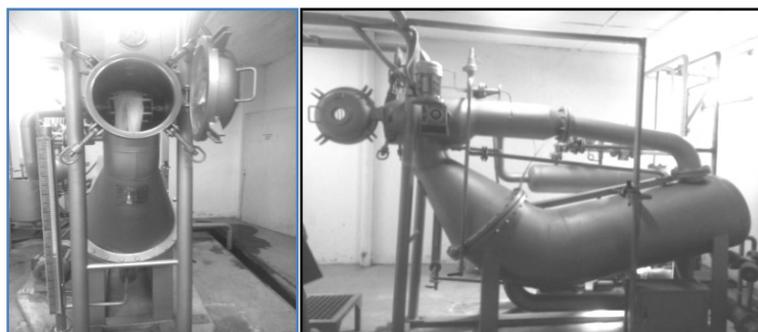
- K* = koefisien penyerapan cahaya
- S* = koefisien penghamburan cahaya
- R* = % reflektansi

- Pengujian kekuatan tarik (SNI 0276:2009), ketahanan luntur warna terhadap pencucian (SNI ISO 6330:2015), ketahanan luntur warna terhadap gosokan (SNI ISO 105-X12:2012) dan ketahanan luntur warna terhadap penyinaran buatan-sinar buatan lampu xenon (SNI ISO 105-B02:2010)
- Daya serap zat warna (*DF-dye uptake*)
Pengaruh sirkulasi kain terhadap penyerapan warna diketahui melalui perhitungan daya serap zat menggunakan persamaan [2]¹⁰.

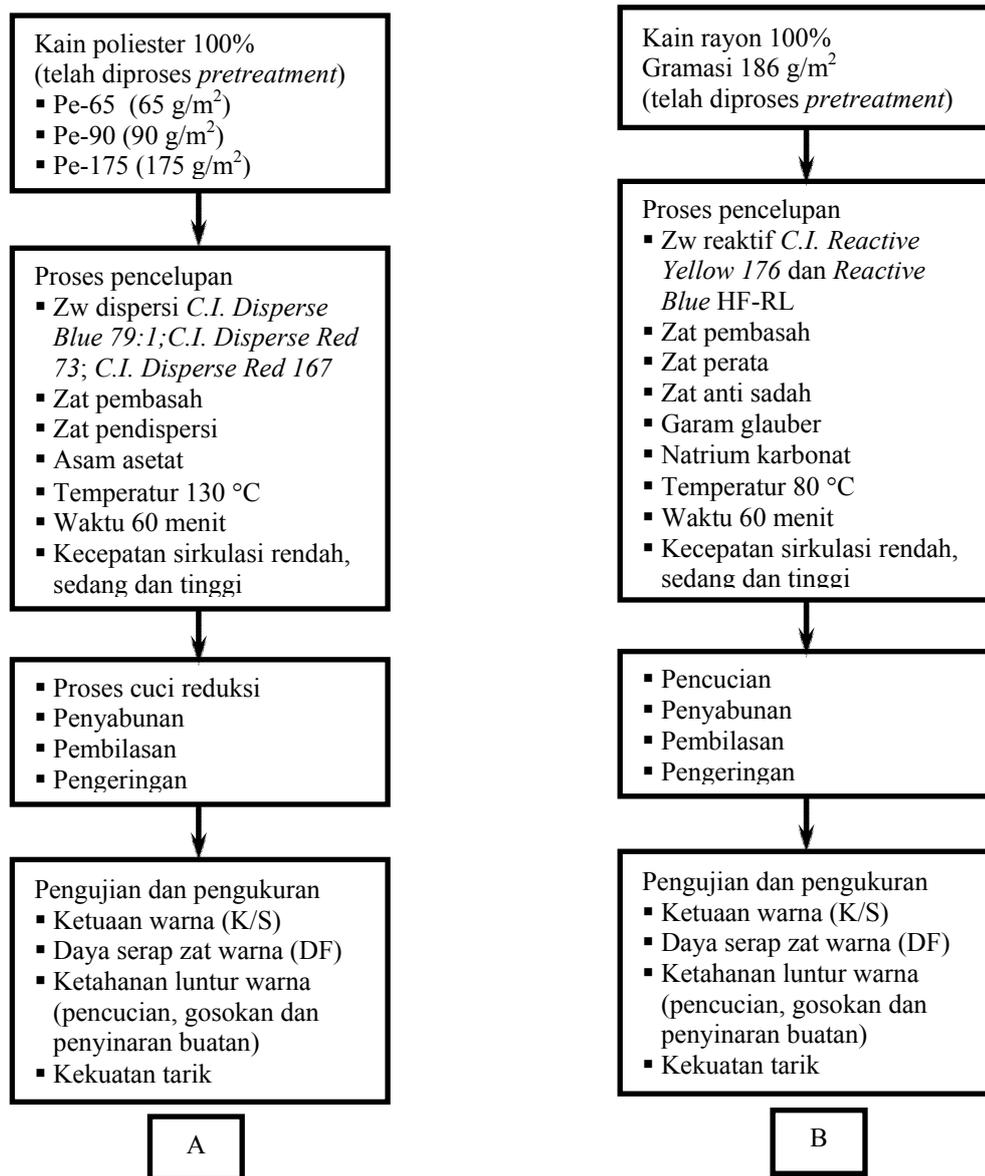
$$DF = \frac{(A)_o - (A)_x}{(A)_o} \times 100\% \quad [2]$$

Keterangan:

- A_o* : Absorbansi larutan zat warna awal
- A_x* : Absorbansi larutan setelah proses celup



Gambar 3. Mesin *jet dyeing* tipe SME-50C (pandangan depan dan samping)



Gambar 4. Diagram alir proses pencelupan pada mesin *jet dyeing* a. Kain poliester 100%; b. Kain rayon 100%

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaturan (*adjustment*) mesin *jet dyeing*

Data hasil pengukuran parameter mesin disajikan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Pengukuran RPM motor dan RPM *reeling winch*

Variasi Putar	RPM Motor	RPM <i>Reeling Winch</i>
Rendah	472,3	72,3
Sedang	876,7	124,7
Tinggi	1547,7	194,3

Tabel 3 menyajikan data hasil pengukuran kecepatan sirkulasi dan hasil perhitungannya (kecepatan sirkulasi kain = keliling *Reel* x RPM *Reel*). Hasil pengukuran kecepatan sirkulasi rendah menunjukkan perbedaan yang relatif kecil (1%-2%)

pada kain poliester maupun rayon. Dengan kecepatan sirkulasi kain yang relatif sama dengan kecepatan putaran *reel winch* berarti kain hampir tidak mengalami hambatan dalam sirkulasi. Pada kecepatan sirkulasi sedang, kain poliester dan rayon menunjukkan perbedaan lebih signifikan, yaitu poliester Pe-175, Pe-90 dan Pe-65 sebesar 19,2%, 13,1% dan 8,7% dan rayon 9,7%. Kain poliester dengan gramasi rendah (Pe-65) memiliki perbedaan kecepatan lebih kecil dibanding Pe-175 dan Pe-90. Oleh karena itu kemungkinan gramasi kain berpengaruh pada kecepatan sirkulasi.

Pada sirkulasi tinggi, perbedaan terhadap hasil perhitungan sirkulasi untuk kain poliester Pe-175, Pe-90 dan Pe-65 sangat besar hingga berkisar 35%, sedangkan kain rayon memiliki perbedaan cukup kecil yaitu 5,18%. Hal ini disebabkan daya serap rayon yang relatif tinggi dan pada kondisi

basah menjadi lebih berat sehingga kemungkinan terjadi selip saat bersirkulasi relatif tidak ada. Kain poliester lebih ringan dan halus dibandingkan rayon serta daya serapnya lebih rendah (hidrofob), sehingga pada proses dengan kecepatan sirkulasi tinggi kain tidak terkendali sehingga terangkat atau melayang dari putaran *reeling*. Mesin *jet dyeing* yang digunakan pada penelitian ini tidak dilengkapi komponen *nozzle jet* yang berfungsi mendorong gerakan *rope* kain yang dibantu oleh dorongan larutan yang bergerak dengan kecepatan tinggi. *Nozzle* akan menciptakan sirkulasi sehingga kain, larutan dan arus udara dapat saling bertemu menghasilkan pertukaran kain dan larutan yang saling bergerak. Selain itu tekanan mekanik yang tinggi dari kompresor menyebabkan perbedaan kecepatan antara larutan pada bejanadan gerakan kain. Dengan demikian mesin *jet dyeing* ini lebih sesuai digunakan pada putaran kecepatan tidak lebih dari 110 meter/menit (*soft flow*) dan lebih disarankan untuk digunakan pada kain-kain ringan. Sedangkan mesin *jet dyeing* yang dilengkapi dengan *nozzle jet* pada umumnya dapat mencapai putaran sirkulasi hingga 250-600 m/menit.^{4,6} Tabel 4 menyajikan hasil pengukuran temperatur larutan pada bejana mesin menggunakan termometer digital terkalibrasi. Hasil pengukuran temperatur larutan pada 4 titik saat proses pencelupan berlangsung masing-masing memberikan perbedaan 1°C lebih rendah dari yang ditunjukkan oleh panel digital temperatur pada mesin *jet dyeing*. Perbedaan

temperatur tersebut masih memenuhi toleransi yang dipersyaratkan pada *operating manual* dari mesin *jet dyeing* tersebut, yaitu $\pm 1^\circ\text{C}$.

Pencelupan kain poliester

Ketuaan warna (K/S)

Dari hasil uji reflektansi dapat dihitung nilai ketuaan warna (K/S) menggunakan persamaan [1]. Nilai % R terlihat berbanding terbalik dengan nilai K/S. Berdasarkan Gambar 5 hasil pencelupan kain poliester Pe-65, Pe-90 dan Pe-175 yang memberikan nilai K/S paling rendah (% R paling tinggi) adalah kain Pe-90 dengan nilai K/S 4,05 untuk pencelupan dengan zat warna *C.I. Disperse Red 73*, 1,44 untuk pencelupan dengan *C.I. Disperse Red 167*, dan 1,20 untuk pencelupan dengan *C.I. Disperse Blue 79:1*, sedangkan pada kain Pe-65 dan Pe-175 diperoleh nilai $K/S > 9$.

Berdasarkan spesifikasi kain yang digunakan (Tabel 1), kain poliester Pe-90 memiliki konstruksi satin 5 gun dengan tetal sangat rapat yaitu 294x116 helai/inci dan nomor benang yang relatif besar yaitu (50x50+20) denier, sedangkan kain Pe-65 dan Pe 175 memiliki anyaman polos dengan tetal lebih rendah dari Pe-90. Kain Pe-175 memiliki gramasi paling tinggi yaitu 175 g/m², namun tetalnya lebih rendah yaitu 169x75 helai/inci dan nomor benang yang lebih halus yaitu 130x150 denier. Hal tersebut menyebabkan benang-benang pembentuk kain Pe-90 semakin rapat.

Tabel 3. Pengukuran kecepatan sirkulasi kain

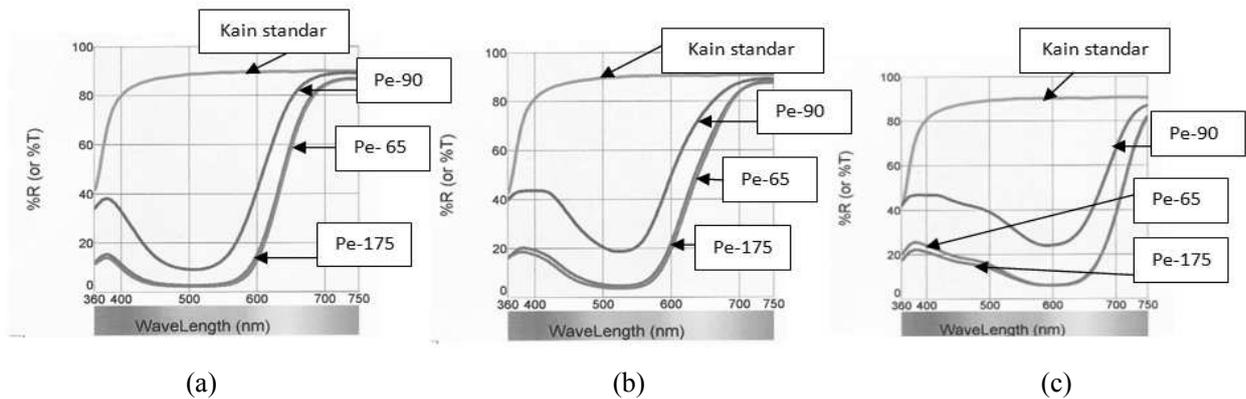
Variasi sirkulasi	Waktu sirkulasi kain (det/m)	Pengukuran Kecepatan sirkulasi kain (m/menit)	Perhitungan Kecepatan sirkulasi kain = keliling Reel* x RPM Reel (m/menit)
Kain Poliester			
▪ Kain Pe-175			
- Rendah	1,24	42,41	
- Sedang	0,95	60,43	
- Tinggi	0,76	74,88	
▪ Kain Pe-90			
- Rendah	1,41	42,43	
- Sedang	0,91	65,04	- Rendah : 43,38
- Tinggi	0,78	76,45	- Sedang : 74,82
▪ Kain Pe-65			- Tinggi : 116,58
- Rendah	1,34	43,68	
- Sedang	0,99	68,34	
- Tinggi	0,79	76,95	
Kain Rayon			
- Rendah	1,40	42,84	
- Sedang	0,89	67,56	
- Tinggi	0,57	110	

*Pengukuran Keliling lingkaran *Reeling Winch* = 60 cm

Tabel 4. Pengukuran suhu larutan dalam bejana mesin

Titik Ukur (°C)	Penunjukan pada panel digital (°C)	Penunjukan termometer standar, (°C)	Toleransi suhu (°C)
34	34	33	
60	60	59	
80	80	79	± 1
100	100	99	

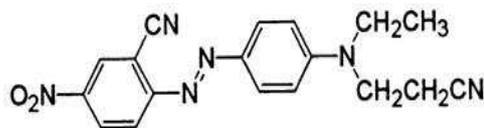
*Toleransi suhu berdasarkan *Operating Manual of Jet Dyeing Machine Wuxi Dongzhou tipe SME-50C*



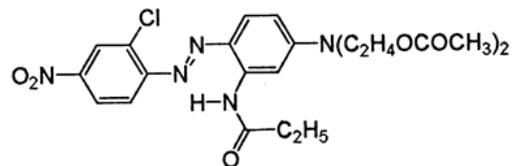
Gambar 5. Hasil uji reflektansi kain poliester dengan zat warna a) *C.I. Disperse Red 73*; b) *C.I. Disperse Red 167*; dan c) *C.I. Disperse Blue 79:1*

Menurut Martin Ferus-Comelo (2006), konstruksi serat berpengaruh terhadap hambatan aliran zat warna akibat kecepatan laju larutan yang berkurang pada permukaan serat dibandingkan laju aliran rata-rata pada bejana.¹¹ Dengan konstruksi kain yang padat, maka hambatan dapat terjadi pada pori-pori intra-benang atau di persilangan benang saat arah aliran zat warna tegak lurus sumbu serat. Selain itu *reel winch* yang juga berfungsi memberikan efek peras saat kain melewatinya akan mengurangi jumlah larutan dalam *rope* kain. Hal ini dapat berpengaruh pada kontribusi larutan zat warna ke dalam *rope* kain terutama pada kain

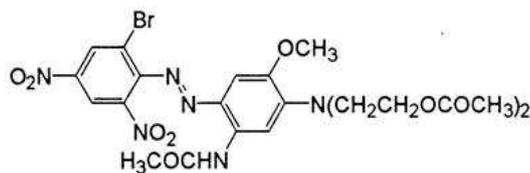
dengan konstruksi padat. Oleh karena itu kain Pe-90 menunjukkan warna yang relatif lebih muda dibanding kain Pe-65 dan Pe-175. Kain Pe-65 baik yang dicelup dengan zat warna *Red 73*, *Red 167* dan *Blue 79:1* memiliki nilai *K/S* lebih tinggi atau warna yang relatif lebih tua dibandingkan kain Pe-175. Hal ini berkaitan dengan jenis zat warna yang digunakan. *C.I. Disperse Red 73* memiliki BM paling kecil (348,36) dibandingkan dengan *C.I. Disperse Red 167* (519,93) dan *C.I. Disperse Blue 79:1* (625,38) walaupun ketiganya memiliki gugus azo (kelas azo). Struktur ketiga zat warna tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



C.I. Disperse Red 167



C.I. Disperse Red 167



C.I. Disperse Blue 79:1

Gambar 6. Struktur molekul zat warna dispersi

Zat warna dispersi cenderung bersifat hidrofobik, planar dan non-ionik dengan adanya kelompok fungsional polar seperti $-\text{NO}_2$ dan $-\text{CN}$. Adanya gugus hidrokarbon yang panjang akan menjadikan kelompok $-\text{COOC}-$ bersifat polar. Kelompok polar tersebut bereaksi dengan air dan terjadi interaksi dipol serta ikatan hidrogen yang sangat penting untuk kelarutannya di dalam air walaupun tingkat kelarutannya sangat kecil. Gaya dipol, *vander-waals* serta gaya disperse membantu zat warna berinteraksi dengan rantai poliester membentuk partikel tersebar. Ikatan zat warna dengan serat terbentuk di dalam polimer serat dibawah tekanan dan temperatur sekitar 130°C . Pada temperatur ini, agitasi termal menyebabkan struktur polimer serat menjadi lebih longgar dan berkurang kristalinitasnya sehingga membuka celah bagi molekul zat warna untuk masuk. Zat warna dengan BM kecil akan cenderung lebih mudah berinteraksi dengan serat sehingga zat warna dengan BM paling kecil *C.I. Disperse Red 73* memberikan penyerapan warna paling tinggi. Jika ditinjau dari konstruksi kain, Pe-65 memiliki gramasi paling rendah (65 g/m^2) dengan tetal 105×86 helai/inci sedangkan kain Pe-175 memiliki gramasi 175 g/m^2 dan tetal lebih rapat (169×75 helai/inci). Hal ini menyebabkan penetrasi zat warna ke dalam serat kain Pe-65 lebih mudah. Kecepatan larutan untuk berpenetrasi ke dalam serat dipengaruhi ketebalan kain atau gramasi yang akan mempengaruhi difusi zat warna ke dalam individu serat.^{11,12}

Ditinjau dari kecepatan sirkulasi, nilai *K/S* paling besar ditunjukkan pada pencelupan dengan zat

warna dispersi *C.I. Disperse Red 73* dengan kecepatan sirkulasi sedang ($60,43\text{--}68,34 \text{ m/menit}$), sementara *C.I. Disperse Red 167* dan *C.I. Disperse Blue 79:1* yang dicelup pada kecepatan sirkulasi tinggi dan rendah menghasilkan nilai *K/S* yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa mesin *jet dyeing* ini lebih sesuai digunakan untuk proses pada kecepatan sirkulasi sedang.

Ketahanan luntur warna

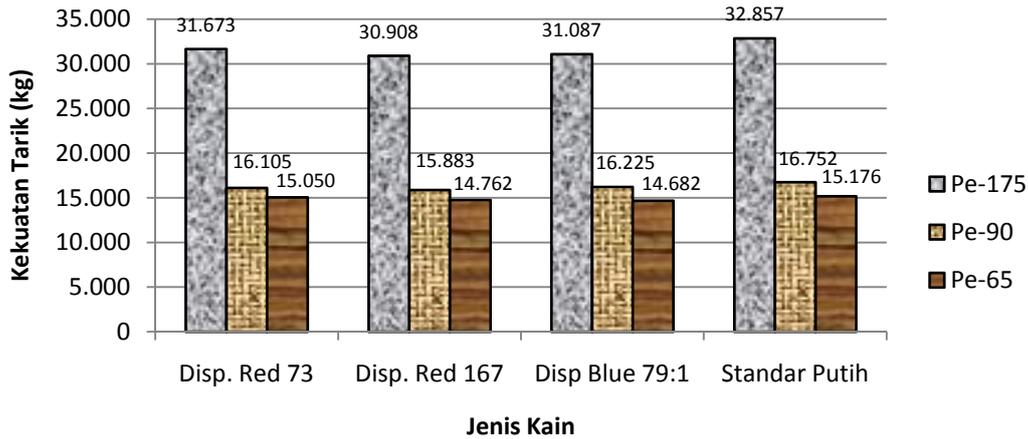
Nilai ketahanan luntur warna kain yang dicelup dengan zat warna *C.I. Disperse Red 73*, *C.I. Disperse Red 167*, dan *C.I. Disperse Blue 79:1* dapat dilihat pada Tabel 5. Dari tabel tersebut diketahui bahwa ketahanan luntur warna terhadap pencucian untuk pencelupan dengan zat warna *C.I. Disperse Red 73*, *C.I. Disperse Red 167*, dan *C.I. Disperse Blue 79:1* menunjukkan nilai baik (4-5). Sedangkan ketahanan luntur warna terhadap gosokan kering maupun basah kain yang dicelup zat warna *C.I. Disperse Red 167* memberikan nilai 4. Pada pencelupan dengan zat warna *C.I. Disperse Red 16,7* kemungkinan masih terdapat molekul zat warna yang tidak terdispersi atau menyublim pada temperatur tinggi sehingga masih terdapat zat warna yang hanya menempel pada permukaan serat. Saat pengujian ketahanan luntur warna terhadap gosokan, zat warna yang hanya menempel pada permukaan serat akan terlepas menyebabkan ketahanan gosoknya lebih rendah dibandingkan kedua zat warna lainnya meski nilainya masih cukup baik (nilai 4). Untuk zat warna dengan berat molekul besar, sebaiknya temperatur pencelupan digunakan sedikit lebih tinggi (135°C) atau durasi waktu prosesnya lebih diperpanjang.

Tabel 5. Ketahanan luntur warna kain poliester yang dicelup pada mesin *jet dyeing*

Kode Contoh, Warna	Tahan Luntur Warna Terhadap		
	Pencucian	Gosokan Kering	Gosokan Basah
Pe-175, Red	4-5	4-5	4-5
Pe-90, Red	4-5	4-5	4
Pe-65, Red	4-5	4	4
Pe-175, Rubine	4-5	4	4
Pe-90, Rubine	4-5	4	4
Pe-65, Rubine	4-5	4	4
Pe-175, Navy	4-5	4-5	4-5
Pe-90, Navy	4-5	4-5	4-5
Pe-65, Navy	4-5	4-5	4-5

Tabel 6. Ketahanan luntur warna kain rayon yang dicelup pada mesin *jet dyeing* dengan variasi kecepatan sirkulasi kain

Kecepatan Sirkulasi Kain	Tahan Luntur Warna Terhadap		
	Pencucian	Gosokan Kering	Gosokan Basah
Sirkulasi Rendah	4-5	4-5	4-5
Sirkulasi Sedang	4-5	4-5	4-5
Sirkulasi Tinggi	4-5	4-5	4-5



Gambar 7. Kekuatan tarik kain polyester yang dicelup dengan zat warna dispersi

Kekuatan tarik

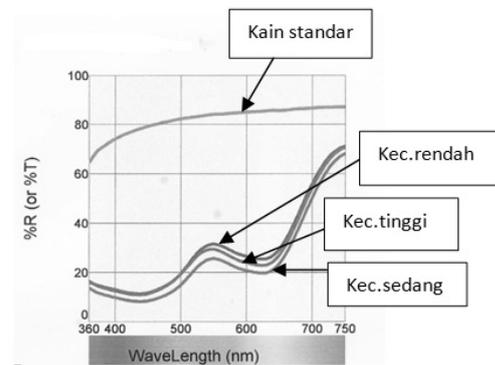
Hasil uji kekuatan tarik kain poliester Pe-65, Pe-90 dan Pe-175 yang telah dicelup dengan zat warna *C.I. Disperse Red 73*, *C.I. Disperse Red 167* dan *C.I. Disperse Blue 79:1* disajikan pada Gambar 7. Proses pencelupan dan variasi jenis zat warna tidak berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik. Jika dibandingkan kain standar (kain putih yang tidak dicelup) maka nilai penurunan kekuatan tarik relatif kecil, yaitu untuk kain Pe-175 berkisar 3,62%~5,90%, kain Pe-90 berkisar 3,80%~5,19%, dan kain Pe-65 berkisar 0,85%~3,29%. Hal ini menunjukkan bahwa proses mekanik selama pencelupan menggunakan mesin *jet dyeing*, di samping temperatur dan penggunaan zat-zat kimia hampir tidak berpengaruh pada sifat fisik kain. Menurut SNI 08-0276-2009, persyaratan kekuatan tarik kain sandang minimum adalah 12 kg, sehingga kain poliester yang telah dicelup pada mesin *jet dyeing* tersebut masih memenuhi persyaratan untuk kain sandang.

Pencelupan kain rayon
Ketuaan warna (K/S)

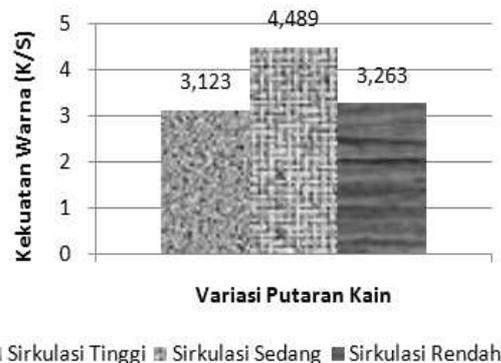
Hasil uji reflektansi warna disajikan pada Gambar 8 sedangkan hasil perhitungan nilai *K/S* sesuai persamaan [1] disajikan pada Gambar 9. Dari data nilai *K/S* diketahui bahwa pada pencelupan kain rayon dengan kecepatan sirkulasi sedang memberikan warna paling tua (nilai *K/S* 4,49), pada sirkulasi rendah menunjukkan ketuaan warna paling rendah (nilai *K/S* 3,26) dan pada sirkulasi tinggi menunjukkan nilai *K/S* 3,123.

Sistem turbulensi pada mesin *jet dyeing* menyebabkan terjadinya penetrasi zat warna dan kerataan warna pada kain walaupun dicelup dalam bentuk *rope*. Semakin tinggi putaran larutan maka semakin tinggi putaran sirkulasi kain. Hal ini berkaitan dengan tingginya kecepatan (rpm) motor dan kecepatan *reeling*

winch. Kecepatan larutan menentukan banyaknya energi kinetik yang ditransfer pada kain. Gerakan kain pada mesin terutama pada kecepatan sirkulasi tinggi dicapai oleh transfer dorongan sistem jet. Pada ruang bejana terjadi pertukaran kain dengan larutan yang datang dan berpenetrasi ke dalam kain, selanjutnya pompa putar utama mendorong kain kembali ke bagian atas bejana.¹²



Gambar 8. Hasil uji reflektansi pencelupan kain rayon pada kecepatan sirkulasi yang berbeda



Gambar 9. Nilai *K/S* kain rayon yang dicelup dengan zat warna reaktif pada kecepatan sirkulasi yang berbeda

Semakin tinggi sirkulasi putaran kain dan larutan akan menyebabkan semakin banyak zat warna yang terdifusi ke dalam serat. Namun dalam percobaan ini ketahanan warna paling tinggi justru diperoleh pada kecepatan sirkulasi sedang. Kain poliester yang ringan pada frekuensi sirkulasi larutan yang tinggi kemungkinan dapat mengalami kehilangan beberapa siklus putaran dalam perjalanannya menuju bejana lalu menuju *reel winch* sehingga berpengaruh pada jumlah zat warna yang terdifusi pada serat. Ketiadaan *nozzle jet* pada mesin juga turut berpengaruh pada kondisi tersebut. Kecepatan transportasi kain disesuaikan dengan kecepatan *reeling winch* dan aliran air melalui kekuatan pompa ke dalam tabung transportasi. Kondisi tersebut lebih sesuai apabila kecepatan sirkulasi kain diatur pada putaran sedang sehingga kecepatan *reeling winch* atau putaran kain dapat sesuai dengan putaran larutan. Untuk pencelupan kain rayon lebih disarankan menggunakan kecepatan sirkulasi sedang (67,56 m/menit) dengan jumlah rasio larutan 1:30 agar kain selalu terendam di dalam larutan.

Hasil perhitungan daya serap zat warna (*dye uptake/DF*) dari data absorbansi larutan awal dan larutan sisa celup disajikan pada Gambar 10 [a] dan [b]. Data absorbansi larutan pencucian hasil pencelupan pada panjang gelombang maksimum seperti berikut ini.

- Pada λ 570 nm, absorbansi larutan sisa pencucian = 0,4880
- Pada λ 550 nm, absorbansi larutan sisa pencucian = 0,3240
- Pada λ 525 nm, absorbansi larutan sisa pencucian = 0,4925

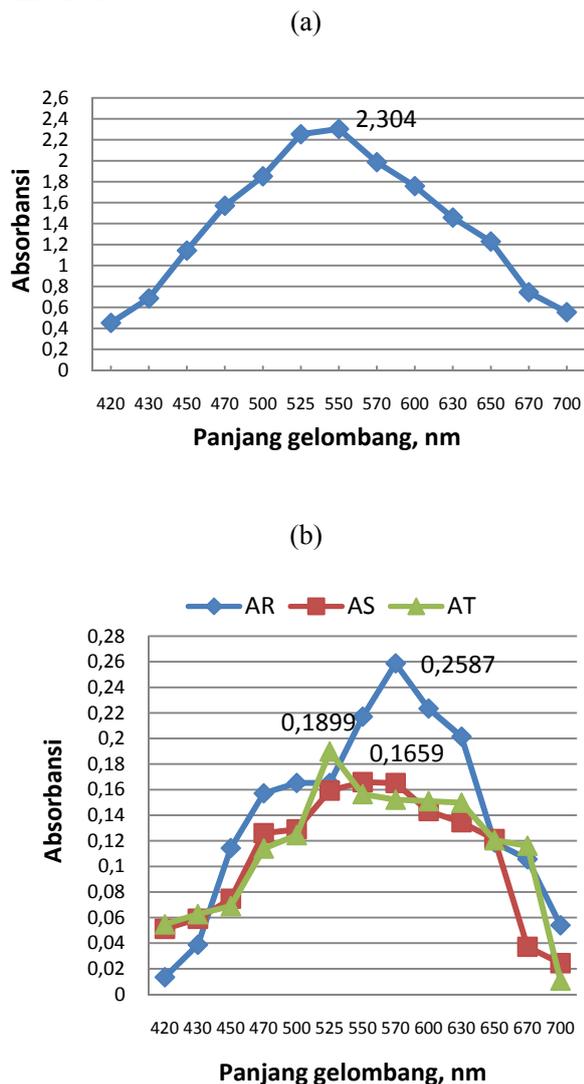
Dari data absorbansi pada Gambar 9 ditambah data absorbansi sisa larutan pencucian dapat dihitung daya serap zat warna ke dalam serat menggunakan persamaan [2], sehingga diperoleh:

- Daya serap warna pada kecepatan sirkulasi rendah: DF-R = 67,59%
- Daya serap warna pada kecepatan sirkulasi sedang: DF-S = 78,73%
- Daya serap warna pada kecepatan sirkulasi tinggi: DF-T = 70,38%

Berdasarkan perhitungan daya serap warna tersebut diketahui bahwa pada kecepatan sirkulasi sedang memiliki daya serap warna paling tinggi (78,73%) dan kecepatan sirkulasi rendah memiliki daya serap warna paling rendah (67,59%). Pada kecepatan sirkulasi sedang dan tinggi, absorbansi maksimum masing-masing dicapai pada panjang gelombang 525 nm dan 550 nm (Gambar 10b).

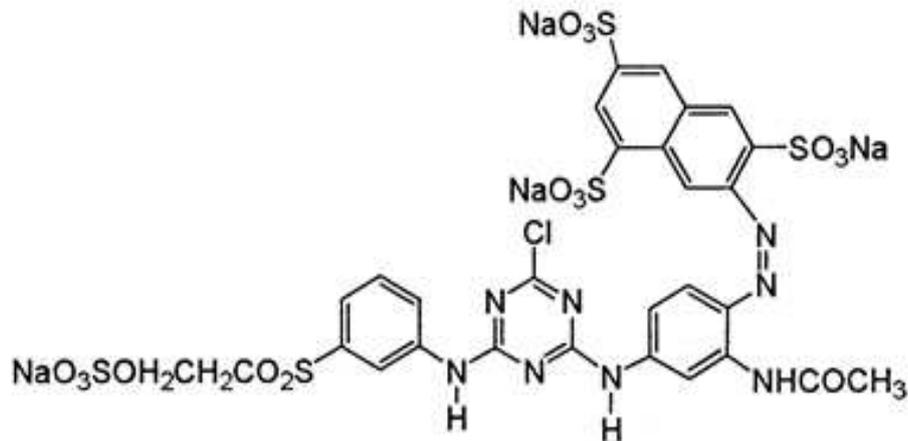
Ketahanan luntur warna

Tabel 6 menyajikan data uji ketahanan luntur warna kain rayon yang dicelup dengan campuran zat warna *Reactive Blue* HF-RL dan *C.I. Reactive Yellow* 176 pada kecepatan sirkulasi rendah, sedang, dan tinggi. Dari Tabel 6 diketahui bahwa kecepatan sirkulasi kain pada mesin *jet dyeing* tidak berpengaruh terhadap ketahanan luntur terhadap pencucian dan gosokan kering maupun gosokan basah. Seperti diketahui zat warna reaktif berikatan secara kovalen dengan serat selulosa karena memiliki gugus reaktif. Struktur molekul zat warna *C.I. Reactive Yellow* 176 dapat dilihat pada Gambar 11.



Keterangan:
 AR: absorbansi pada kecepatan sirkulasi rendah;
 AS: absorbansi pada kecepatan sirkulasi sedang
 AT: absorbansi pada kecepatan sirkulasi tinggi

Gambar 10. Grafik absorbansi larutan zat warna reaktif pada kecepatan sirkulasi kain yang berbeda a) sebelum pencelupan; b) setelah pencelupan



Gambar 11. Struktur molekul zat warna reaktif C.I. Reactive Yellow 176

Zat warna C.I. Reactive Yellow 176 yang digunakan pada penelitian ini memiliki dua gugus reaktif yaitu gugus *monochlorotriazin* (MCT) dan gugus *vinil sulphon* (VS) sehingga menghasilkan reaktivitas zat warna terhadap serat yang sangat tinggi. Ikatan kimia yang terjadi diantara zat warna dengan serat pada proses pencelupan tidak dipengaruhi oleh kecepatan sirkulasi. Baik pada kecepatan sirkulasi yang rendah maupun kecepatan tinggi, zat warna reaktif tetap dapat terfiksasi dengan baik ke dalam serat.

KESIMPULAN

Mesin *jet dyeing* tipe SME-50C adalah mesin pencelupan sistem jet dengan kategori *soft flow* yang tidak dilengkapi dengan komponen *nozzle jet* sehingga ketepatan dalam pemakaiannya sangat penting agar diperoleh hasil pencelupan yang optimal. Penggunaan mesin *soft flow jet dyeing* tipe SME-50C telah diteliti penggunaannya untuk pencelupan kain poliester dan kain rayon. Pada kain poliester, kualitas hasil pencelupan dipengaruhi oleh gramasi atau konstruksi kain dan jenis zat warna yang digunakan, dimana hal ini terlihat dari nilai ketuaan warna (K/S) dan daya serap zat warnanya (DF). Hasil uji ketahanan luntur warna terhadap pencucian, gosokan kering dan gosokan basah serta kekuatan tarik kain-kain yang diproses pencelupan pada mesin *soft flow jet dyeing* tipe SME-50C relatif baik. Proses pencelupan pada mesin *jet dyeing* tipe *soft flow* lebih sesuai menggunakan putaran kecepatan tidak lebih dari 110 meter/menit (*soft flow*) dan lebih disarankan untuk digunakan pada kain-kain ringan.

Pada kain poliester, nilai ketuaan warna (K/S) yang paling rendah diperoleh pada kain poliester Pe-90 dengan gramasi 90 g/m², tetal yang relatif tinggi (294x116 helai per inch) dan

kehalusan benang yang relatif rendah (50x50+20). Nilai K/S tersebut untuk zat warna dispersi dengan berat molekul 348,36 g/mol; 519,93 g/mol dan 625,28 g/mol secara berurutan adalah: 4,05; 1,44; dan 1,20 sedangkan untuk kain poliester Pe-65 (gramasi 65 g/m²) dan Pe-175 (gramasi 175 g/m²) yang dicelup menggunakan ketiga zat warna dispersi tersebut menunjukkan nilai K/S > 5. Kondisi pencelupan optimal untuk kain poliester diperoleh pada kain poliester Pe-65 dengan spesifikasi gramasi 65 g/m², tetal (105x86) helai per inci, dan konstruksi anyaman polos.

Hasil optimum proses pencelupan pada kain rayon diperoleh pada kecepatan sirkulasi sedang (60~69 m/menit) dengan nilai K/S = 4,60 dan daya serap zat warna (DF) = 78,73%.

PUSTAKA

- Siddiquee, A.B, Al Mamun, M.A, Bashar, M., Mahabubuzzaman, A.K.M. (2010). Effect of dosing and run time (in respect to cycle time) on the levelness performance of knit dyed fabric, *Journal of Innovation Development Strategy*, 4 (2): 6-10.
- Leube, H., Ruttiger, W., Kuhnel, G., Wolff, J., et.al. (2014). Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry. *The Scientific World Journal*. Wiley-VCH, John Willey and Sons.
- Mazadul, H. (2014). Dyeing machine. Southeast University Department of Textile Engineering, Paper, 251/A & 252, Dhaka, Bangladesh.
- Comelo, M. F. (2006). Analysis of the factors influencing dye uptake on jet dyeing equipment, *Coloration Technology, Journal Compilation Society of Dyers and Colourists*, 122, 289.
- Abernathy, P. L., Best, V. G., Sistare, V. M. (1999). Jet Dyeing Machine, Patent US 5894747 A, Publication number US5894747 A, i20

- ⁶ Paterson, M. D. (2008). Practical problems of jet dyeing. *Journal of the Society of Dyes and Colorist. Coloration Technology*, 88 (9): 321-326.
- ⁷ Jadhav D. A., Vora, R., Desai, S., Birajdar, A., et. al. (2013). Detail study of different dyeing processes. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3 (9).
- ⁸ Danishchandna, Jet dyeing machine, <https://danishchandna.files.wordpress.com/2009/12/d-processing-machines>,
- ⁹ Shaikh, I. A., Ahmed, F., Sahito, A. R., Pathan, A.A. (2014) In-situ decolorization of residual dye effluent in textile jet dyeing machine by ozone, *Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry*, 15 (2).
- ¹⁰ DiCosola, M. (1995). Understanding illuminants, *X-Rite Incorporated*.
- ¹¹ Operation Manual Jet Dyeing machine SME-50C, Wuxi Dongzhou Dyeing Mechanical Factory, No 18 Yahyu Road, Cianzhou Town, Huishan area, Wuxi City, Jiangsu, China.
- ¹² Vavilova, S. Y., Prorokova, N. P., Kalinnikov, Y. A. (2003). The problem of cyclic oligomers in dyeing and processing polyester and ways of solving it, *Fibre Chemistry*, 35 (2): 128
-