

Tinjauan Literatur Terkait Teknologi dan Penggunaan Air di Proses Pencelupan Tekstil

GENA GISELA KURNIA¹, KANCITRA PHARMAWATI¹

1. Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional (ITENAS), Bandung, Indonesia
Email: genagiselakurnia@gmail.com

ABSTRAK

Keberhasilan industri tekstil bergantung pada warna produk yang menarik dan menjadi perhatian manusia. Pewarnaan sendiri telah diaplikasikan oleh manusia selama ribuan tahun menggunakan pewarna alami yang berasal dari ekstrak tumbuhan dan hewan. Dalam 150 tahun terakhir, manusia sudah memproduksi pewarna sintesis yang dapat menghasilkan warna lebih beragam, stabil, dan universal. Seiring perkembangan zaman, teknik pewarnaan atau pencelupan mulai dilakukan dengan bantuan mesin. Tujuan dari pencelupan sendiri adalah untuk memperoleh hasil pewarnaan yang seragam pada setiap bagian substrat. Metode pencelupan dengan mesin ini dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu batch dan continuous dyeing. Batch dyeing dilakukan dengan merendam substrat dalam larutan pewarna, sedangkan continuous dyeing dilakukan dengan cara melewati kain pada beberapa rangkaian unit yang mengandung pewarna secara terus menerus. Proses pencelupan sendiri menggunakan jumlah air yang banyak yang akhirnya mempengaruhi jumlah air limbah yang diproduksi. Metode pencelupan continuous menggunakan air lebih rendah 37,8% dibandingkan dengan metode batch.

Kata kunci: *pencelupan, batch, continuous, pewarna*

1. PENDAHULUAN

Selama ribuan tahun, pewarnaan telah diaplikasikan oleh manusia menggunakan pewarna yang paling besar berasal dari hasil ekstrak tumbuhan dan sebagian hewan di alam. Dalam 150 tahun terakhir, manusia telah memproduksi pewarna buatan untuk menghasilkan warna yang lebih beragam serta stabil, sehingga tidak luntur saat dicuci dan dapat digunakan secara umum (Clark, 2011; Mahapatra, 2018). Proses pencelupan didefinisikan sebagai metode pemberian warna pada produk jadi terutama kain atau pada tahap awal, yaitu saat masih berupa benang. Tiga proses utama yang terlibat dalam proses pencelupan adalah persiapan (*pretreatment*), pencelupan (*dyeing*), dan penyelesaian (*finishing*). Proses pencelupan ini dapat dilakukan secara *batch* (*exhaust*) dan kontinyu (*continuous*) (Senthil Kumar dan Yaashikaa, 2018).

Industri tekstil mengkonsumsi air dalam jumlah besar dalam berbagai tahap pengolahan, seperti *pretreatment*, pencelupan, pencetakan, dan *finishing*. Jumlah total air yang dikonsumsi tergantung pada jenis serat, jenis mesin yang digunakan, dan jenis efek *finishing* yang diperlukan (Samanta dkk., 2019). Industri tekstil menggunakan air sebanyak 1,6 juta liter per hari untuk memproduksi 8.000 kg kain/hari, dan sebanyak 16% dari air tersebut digunakan untuk proses pencelupan (Velusamy dkk., 2021). Semakin panjang urutan pengolahannya, maka semakin tinggi jumlah air yang dibutuhkan. Sebagian besar air digunakan untuk proses mencuci pada akhir setiap proses (Cardoso, 2013; Shaikh, 2009).

2. METODOLOGI

Literatur dicari dengan bantuan situs Google Scholar untuk menemukan berbagai artikel penelitian serta buku terkait teknologi pencelupan di industri tekstil. Berbagai artikel dan buku terpilih dipetakan dengan menggali informasi mengenai metode pencelupan dengan teknik *batch* dan *continuous*. Pembahasan dipetakan menjadi definisi pewarnaan, prinsip pencelupan, jenis pewarna, proses *batch* dan *continuous dyeing*, penggunaan air.

3. PEMBAHASAN

3.1 Pewarnaan

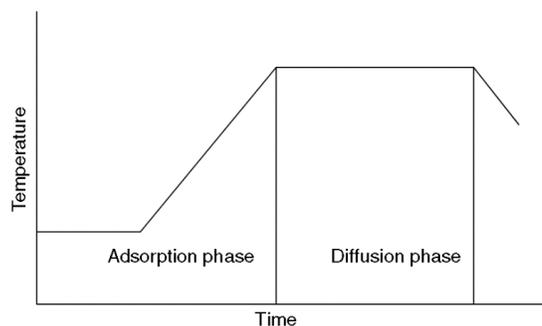
Pewarnaan merupakan seni kuno yang modifikasi fisik-kimia dari substrat, sehingga cahaya yang dipantulkan menciptakan persepsi warna. Pada dasarnya, pewarnaan adalah proses pengaplikasian dan pengikatan pewarna secara seragam, bersamaan dengan penggunaan bahan kimia tambahan yang sesuai. Teknik pewarnaan bervariasi, tergantung pada sifat bahan, kelas pewarna, bentuk substrat, dan peralatan/teknologi. Substrat dapat diproduksi dengan berbagai serat berbeda, yaitu alami, sintetis, atau campuran. Serat adalah dasar dari semua produk tekstil dan dapat bersifat alami atau buatan manusia (diproduksi atau dihasilkan oleh manusia) (Lara dkk., 2022; Mahapatra, 2016).

3.2 Prinsip Pencelupan

Tujuan pencelupan adalah untuk menghasilkan pewarnaan seragam pada substrat yang biasanya sesuai dengan warna yang telah dipilih sebelumnya. Warna yang dihasilkan harus seragam di seluruh substrat dan memiliki warna yang kuat (*solid*) tanpa adanya ketidakrataan atau perubahan warna di seluruh substrat. Ada banyak faktor yang dapat mempengaruhi hasil akhir pencelupan, di antaranya tekstur substrat, konstruksi substrat (baik kimia maupun fisik), perlakuan awal yang diterapkan pada substrat sebelum pewarnaan, dan pasca pewarnaan (Clark, 2011).

3.3 Batch Dyeing

Pada metode pencelupan *batch*, seluruh atau sebagian dari bahan terlarut dalam rendaman pewarna ditransportasikan ke permukaan kain dengan menggerakkan rendaman pewarna atau substrat yang digerakkan ke dalam rendaman pewarna (diwarnai). Pewarna diserap ke permukaan serat dan idealnya berdifusi ke seluruh serat. Interaksi antara pewarna dan serat dapat bersifat kimia atau fisika, tergantung pada pewarna yang digunakan. Metode pencelupan ini biasanya dilakukan dengan menggunakan larutan pewarna encer, yang melibatkan rasio cairan terhadap substrat dari 8:1 hingga 30:1. Metode ini memiliki 2 fase utama dalam prosesnya, yaitu fase adsorpsi dan difusi seperti pada Gambar 1. Profil Pencelupan. (Clark, 2011).



Gambar 1. Profil Pencelupan (Sumber: Clark, 2011)

Kebanyakan metode *batch* melibatkan gradien suhu saat pencelupan dimulai sekitar 30-40°C dan suhu akan dinaikkan perlahan sampai suhu akhir yang bergantung pada jenis pewarna yang digunakan. Resep pewarnaan *batch*, termasuk bahan pendukung bersama dengan pewarna, secara tradisional dibuat berdasarkan persen berat relatif terhadap berat substrat yang diwarnai. Pewarna kemudian dimasukkan ke dalam rendaman pewarna dan dibiarkan bersirkulasi lagi sebelum suhu dinaikkan untuk memperoleh konsentrasi yang seragam di seluruh rendaman pewarna. Kecepatan penyerapan zat warna dapat bervariasi dan bergantung pada sifat kimia dan fisiknya serta jenis dan konstruksi substrat yang diwarnai. Laju pencelupan juga tergantung pada konsentrasi zat warna, rasio cairan, suhu rendaman zat warna, dan pengaruh bahan pembantu pencelupan. Proses pewarnaan pada akhirnya akan berakhir pada kesetimbangan, di mana konsentrasi pewarna dalam serta dan rendaman pewarna tidak berubah secara signifikan (Clark, 2011).

Mesin pencelupan modern umumnya tertutup untuk memastikan bahwa suhu rendaman pewarna stabil sesuai keperluan, sehingga proses menjadi lebih cepat. Beberapa mesin pencelupan dapat diberikan tekanan yang memungkinkan cairan pewarna dipanaskan hingga 130°C, yang memungkinkan substrat, seperti poliester, untuk diwarnai tanpa bahan pembawa. Ada 2 jenis mesin yang tersedia untuk pencelupan *batch*. Pertama adalah mesin sirkulasi di mana substrat diam dan cairan pewarna yang diedarkan. Substrat dimasukkan ke dalam tabung, digulung pada kerucut atau balok berlubang dan ditempatkan di dalam wadah pewarnaan. Cairan pewarna dipompa melalui substrat hingga seluruh bagian terwarnai (Clark, 2011; Khattab dkk., 2020).

Kedua adalah mesin sirkulasi barang yang mana substrat dan cairan diedarkan, umumnya digunakan untuk pencelupan kain. Pencelupan tradisional banyak menggunakan mesin *winch*, di mana kain ditarik gulungan *winch* dalam bentuk tali melalui rendaman pewarna. Di era modern, sebagian besar sudah menggunakan mesin pencelupan jet bertekanan. Mesin ini mampu bekerja pada rasio cairan:substrat yang sangat rendah, biasanya 8:1, meskipun beberapa mesin mungkin beroperasi serendah 4:1, sehingga memungkinkan penghematan air dan energi. Mesin lainnya adalah *jigger*, di mana kain dipasang dengan lebar penuh pada balok dan dipandu maju mundur melalui bak pencelupan dengan lebar terbuka (Clark, 2011; Gunay, 2013; Khattab dkk., 2020).

3.4 Continuous Dyeing

Pencelupan kontinyu adalah jenis pencelupan di mana pewarna masuk ke substrat dengan melewati substrat melalui tahapan yang berbeda secara terus menerus. Secara tradisional dilakukan dengan merakit unit-unit menjadi satu alur dengan beberapa langkah pemrosesan berurutan, mencakup perawatan sebelum dan sesudah pewarnaan. Kecepatan gerak kain menentukan waktu tinggal kain melalui setiap unit pengolahan. Kerugian utama dari metode ini adalah setiap kerusakan mesin dapat menyebabkan rusaknya kain karena waktu tunggu yang berlebihan pada unit tertentu ketika sedang memperbaiki mesin. Teknik ini lebih sering diaplikasikan untuk produksi skala besar dan terkenal dengan konsumsi air yang lebih sedikit dibandingkan teknik *batch* (Clark, 2011).

Aplikasi pewarna dapat dilakukan secara langsung (*direct*), di mana cairan pewarna akan disemprotkan atau dicetak pada substrat, atau dengan merendam kain secara terus-menerus dalam rendaman pewarna dan kelebihan cairan pewarna dihilangkan dengan rol pemeras (*padding*). Untuk mendapatkan fiksasi pewarna yang seragam pada substrat, maka kain dikeringkan setiap memasuki proses berikutnya. Peralatan pengeringan biasanya menggunakan

inframerah atau aliran udara panas dan harus bebas kontak untuk menghindari penandaan pada substrat dan mengotori peralatan pengeringan (Clark, 2011).

Setelah pengeringan, pewarna diendapkan pada permukaan substrat, menunggu proses fiksasi dan menjadi bagian dari substrat melalui reaksi kimia (pewarna reaktif), agregasi (pewarna tong/vat dan belerang), interaksi ionik (pewarna asam dan basa), atau larutan pekat (pewarna dispersi). Fiksasi dilakukan dalam beberapa kondisi tergantung pada pewarna dan substrat yang terlibat. Umumnya menggunakan uap jenuh pada suhu 100°C untuk sebagian besar pewarna. Pewarna dispersi difiksasi dalam substrat poliester melalui proses termasol, di mana substrat dipanaskan hingga suhu 210°C selama 30-60 detik agar pewarna berdifusi ke dalam serat. Setelah fiksasi, substrat biasanya dicuci untuk menghilangkan kelebihan pewarna dan bahan pembantu (Clark, 2011).

3.5 Pewarna

Pewarna adalah molekul yang menyerap dan memantulkan cahaya pada panjang gelombang tertentu untuk memberikan indra warna pada mata manusia seperti pada Tabel 1. Penyerapan Panjang Gelombang Warna, Warna Terserap, dan Warna Terdeteksi (Sudarmin dkk., 2020).

Tabel 1. Penyerapan Panjang Gelombang Warna, Warna Terserap, dan Warna Terdeteksi (Sumber: Sudarmin dkk., 2020)

Absorpsi Panjang Gelombang Warna (nm)	Warna Terserap	Warna Terdeteksi
400-435	Violet	Hijau-Kuning
435-480	Biru	Kuning
480-490	Hijau-Biru	Jingga
490-500	Biru-Hijau	Merah
500-560	Hijau	Ungu
560-580	Kuning-Hijau	Violet
580-595	Kuning	Biru
595-605	Jingga	Hijau-Biru
605-700	Merah	Biru-Hijau

Pewarna digunakan untuk mewarnai kain. Namun tidak semua pewarna menempel pada serat selama proses pewarnaan seperti pada Tabel 2. Persentase Pewarna Tidak Tetap Untuk Berbagai Jenis dan Aplikasi Pewarna (Mahapatra, 2018).

Tabel 2. Persentase Pewarna Tidak Tetap Untuk Berbagai Jenis dan Aplikasi Pewarna (Sumber: Mahapatra, 2018)

Serat	Tipe Pewarna	Pewarna Tidak Tetap (%)
Wol dan nilon	Pewarna asam/reaktif untuk wol	7-20
	Pewarna pra-logam	2-7
Katun dan <i>viscose</i>	Pewarna azoik	5-10
	Pewarna reaktif	20-50
	Pewarna langsung	5-20
	Pigmen	1
	Pewarna vat	5-20
Poliester	Pewarna sulfur	30-40
	Pewarna dispersi	8-20
Akrilik	Pewarna dasar dimodifikasi	2-3

3.6 Penggunaan Air

Penggunaan air berbeda untuk setiap jenis kain yang akan diwarnai seperti pada Tabel 3. Kebutuhan Air Untuk Proses Pencelupan dan *Finishing* Berdasarkan Jenis Kain (Shaikh, 2009).

Tabel 3. Kebutuhan Air Untuk Proses Pencelupan dan *Finishing* Berdasarkan Jenis Kain (Sumber: Shaikh, 2009)

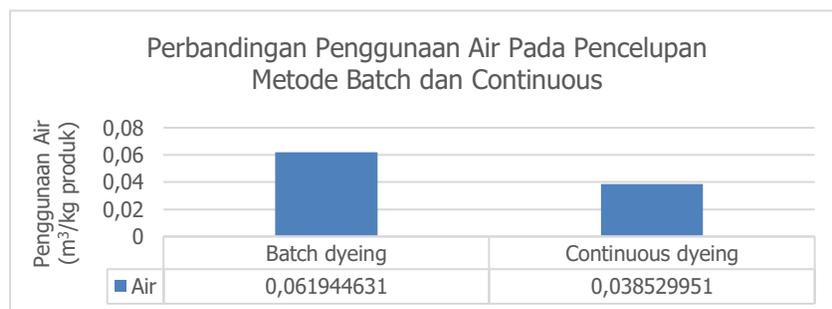
Jenis	Serat	Kebutuhan Air <i>Dyeing</i> dalam Liter/1.000 kg produk
Katun	Alami	10.000-300.000
Rayon	Sintesis	17.000-34.000
Asetat		34.000-50.000
Nilon		17.000-34.000
Akrilik/ Modakrilik		17.000-34.000
Poliester		17.000-34.000

Berbagai jenis mesin pencelupan menggunakan jumlah air yang berbeda, bergantung pada *liquor ratio* seperti pada Tabel 4. *Liquor Ratio* Umum Untuk Berbagai Jenis Mesin Pencelupan (Kiron, 2021; Shaikh, 2009).

Tabel 4. *Liquor Ratio* Umum Untuk Berbagai Jenis Mesin Pencelupan (Sumber: Shaikh, 2009; Kiron, 2021)

Mesin Pencelupan	Tipikal <i>Liquor Ratio</i> (Cairan/Barang) Pada Saat Aplikasi Pewarna
<i>Continuous</i>	1:1
<i>Winch (batch)</i>	15:1-40:1
<i>Jet (batch)</i>	7:1-15:1
<i>Jig (batch)</i>	5:1
<i>Beam</i>	10:1
<i>Package</i>	10:1
<i>Beck</i>	17:1
<i>Stock</i>	12:1
<i>Skein (Hank)</i>	17:1

Dengan menggunakan *database* Ecoinvent 3, dilakukan perhitungan konsumsi air untuk proses pencelupan dengan metode *batch* dan *continuous* seperti pada Gambar 2. Perbandingan Penggunaan Air Pada Pencelupan Metode *Batch* dan *Continuous*. Metode pencelupan *continuous* lebih hemat air 37,8% dibandingkan dengan metode *batch*.



Gambar 2. Perbandingan Penggunaan Air Pada Pencelupan Metode *Batch* dan *Continuous* (Sumber: Hasil Perhitungan, 2023)

4. KESIMPULAN

Pewarnaan adalah seni kuno yang telah digunakan manusia untuk kepentingan dekorasi, pakaian, dan lainnya. Pewarna yang digunakan masih berasal dari alam, yaitu diperoleh dari hasil ekstrak tumbuhan maupun hewan. Dengan perkembangan zaman, mulai dibuatnya pewarna sintesis untuk memperluas aplikasi dari pewarna khususnya untuk pencelupan kain. Metode pencelupan kain secara garis besar dikelompokkan menjadi 2, yaitu metode *batch* dan *continuous dyeing*. Metode *batch* melibatkan perpindahan warna secara bertahap dari rendaman pewarna ke bahan tekstil dalam peralatan yang sama, sedangkan *continuous* dilakukan dengan melewati kain melalui tahapan yang berbeda secara terus menerus. Konsumsi air untuk proses pencelupan metode *continuous* lebih rendah 37,8% dari metode *batch*.

DAFTAR RUJUKAN

- Cardoso, A. A. M. (2013). Life Cycle Assessment of Two Textile Products Wool and Cotton.
- Clark, M. (2011). *Handbook of textile and industrial dyeing: principles, processes and types of dyes*. Elsevier.
- Gunay, M. (2013). *Eco-friendly textile dyeing and finishing*: BoD–Books on Demand.
- Khattab, T. A., Abdelrahman, M. S., dan Rehan, M. (2020). *Textile dyeing industry: environmental impacts and remediation. Environmental Science and Pollution Research*, 27, 3803-3818.
- Kiron, M. I. (2021). *Methods of Dyeing | Different Types of Dyeing Methods*. Retrieved from <https://textilelearner.net/dyeing-methods/>
- Lara, L., Cabral, I., dan Cunha, J. (2022). *Ecological approaches to textile dyeing: a review. Sustainability*, 14(14), 8353.
- Mahapatra, N. (2016). *Textile Dyes*: CRC press.
- Mahapatra, N. (2018). *Textile Dyeing*. New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt. Ltd.
- Samanta, K. K., Pandit, P., Samanta, P., dan Basak, S. (2019). *Water consumption in textile processing and sustainable approaches for its conservation Water in textiles and fashion* (pp. 41-59): Elsevier.
- Senthil Kumar, P., dan Yaashikaa, P. (2018). *Sustainable dyeing techniques. Sustainable innovations in textile chemical processes*, 1-29.
- Shaikh, M. A. (2009). *Water conservation in textile industry. Pakistan Textile Journal*, 58(11), 48-51.
- Sudarmin, S., Sumarni, W., Azizah, S., Yusof, M., dan Listiaji, P. (2020). *Scientific reconstruction of indigenous knowledge of batik natural dyes using ethno-STEM approach*. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series.
- Velusamy, S., Roy, A., Sundaram, S., dan Kumar Mallick, T. (2021). *A review on heavy metal ions and containing dyes removal through graphene oxide-based adsorption strategies for textile wastewater treatment. The Chemical Record*, 21(7), 1570-1610.