

Kaji Konservasi Energi Pemanfaatan Panas Limbah Proses *Dyeing, Drying* dan *Stentering* Pabrik Tekstil

Fachri Koeshardono, Indra Djodikusumo dan Hendi Riyanto

Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132
email: fahrimason@gmail.com

Abstrak

Proses-proses *dyeing*, *drying*, dan *stentering* disebut proses *dyeing and finishing* (pewarnaan dan penyempurnaan) dalam rangkaian panjang proses produksi tekstil. Proses *dyeing and finishing* dinamakan *wet processing* karena memerlukan air panas/hangat sebagai media proses. Dalam hal ini, proses tersebut memerlukan kukus (*steam*) untuk memanaskan air. Pada proses *dyeing and finishing* konvensional, air panas dari proses-proses tersebut terbuang percuma. Selain itu, proses *drying* dan *stentering* memerlukan udara panas sebagai media pengering. Pemanasan udara dilakukan melalui alat penukar panas yang menggunakan oli sebagai fluida pemanas. Udara panas ini kemudian dibuang ke lingkungan.

Makalah ini bermaksud untuk memaparkan kajian tentang pemanfaatan panas limbah di suatu pabrik tekstil. Untuk memanfaatkan panas limbah digunakan rekuperator yang berfungsi untuk memanas-awalkan air dan udara yang dibutuhkan untuk proses-proses tersebut.

Potensi energi termal panas limbah proses *dyeing*, *drying*, dan *stentering* terkandung dalam fluida bertemperatur tinggi. Pada proses *dyeing*, panas limbah yang dimanfaatkan adalah air panas. Air panas ini pada proses konvensional dibuang ke kolam pengolahan air limbah sedangkan untuk proses berikutnya diperlukan air panas. Pada proses *drying* dan *stentering*, prinsip yang digunakan adalah memanfaatkan panas dari udara keluar proses yang masih bertemperatur tinggi untuk memanas-awalkan udara luar yang dibutuhkan untuk keberlangsungan proses.

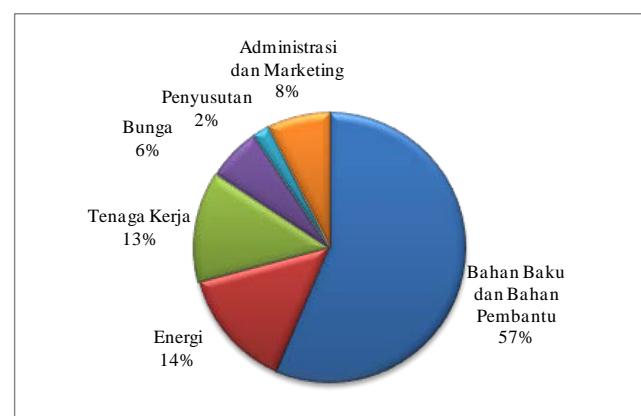
Kaji neraca massa dan energi pada proses *dyeing*, *drying*, dan *stentering* menunjukkan bahwa pemanfaatan panas limbah menghasilkan penghematan energi termal masing-masing sebesar 27%, 58% dan 36%. Penghematan energi termal ini akan mengurangi biaya bahan bakar pada proses produksi tekstil.

Keywords: Dyeing, Drying, Stentering, Panas Limbah, Rekuperator

Pendahuluan

Industri tekstil Indonesia berperanan besar dalam perekonomian nasional. Industri tekstil adalah penyumbang pendapatan bruto nasional dari sektor industri non-migas urutan kedua terbesar setelah industri makanan dan minuman pada kurun 2008 s.d. 2011 (BPS 2011).

Pabrik tekstil termasuk ratus energi termal, listrik dan air dalam melangsungkan proses produksi. Komponen biaya produksi tekstil Indonesia pada suatu pabrik tekstil yang melangsungkan proses-proses *weaving* (tenun), *dyeing* (pewarnaan), *drying* (pengeringan) dan *stentering* (perentangan) ditampilkan pada Gambar 1. Biaya bahan baku, termasuk biaya pengadaan air, menempati porsi terbesar, yaitu 57%, disusul oleh biaya energi, sebesar 14%.



Gambar 1. Komponen biaya produksi tekstil Indonesia (API, 2007).

Penghematan energi dan air akan mengurangi biaya produksi tekstil dan pada akhirnya akan meningkatkan daya saing produk tekstil nasional di

ranah lokal maupun global.

Di samping itu, sejalan dengan amanat Peraturan Pemerintah nomor 70 tahun 2009 tentang Konservasi Energi dilakukan kiat konservasi energi dan air di industri tekstil dengan cara memasang mesin-mesin *dyeing*, *drying* dan *stentering* teknologi baru yang hemat energi dan air.

Proses-proses *dyeing*, *drying*, dan *stentering* disebut proses *dyeing and finishing* (pewarnaan dan penyempurnaan) dalam rangkaian panjang proses produksi tekstil. Proses *dyeing and finishing* dinamakan *wet processing* karena memerlukan air panas/hangat sebagai media proses. Dalam hal ini, proses tersebut memerlukan kukus (*steam*) untuk memanaskan air. Pada proses *dyeing and finishing* konvensional, air panas dari proses-proses tersebut terbuang percuma. Selain itu, proses *drying* dan *stentering* memerlukan udara panas sebagai media pengering. Pemanasan udara dilakukan melalui alat penukar panas yang menggunakan oli sebagai fluida pemanas. Udara panas ini kemudian dibuang ke lingkungan.

Makalah ini bermaksud untuk memaparkan kajian tentang pemanfaatan panas limbah di suatu pabrik tekstil. Untuk memanfaatkan panas limbah digunakan rekuperator yang berfungsi untuk memanas-awalkan air dan udara yang dibutuhkan untuk proses-proses tersebut di atas.

Potensi energi termal panas limbah proses *dyeing*, *drying*, dan *stentering* terkandung dalam fluida bertemperatur tinggi. Pada proses *dyeing*, panas limbah yang dimanfaatkan adalah air panas. Air panas ini pada proses konvensional di buang ke kolam pengolahan air limbah sedangkan untuk proses berikutnya diperlukan air panas. Pada proses *drying* dan *stentering*, prinsip yang digunakan adalah memanfaatkan panas dari udara keluar proses yang masih bertemperatur tinggi untuk memanas-awalkan udara luar yang dibutuhkan untuk keberlangsungan proses.

Hasil kajian diharapkan dapat memicu pabrik tekstil sejenis di Indonesia untuk mempertimbangkan penggantian mesin-mesin *dyeing*, *drying* dan *stentering* teknologi lama dengan mesin-mesin yang hemat energi dan air.

Metode

Kajian tentang konservasi energi dan air pabrik tekstil dilakukan di pabrik tekstil PT Daliatex Kusuma, Bandung. Pabrik tekstil ini telah melaksanakan penggantian mesin-mesin *dyeing*, *drying* dan *stentering* teknologi lama dengan mesin-mesin baru yang hemat energi dan air.

Kajian dilakukan mengikuti urutan kegiatan berikut:

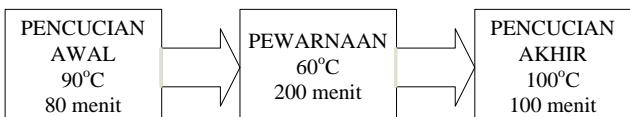
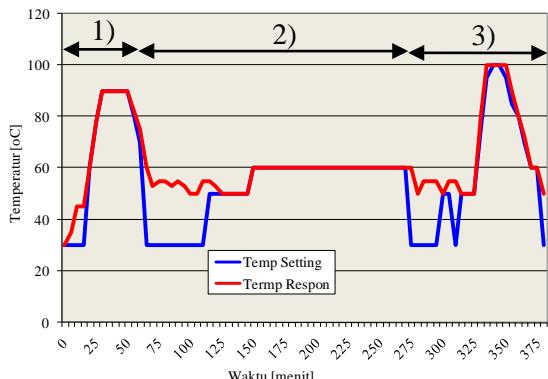
- 1) observasi lapangan dan pengumpulan data proses-proses produksi tekstil terkait,
- 2) pemodelan neraca massa dan energi pada mesin-mesin produksi terkait,
- 3) perhitungan neraca massa dan energi pada mesin-mesin terkait untuk pemrosesan kain jenis *viscose spandex*

Proses *dyeing* dalam mesin *jet dyeing* berlangsung secara *batch*, sedangkan proses *drying* dan *stentering* berlangsung secara kontinu. Proses *drying* dan *stentering* adalah proses pengeringan kain. Hanya, pada proses *stentering* kain direnggangkan dan ditahan agar bentuk akhir produk sesuai dengan dimensi kain yang dispesifikasikan.

Data dari pabrik tekstil bersangkutan yang akan digunakan sebagai basis kajian disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data untuk kajian.

Jenis kain	:	Viscose Spandex
Massa kain	:	381,4 kg
<i>Liquor Ratio</i>	:	10 liter _{air} .kg _{kain} ⁻¹
Tekanan kukus jenuh	:	0,8 MPa
Temperatur kukus jenuh	:	170°C
Sejarah temperatur proses <i>dyeing</i>	:	lihat Gambar 2
Temperatur udara sekitar	:	30°C
Kelembaban relatif udara sekitar	:	16 g _{air} .kg _{ud.kr} ⁻¹
Temperatur air pendingin	:	28°C
Kelembaban udara keluar proses <i>drying</i>	:	172 g _{air} .kg _{ud.kr} ⁻¹
Kelembaban udara keluar proses <i>stentering</i>	:	199 g _{air} .kg _{ud.kr} ⁻¹
Kandungan air kain masuk <i>drying</i>	:	0,8 kg _{iar} .kg _{kain} ⁻¹
Kandungan air kain keluar <i>drying</i>	:	0,1 kg _{iar} .kg _{kain} ⁻¹
Kelembaban udara keluar <i>drying</i>	:	172 g _{air} .kg _{ud.kr} ⁻¹
Temperatur udara keluar <i>drying</i>	:	132°C
Temperatur proses <i>drying</i>	:	97°C
Kandungan air kain masuk <i>stentering</i>	:	0,6 kg _{iar} .kg _{kain} ⁻¹
Kandungan air kain keluar <i>drying</i>	:	0,0 kg _{iar} /kg _{kain}
Kelembaban udara keluar <i>stentering</i>	:	199 g _{air} .kg _{ud.kr} ⁻¹
Temperatur udara keluar <i>stentering</i>	:	141°C
Temperatur proses <i>stentering</i>	:	171°C



Gambar 2. Sejarah temperatur proses *dyeing* kain *viscose spandex*: 1) *scouring*, 2) *dyeing*, 3) *soaping*.

Proses *dyeing*, proses *batch*, dimodelkan sebagai urutan proses-proses sebagai berikut, lihat Gambar 2.

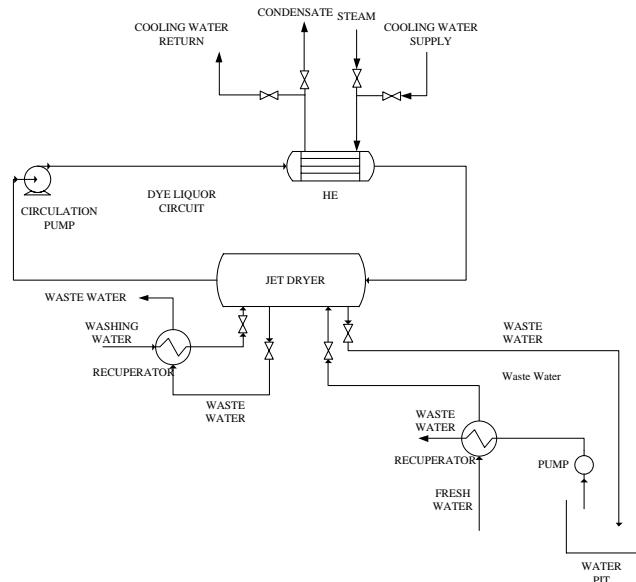
- 1) *scouring* (pencucian awal) terjadi pada temperatur 90°C selama 80 menit,
- 2) *dyeing* (perwarnaan) terjadi pada 60°C selama 200 menit,
- 3) *soaping* (pencucian akhir) terjadi pada 100°C selama 100 menit.

Proses *batch* pertama pada proses *dyeing* adalah *scouring* yang bertujuan untuk mencuci dan membersihkan kain dari kotoran dan kandungan zat yang terbawa dari proses sebelumnya. Untuk mencapai temperatur proses *scouring*, 90°C, air dipanaskan dengan cara melalukannya dalam perangkat penukar panas dengan kukus jenuh pada 8 bar dan 170°C sebagai fluida pemanasnya. Setelah proses *scouring* selesai, air panas dibuang ke kolam pengolahan air limbah.

Proses *batch* selanjutnya adalah proses *dyeing* yang menggunakan air sebagai pelarut zat pewarna. Temperatur proses *dyeing* dijaga sebesar 60°C. Pemanasan air menggunakan kukus jenuh pada 8 bar dan 170°C.

Setelah proses *dyeing* selesai, dilakukan proses *soaping* menggunakan air pada temperatur 100°C. Pemanasan air dilakukan dengan kukus jenuh pada 8 bar dan 170°C yang berasal dari *boiler*.

Diagram proses *dyeing* ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Model proses *dyeing*.

Data konsumsi kukus dan energi termal spesifik pada proses-proses *dyeing*, *drying* dan *stentering* kain jenis *viscose spandex* menggunakan mesin-mesin teknologi lama (tanpa rekuperator) diperoleh dari pabrik tekstil yang bersangkutan, dan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data konsumsi kukus dan energi termal spesifik proses *dyeing* mesin lama.

Jenis kain	:	Viscose Spandex
<i>Dyeing</i>		
Konsumsi kukus spesifik	:	4 kg _{kukus} .kg _{kain} ⁻¹
Konsumsi energi termal spesifik	:	8500 kJ.kg _{kain} ⁻¹
<i>Drying</i>		
Konsumsi energi termal spesifik	:	539 kJ.kg _{kain} ⁻¹
<i>Stentering</i>		
Konsumsi energi termal spesifik	:	607 kJ.kg _{kain} ⁻¹

Pemodelan dan Formulasi

Kajian terhadap proses-proses *dyeing*, *drying* dan *stentering* dilakukan dengan menerapkan metode neraca massa dan energi. Proses perpindahan panas dan massa secara rinci pada setiap proses tidak dilakukan mengingat tujuan utama dari kajian ini adalah untuk menghitung penghematan energi dan air secara makro.

Pemanasan air pencuci dan *liquor* (campuran air dan bahan pewarna) dilakukan dengan kukus pada 8 bar dan 170°C. Perubahan energi air atau *liquor* dalam mesin *dyeing* dihitung menggunakan pers. (1) berikut.

$$\Delta E_{\text{air}} = m_{\text{air}} \cdot c_{\text{air}} \cdot \Delta T \quad (1)$$

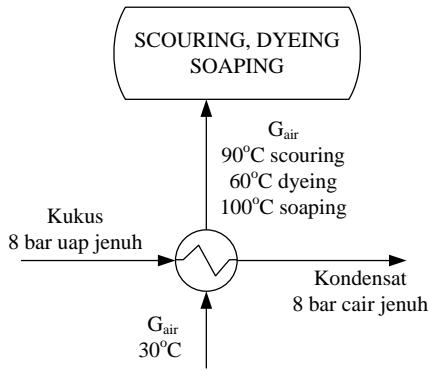
Kebutuhan kukus jenuh (*saturated steam*) yang digunakan untuk memanaskan air atau *liquor* dikalkulasi mengikuti pers. (2) di bawah.

$$m_{\text{kukus}} = \frac{\Delta E_{\text{air}}}{h_{\text{fg}}} \quad (2)$$

Penghematan energi termal dan kukus spesifik pada proses *dyeing* dihitung melalui penggunaan pers. (3) berikut.

$$G_{\text{air},k} \Delta h_{\text{air},k} = G_{\text{air},m} \Delta h_{\text{air},m} \quad (3)$$

Selain penghematan energi termal dan kukus dari pemanfaatan panas limbah, mesin *jet dyeing* baru juga hanya melakukan *soaping* satu kali saja sehingga terjadi pengurangan kebutuhan air dan energi untuk melangsungkan proses. Sedangkan skema pertukaran energi termal pada perangkat penukar panas ditampilkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Model dan data proses pemanasan air dan *liquor* proses *scouring, dyeing* dan *soaping*.

Proses *drying* dan *stentering*, berlangsung secara kontinu, merupakan proses pengeringan kain dengan udara sebagai media pengering. Pemanasan udara dilakukan dengan mengalirkan udara ke alat penukar panas yang menggunakan oli sebagai media pemanas udara. Kendali sistem pengeringan dilakukan dengan melakukan pemonitoran terhadap kelembaban udara setelah terjadi proses pengeringan.

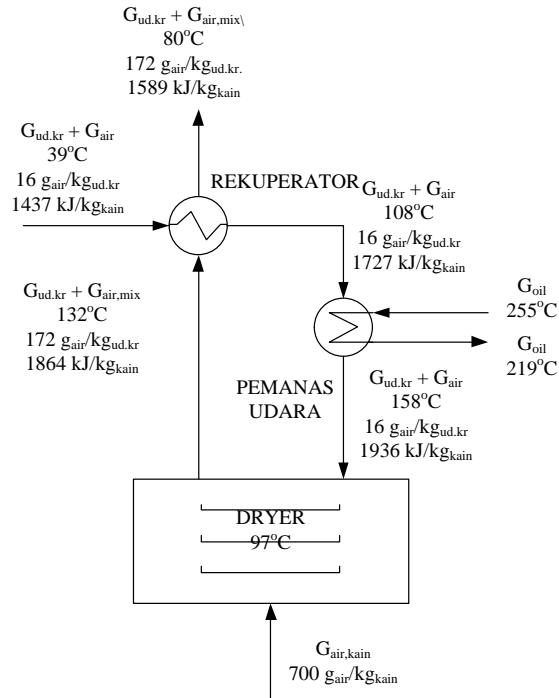
Kebutuhan massa udara per kg massa kain pada proses *drying* dan *stentering* dihitung menggunakan pers. (4) berikut.

$$m_{\text{ud}}^* = \frac{\gamma_m - \gamma_k}{\omega_k - \omega_m} \quad (4)$$

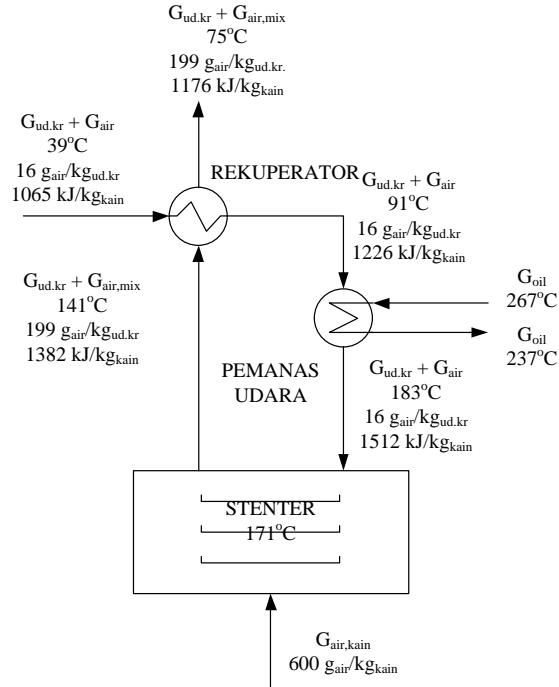
Dalam melakukan perhitungan neraca energi, digunakan formulasi IAPWS IF-97 untuk sifat-sifat air. Sedangkan sifat-sifat udara diidealisasikan sebagai sifat gas ideal dengan panas jenis konstan (terhadap temperatur).

Pemodelan neraca massa dan energi proses *drying* dan *stentering* ditunjukkan berurutan oleh Gambar 5

dan Gambar 6.



Gambar 5. Model dan data proses *drying*.



Gambar 6. Model proses *stentering*.

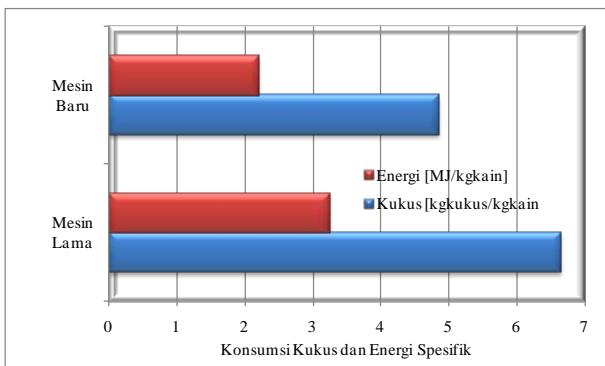
Rekuperator dipasang pada mesin-mesin *drying* dan *stentering* untuk memanas-awalkan udara dan uap air masuk ke mesin-mesin tersebut. Pemanasan udara dan uap air lanjut dilakukan menggunakan pemanas dengan fluida oli pada temperatur sekitar 260°C. Pemanasan oli dilakukan di dalam *boiler* yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya.

Hasil dan Pembahasan

Perubahan konsumsi kukus dan energi termal spesifik sebagai hasil dari penambahan rekuperator diperlihatkan pada Tabel 3 dan Gambar 7.

Tabel 3. Konsumsi kukus dan energi termal spesifik mesin *dyeing* lama dan mesin *dyeing* baru.

Satuan	Mesin Lama		Mesin Baru
	Data	Kalkulasi	Kalkulasi
Kukus $\text{kg}_{\text{kukus}} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$	4,0	3,2	2,2
Energi $\text{kJ} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$	8500	6650	4840

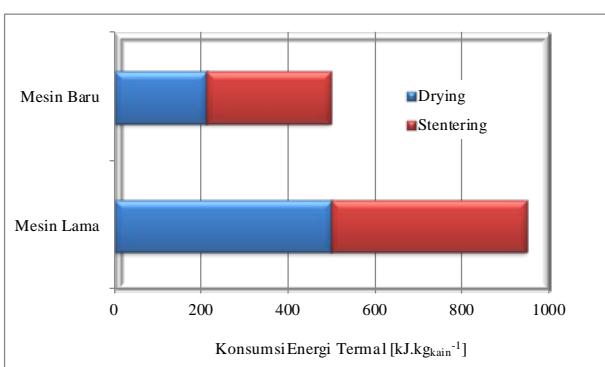


Gambar 7. Perbandingan konsumsi kukus dan energi termal spesifik antara mesin *dyeing* lama dan baru.

Perbedaan konsumsi energi termal spesifik pada proses-proses *drying* dan *stentering* antara mesin lama (tanpa rekuperator) dan mesin baru (dengan rekuperator) dapat diamati pada Tabel 4 dan Gambar 8.

Tabel 4. Konsumsi energi termal spesifik proses *drying* dan *stentering* kain *viscose spandex*.

Satuan	Mesin Lama		Mesin Baru
	Data	Kalkulasi	Kalkulasi
Drying $\text{kJ} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$	539	499	210
Stentering $\text{kJ} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$	607	447	286



Gambar 8. Pengaruh rekuperator terhadap konsumsi energi termal spesifik proses *drying* dan *stentering*.

Penurunan konsumsi kukus dan energi termal spesifik pada proses *dyeing* hasil perhitungan berturut-turut adalah 32% dan 27%. Turun dari $3,2 \text{ kg}_{\text{kukus}} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$ menjadi $2,2 \text{ kg}_{\text{kukus}} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$, dan dari $7 \text{ MJ} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$ menjadi $5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$.

Penurunan konsumsi energi termal spesifik pada proses *drying* dan proses *stentering* yang dicapai berturut-turut adalah 58% dan 36%. Pemasangan rekuperator pada mesin-mesin *drying* dan *stentering* menurunkan konsumsi energi termal untuk proses *drying* menjadi $210 \text{ kJ} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$ dari sebelumnya $499 \text{ kJ} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$ dan untuk proses *stentering* menjadi $286 \text{ kJ} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$ dari sebelumnya $447 \text{ kJ} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$. Penghematan energi termal terwujud karena udara dan uap air keluar dari proses *drying* dan *stentering* masih mengandung energi termal yang kemudian dimanfaatkan untuk memanas-awalkan udara dan uap air masuk ke dalam mesin-mesin *drying* dan *stentering*.

Perbedaan konsumsi kukus dan energi termal spesifik antara hasil perhitungan dan data konsumsi energi spesifik menunjukkan adanya panas lolos (*heat loss*) pada proses-proses yang terjadi. Sementara itu, perhitungan yang dilakukan dalam kaji neraca massa dan energi panas lolos ini tidak dipertimbangkan.

Adanya panas lolos dari mesin-mesin *dyeing*, *drying* dan *stentering* mengindikasikan bahwa masih ada peluang untuk meningkatkan kinerja mesin-mesin tersebut di masa mendatang.

Perlu ditegaskan di sini bahwa angka-angka hasil perhitungan di atas berlaku untuk kain jenis *viscose spandex*. Untuk jenis kain lain masih perlu dilakukan kajian dengan cara yang sama.

Kesimpulan

Kajian secara makro tentang konservasi energi dan air terhadap proses-proses *dyeing*, *drying* dan *stentering* yang menggunakan mesin-mesin hemat energi dan air telah dilakukan dengan cara menerapkan kaidah neraca massa dan energi terhadap kain jenis *viscose spandex*.

Penghematan energi pada masing-masing proses *dyeing*, *drying* dan *stentering* adalah berturut-turut 27%, 58% dan 36%.

Penghematan konsumsi kukus spesifik berdasarkan pada perhitungan teoretik dicapai sebesar 32%, atau turun dari $3,2 \text{ kg}_{\text{kukus}} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$ menjadi $2,2 \text{ kg}_{\text{kukus}} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$.

Gratifikasi

Para penulis berterimakasih kepada PT Daliatex Kusuma dan Direktorat Jenderal Kerjasama Industri Internasional Kementerian Perindustrian Republik Indonesia yang telah memfasilitasi penelitian tentang konservasi energi dan air di pabrik tekstil.

Nomenklatur

Abjad Latin

c	panas jenis ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
E	energi (kJ)
G	laju alir massa ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)
h	entalpi spesifik ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
m	massa (kg)
m^*	massa spesifik ($\text{kg} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$)
Q	panas (kJ)
P	tekanan ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$)
T	temperatur ($^{\circ}\text{C}$, K)

Abjad Yunani

Δ	perubahan
γ	kandungan air ($\text{kg}_{\text{air}} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$)
λ	<i>liquor ratio</i> ($\text{lt}_{\text{air}} \cdot \text{kg}_{\text{kain}}^{-1}$)
ω	kelembaban ($\text{g}_{\text{air}} \cdot \text{kg}_{\text{ud kr}}^{-1}$)

Subskrip

air	air
fg	<i>fluid-gas</i>
k	keluar
kain	kain
kukus	kukus/uap air
m	masuk
ud	udara
ud.kr	udara

Referensi

Badan Pusat Statistik Indonesia (BPS) Produk Domestik Bruto per Triwulan atas Dasar Harga Berlaku Menurut Lapangan Usaha pada 2008-2011 (2011) <http://bps.go.id> [diakses pada 9 Agustus 2012]

Asosiasi Pertekstilan Indonesia (API) Permasalahan atas Sumber Energi yaitu Batubara Industri dan Produk Tekstil Indonesia (2007)