Evaluasi proses produksi industri gondorukem dari tinjauan aliran massa dan energi (Studi kasus PGT Sapuran)

Evaluation of the gum rosin industrial production process based on mass and energy balances (PGT Sapuran case study)

Annisa Primaningtyas^a, Ragil Widyorini^a

^aDepartemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada

*Email : annisa.p@ugm.ac.id

Diterima 27 Februari 2020, Direvisi 14 Mei 2020, Disetujui 26 Juni 2020

ABSTRAK

Gondorukem dan terpentin adalah hasil hutan non kayu hasil distilasi dari getah pinus (*Pinus merkusii*) dan digunakan sebagai bahan baku pada berbagai industri. Gondorukem dan terpentin termasuk salah satu industri andalan penyumbang devisa negara sehingga perkembangan teknologinya harus mempertimbangkan aspek lingkungan, efisiensi, dan konservasi energi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi aliran massa dan energi yang terdapat pada proses produksi gondorukem dan terpentin untuk selanjutnya dianalisis kesesuaiannya dalam penggunaan energi dan terbentuknya limbah agar menjadi lebih efisien. Penelitian dilakukan di Pabrik Gondorukem dan Terpentin (PGT) Sapuran, Wonosobo, Jawa Tengah milik Perum Perhutani. Data input dan output proses tiap unit produksi dianalisis menggunakan neraca massa dan neraca panas yang dihitung manual dengan data sifat fisika bahan kimia didapatkan dari referensi. Kasus diamati pada waktu musim penghujan dan musim kemarau serta meliputi dua kondisi, yaitu kondisi operasi menggunakan *Oleo Pine Resin* (OPR) dan tanpa OPR. Hasil menunjukkan bahwa energi yang terbuang pada unit pengendap dan unit penampung untuk kedua jenis proses masing-masing sekitar 6% dan 12% dari total energi yang digunakan di kedua unit tersebut. Limbah terbanyak berupa getah campuran yang terdiri dari getah pinus dan terpentin paling banyak dihasilkan di unit pengencer sebesar 18,72% untuk proses tanpa OPR dan 24,80% untuk proses dengan OPR. Berdasarkan hasil penelitian, beberapa perbaikan proses produksi perlu dilakukan oleh perusahaan agar limbah yang terbentuk minimal dan penggunaan energinya menjadi lebih efektif.

Kata Kunci: non-kayu; industri; neraca massa; neraca panas

ABSTRACT

Gum rosin and turpentine are non-timber forest products distilled from pine sap (Pinus merkusii) and uses as raw materials in various industries. The gum rosin and turpentine industry are one of the pillar contributors to the country's foreign exchange. Therefore, technology development for this industry must consider environmental aspects, efficiency, and energy conservation. The purpose of this study is to evaluate the mass and energy flow contained in the gum rosin and turpentine production processes for subsequent analysis of their suitability in energy use and waste generation to be more efficient. The research was conducted at Pabrik Gondorukem dan Terpentine (PGT) Sapuran, Wonosobo, Central Java owned by Perum Perhutani. Input and output process data of each unit of production were analyzed using a mass balance and heat balance that was calculated manually. The physical and chemical data properties were obtained from the references. The cases were observed during the rainy and dry season and included two conditions: operating conditions using Oleo Pine Resin (OPR) and without OPR. The results showed that the energy wasted in the settling unit and storage unit for

the two types of processes were around 6% and 12% of the total energy used in the two units. The mixed resin as a waste consisted of both pine resin and turpentine was produced in the dilution unit. The amounts of waste produced in the process without OPR and with OPR were 18.72 and 24.80%, respectively. The company should improve the production process to minimise waste and increase energy efficiency.

Keywords : *non-timber; industry; mass balance; energy balance*

I. PENDAHULUAN

Gondorukem (*Resina colophonium*) dan terpentin adalah hasil hutan non kayu yang merupakan produk dari pengolahan getah dari pohon pinus (*Pinus merkusii*). Gondorukem digunakan sebagai bahan baku penting pada berbagai industri, seperti industri batik, kulit, cat, kertas, vernis, kosmetik, dan sabun cuci sedangkan terpentin digunakan pada industri cat, vernis, semir sepatu, pelarut bahan organik, dan bahan pembuat kamper sintetik (Kharismawati dan Indrasti, 2016). Indonesia merupakan salah satu negara penghasil gondorukem terbesar di dunia setelah Tiongkok dan Brazil dengan kontribusi terhadap produksi gondorukem dunia mencapai 8% dengan jumlah produksi sebesar 70 ribu ton per tahun. Sekitar 10% dari jumlah produksi untuk memenuhi kebutuhan industri di dalam negeri dan 90% untuk kebutuhan ekspor antara lain ke India, Tiongkok, dan Jepang (Perhutani, 2018).

Kelompok industri non kayu memiliki kontribusi sebesar 45% dari total pendapatan Perum Perhutani tahun 2018 dengan total penjualan ekspor dan impor sebesar 67.162 ton yang diproduksi oleh 8 pabrik dengan kapasitas total 92.550 ton (Perhutani, 2018). Oleh karena itu, industri gondorukem dan terpentin saat ini menjadi salah satu industri produk non-kayu andalan yang sangat prospektif untuk terus dikembangkan. Namun, aspek konservasi energi dan lingkungan harus tetap menjadi prioritas yang dipertimbangkan dalam pengembangan teknologi.

Konsumsi energi merupakan suatu pokok hal yang menjadi pertimbangan sebuah industri dalam menjalankan proses produksi (Ghannadzadeh & Sadeqzadeh, 2016). Kajian terhadap teknologi yang sekarang dijalankan sangat penting dilakukan untuk peningkatan proses supaya menjadi

hemat energi dan mengoptimalkan produk. Adanya proses produksi yang hemat energi dengan produk yang optimal akan dapat mengurangi biaya produksi dan menambah keuntungan perusahaan. Kebutuhan energi untuk proses produksi gondorukem dan terpentin akan meningkat seiring dengan meningkatnya permintaan produk. Namun, suplai energi ke pabrik perlu diminimasi dengan pertimbangan biaya dan waktu yang dibutuhkan untuk membangkitkan energi. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, konsumsi energi yang didominasi dari sektor industri tiap tahun meningkat rata-rata sebesar 7,1%. Total energi yang digunakan pada 2030 oleh sektor industri sebesar 47,3% dengan peningkatan persentase konsumsi energi sebesar 6,2% per tahun (Bantacut & Novitasari, 2016).

Konsumsi energi dan terbentuknya limbah merupakan dua hal yang terjadi secara simultan dalam sebuah proses produksi. Kehilangan aliran massa dan energi akan berdampak langsung pada limbah yang ditimbulkan. Apabila input proses berupa massa atau energi meningkat, maka hal tersebut akan berpengaruh secara tidak langsung pada limbah yang dihasilkan (Hyman, Ozalp, Sabev, & Fan, 2019). Oleh karena itu, perlu adanya efisiensi proses agar massa dan energi yang dibutuhkan minimal tanpa menurunkan kualitas produk yang dihasilkan. Kualitas produk gondorukem harus dijaga agar tetap kompetitif di pasar ekspor dunia, bersaing dengan Tiongkok dan Brasil (Dananjaya & Sudaryanto, 2015). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi aliran massa dan energi yang terdapat pada proses produksi gondorukem dan terpentin untuk selanjutnya dianalisis kesesuaiannya dalam penggunaan energi dan terbentuknya limbah.

Beberapa penelitian mengenai evaluasi proses menggunakan neraca massa dan

neraca energi pernah dilakukan sebelumnya. Wiyatno, Amalia, & Haryanti (2017) menggunakan Hukum Termodinamika I untuk menganalisis efisiensi panas pada *tunnel kiln*. Efisiensi panas dihitung dari selisih antara panas masuk dengan panas keluar dibagi dengan panas masuk. Model input-output berupa massa digunakan Kramanandita, Bantacut, Romli, & Makmoem (2014) untuk meneliti dampak perubahan efisiensi di stasiun sterilisasi pabrik kelapa sawit. Pada bidang agroindustri, Bantacut dan Novitasari (2016) melakukan penilaian kecukupan energi dan air yang dibutuhkan pada industri gula putih juga berbasis aliran massa dan energi. Sebelumnya, Sepang (2008) melakukan kajian terhadap proses produksi gondorukem dan terpetin yaitu analisis industri dan pemilihan strategi untuk meningkatkan produksi gondorukem Perum Perhutani dengan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Dengan metode yang sama, Kharismawati & Indrasti (2016) meneliti tentang implementasi produksi bersih pada PGT (Pabrik Gondorukem dan Terpetin) Sindangwangi, Jawa Barat pada proses produksi dilanjutkan dengan penentuan prioritas produksi bersih. Namun, penelitian tentang evaluasi proses sistem produksi industri gondorukem berbasis aliran massa dan energi masih sangat terbatas. Kajian berupa studi kasus meliputi dua macam proses yakni tanpa dan dengan *recycle* OPR (*Oleo Pine Resin*) pada dua musim di PGT Sapuran, Wonosobo, Jawa Tengah milik Perum Perhutani yang memiliki kapasitas produksi 6.300 ton/tahun. Penelitian ini diharapkan dapat mendukung terwujudnya proses produksi gondorukem dan terpetin dengan input dan limbah yang minimal serta penggunaan energi yang efektif supaya dapat berlangsung dengan lebih efisien.

II. BAHAN DAN METODE

2.1 Pengambilan Data Lapangan

Langkah awal untuk melakukan evaluasi proses produksi di industri adalah menentukan batasan sistem yang dikaji. Observasi dilakukan di unit penerimaan getah sampai dengan unit pemasakan. Aliran massa dan energi diekspresikan dalam persamaan matematika sehingga dapat

menunjukkan hubungan arus massa dan energi pada tiap-tiap arus per bagian sistem yang ditinjau. Alur proses pada pabrik diilustrasikan dalam diagram alir proses per alat atau unit produksi untuk mendapat gambaran yang jelas mengenai aliran massa dan panas dari proses produksi. Pada penghitungan aliran panas, perlu identifikasi pula reaksi-reaksi kimia yang terjadi dalam sistem yang dapat menimbulkan panas berlebih sehingga menyebabkan resiko terjadinya *thermal runaway* (Leveneur, Vernieres-hassimi, & Salmi, 2016). Pada proses yang ditinjau, reaksi asam oksalat dengan pengotor diabaikan karena selain dalam persentase kecil juga tidak menimbulkan panas dalam sistem.

Terdapat dua macam proses produksi di pabrik yaitu proses tanpa *recycle* OPR dan dengan *recycle* OPR. Bahan OPR merupakan hasil dari unit pengolahan limbah berupa *blowdown* selama proses produksi. Pengamatan dilakukan pada dua musim yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Proses yang diamati mencakup unit penerimaan getah sampai dengan unit pemasakan. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 2 Januari 2019 untuk proses tanpa OPR yang menggunakan getah mutu I dengan jam kerja sebanyak 14,5 jam dan tanggal 29 April 2019 untuk proses dengan *recycle* OPR menggunakan getah mutu premium dengan jam kerja sebanyak 13,5 jam. Data yang didapatkan di lapangan adalah berupa kadar air dan kadar kotoran dari getah yang dimasak, data input dan *output* massa pada tiap unit-unit produksi yang didapatkan dari Berita Acara (BA) pabrik, kapasitas alat yang digunakan, serta kondisi operasi tiap-tiap unit proses yang telah diverifikasi oleh operator pabrik dan supervisor produksi. Data yang dikumpulkan selanjutnya dihitung aliran massa yang mencakup arus input, *output*, limbah, serta pemakaian energi pada masing-masing unit dengan menggunakan Ms. Excel.

2.2 Neraca Massa

Neraca massa adalah suatu perhitungan mengenai aliran semua bahan-bahan yang masuk, yang terakumulasi, dan yang keluar dalam jangka waktu tertentu

(Himmelblau & Riggs, 2012). Persamaan umum neraca massa pada proses yang

$$(\text{Energi masuk ke sistem}) + (\text{Energi yang timbul dalam sistem}) = (\text{Akumulasi energi dalam sistem}) + (\text{Energi keluar dari sistem}) + (\text{Energi yang dipakai dalam sistem}) \quad (2)$$

Gambar 1. Diagram Alir Proses Produksi Gondorukem dan Terpentin

sudah tunak (*steady state*) dituliskan pada persamaan (1).

$$\sum m_i \text{ input} = \sum m_i \text{ output} \quad (1)$$

dengan m_i adalah massa tiap komponen yang terlibat di tiap aliran proses.

2.3 Neraca Panas

Neraca panas/energi adalah suatu perhitungan yang menyatakan aktivitas panas atau aliran energi yang berlangsung dalam suatu sistem atau unit tiap satuan waktu operasi. Persamaan umum neraca energi dinyatakan pada Persamaan (2) dan Persamaan (3) (Smith, Van Ness, Abbott, & Swihart, 2017).

Energi diekspresikan sebagai kalor

$$(Q) = m_i \cdot \int_{T_{ref}}^T C_{p_i} \cdot dT \quad (3)$$

C_{p_i} adalah kapasitas panas berbagai komponen, T adalah suhu (K), dan T_{ref} adalah suhu referensi sebesar $25,15^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$ (Morris, Geiger, & Fine, 2011). Simplifikasi alur proses pada pabrik digambarkan dalam diagram alir proses pada Gambar 1.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses yang dianalisis meliputi unit penerimaan getah sampai dengan unit pemasak yang berlangsung pada musim yang berbeda, yakni musim penghujan dan musim kemarau. Data proses produksi saat musim penghujan yang dikaji adalah proses yang berlangsung pada tanggal 2 Januari 2019 yang menggunakan getah mutu I dengan jam kerja sebanyak 14,5 jam, sedangkan proses yang dianalisis ketika musim kemarau adalah proses pada tanggal 29 April 2019 menggunakan getah mutu premium dengan tambahan arus *recycle* berupa OPR dari unit pengolahan limbah dengan jam kerja sebanyak 13,5 jam. Perhitungan neraca massa dan panas dijabarkan tiap unit proses produksi.

3.1 Unit Penerimaan

Unit penerimaan getah bertugas menerima getah dalam bentuk drum dari Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH). Getah ditimbang terlebih dahulu kemudian ditampung dalam bak getah berkapasitas 106 ton sebelum diproses. Mutu getah pinus ditentukan dengan cara pengujian di laboratorium dan secara visual sebagai dasar proses selanjutnya (Kharismawati, 2015). Pada unit ini, input berupa getah pinus yang berbentuk kristal-kristal padatan (*solid*) masuk ke dalam proses dengan kapasitas

2.500 kg per batch. Selama 1 hari, terdapat 13 batch untuk pemrosesan pada tanggal 2 Januari 2019, selanjutnya disebut sebagai Proses A dan 12 batch pada tanggal 29 April

Gambar 2. Perhitungan Aliran Massa dan Energi Unit Penerimaan Getah Proses A

Gambar 3. Perhitungan Aliran Massa dan Energi Unit Penerimaan Getah Proses B

2019 adalah Proses B. Getah padat yang diproses mengandung air, kotoran halus, dan serasah. Input getah difiltrasi dan dihembus *steam* agar getah seluruhnya berubah fase dari padat menjadi cair (*liquid*). Suhu input dan *ouput* getah diasumsikan homogen sebesar 30 dan 40°C bertekanan atmosferis. Basis yang digunakan adalah aliran massa dengan satuan kg per jam (kg/jam) dalam 1 hari dengan menganggap proses dalam keadaan *steady state*.

Pada penghitungan neraca panas, tiap-tiap komponen arus dihitung kalor atau panasnya berdasarkan suhu aliran tersebut dan suhu referensi yang biasa digunakan adalah 25,15°C = 298,15K. Penghitungan nilai kalor getah didekati dengan nilai kalor senyawa asam abietat (C₂₀H₃₀O₂), kotoran halus sebagai pasir (SiO₂). Nilai kapasitas panas untuk senyawa-senyawa tersebut dalam fase padat dan cair mengacu pada Yaws (1999) dengan basis kalor per jam dan satuan kilojoule (kJ). Panas masuk ke unit penerimaan getah adalah berupa *steam* dengan suhu 158°C dan suhu getah keluar unit dianggap homogen sebesar 40°C, karena tidak terdapat alat *flowmeter steam* di pabrik,

kalor masuk pada arus 2 didekati dengan hasil selisih antara kalor total arus 3 dengan kalor di arus 1. Hasil perhitungan aliran massa dan panas untuk kedua proses disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Kadar air di dalam getah di musim penghujan (proses A) relatif lebih tinggi dari getah musim kemarau (proses B). Hasil perhitungan yang diperoleh menyatakan bahwa, kalor yang digunakan pada proses A sebesar 44.842,36 kJ/jam lebih besar dari proses B yakni sebesar 43.561 kJ/jam. Kadar air, serasah, dan kotoran dalam getah mutu I untuk proses A total sebesar 16,50% sedangkan getah premium pada proses B sebesar 15,38% terhadap getah yang dimasak. Jumlah air, serasah, dan kotoran dalam getah dipengaruhi oleh musim, di mana saat musim penghujan getah pinus memiliki kadar pengotor dan air yang lebih tinggi (Kharismawati, 2015). Hal tersebut sesuai dengan Suranto (2018) yang menyatakan bahwa perbedaan musim mempengaruhi mutu getah. Kadar pengotor dalam getah merupakan salah satu faktor utama penentu kualitas gondorukem dan juga

berpengaruh pada energi serta beban pemanas di proses selanjutnya.

Kharismawati (2015) menyatakan bahwa permasalahan pada tahap ini di PGT Sindangwangi adalah tidak adanya talang ukur untuk mengetahui secara akurat jumlah getah yang diproses masuk di unit pengencer. Hal yang sama juga ditemukan di PGT Sapuran sehingga perlu adanya perbaikan dari pihak perusahaan agar mendapat hasil yang akurat dan kontrol dapat dilakukan dengan baik.

3.2 Unit Pengencer

Unit pengencer bertujuan mempermudah pemisahan penyaringan dan kotoran dari larutan getah. Unit ini terdiri dari sebuah tangki berkapasitas 4.800 kg dan dioperasikan pada suhu 92°C dengan sumber pemanas berupa *steam* yang terdiri dari *closed steam* dan *open steam* masing-masing bertekanan 7 dan 5 kg/cm². *Closed steam* adalah berupa uap yang dilewatkan dalam *helical coil* sedangkan *open steam* berupa gelembung uap karena terjadi pergolakan larutan getah dalam tangki.

Perhitungan kalor *steam*, membutuhkan data kecepatan alir *steam* dari *boiler*. Kecepatan alir diestimasi dengan rasio antara tekanan dan kecepatan alir perancangan yang tercantum pada Akta Izin (AI) *boiler* dengan data tekanan aktual serta *trial and error*. Berdasarkan observasi di lapangan, pada unit pengencer terdapat uap panas yang terbuang ke udara karena proses pembersihan tangki dan sebagian proses pengenceran getah dilakukan dengan tangki terbuka.

Aliran masuk di unit ini berupa aliran massa dari unit penerimaan getah ditambah beberapa bahan penolong yaitu terpentin, asam oksalat (C₂H₂O₄), air. Pada poses B, terdapat OPR (*oleo pine resin*) yang merupakan hasil pengolahan unit pengelolaan limbah. Asam oksalat (H₂C₂O₄) ditambahkan untuk pencucian getah (Kharismawati, 2015) sedangkan penambahan terpentin dan OPR berfungsi menambah rendemen produk. Arus input meliputi 3, arus *open* dan *closed steam* (4 dan 5), serta arus 6. Arus 7 yang merupakan *blowdown* yang mengalir ke unit pengolahan limbah dan arus 8 yang

diteruskan ke unit pengendap merupakan arus *output*. Aliran massa di arus 7 dihitung menggunakan Persamaan (1) dan data yang berdasarkan berita acara (BA) pabrik.

Pada tangki pengencer terjadi proses pencucian sekaligus pengendapan. Pencucian dengan asam oksalat dan penambahan terpentin berfungsi menambah rendemen. Pengadukan dilakukan oleh *steam* yang membuat pergolakan larutan kemudian larutan getah diendapkan selama 10 menit, selanjutnya proses *blowdown* dilakukan untuk membuang kotoran yang mengendap.

Di PGT Sapuran, belum terdapat alat pengukur kecepatan alir pada arus *blowdown* sehingga perlu pendekatan dalam mendefinisikan volume alirannya untuk penghitungan neraca massa. Oleh karena itu, pemasangan *flowmeter* disarankan untuk kelancaran dalam mengevaluasi proses produksi di masa mendatang. Penghitungan kecepatan alir *blowdown* menggunakan persamaan umum Bernoulli yang sudah disederhanakan (Persamaan 3) (McCabe, Smith, & Harriot, 1993).

$$p_a + \frac{1}{2} \rho v_a^2 + \rho g h_a = p_b + \frac{1}{2} \rho v_b^2 + \rho g h_b \quad (3)$$

Pada penelitian ini, diestimasi serasah dan asam oksalat terbuang sempurna dan sebanyak 25% kotoran halus juga terikut di arus *blowdown*. Hasil perhitungan diilustrasikan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Persamaan (3) disederhanakan menjadi Persamaan (4) (McCabe et al., 1993) menggunakan asumsi yang telah disesuaikan dengan kondisi *lay out* pabrik.

$$v_7 = \sqrt{2 g h} \quad (4)$$

Berdasarkan persamaan (4), maka aliran *blowdown* air di arus 7 dapat dihitung dengan Persamaan (5) (McCabe et al., 1993).

$$m_{H_2O,7} = A_7 \cdot v_7 = \pi \times r_7^2 \times \sqrt{2 g h} \rho \quad (5)$$

Gambar 4. Perhitungan Aliran Massa dan Panas Unit Pengenceran Proses A

Gambar 5. Perhitungan Aliran Massa dan Panas Unit Pengenceran Proses B

Hasil perhitungan menunjukkan, terdapat getah yang terbuang pada unit pengencer sebanyak 731,43 kg/jam untuk proses tanpa OPR (Proses A) dan 960,61 kg/jam untuk proses dengan OPR (Proses B). Getah tersebut dialirkan ke unit pengolahan limbah dan dilakukan pemrosesan lebih lanjut untuk menghasilkan OPR yang akan digunakan sebagai umpan *recycle* pada proses produksi selanjutnya. Langkah yang dijalankan Perum Perhutani dalam penanganan limbah ini sudah tepat tetapi perlu evaluasi lebih lanjut mengenai efektivitas unit pengolahan limbah karena jumlah getah yang terbuang masih cukup besar.

Selama pengendapan terjadi 3 lapisan, yaitu lapisan bawah berupa air, lapisan tengah berupa kotoran, dan lapisan paling atas adalah lapisan getah. Keterbatasan kapasitas tangki menyebabkan tahap ini kurang optimal karena tangki hanya dapat menampung getah dari satu kali proses (Kharismawati, 2015). Oleh karena itu perbaikan yang dapat diusulkan adalah modifikasi alat dengan penambahan berupa unit pencucian tersendiri. Hal ini diharapkan dapat mengurangi bahan yang terbuang sehingga memaksimalkan penggunaan sumber daya yang terdapat pada pabrik.

Gambar 6. Perhitungan Aliran Massa dan Panas Unit Pengendap Proses B

3.3 Unit Pengendap

Unit pengendap bekerja menggunakan prinsip sedimentasi yang merupakan proses pengendapan padatan dalam cair dengan gaya gravitasi. Proses pengendapan yang ada di unit pengendap termasuk proses *hindered settling* sehingga berlangsung cukup lama yakni 2 jam. *Hindered settling* merupakan peristiwa di mana partikel padatan saling berdesakan sehingga partikel akan mengendap dengan kecepatan rendah sehingga memerlukan waktu pengendapan yang cukup lama untuk memperoleh hasil sedimentasi yang maksimal (Roessiana, Setiyadi, & Sandy, 2014).

Unit ini dioperasikan pada suhu $87 - 92^\circ\text{C}$ yang terdiri dari empat tangki dengan aliran masuk berupa getah yang sudah tercampur air dan terpentin serta kotoran halus pada suhu 92°C . Terdapat empat buah tangki pengendap dengan kapasitas 4800 kg dan 5400 kg masing-masing dua buah tangki. Getah yang terbuang di arus *blowdown* (arus 9) sangat sedikit dan komposisi seluruhnya diasumsikan sebagai air. Pada unit pengendap, terdapat input berupa air pencuci (arus 8a) yang dilewatkan melalui pipa dengan *nozzle* yang dipasang di dalam tangki pengendap tetapi tidak tercatat dalam BA pabrik. Pada unit ini, air yang mengalir pada arus *blowdown* dihitung sebagai debit dengan *flowrate* yang didekati dengan Persamaan (4) sehingga massa H_2O yang mengalir pada arus 10 dapat dihitung menggunakan data *output* arus ini dengan mengacu pada BA pabrik. Suhu *output* unit pengendap mengalami penurunan sebanyak 5°C menjadi

87°C . Hal ini mengakibatkan kehilangan kalor dalam jumlah yang cukup besar yaitu masing-masing sebesar $34.529,77 \text{ kJ/jam}$ untuk proses A dan $31.318,96 \text{ kJ/jam}$ untuk proses B.

Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan, empat buah tangki pengendap yang berada di PGT Sapuran seringkali terbuka. Hal tersebut merupakan salah satu penyebab turunnya suhu getah di unit pengendap sehingga kalor yang hilang cukup besar. Kalor yang terbuang dengan nilai cukup besar di unit ini menjadi catatan penting bagi perusahaan untuk lebih dapat meminimalisasi kehilangan energi. Penurunan suhu dapat menambah beban pemanas di unit pemasak. Hal tersebut berdampak pada waktu pemasakan yang lebih lama dan biaya pembangkit energi semakin besar. Apabila waktu pemasakan gondorukem lebih lama maka akan mengakibatkan warna produk menjadi lebih gelap sehingga mengakibatkan turunnya kualitas produk. Upaya untuk menjaga agar suhu operasi tetap atau penurunan suhu getah tidak terlalu besar dapat dilakukan antara lain dengan menambah isolasi pada tangki pengendap. Hal lain yang bisa menjaga agar suhu konstan adalah mengalirkan uap yang terbentuk ke unit pemasak dan memasang pengaman (*safety device*) berupa *pressure relief valve* sehingga tangki harus tetap tertutup rapat.

Perbaikan lain yang dapat diusulkan adalah kemungkinan pengaplikasian *heat integration* dan perlunya kajian lebih lanjut tentang hal ini. *Heat integration* merupakan

Gambar 7. Perhitungan Aliran Massa dan Panas Unit Penampung Proses A

Gambar 8. Perhitungan Aliran Massa dan Panas Unit Penampung Proses B

pengaturan jaringan panas antara arus yang harus didinginkan dengan arus yang dipanaskan antar alat (Smith, 2005). Penerapan *heat integration* diharapkan agar uap panas yang terbuang ke udara dapat dialirkan ke alat lain yang membutuhkan panas seperti unit pengencer atau unit pemasak sehingga dapat menghemat energi pemanasan dan juga mengurangi emisi uap ke udara.

3.4 Unit Penampung

Unit penampung terdiri dari 2 buah tangki dengan kapasitas sama yaitu 2.200 kg. Suhu operasi pada unit penampung adalah $80 - 87^{\circ}\text{C}$ dengan tekanan atmosferis. Perhitungan aliran massa dan panas unit penampung disajikan pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Pada unit penampung, terdapat penurunan suhu getah sebesar 5°C menjadi 80°C sehingga terjadi kehilangan kalor dalam jumlah yang cukup besar yaitu masing-masing sebesar 55.804,64 dan 54.140,77

kJ/jam masing-masing untuk proses A dan B. Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa kondisi unit penampung sama dengan unit pengendap yaitu tangki seringkali terbuka. Hal ini menyebabkan penurunan suhu getah yang cukup besar sehingga energi yang terbuang ke udara cukup besar, sehingga memerlukan perhatian khusus dari perusahaan untuk lebih dapat meminimalisasi kehilangan energi. Penerapan *heat integration* dapat menjadi salah satu solusi untuk hal ini. Dengan adanya *heat integration*, kehilangan panas ke udara dapat diminimalkan dengan pengaturan integrasi sistem aliran panas dan dingin dalam pabrik. Uap panas dari larutan getah dapat dialirkan ke alat yang membutuhkan panas seperti unit pengencer atau unit pemasak.

Langkah untuk menjaga agar suhu operasi tetap atau penurunan suhu getah tidak terlalu besar dapat dilakukan antara lain dengan menambah isolasi pada tangki pengendap. Selain itu tangki pengendap perlu dijaga agar tetap tertutup rapat dan

Gambar 9. Perhitungan Aliran Massa dan Panas Unit Pemasak Proses A

Gambar 10. Perhitungan Aliran Massa dan Panas Unit Pemasak Proses B

memasang *safety device* berupa *pressure relief valve* untuk mencegah terjadinya *overpressure* yaitu tekanan operasi lebih besar dari *set pressure* yang dapat berujung pada terjadinya kecelakaan (Crowl & Louvar, 2011).

3.5 Unit Pemasak

Tangki pemasak larutan getah di PGT Sapuran berkapasitas 4.100 kg. Pada unit ini, larutan getah dimasak menjadi produk gondorukem dan terpentin bekerja dengan prinsip destilasi uap yakni pemisahan senyawa berdasarkan perbedaan titik didih (Kharismawati, 2015). Hasil bawah berupa gondorukem dan hasil atas berupa terpentin dengan titik didih lebih rendah.

Aliran input yaitu berupa larutan getah di arus 12 dan aliran output yakni arus 14 dan 15 yang merupakan produk terpentin dan gondorukem. Blok diagram unit pemasak diilustrasikan pada Gambar 9. Pada unit ini, terdapat aliran masuk berupa *steam* yang mengembun bersama dengan suspensi getah yang dihitung sebagai selisih antara output yang berupa produk gondorukem dan terpentin dengan aliran massa input di arus 12.

Pada unit pemasak, suhu input getah adalah 80°C dengan suhu operasi adalah 150°C . Pemanas berupa *closed steam* untuk menaikkan suhu getah dan *open steam* sebagai penggolak atau pengaduk. Produk berupa gondorukem dialirkan dan langsung dikemas dalam kaleng sedangkan produk terpentin melalui proses pemisahan terlebih dahulu sebelum disimpan dalam tangki. Tekanan pada bagian atas ketel dioperasikan vakum sebesar 40 cmHg agar produk terpentin dapat dialirkan keluar menuju tangki penyimpanan terpentin.

Closed steam dalam tangki pemasak merupakan *steam* yang dilewatkan dalam *helical coil* yang performanya dipantau secara berkala. Apabila tekanan dan suhu yang dihasilkan lebih rendah dari kondisi operasi maka hal tersebut mengindikasikan terjadinya *fouling* yang menurunkan kinerja unit ini. *Fouling* disebabkan oleh adanya kerak (*scaling*) pada dinding *coil* (Coniwanti, Zamali, & Rance, 2019). Pada *helical coil*, *pressure drop* yang terjadi lebih besar dari *straight coil* sehingga tekanan steam dari boiler yang dibutuhkan juga besar. *Closed steam* bertekanan 7 kg/cm^2 lebih tinggi dari tekanan *steam* di pabrik gondorukem lain milik Perum Perhutani yaitu PGT

Sindangwangi sebesar $5\text{--}6 \text{ kg/cm}^2$ dengan suhu operasi sebesar $160 - 165^\circ\text{C}$ (Kharismawati, 2015). *Open steam* di unit ini berupa *bubble steam* yang kontak langsung dengan larutan getah dengan tekanan 5 kg/cm^2 .

Berdasarkan perhitungan, rendemen total produk yang diperoleh terhadap umpan getah yang dimasak untuk proses A dan B adalah $83,50\%$ dan $84,62\%$ dengan rincian jumlah produk gondorukem masing-masing sebesar $1473,10$ dan $1564,44 \text{ kg/jam}$ dan produk terpendin sebesar $882,82$ dan $921,77 \text{ kg/jam}$. Penambahan OPR (pada proses B) terbukti dapat meningkatkan rendemen. Namun, rendemen yang diperoleh tersebut belum memenuhi target rendemen produksi yang ditetapkan oleh perusahaan saat itu yaitu sebesar 88% . Upaya untuk meningkatkan rendemen yang dapat dilakukan antara lain adalah memaksimalkan penggunaan energi dan minimalisasi limbah melalui perbaikan dan instalasi alat penunjang proses produksi.

3.6 Aliran Massa dan Panas Seluruh Proses

Neraca massa keseluruhan proses perlu ditinjau untuk mengetahui kesesuaian perhitungan yang dilakukan dengan persamaan neraca massa. Aliran masuk proses meliputi arus 1, 6, 8a, dan 13 serta

aliran keluar proses terdiri dari arus 7, 9, 11, 14, dan 15. Aliran input dan output seluruh proses digambarkan sebagai diagram alir pada Gambar 11 dan Gambar 12.

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan rendemen produk gondorukem dan terpendin terhadap massa total yang terlibat dalam proses produksi untuk proses A dan B sebesar $56,46\%$ dan $59,25\%$. Hal ini dikarenakan proses B menggunakan *recycle* OPR dari unit pengolahan limbah sebagai bahan penolong, sehingga memiliki rendemen yang lebih tinggi $2,79\%$ dari proses A tanpa OPR.

Konsumsi energi total yang terdapat pada unit penerimaan getah (arus 2), unit pengenceran (arus 4 dan 5), dan unit pemasakan (arus 13) dengan total sebesar $970.788,20$ untuk proses A yang tanpa *recycle* OPR dan $946.792,78 \text{ kJ/jam}$ untuk proses B dengan *recycle* OPR. Persentase energi total yang hilang ke lingkungan pada proses produksi gondorukem terdapat pada unit pengendap (arus 10) dan unit penampung (arus 11) untuk proses A sebesar $9,30\%$ dan proses B sebesar $9,02\%$. Jumlah energi hilang yang cukup besar ini perlu dipertimbangkan oleh perusahaan agar melakukan perbaikan untuk memaksimalkan penggunaan energi sehingga dapat meningkatkan efisiensi produksi.

Gambar 11. Aliran Massa Overall Proses A dalam kg/jam

Gambar 12. Aliran Massa Overall Proses B dalam kg/jam

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan tinjauan aliran energi pada kasus yang ditinjau, kehilangan energi pada keseluruhan proses produksi untuk kedua proses adalah 9,30% untuk proses A tanpa *recycle* OPR dan 9,02% untuk proses B dengan *recycle* OPR. Kehilangan energi tersebut terdapat pada unit pengendap dan penampung. Berdasarkan tinjauan aliran massa, rendemen produk terhadap jumlah bahan baku getah yang didapatkan proses B yaitu sebesar 84,62% lebih tinggi dari rendemen proses A sebesar 83,50% karena proses B menggunakan OPR sebagai bahan penolong. Limbah berupa larutan getah paling banyak dihasilkan pada unit pengencer sebesar 18,72% dan 24,80% dari total massa yang terdapat pada unit tersebut untuk proses tanpa OPR (Proses A) dan proses dengan OPR (proses B). Langkah perusahaan dalam mengolah limbah menjadi OPR sudah tepat karena hasil OPR dapat digunakan sebagai tambahan bahan penolong untuk menaikkan rendemen produk. Namun, rendemen yang diperoleh tersebut belum memenuhi target rendemen produksi yang ditetapkan oleh perusahaan yaitu sebesar 88% sehingga perlu adanya upaya peningkatan rendemen. Oleh karena itu, upaya perbaikan dapat dilakukan agar

proses produksi dapat berlangsung dengan lebih efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Hibah Penelitian Dosen Junior tahun 2019 dan Perum Perhutani Divisi Regional Jawa Tengah atas terselenggaranya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bantacut, T., & Novitasari, D. (2016). Energy and water self-sufficiency assessment of the white sugar production process in Indonesia using a complex mass balance model. *Journal of Cleaner Production*, 126, 478–492.
- Coniwanti, P., Zamali, F., & Rance, V. L. (2019). Evaluasi efisiensi heat exchanger di *refinery plant* industri minyak goreng. *Jurnal Teknik Kimia* No. 1, Vol 25, Maret 2019, 18–20.
- Crowl, D. A., & Louvar, J. F. (2011). *Chemical process safety: Fundamentals with application*, 3rd ed. New Jersey, USA: Prentice Hall.

- Dananjaya, R. H., & Sudaryanto, B. (2015). Analisis Pengaruh Faktor - Faktor *Total Quality Management* (TQM) Terhadap Kinerja Bisnis Perusahaan (Studi Pada Empat Pabrik Gondorukem Terpentin Perhutani Unit 1 Jawa Tengah), *Diponegoro Journal of Management*, 4, 1–13.
- Ghannadzadeh, A., & Sadeqzadeh, M. (2016). Energy analysis as a scoping tool for cleaner production of chemicals: a case study of an ethylene production process. *Journal of Cleaner Production*, 129, 508–520.
- Himmelblau, D. M., & Riggs, J. B. (2012). *Basic principles and calculations in chemical engineering*. Singapore: Pearson South Asia Pte Ltd.
- Hyman, B., Ozalp, N., Sabev, P., & Fan, Y. Van. (2019). Modeling energy flows in industry: General methodology to develop process step models, *Energy Conversion and Management*, 181, 528–543.
- Kharismawati, D. (2015). *Strategi implementasi produksi bersih pada agroindustri gondorukem* [tesis]. Bogor, Indonesia: Institut Pertanian Bogor.
- Kharismawati, D., & Indrasti, N. S. (2016). Strategi Implementasi Produksi Bersih untuk Meningkatkan Kinerja Industri Gondorukem, *Jurnal Aplikasi Manajemen*, 14 (4), 705–713.
- Kramanandita, R., Bantacut, T., Romli, M., & Makmoen, M. (2014). Dampak Perubahan Efisiensi Di Stasiun Sterilisasi Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Model *Input - Output Leontief* *Impact of Efficiency Changes At Palm Oil Mill Sterilization Station Using Leontiefinput-Output Model*. *Journal of Industrial Research*, 8 (2), 129–134.
- Leveneur, S., Vernieres-hassimi, L., & Salmi, T. (2016). Mass & energy balances coupling in chemical reactors for a better understanding of thermal. *Education for Chemical Engineers*, 16, 17–28.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriot, P. (1993). *Unit Operations of Chemical Engineering*, 5th ed. London, England: McGraw-Hill.
- Morris, A. E., Geiger, G., & Fine, H. A. (2011). *Handbook on material and energy balance calculations in material processing* 3rd ed. New Jersey, USA: John Wiley & Sons.
- Perum Perhutani. (2018). Laporan Tahunan Perum Perhutani Tahun 2018 diunduh dari <https://perhutani.co.id/laporan/>
- Roessiana, D. L., Setiyadi, Sandy, B. H. (2014). Model persamaan faktor koreksi pada proses sedimentasi dalam keadaan *free settling*, *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 6 (2), 98–106.
- Sepang, M. T. A. (2008). *Analisa industri dan pemilihan strategi untuk meningkatkan produksi gondorukem Perum Perhutani* [tesis]. Bogor, Indonesia: Institut Pertanian Bogor.
- Smith, R. (2005). *Chemical Process Design and Integration*. Chichester, England: Wiley.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M., Swihart, M. T. (2017). *Introduction to chemical engineering thermodynamics*. 8th International Edition. New York, USA: McGraw-Hill Education.
- Suranto, Y. (2018). Karakter Dan Kualitas Gondorukem Kuna Hasil Penemuan Di Pemukiman Pecinan Kutoarjo Kabupaten Purworejo. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya*, 12(2), 47–60.
- Wiyatno T. N., Amalia, P. R., & Haryanti, D. (2017). Analisis efisiensi panas tunnel kiln pada PT. XYZ dengan neraca massa dan neraca panas, *Jurnal Konversi*, 6(2), 65-73.

Yaws, C. L.(1999). *Chemical Properties Handbook Physical, Thermodynamics, Environmental Transport, Safety & Health Related Properties for Organic & Inorganic Chemical*. New York, USA: McGraw-Hill.