

KAJIAN IMPLEMENTASI PELUANG PRODUKSI BERSIH PADA INDUSTRI KERTAS SACK KRAFT PT X

IMPLEMENTATION STUDY OF CLEANER PRODUCTION OPPORTUNITIES IN SACK KRAFT PAPER INDUSTRY PT X

Andes Ismayana, Tyara Puspaningrum, Mia Ulumiati Putri, Nastiti Siswi Indrasti*

¹⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University,
Jl. Raya Dramaga, Babakan Dramaga, Bogor 16680, Indonesia
Email : nastiti.indrasti@gmail.com

Makalah: Diterima 24 Desember 2021; Diperbaiki 10 April 2022; Disetujui 20 April 2022

ABSTRACT

Waste minimisation in paper industry activities can be done by applying cleaner production methods. The objective of this research was to study of opportunity of cleaner production implementation in sack kraft industry. These stages of research were identification of process stages, identification of problems, identification of cleaner production opportunities, feasibility analysis of technical, environmental and financial aspects, and election priority cleaner production opportunities with Exponential Comparison Method (ECM). The processes of the sack kraft production included stock preparation, sheet formation, pressing section, drying section, scrolling and cutting. These Sack Kraft Industry used 110 tonnes of cardboard afval and produced 90.742 tonnes of sack kraft, 3.65 tonnes failed paper, 2.443 tonnes scattered paper, 4.915 tonnes defected paper and 8.25 tonnes solid waste in the form of plastic and metal. The problems often had been occurred were downtime machine, broken machine, solid waste production, failed paper, scattered paper, and defected paper. Recommendation of cleaner production opportunities were making pellets from solid waste as fuel substitution (PBP 0.1 years and B/C 8.31), application of Standard Operating Procedure (SOP) for machine maintenance (PBP 3.9 years and B/C 1.3), Good manufacturing practice training (PBP 0.63 years and B/C 2.58). The priority order of cleaner production using ECM was application of SOP for machine maintenance, GMP training, and making pellets as fuel substitution.

Keywords: cleaner production, sack kraft, paper industry, exponential comparison method

ABSTRAK

Minimisasi limbah pada kegiatan industri kertas dapat dilakukan dengan menerapkan metode produksi bersih. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji peluang implementasi produksi bersih pada industri *sack kraft*. Penelitian dilakukan dengan tahapan identifikasi tahapan proses, identifikasi permasalahan, identifikasi peluang produksi bersih, analisis kelayakan teknis, lingkungan dan finansial. Prioritas penerapan produksi bersih dilakukan dengan Metode Perbandingan Eksponensial (MPE). Industri *sack kraft* yang dikaji menggunakan 110 ton afval kardus per hari dan rata-rata menghasilkan 90,742 ton *sack kraft*, dan menghasilkan buangan 3,65 ton kertas gagal, 2,443 ton sisiran, 4,915 ton kertas cacat, dan 8,25 ton limbah padat berupa limbah plastik dan logam. Permasalahan yang sering terjadi adalah jam henti mesin, kerusakan mesin, limbah padat yang belum dimanfaatkan, kertas gagal, sisiran kertas, dan kertas cacat. Peluang produksi bersih yang direkomendasikan adalah pembuatan pelet plastik dari limbah padat sebagai substitusi bahan bakar dengan *payback period* (PBP) 0,1 tahun dan benefit cost ratio (B/C) 8,31, penerapan Standar Operasional Prosedur (SOP) perawatan mesin (PBP 3,9 tahun dan B/C 1,3), dan pelatihan *Good Manufacturing Practice* (GMP) (PBP 0,63 tahun dan B/C 2,58). Urutan penilaian prioritas peluang produksi bersih menggunakan MPE adalah penerapan SOP perawatan mesin, pelatihan GMP, dan pembuatan pelet sebagai substitusi bahan bakar.

Kata kunci: produksi bersih, *sack kraft*, industri kertas, metode perbandingan eksponensial (MPE)

PENDAHULUAN

Industri *pulp* dan kertas semakin berkembang seiring peningkatan konsumsi global dan permintaan yang tinggi pada beragam produk kertas (Zhang *et al.*, 2020). *Pulp* adalah bubur kertas yang digunakan untuk pembuatan kertas yang dibuat dari bahan baku yang mengandung selulosa yang berasal dari tumbuhan kayu atau dari tumbuhan non kayu. *Pulp* merupakan bahan berupa serat berwarna kecoklatan yang diperoleh melalui proses penyisihan lignin dari

biomassa (Bahri, 2015). Permasalahan lingkungan industri *pulp* dan kertas terjadi pada ketersediaan bahan baku dan limbah yang dihasilkan selama proses produksi. Permintaan kertas yang tinggi menyebabkan peningkatan eksploitasi hutan (Indrawan *et al.*, 2015). Kebutuhan kertas pada saat ini mencapai 394 juta ton per tahun dan diperkirakan meningkat mencapai 490 juta ton per tahun pada periode berikutnya, sedangkan realisasi produksi *pulp* dan kertas adalah 4,55 juta ton dan 7,98 juta ton (Rosmainar, 2017). Oleh karena itu, penggunaan

*Penulis Korespondensi

bahan baku alternatif diperlukan untuk memenuhi kekurangan bahan baku pada industri kertas dan mengantisipasi kerusakan hutan alam (Zhang *et al.*, 2020). Isu pelestarian lingkungan mendorong industri kertas untuk mencari alternatif bahan baku, seperti penggunaan kertas bekas atau sumber serat lainnya yang dapat menggantikan penggunaan kayu (Masriani dan Nurachman, 2012). Alternatif bahan baku terbarukan yang mampu menggantikan peran kayu dalam pembuatan kertas sangat diperlukan sehingga dapat meminimalkan penebangan hutan dan membantu mengurangi efek pemanasan global (Kurniawan *et al.*, 2017).

Proses produksi industri *pulp* dan kertas mencakup proses *pulping* dan proses *bleaching*. Proses *pulping* menghasilkan limbah lignin dan senyawa lainnya yang memiliki kontribusi terhadap pencemaran lingkungan. Penggunaan klorin sebagai pemutih merupakan titik berat permasalahan dalam industri pulp dan kertas karena menghasilkan limbah berbahaya berupa senyawa kloro organik, seperti dioksin yang merupakan bahan beracun dan berbahaya terhadap lingkungan (Fitriyanti, 2018). Proses *bleaching* juga menghasilkan senyawa *absorbable organic halides* (AOX) yang bersifat persisten secara biologis dan sangat beracun bagi lingkungan (Kaur *et al.*, 2018).

Industri kertas *sack kraft* yang dikaji telah menerapkan upaya pengurangan dampak lingkungan. Hal tersebut dilakukan dengan cara modifikasi bahan baku dengan menggunakan afval kardus untuk substitusi bahan baku, *recovery fiber* dan *white water* pada unit Krofta, penggunaan kembali kertas gagal, sisiran kertas dan kertas cacat di dalam Industri (*on site recycling*), serta penerapan *good housekeeping* pada tahap pemotongan. Walaupun telah menerapkan usaha pengurangan dampak lingkungan, proses produksinya industri ini masih menghasilkan limbah padat berupa plastik dan kawat logam. Industri *sack kraft* tersebut juga masih sering mengalami *loss* akibat kerusakan mesin dan peralatan atau ketidaksesuaian dalam pelaksanaan operasi dan produksi. Industri kertas ini juga mengkonsumsi energi yang cukup besar dalam proses produksinya sehingga penggunaan energi perlu dievaluasi agar lebih efisien (Johansson *et al.*, 2021). Oleh karena itu, strategi pengelolaan lingkungan yang dapat mengurangi dampak lingkungan dari produksi *sack kraft* diperlukan sehingga dapat meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan efektivitas secara maksimum.

Salah satu pendekatan penyelesaian permasalahan lingkungan industri *sack kraft* adalah penerapan metode produksi bersih. *United Nation Environment Programme* (UNEP) mendefinisikan produksi bersih sebagai strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif dan terpadu yang diterapkan secara kontinu pada proses produksi produk dan jasa. Produksi bersih bertujuan

meningkatkan produktivitas, efektivitas, dan efisiensi melalui penggunaan bahan baku, air, dan energi yang sejalan dengan pengurangan sumber limbah. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara eliminasi, mengurangi sumber limbah, daur ulang, pengolahan limbah, remediasi, dan pembuangan limbah (Indrasti dan Fauzi, 2009). Produksi bersih adalah strategi untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan secara bersamaan mengurangi konsumsi input sumber daya sekaligus memaksimalkan output (International Labour Organization, 2013).

Fokus penerapan produksi bersih ditujukan juga untuk mencegah proses inefisiensi dan penggunaan sumber daya yang tidak diperlukan. Penerapan produksi bersih juga penting dilakukan untuk meningkatkan keberlanjutan rantai nilai industri kertas (Susilawati dan Kanowski, 2020). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji peluang implementasi produksi bersih pada industri *sack kraft* melalui identifikasi proses produksi dan permasalahannya terkait pembentukan limbah dan *loss* pada proses produksi, identifikasi peluang dan analisis kelayakan kegiatan produksi bersih, dan penentuan prioritas implementasi kegiatan produksi bersih yang direkomendasikan.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian dan Sumber Data

Penelitian ini dilaksanakan di Industri *Sack Kraft*, Provinsi Jawa Tengah. Adapun data yang digunakan pada penelitian terdiri dari primer dan sekunder. Data primer berupa diagram alir proses pembuatan kertas, neraca massa, analisa kuantitatif (finansial), kebutuhan energi, dan penentuan alternatif produksi bersih. Data primer diperoleh dari pelaku yang terlibat dalam lini produksi dengan cara melakukan pengamatan langsung dan wawancara. Data sekunder diperoleh dari pihak perusahaan khususnya pegawai unit *Paper Mills* 8 berupa data produksi kertas pada bulan yang bersangkutan.

Identifikasi Proses Produksi

Tahap identifikasi proses produksi dilakukan dengan pembuatan diagram alir produksi dan neraca massa yang bertujuan untuk mengetahui aliran bahan masuk dan keluar yang dihasilkan sebagai produk akhir. Pembuatan diagram alir produksi dan neraca massa dilakukan untuk mengidentifikasi sumber dan penyebab inefisiensi pada aliran proses produksi dan limbah terbentuk. Identifikasi permasalahan kemudian dilakukan untuk mengidentifikasi sumber serta penyebab permasalahan yang terjadi pada urutan proses produksi. Data diperoleh dari pengamatan langsung serta wawancara dengan pekerja yang terlibat dalam proses produksi. Data tersebut merupakan sumber informasi untuk menentukan peluang produksi bersih yang dapat diterapkan di industri *sack kraft* (Indrasti dan Fauzi, 2009).

Analisis Kelayakan Produksi Bersih

Analisis kelayakan produksi bersih meliputi analisis kelayakan teknis dan lingkungan serta analisis kelayakan finansial. Analisis kelayakan teknis merupakan analisis penerapan produksi bersih yang menunjukkan tingkat kemudahan dan kesulitan dalam penerapannya. Analisis kelayakan teknis ini berdasarkan observasi dan wawancara dengan pihak industri mengenai kemungkinan penerapan alternatif produksi bersih pada industri tersebut. Analisis kelayakan lingkungan mencakup pengaruh atau manfaat yang ditimbulkan pada lingkungan jika alternatif produksi bersih diterapkan. Pengukuran manfaat dilakukan secara kualitatif terhadap dampak lingkungan, yaitu penurunan limbah yang dibuang ke lingkungan atau sumberdaya yang dapat dihemat.

Analisis kelayakan finansial atau ekonomi merupakan analisis yang memperkirakan biaya atau kemungkinan penghematan serta keuntungan yang didapatkan setelah menerapkan produksi bersih. Analisis perhitungan ini menggunakan kriteria *payback period* (PBP) dan B/C, yang dilakukan melalui perhitungan manual dengan bantuan Microsoft Excell. *Payback Period* merupakan teknik penilaian kelayakan investasi terhadap jangka waktu (periode) yang dibutuhkan untuk menutup *initial investment* dari suatu proyek (Yasuha dan Saifi, 2017). Analisis B/C digunakan untuk mengetahui kelayakan proyek secara finansial (Setyawan *et al.*, 2018).

Perhitungan atau rumus yang digunakan dalam analisis kelayakan ekonomi sebagai berikut:

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Total investasi awal}}{\text{Keuntungan}}$$

$$\frac{B}{C} \text{ Ratio} = \frac{\text{Jumlah penerimaan}}{\text{Total biaya produksi}}$$

Pemilihan Prioritas Peluang Produksi Bersih

Pemilihan alternatif produksi bersih pada penilitan ini menggunakan Metode Perbandingan Exponensial (MPE). MPE merupakan metode untuk menentukan urutan prioritas alternatif keputusan dengan kriteria jamak (Marimin dan Maghfiroh, 2011). Kriteria yang digunakan dalam perhitungan pemilihan ini adalah kemampuan teknis dan teknologi, aspek finansial, sumberdaya manusia, dan lingkungan. Skala penilaian untuk kriteria adalah 1-5, sedangkan untuk penentuan skoring terhadap penilaian alternative produksi bersih diberikan skala 1-10. Formulasi perhitungan MPE adalah sebagai berikut:

$$\text{Total nilai (TN}_i) = \sum_{m=1}^j (RK_{ij})^{TKK_j}$$

Keterangan:

- TN_i = Total nilai alternatif ke-i
- RK_{ij} = derajat kepentingan relative kriteria ke-j pada pilihan keputusan i
- TKK_j = derajat kepentingan kriteria keputusan ke-j; TKK_j > 0; integer

m = jumlah kriteria keputusan

Responden yang memberikan penilaian bobot prioritas penerapan peluang produksi bersih pada penelitian ini adalah responden pakar, yaitu pimpinan produksi industri *sack kraft* dan 2 akademisi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Produksi Sack Kraft

Analisis neraca massa industri *sack kraft* dilakukan pada proses produksi yang meliputi proses penyiapan bahan, pembentukan lembaran, pengepresan, pengeringan, penggulangan, dan pemotongan. Bahan baku yang digunakan untuk membuat sack kraft adalah afval kardus. Setiap 110 ton afval kardus yang diolah menghasilkan rata-rata 90,742 ton *sack kraft*, 3,65 ton kertas gagal, 2,443 ton sisiran kertas, 4,915 ton kertas cacat, dan 8,25 ton limbah padat. Kertas gagal merupakan lembaran kertas yang masih basah, gagal pada proses pembentukan lembaran kertas. Sisiran kertas adalah sisiran hasil pemotongan lembaran kertas dari mesin *slitter*. Kertas cacat yaitu produk kertas yang mengalami kecacatan seperti bergelombang, sobek atau kotor. Limbah padat lainnya merupakan limbah dari proses penguraian serat afval kardus yang sebagian besar terdiri dari potongan plastik, bundel serat, dan logam yang berasal dari kawat atau klip staples.

Proses produksi dimulai dengan memeriksa kadar air afval kardus (bahan baku) oleh pekerja bagian *quality control*, dan selanjutnya afval kardus tersebut diangkut ke stasiun penyiapan bahan untuk tahap penguraian serat. Penguraian serat dilakukan dengan menggunakan air dan menaikkan suhu pada mesin *hydra pulper* sehingga afval kardus membentuk *pulp* kertas. *Pulp* kertas pada mesin *hydra pulper* kemudian masuk ke tahap pemisahan yang bertujuan untuk memisahkan zat pengotor dan suspensi serat. *Pulp* kertas kemudian dipotong dan seratnya dipipihkan dengan *refiner* agar konstituen selulosa dan hemiselulosa mengambang. Hal ini menyebabkan peningkatan jumlah air yang diikat serat dan penurunan *freeness*. Proses selanjutnya adalah penambahan bahan aditif, seperti pewarna *strach*, *dry strength polymer*, anti bakteri, anti foam dan *retention*.

Pulp kertas yang terbentuk kemudian masuk ke tahap pembentukan lembaran, dimana *pulp* kertas dialirkan dengan tekanan, jumlah, dan komposisi konstan untuk membuat keseragaman kualitas kertas. *Pulp* kertas dilewatkan saringan sebelum dimasukkan ke mesin *headbox*. Hal ini bertujuan untuk menjaga *headbox* dan *wire* dari kerusakan mekanik. *Head box* berfungsi untuk menginjeksikan *pulp* kertas pada mesin kertas. *Pulp* kertas dari pipa didistribusikan secara seragam dalam *headbox* melalui lubang kecil (*slice*) kemudian bahan tersebut menuju ke sistem *wire* yang berfungsi untuk membentuk jaringan serat dari *pulp* kertas. *Wire* merupakan anyaman kawat

kasa yang memiliki mesh tertentu, yaitu sekitar 100 mesh yang dapat bergoyang ke kiri dan kanan. *Wire* disangga dengan menggunakan *table roll* yang terbentang pada *forming board*, *suction box*, *hidro foil*, dan *suction couch roll*. Pemisahan air dan *pulp* kertas melalui proses filtrasi. *Pulp* kertas pada *wire* mengalami pengurangan kandungan air karena pada *wire* terdapat efek gaya gravitasi dan penghisap air/*vacuum*. Pengurangan kandungan air pada kertas menyebabkan pembentukan lembaran kertas selebar *wire*. Lembaran kertas yang dihasilkan dari *wire* masih mengandung air sekitar 80-82%. Air akan lolos dari proses filtrasi pada saat pembentukan lembaran *wire*. Air ini disebut *white water* yang mengandung sejumlah serat, filtrat, dan partikel halus lainnya.

Lembaran kertas kemudian dimasukkan ke proses pengepresan kertas yang terdiri dari proses pengepresan I dan proses pengepresan II. Proses pengepresan bertujuan untuk mengurangi kadar air pada lembaran kertas, memadatkan kertas, dan meningkatkan kekuatan jaringan sebelum masuk ke *dryer section*. Kadar air lembaran kertas setelah melewati proses *press section* mencapai kurang lebih 50-54%. Pengurangan kadar air pada proses pengepresan mengakibatkan energi panas yang dibutuhkan pada proses pengeringan akan lebih sedikit. Lembaran kertas kemudian masuk pada tahap proses pengeringan. Energi yang dibutuhkan pada proses *dryer* adalah *steam* dan energi yang keluar adalah uap yang teruapkan. Pengeluaran kandungan air yang terdapat pada lembaran kertas melalui pemberian panas pada lembaran secara konduksi melalui silinder. Kadar air lembaran kertas setelah melewati proses pengeringan mencapai 8,5%.

Lembaran kertas kemudian digulung di mesin *pope reel* tanpa melalui proses *calendering*. Kadar air lembaran kertas pada *pope reel* mencapai kurang lebih 8%. Kualitas lembaran kertas, kecepatan mesin, dan tingkat kekeringan (*dryness*) kertas sebelum masuk ke mesin *pope reel* diinformasikan oleh alat pendeteksi lembaran terkomputerisasi yang disebut *measurix*. Lembaran kertas yang telah digulung kemudian dibawa ke *reel slitting machine*. Kertas yang digulung dalam gulungan besar dipotong dengan ketebalan yang diinginkan konsumen. Sisa gulungan yang rusak dan potongan kertas dibawa ke proses *stock preparation* untuk proses pemasakan *pulp*. Neraca massa proses produksi *sack kraft* dapat dilihat pada Gambar 1.

Penggunaan Energi pada Pembuatan Kertas

Industri *sack kraft* menjalankan produksinya menggunakan dua jenis energi, yaitu energi listrik dan energi panas. Penggunaan energi listrik antara lain pada mesin *stock preparation*, *paper machine*, *boiler*, mesin *slitter*, *compressor*, lampu penerangan dan penggunaan lainnya. Energi panas yang dihasilkan dari *boiler* berbahan bakar batubara digunakan untuk

pemasakan dan mesin *dryer*. Daya listrik yang digunakan dikonversi dalam satuan MJ/TonPerhitungan penggunaan energi pada produksi *sack kraft* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah konsumsi energi pada pembuatan *sack kraft*

No	Sumber Energi	Konsumsi Energi (MJ/Hari)
1	Listrik	221.994
2	Panas (batu bara)	11.534,38

Penerapan Produksi Bersih

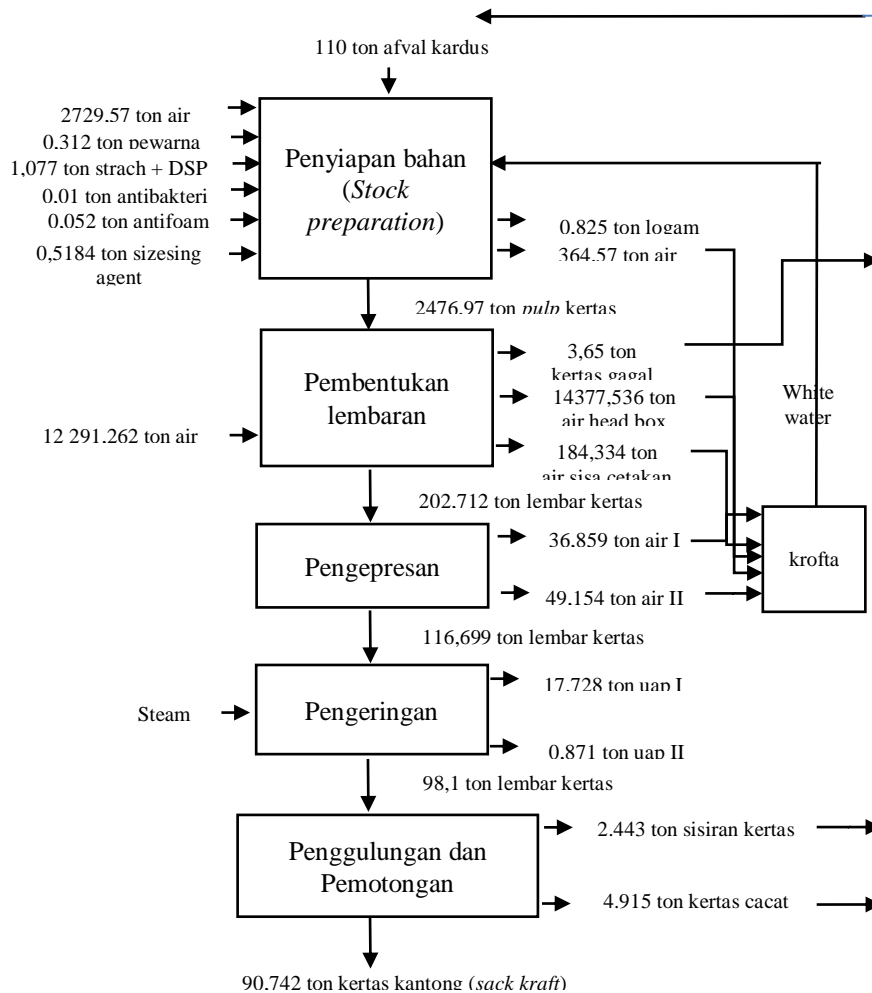
PT X merupakan industri *sack kraft* yang telah menerapkan produksi bersih berupa modifikasi bahan baku, *recovery fiber* dan *white water* pada unit krofta, *on site recycling*, dan *good housekeeping*. Hal ini terlihat juga pada Gambar 1 sebelumnya, dimana terdapat beberapa usaha daur ulang ataupun penggunaan kembali dari limbah yang dihasilkan.

Modifikasi Bahan Baku

Afval kardus digunakan sebagai bahan baku di industri ini untuk mengurangi penggunaan bahan baku langsung dari pulp kayu. Proses *refining* pada pembuatan kertas menggunakan bahan baku afval kardus lebih ringan karena afval kardus telah mengalami proses *refining* pada proses sebelumnya. Kelancaran mesin kertas semakin meningkat jika penggunaan afval kardus makin tinggi karena *freeness* lebih mudah tercapai. Penahanan air oleh suspensi serat semakin lemah jika angka *freeness* semakin tinggi sehingga air makin mudah dihilangkan dari suspensi serat dan anyaman serat lebih mudah terbentuk (Masriani dan Nurachman, 2012). Penggunaan afval kardus memiliki daya tarik yang tinggi, yang menyebabkan kertas dapat menahan beban besar di dalamnya. Keunggulan penggunaan afval kardus adalah mudah diperoleh, harga relatif murah, proses lebih cepat, sudah mengandung *filler*, dan dapat mengurangi sampah kertas. Pulp hanya dibutuhkan dalam jumlah sedikit untuk meningkatkan kualitas kertas yang dihasilkan. Penggunaan afval kardus sebagai bahan baku *sack kraft* juga menurunkan konsumsi bahan kimia pada proses *refining* (Torres et al., 2012). Penggunaan afval kardus dapat mengurangi biaya pembelian bahan baku pulp, mengurangi limbah sampah kertas di lingkungan, dan mengurangi penggunaan bahan pemutih.

Recovery Fiber dan White Water pada Unit Krofta

Unit *krofta* merupakan *pre-treatment* proses pengolahan limbah. Tujuan unit ini adalah memisahkan *pulp* kertas dengan air, pengambilan 100% *fiber* (*fiber recovery*), pemanfaatan 100% *fiber* ke produksi (*fiber reuse*), dan pemanfaatan sebagian air (hasil proses) ke produksi.



Gambar 1. Neraca massa proses produksi *sack kraft*

Hasil perhitungan terhadap uji *Total Soluble Solid* (TSS) pada inlet dan outlet menunjukkan bahwa kinerja unit krofta sebesar 97,40% yang berarti kinerjanya sudah optimal. Jumlah serat yang berhasil ditangkap oleh penangkap *fiber* (*scop*) pada unit krofta sebanyak 18 ton/hari. Harga serat adalah Rp 4000,00/kg (Sudjindro, 2011). Perusahaan dapat menghemat Rp 72.000.000,00 per hari dengan menggunakan kembali serat tersebut sebagai bahan baku sack kraft. *Recovery fiber* dan *white water* pada unit krofta merupakan upaya penghematan penggunaan air sumur, mengurangi limbah cair yang harus diolah oleh unit pengolah limbah, dan *fiber* yang tersaring digunakan kembali untuk proses produksi.

On Site Recycling

Industri *sack kraft* ini telah melakukan kegiatan daur ulang (*recycle*) terhadap limbah yang terbentuk saat proses produksi. Beberapa limbah yang dihasilkan pada proses produksi *sack kraft* adalah kertas gagal, sisiran kertas, kertas cacat, dan limbah padat. limbah tersebut dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku proses atau penunjang kegiatan proses produksi. Penggunaan kembali kertas gagal, sisiran

kertas, dan kertas cacat untuk proses produksi *sack kraft* dapat meminimalkan bahan kertas yang terbuang dan mengurangi jumlah kerugian produk.

Good Housekeeping

Penyortiran dilakukan setelah tahap proses pemotongan pada area *finishing*. Produk yang disortir adalah kertas cacat. Kertas cacat dapat dijual ke industri lain dengan kualitas *grade* rendah. Kertas cacat dengan kualitas *grade* sangat rendah juga dapat dikirim ke area gudang bahan baku untuk digunakan kembali sebagai bahan baku. Kertas cacat yang dihasilkan adalah 4.915 ton per hari. Harga kertas cacat adalah Rp 7.000,00/kg (Widayanti dan Rostika, 2019). Perusahaan dapat menghemat Rp 34.405.000,00 per hari dengan menggunakan kembali kertas cacat tersebut sebagai bahan baku *sack kraft*. Manfaat yang diperoleh dari tindakan produksi bersih ini adalah tidak ada kertas cacat yang terbuang. Perusahaan akan memperoleh pendapatan jika kertas cacat tersebut dapat dijual ke industri lain atau perusahaan dapat menghemat biaya bahan baku jika kertas cacat tersebut digunakan kembali sebagai bahan baku *sack kraft*.

Pengembangan Produksi Bersih

Peluang peningkatan produksi bersih masih dapat dilakukan pada tiap tahap proses produksi sack kraft. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas produksi sack kraft.

Tahap 1: Unit Proses Penyiapan Bahan

Proses penyiapan bahan menghasilkan limbah padat dari mesin *hydra pulper*, yaitu plastik dan logam (klip, staples, dan kawat). Jumlah limbah padat dari mesin *hydra pulper* sebesar 8,25 ton yang terdiri dari plastik 7,425 ton dan logam 0,825 ton. Limbah padat berupa plastik dapat diolah menjadi pelet plastik yang dapat digunakan sebagai substitusi bahan bakar boiler. Pembuatan pelet plastik dari limbah padat dapat menghemat biaya pemakaian batubara pada industri sack kraft. Pelet plastik dari limbah *reject* memiliki nilai kalor tinggi (7.500 – 8.700 kalori/g) dan kadar sulfur rendah (0,14 – 0,17%) (Setiawan *et al.*, 2016). Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Asip *et al.* (2014) menyebutkan bahwa briket limbah plastik LDPE memiliki nilai kalor sebesar 11.172 kalori/gram. Pelet plastik limbah padat ini berpotensi dapat digunakan sebagai bahan bakar boiler yang dioperasikan pada suhu 900 °C tanpa menyebabkan *slagging* dan *fouling* dalam boiler. Keuntungan pemanfaatan limbah padat menjadi pelet plastik yang digunakan sebagai bahan bakar adalah dapat mengurangi pemakaian batubara sebagai bahan bakar boiler dan dapat mengurangi biaya penanganan limbah padat. Analisis yang dilakukan oleh Setiawan *et al.* (2014) menunjukkan bahwa pelet *reject* memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dari nilai kalor batubara yang digunakan sebagai bahan bakar di industri kertas, dan penambahan pelet *reject* ke dalam batubara akan meningkatkan nilai kalor bahan bakar boiler.

Tahap 2: Unit Pembentukan Lembaran

Pulp kertas dicetak di atas *wire* pada saat proses pembentukan lembaran. Limbah yang dihasilkan pada proses tersebut adalah 3,65 ton kertas gagal. Kertas gagal atau cacat disebabkan oleh faktor *man*, *machine*, *method*, *material*, atau *environment* (Cahyaningrum dan Sriyanto, 2019). Kertas gagal tersebut diangkut menggunakan mesin *handlift* menuju unit proses penyiapan bahan untuk diproses kembali pada proses produksi. Alternatif produksi bersih yang dapat diterapkan adalah peningkatan kinerja proses dengan penerapan *Good Manufacturing Practices* (GMP). Hal tersebut dilakukan pada kontrol proses serta manajemen tenaga kerja dan pelatihan sehingga kuantitas limbah berupa kertas gagal dapat diturunkan. Penurunan pembentukan kertas gagal dapat mengurangi penggunaan *handlift* yang membawa limbah tersebut ke proses produksi (*rework*). Penggunaan mesin/peralatan *handlift* yang minimal dapat meminimalkan biaya penggunaan alat penanganan

bahan tersebut. Kertas gagal atau *pulp* yang gagal juga membentuk lembaran yang dapat dimanfaatkan sebagai media filtrasi dalam pengolahan limbah cair. Purifikasi *reject pulp* dengan metode perendaman menggunakan hidrogen peroksida 20%, pH 9 selama 3 jam dapat menghasilkan derajat putih mendekati 63% (Susilo *et al.*, 2020). Air hasil olahan menggunakan media filtrasi termodifikasi ini secara visual dapat memenuhi standar untuk kelas/golongan air bersih yang dapat digunakan kembali pada proses produksi.

Tahap 3: Unit Penggulungan dan Pemotongan

Gulungan lembar kertas yang terbentuk dipotong di unit penggulungan dan pemotongan dengan ukuran sesuai permintaan konsumen. Limbah yang dihasilkan pada proses ini adalah 2,443 ton sisiran kertas dan 4,915 ton kertas cacat. Limbah tersebut kemudian diangkut menuju unit proses penyiapan bahan menggunakan mesin *handlift* untuk di proses kembali pada proses produksi. Peningkatan produksi bersih yang dapat dilakukan adalah efisiensi penggunaan alat penanganan bahan limbah yang digunakan untuk mengangkut bahan menuju unit penyiapan bahan. Penggunaan alat penanganan bahan tersebut secara optimal dapat memberikan dampak penghematan biaya penggunaan alat.

Alternatif Produksi Bersih

Alternatif produksi bersih yang disarankan berdasarkan hasil identifikasi permasalahan di industri sack kraft adalah pembuatan pelet plastic untuk substitusi bahan bakar, penerapan SOP perawatan mesin, dan pelatihan *Good Manufacturing Practice* (GMP). Analisis kelayakan finansial masing-masing alternatif dilakukan sebagai dasar pertimbangan pemilihan dalam aspek ekonomi.

Pembuatan Pelet Plastik untuk Substitusi Bahan Bakar

Limbah padat pada *hydra pulper* merupakan limbah dari proses penguraian serat afval kardus yang sebagian besar terdiri dari potongan plastik, bundel serat, dan logam kawat / staples. Jumlah limbah padat yang dihasilkan mencapai 7,425 ton plastik dan 0,825 ton logam. Pengelolaan limbah padat yang diterapkan saat ini adalah diangkut keluar industri menggunakan jasa pihak luar industri atau pihak ketiga, dan tidak diketahui apakah limbah tersebut dimanfaatkan oleh pihak ketiga tersebut atau dibuang langsung ke tempat pembuangan akhir (TPA).

Limbah padat berupa plastik dapat diolah menjadi pelet plastik yang dapat dimanfaatkan sebagai substitusi bahan bakar batubara. Bahan yang digunakan untuk pembuatan pelet plastik adalah limbah padat plastik dengan kadar air kurang dari 15% tanpa memerlukan bahan *binder*. Hasil karakterisasi komposisi limbah padat yang dijadikan bahan baku pelet plastik terdiri dari 14,92% serat dan

85,08% plastik. Keuntungan pembuatan pelet plastik ini adalah mengurangi biaya penanganan limbah padat yang selama ini diangkut keluar industri menggunakan pihak luar industri, memudahkan penyimpanan dan pengangkutan, ukurannya seragam, kandungan debunya rendah, mengurangi pemakaian batubara sebagai bahan bakar boiler, serta meningkatkan kebersihan dan citra industri kertas dalam rangka mendukung program industri hijau (Setiawan *et al.*, 2014).

Komposisi bahan bakar sangat menentukan nilai efisiensi dalam pembakaran boiler (Pravitasaria *et al.*, 2017). Kadar abu batubara paling tinggi adalah 10,69% , sedangkan kadar abu pelet plastik sekitar 6,70 - 9,14%. Kadar zat terbang batubara sekitar 37,89%. Kadar zat terbang ini jauh lebih rendah daripada kadar zat terbang pelet plastik yang kadarnya 84,32-86,32%. Kadar karbon padat pelet plastik adalah 4,13-5,12%, sedangkan kadar karbon padat batubara adalah 38,48%. Perbandingan kadar karbon padat terhadap kadar zat terbang disebut dengan rasio bahan bakar. Rasio bahan bakar yang kurang dari 1,2 akan menghasilkan pengapian yang bagus dengan kecepatan pembakaran yang meningkat. (Setiawan *et al.*, 2014).

Nilai kalor pelet plastik adalah 7.502-8.730 kal/g. Nilai kalor tersebut jauh lebih tinggi dari nilai kalor batubara (5.240 kal/g) yang digunakan sebagai bahan bakar boiler di industri kertas. Kadar sulfur pelet plastik adalah 0,14-0,17%, sedangkan kadar sulfur batubara adalah 0,8%. Penggunaan pelet plastik sebagai substitusi bahan bakar boiler berpotensi dapat menurunkan kadar emisi SO₂ boiler (Setiawan *et al.*, 2014). Penelitian Setiawan *et al.* (2014) juga menunjukkan nilai (kadar) karbon padat dari pelet plastik jauh lebih rendah dibawah kadar karbon padat batubara sendiri (38,48%), sehingga emisi karbon akibat pembakaran pelet plastik dapat terukur lebih rendah daripada pembakaran batubara yang selama ini digunakan .

Kadar abu dari bahan bakar berguna untuk mengevaluasi bahan bakar terhadap potensi proses *slagging* dan *fouling* di dalam boiler pada saat proses pembakaran. Proses *slagging* dan *fouling* merupakan fenomena penumpukan abu bahan bakar yang melebur pada pipa penghantar panas atau dinding boiler. Kandungan abu yang semakin tinggi akan meningkatkan jumlah pengotor dan menyebabkan *fouling* yang berakibat pada keausan dan korosi peralatan (Lestari *et al.*, 2016). Kadar abu pelet plastik terdiri dari Na₂O 0,07– 0,95%, total alkali 0,11–1,5%, CaO 0,7–7,95% dan Fe₂O₃ 6,98% (Setiawan *et al.*, 2014). Hal ini menunjukkan bahwa pelet plastik berpotensi sebagai bahan bakar campuran batubara. Penambahan pelet plastik sebanyak 5 - 50% ke dalam batubara dapat digunakan sebagai bahan bakar boiler tanpa menyebabkan *slagging* dan *fouling* di dalam boiler (Setiawan *et al.*, 2014).

Suhu pelunakan pada pelet plastik lebih dari 1150°C (Setiawan *et al.*, 2014). Suhu tungku *circulating fluidized bed* (CFB) boiler dan *chain grate boiler* pada saat proses pembakaran di industri kertas pada umumnya adalah sekitar 900–1.100°C. Batubara memiliki *deformation temperature* (DT) 1.415°C dan *softening temperature* (ST) 1.460 °C. Pelet plastik memiliki DT 1.193°C dan ST 1.243 °C yang merupakan ST yang cukup tinggi (> 1.200 °C). Campuran pelet plastik (5 – 50%) dan batubara (50 – 95%) memiliki DT 1.230 - 1.315°C dan ST 1.270 - 1.325°C. Penambahan pelet plastik sebesar 5 - 50% sebagai campuran batubara sedikit menurunkan ST, tetapi ST tersebut masih tinggi (> 1.250 °C). Hal ini menunjukkan fenomena *slagging* dan *fouling* tidak akan terjadi karena suhu pelunakan pelet masih di atas suhu operasi boiler (Setiawan *et al.*, 2014).

Analisis kelayakan finansial mempertimbangkan investasi peralatan dalam pembuatan pellet plastik seperti mesin pencacah, pompa air, tangki penampung, mesin dryer, dan mesin pembuatan pellet (Setiawan *et al.*, 2014). Hasil analisis perhitungan kelayakan finansial menunjukkan bahwa keuntungan pembuatan pelet plastik sebagai substitusi bahan bakar adalah Rp 5.673.224/hari. Keuntungan ini diperoleh dari pengolahan sebanyak 8,25 Ton limbah padat yang dihasilkan oleh Industri tersebut dengan harga jual pellet Rp. 917.757/Ton. Perhitungan indikator *pay back period* adalah sebesar 0,1 tahun dan nilai B/C 8,31. Nilai B/C lebih dari 1 menunjukkan bahwa alternatif produksi bersih layak dilaksanakan.

Penerapan SOP Perawatan Mesin

Mesin merupakan aset fisik yang memerlukan perawatan agar industri terus produktif. Permasalahan yang terjadi di pabrik kertas sack tersebut adalah ceceran *pulp* kertas masih ada di lantai dan sekitar area mesin yang dapat menimbulkan kecelakaan kerja. Adanya ceceran pulp yang masuk ke bawah mesin dapat menimbulkan Layer atau bercak (noda) pada produk akhir sehingga menghasilkan kertas cacat. Hal tersebut disebabkan oleh mesin *conveyor* yang sering mengalami kerusakan dan terjadi jam henti mesin (*downtime*). Alternatif penerapan produksi bersih untuk mengatasi masalah tersebut adalah pembuatan dan penerapan SOP perawatan mesin dengan penjadwalan pemeliharaan mesin tiap bulan, pemeliharaan pada mesin *conveyor* (misal: pemberian pelumas pada rantai secara rutin), serta pengendalian proses pada saat pemasakan *pulp* kertas untuk mengurangi kertas cacat.

Pembuatan dan penerapan SOP *maintenance* mesin dibutuhkan karena perawatan mesin yang terencana dapat memberi dampak pada pengoperasian mesin secara maksimal, mengurangi kerusakan mesin, dan meningkatkan efisiensi produksi (Oktalisa *et al.*, 2013). SOP *maintenance* mesin yang jelas juga dapat mempermudah dalam

mengidentifikasi kerusakan dan memperbaiki dalam waktu singkat jika terjadi kerusakan mesin.

Perhitungan profit yang menjadi dasar analisis kelayakan finansial alternatif ini adalah penghematan biaya pembelian alat penanganan bahan limbah dan biaya tenaga kerja. Adapun perhitungan investasi dalam penerapan SOP adalah biaya yang berkenaan dengan pengadaan/pembuatan SOP, termasuk biaya saat pelatihan SOP. Hasil analisis kelayakan finansial untuk penerapan SOP perawatan mesin ini diperoleh *pay back period* 3,9 tahun. Nilai *B/C ratio* yang diperoleh dari rasio antara keuntungan dengan total biaya investasi adalah 1,3.

Pelatihan Good Manufacturing Practice (GMP)

Good Manufacturing Practice (GMP) merupakan pedoman mengenai persyaratan yang harus dipenuhi oleh produsen agar menghasilkan produk yang bermutu sesuai dengan tuntutan konsumen (Anggraini dan Yudhastuti, 2014). GMP berfungsi untuk meningkatkan mutu hasil produksi, terutama terkait dengan keamanan dan keselamatan konsumen saat menggunakan produk-produknya.

Permasalahan yang terjadi di pabrik kertas sack tersebut adalah masih terdapat kotoran pada lembaran kertas yang mengakibatkan kertas cacat dan kertas gagal. Kotoran pada lembaran kertas tersebut disebabkan oleh kontrol yang kurang baik pada proses pemasakan dan menyebabkan sering terjadi jam henti (*downtime*) saat produksi kertas. Permasalahan lainnya adalah para pekerja tidak mengenakan alat pelindung diri dalam pengambilan kertas gagal saat mesin tetap berjalan yang dapat mengakibatkan kecelakaan kerja.

Penerapan GMP sebagai pedoman penuntun bagi industri untuk meningkatkan mutu hasil produksinya (Winarno dan Surono, 2004). Pelatihan GMP dapat dioptimalkan dengan pengawasan dari manajemen industri kepada pekerja sehingga tidak terjadi permasalahan pada bagian *operating practice* dan seluruh kegiatan produksi berjalan efektif dan efisien sesuai standar. Pelatihan GMP ini

memberikan dampak positif yaitu membuat lantai produksi tidak licin akibat *pulp* kertas yang tercecer dan tidak terjadi tumpukan kertas gagal yang berserakan di area produksi.

Pendekatan analisis finansial penerapan alternatif ini yaitu biaya investasi seperti biaya pelatihan GMP dan biaya operasional GMP, namun tidak terdapat biaya dalam pembuatan prosedur. Perhitungan profit yang menjadi dasar analisis kelayakan finansial alternatif ini adalah penghematan biaya pembelian alat penanganan bahan untuk limbah yang terbentuk dan biaya tenaga kerja. Hasil analisis kelayakan finansial untuk pelatihan GMP ini diperoleh *pay back period* 0,63 tahun. Nilai *B/C ratio* yang diperoleh adalah 2,58.

Seluruh peluang produksi bersih yang direkomendasikan pada penelitian ini memberikan indikasi kelayakan ekonomi yang positif sehingga dapat diterapkan di Pabrik kertas sack tersebut. Indikator kelayakan ekonomi, nilai investasi, dan keuntungan pada masing-masing peluang produksi bersih ditunjukkan pada Tabel 2.

Pemilihan Prioritas Peluang Produksi Bersih

Pemilihan alternatif produksi bersih bertujuan untuk memberikan penilaian terhadap semua alternatif yang direkomendasikan. Hasil perhitungan menggunakan metode MPE dapat dilihat pada Tabel 3. Prioritas penerapan alternatif produksi bersih berdasarkan penilaian tersebut adalah penerapan SOP *maintenance* mesin yang dinilai baik dalam kriteria kemampuan teknis dan teknologi dan finansial. Menurut penilaian pakar, penerapan SOP *maintenance* mesin secara teknis sangat mudah diterapkan dan juga dapat mendukung kegiatan operasional industri dan mendapatkan keuntungan finansial yang cukup dengan nilai investasi yang tidak terlalu besar. Perusahaan dapat menerapkan produksi bersih berdasarkan tingkat prioritas yang telah dinilai atau dapat menerapkan seluruh peluang produksi bersih tersebut.

Tabel 2. Nilai aspek finansial alternatif produksi bersih

Peluang Produksi Bersih	PBP	B/C ratio	Investasi	Keuntungan
Pembuatan pelet sebagai substitusi bahan bakar	0,1 tahun	8,31	Rp 203.140.000	Rp 2.042.360.640
Pembuatan dan penerapan SOP maintenance mesin	3,9 tahun	1,3	Rp 39.000.000	Rp 49.000.000
Pelatihan GMP	0,63 tahun	2,58	Rp 19.000.000	Rp 49.000.000

Tabel 3. Hasil pemilihan prioritas peluang produksi bersih dengan MPE

Peluang Produksi Bersih	Nilai	Tingkat Prioritas
Pembuatan Pelet sebagai substitusi bahan bakar	9685,646	3
Pembuatan dan penerapan SOP maintenance mesin	12949,66	1
Pelatihan GMP	12248,49	2

KESIMPULAN DAN SARAN

Proses produksi pada industri *sack kraft* dengan menggunakan bahan baku afval kardus menghasilkan limbah padat berupa plastik dan logam, kertas gagal, sisiran kertas, dan kertas cacat. Kehilangan (*loss*) berupa ceceran *pulp* juga teridentifikasi pada proses produksi ini sebagai akibat kerusakan mesin dan ketidaksesuaian dalam pelaksanaan operasi produksi.

Peluang alternatif pengembangan produksi bersih yang layak secara teknis, ekonomi, dan lingkungan adalah pembuatan pelet plastik sebagai substitusi bahan bakar, penerapan SOP perawatan mesin, dan pelatihan *GMP*. Hasil evaluasi prioritas peluang peningkatan produksi bersih menunjukkan bahwa prioritas pertama penerapan produksi bersih adalah penerapan SOP perawatan mesin karena memiliki kemudahan dalam penerapan—dan kemampuan pencegahan limbah yang terbentuk lebih baik. Prioritas penerapan berikutnya adalah pelatihan *GMP* dan pembuatan pelet plastic sebagai substitusi bahan bakar. Strategi produksi bersih yang diterapkan pada industri *sack kraft* dapat membantu industri dalam mengurangi limbah dengan melakukan daur ulang, meningkatkan produktivitas, dan meningkatkan efisiensi energi dengan menggunakan bahan bakar dengan nilai kalor yang tinggi sehingga berdampak mengurangi biaya dan potensi gas rumah kaca.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini T dan Yudhastuti R. 2014. Penerapan good manufacturing practices pada industri rumah tangga kerupuk teripang di Sukolilo Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 7(2):148–158.
- Asip F, Anggun T, dan Fitri N. 2014. Pembuatan briket dari campuran limbah plastik lde, tempurung kelapa dan cangkang sawit. *Teknik Kimia*. 20(2) : 45-54
- Bahri S. 2015. Pembuatan pulp dari batang pisang. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 4(2):36–50. doi:10.29103/jtku.v4i2.72.
- Cahyaningrum SM, Sriyanto. 2019. Identifikasi penyebab cacat produksi kertas test liner menggunakan metode failure mode & effect analysis (FMEA) (Studi kasus:PT Pura Barutama unit Paper Mill 9). *Ind Eng Online Journal*. 8(2).
- Fitriyanti R. 2018. Penerapan produksi bersih pada industri pulp dan kertas. *Jurnal Redoks*. 1(2):16–25. doi:10.31851/redoks.v1i2.2025.
- Indrasti NS, Fauzi AM. 2009. *Produksi Bersih*. Bogor: IPB Press.
- Indrawan DA, Efiyanti L, Tampubolon RM, Roliadi H. 2015. Pembuatan pulp untuk kertas bungkus dari bahan serat alternatif. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 33(4):283–302. doi:10.20886/jphh.2015.33.4.283-302.
- International Labour Organization. 2013. *Keberlanjutan melalui Perusahaan yang Kompetitif dan Bertanggung Jawab (SCORE): Produksi Bersih Meningkatkan Produktivitas*. Jakarta: ILO Publications.
- Johansson MT, Broberg S, Ottosson M. 2021. Energy strategies in the pulp and paper industry in Sweden: Interactions between efficient resource utilisation and increased product diversification. *Journal Cleaner Production*. 311:127681. doi:10.1016/j.jclepro.2021.127681.
- Kaur D, Bhardwaj NK, Lohchab RK. 2018. A study on pulping of rice straw and impact of incorporation of chlorine dioxide during bleaching on pulp properties and effluents characteristics. *Journal Cleaner Production*. 170:174–182. doi:10.1016/j.jclepro.2017.09.111.
- Kurniawan H, Garchia CH, Ayucitra A, Antaresti. 2017. Pemanfaatan kulit buah matoa sebagai kertas serat campuran melalui proses pretreatment dengan bantuan gelombang mikro dan ultrasonik. *Widya Tek*. 6(1):1–10.
- Lestari D, Asy'ari MA, Hidayatullah R. 2016. Geokimia batubara untuk beberapa industri. *Jurnal Poros Tek*. 8(1):48–54.
- Marimin, Maghfiroh N. 2011. *Aplikasi Teknik Pengambilan Keputusan dalam Manajemen Rantai Pasok*. Ed ke-2. Bogor: IBP Press.
- Masriani R, Nurachman Z. 2012. Modifikasi serat kertas bekas menggunakan endoglukanase EgIII. *Jurnal Selulosa*. 2(2):53–60.
- Oktalisa P, Matondang N, Ishak A. 2013. Perancangan sistem perawatan mesin dengan pendekatan reliability engineering dan maintenance value stream mapping (MVSM) pada PT XXX. *Jurnal Teknik Industri Univ Sumatera Utara*. 3(1):52–56.
- Pravitasaria Y, Malinoa MB, Mara MN. 2017. Analisis efisiensi boiler menggunakan metode langsung. *Prism Fis*. 5(1):9–12.
- Rosmainar L. 2017. Jurnal review: Analisis bahan-bahan alternatif pengolahan dalam pembuatan kertas. *Jurnal Inkofar*. 1(2):62–67. doi:10.46846/jurnalinkofar.v1i2.18.
- Setiawan Y, Purwati S, Surachman A, Wattimena RBI, Hardiani H. 2014. Pelet reject industri kertas sebagai bahan bakar boiler. *Jurnal Selulosa*. 4(2):57–64. doi:10.25269/jsel.v4i02.87.
- Setiawan Y, Purwati S, Surachman A, Wattimena RBI, Pramono KJ. 2016. Pemanfaatan plastik dari reject industri kertas untuk bahan bakar. *Jurnal Selulosa*. 6(1):11–18. doi:10.25269/jsel.v6i01.70.
- Setyawan AA, Marwanti S, Ani SW. 2018. Analisis usahatani kedelai di Kecamatan Sambirejo Kabupaten Sragen. *Jurnal Agrista*. 6(4):1–10.
- Sudjindro. 2011. Prospek serat alam untuk bahan baku kertas uang. *Perspekt Rev Penelit Tanam*

- Ind.* 10(2):92–104.
- Susilawati D, Kanowski P. 2020. Cleaner production in the Indonesian pulp and paper sector: Improving sustainability and legality compliance in the value chain. *Journal Cleaner Production*. 248:119259. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119259.
- Susilo NA, Rizaldi W, Apriani R, Manik NN, Maulia G. 2020. Purifikasi reject pulp sebagai media filtrasi dalam pengolahan air limbah pulp dan kertas. *Jurnal Vokasi Teknologi Industri*. 2(1). doi:10.36870/jvti.v2i1.169.
- Torres CE, Negro C, Fuente E, Blanco A. 2012. Enzymatic approaches in paper industry for pulp refining and biofilm control. *Applied Microbiol Biotechnol*. 96(2):327–344. doi:10.1007/s00253-012-4345-0.
- Widayanti A, Rostika I. 2019. Analisis mutu proses produksi kertas dupleks dengan mempertimbangkan waktu kerusakan untuk meminimumkan biaya cacat. *Jurnal Selulosa*. 9(2):87–96. doi:10.25269/jsel.v9i02.280.
- Winarno FG, Surono. 2004. *GMP (Good Manufacturing Practices) Cara Pengolahan Pangan yang Baik*. Bogor: M-Brio Press.
- Yasuha JXL, Saifi M. 2017. Analisis kelayakan investasi atas rencana penambahan aktiva tetap (Studi kasus pada PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) Cabang Tanjung Perak Terminal Nilam). *Jurnal Administrasi Bisnis*. 46(1):113–121.
- Zhang X, Li J, Gong J, Kuang Y, He S, Xu J, Mo L, Man Y, Zhu W, Song J, et al. 2020. Cleaner approach for medium consistency eucalyptus slab pulp production using ozone bleaching under turbulent mixing. *Journal Cleaner Production*. 276:124201. doi:10.1016/j.jclepro.2020.124201.