



Research Articles

Manajemen Pengolahan Limbah Pabrik Gula Melalui Perhitungan Potensi dan Analisis Risiko untuk Mengurangi Dampak Pencemaran Lingkungan

Sugar Factory Waste Treatment Management through Potential Calculation and Risk Analysis to Reduce the Impact of Environmental Pollution

Yudha Adi Kusuma^{*1}, Siti Muhimatul Khoiroh²

¹ Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Madiun

² Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

**corresponding author, email : yudhakusuma@unipma.ac.id*

Manuscript received: 25-04-2023. Accepted: 04-06-2024

ABSTRAK

Pabrik gula mengolah tebu menjadi bahan kebutuhan pokok. Pengolahan tebu menjadi gula dapat memberikan dampak lingkungan. Hal ini dialami juga oleh PG XYZ ketika masa giling berlangsung. Tujuan penelitian di PG XYZ adalah mengukur dampak lingkungan dari proses produksi gula dengan kajian *life cycle assessment* dan manajemen risiko. Hasil dari kajian *life cycle assessment* diketahui dua dampak tertinggi proses produksi gula adalah *climate change* dan *respiratory inorganics*. Hasil kajian *life cycle assessment* menjadi parameter dalam analisis manajemen risiko. Hasil analisis risiko didapatkan 2 sub risiko kategori ekstrim, 3 sub risiko kategori tinggi, 14 sub risiko kategori sedang dan 17 sub risiko kategori rendah.

Kata kunci : Pabrik Gula; *Life Cycle Assessment*; Manajemen Risiko

ABSTRACT

Sugar factories process sugar cane into staples. Processing sugar cane into sugar cane can have an environmental impact. This is also experienced by PG XYZ during the milling period. The purpose of the research at PG XYZ is to measure the environmental impact of the sugar production process through life cycle assessment and risk management. The results of the life cycle assessment study showed that the two highest impacts of the sugar production process were climate change and respiratory inorganics. The results of the life cycle assessment study became a parameter in the risk management analysis. The results of the risk analysis obtained 2 extreme category sub-risks, 3 high category sub-risks, 14 medium category sub-risks, and 17 low category sub-risks.

Keywords: Sugar Factory; Life Cycle Assessment; Risk Management

PENDAHULUAN

Tebu merupakan tanaman yang menghasilkan 70 % bahan pemanis konsumsi (Lubis et al., 2015). Tebu bagian dari tanaman rumput-rumputan (Rokhman et al., 2014) yang produktifitasnya dipengaruhi oleh jumlah anakan (Erlina et al., 2017). Tebu menjadi produk strategis dalam mewujudkan swasembada gula di Indonesia. Pabrik gula merupakan bagian dari usaha dalam mengolah tebu menjadi gula dan hasil dari turunannya untuk kebutuhan manusia (PerMenLH, 2014). Hasil sampingan pabrik gula dari proses produksinya berupa limbah (Ummah & Hidayah, 2018).

Limbah sebagai bagian penyebab isu permasalahan lingkungan terutama pencemaran karena ketidaktepatan proses pengolahannya (Handayani, 2015). Hasil keluaran limbah menimbulkan dampak negatif dalam meningkatkan pertumbuhan bibit penyakit (Dahruji et al., 2017). Jenis limbah di pabrik gula dibedakan menjadi 2 yaitu limbah polutan dan nonpolutan. Limbah pabrik gula dihasilkan ketika periode proses produksi antar bulan mei sampai agustus. Pengolahan limbah pabrik gula yang kurang tepat menimbulkan kekawatiran warga sekitar.

Keberadaan pabrik gula dapat berpengaruh negatif terhadap pencemaran udara seperti bau maupun kebisingan (Fatikawati & Muktiali, 2015). Air buangan limbah pabrik gula menimbulkan pencemaran karena pengolahan air yang kurang baik sehingga berdampak terhadap tingginya pH akibat tingginya aerasi dan *algae bloom*. Limbah padat di pabrik gula kebanyakan ditumpuk pada lahan yang dibeli sebagai tempat pembuangan. Dampak akibat pencemaran limbah di pabrik gula membutuhkan regulasi tentang industri ramah lingkungan (Başaran, 2012). Pengelolaan limbah di pabrik gula juga harus dimulai dari hulu ke hilir dan dilakukan saat melakukan proses produksi (Xue et al., 2015). Pengelolaan limbah yang baik menghasilkan sekecil mungkin *environmental impact* (Esa et al., 2017).

Perbaikan terhadap *environmental impact* bisa mempengaruhi citra pabrik gula. *Environmental impact* membawa pengaruh terhadap perubahan dari lingkungan baik merugikan atau menguntungkan (ISO14001, 2004). PG XYZ salah satu unit usaha dari PT SGN dalam proses produksinya perlu juga memperhatikan *environmental impact*. Hasil dari *environmental impact* di PG XYZ dilakukan kajian dengan *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA membantu dalam estimasi energi atau aliran material terhadap daur hidup yang berdampak pada lingkungan (Fiksel, 2011). Tahapan dalam penyusunan LCA antara lain *goal and scope*, *life cycle inventory*, dan *life cycle inventory* (Horne et al., 2009). Pengetahuan *environmental impact* diharapkan PG XYZ melakukan perbaikan terhadap pengolahan limbah untuk meminimalkan risiko pencemaran lingkungan.

Manajemen risiko dibutuhkan dalam meminimalisasi terhadap kemungkinan terjadinya risiko lingkungan sekitar area PG XYZ. Manajemen risiko lingkungan penting dalam membangun kemandirian terhadap lingkungan (Cao et al., 2019). Pengelolaan risiko lingkungan dimulai dari penanganan polusi sampai penciptaan teknologi inovasi (Potrich et al., 2019). Penerapan tindakan mitigasi terhadap risiko lingkungan membutuhkan biaya dan kajian manfaat yang perlu dilakukan (Wang & Tan, 2017). Sumber risiko lingkungan dikategorikan pada risiko tinggi, sedang dan rendah berlandaskan potensi dampak lingkungan dan ekologi (Qinqin et al., 2014). Manajemen risiko lingkungan diharapkan membantu PG XYZ dalam mengontrol terhadap perencanaan proses produksi dan peraturan yang berhubungan dengan dampak lingkungan (Naimedr, 2017). Tantangan yang mungkin dihadapi dari penerapan proses

manajemen risiko lingkungan adalah pengambilan keputusan oleh manajer di PG XYZ (Ciarapica et al., 2019).

Pengambilan keputusan yang tepat dapat mewujudkan PG XYZ menuju industri *zero waste* karena pemanfaatan yang baik terhadap produk sampingan dan limbah buangnya (Ariningsih, 2014). Peran pemerintah daerah diharapkan juga proaktif dalam hal pengawasan baik langsung dan tak langsung terhadap kemungkinan terjadinya dampak pencemaran akibat proses produksi gula di PG XYZ. Hal tersebut sesuai dengan amanat UU No. 4 tahun 1982 pasal 8. Oleh karena itu dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi terhadap permasalahan pencemaran lingkungan terhadap proses produksi gula melalui analisis daur hidup produk dan proses manajemen risiko limbah.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Studi

Lokasi studi berada pada salah satu pabrik gula yang dikelola oleh PT SGN yang berada pada Kabupaten Magetan, Jawa Timur. PG XYZ memiliki kapasitas 2650 tth (tanpa jam henti) dan 2359,8 (dengan jam henti). Area PG XYZ mencapai 81.420 m² digunakan untuk kegiatan operasional produk. Beberapa kegiatan operasional PG XYZ meliputi emplasment pabrik, pembuangan abu, blotong, pekarangan jalan dan jembatan.

Data dan Sumber Data

Data dalam penelitian ini dibagi menjadi dua bagian yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari melakukan observasi di lapangan. Contoh data primer meliputi data hasil penyebaran kuesioner, data kondisi pengolahan limbah terhadap lingkungan dll. Data sekunder diperoleh dari data historis perusahaan maupun pihak ketiga yang memiliki kredibilitas dalam menyajikan informasi. Contoh data sekunder meliputi data Lingkungan Hidup dan Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup (UKL-UPL), data BPS, dll.

Langkah Penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi lapangan di PG XYZ. Kegiatan studi lapangan bertujuan untuk mengamati objek dari masalah yang berhubungan dengan limbah. Kegiatan yang dilakukan meliputi observasi, wawancara dan dokumentasi. Studi literatur digunakan menambah pemahaman terhadap *Life Cycle Assessment* (LCA) dan manajemen risiko.

Pengukuran LCA melalui tiga tahapan proses. Langkah awal yang dilakukan adalah menghitung masukan dan keluaran dari siklus hidup di PG XYZ yang meliputi bahan baku tebu, energi dan produk gula yang dihasilkan. Langkah kedua adalah Pengolahan terhadap data input dan output untuk mencari *environmental impact* dengan memperhatikan tiga elemen yaitu normalisasi, karakteristik dan pembobotan. Langkah ketiga adalah melakukan evaluasi pada bagian yang memberikan *feedback* terbesar pada lingkungan.

Proses manajemen risiko dilakukan setelah perhitungan LCA selesai dilakukan. Proses manajemen risiko dilakukan melalui tiga tahapan proses. Tahapan awal yaitu melakukan identifikasi terhadap risiko proses yang berdampak pada lingkungan. Tahapan kedua yaitu melakukan penilaian risiko. Dalam penelitian ini penilaian risiko menggunakan metode

kualitatif dengan menggunakan metode *risk matrix*. Sebelum melakukan penilaian risiko maka menentukan skala penilaian dari kemungkinan dan dampak. Penentuan skala penilaian dari kemungkinan dan dampak dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 (PTPN IX, 2014). Tahap ketiga adalah evaluasi risiko. Kegiatan evaluasi risiko bertujuan untuk proses penanganan terhadap risiko kritis melalui tindakan mitigasi agar tidak menyebabkan dampak secara signifikan terhadap pencemaran di lingkungan oleh aktivitas PG XYZ.

Tabel 1. Tingkat *Likelihood* / Kemungkinan

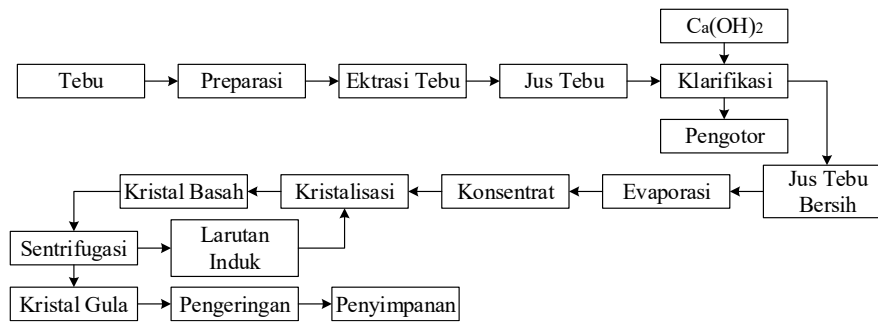
Level	Tingkatan	Skala	Keterangan Skala - Probabilitas
5	Hampir Pasti (HP)	$\geq 80 \%$	Tingkat kemungkinan kejadiannya $> 80 \%$ akan terjadi pada 1 (satu) tahun kedepan
4	Kemungkinan Besar (KB)	$60 \% - < 80 \%$	Tingkat kemungkinan kejadiannya besar (sangat sering), berkisar antara $60 \% - < 80 \%$ probabilitas dalam waktu 1 (satu) tahun kedepan.
3	Kemungkinan Sedang (KS)	$40 \% - < 60 \%$	Kejadian risiko yang mungkin terjadi sedang (sering) dengan probabilitas $40 \% - < 60 \%$ dalam jangka waktu 1 (satu) tahun kedepan.
2	Kemungkinan Kecil (KC)	$20 \% - < 40 \%$	Kejadian risiko yang bisa saja terjadi sewaktu-waktu dengan kemungkinan $20 \% - < 40 \%$ probabilitas dalam jangka waktu 1 (satu) tahun kedepan
1	Jarang (J)	$< 20 \%$	Kejadian risiko hanya akan terjadi dalam kondisi yang sangat spesifik. Biasanya hanya memiliki peluang kejadian maksimal $< 20 \%$ dalam 1 (satu) tahun kedepan.

Tabel 2. Tingkat *Impact* / Dampak

Level	Skala	Kepatuhan	Reputasi
5	$\geq 80 \%$	Mengancam kelangsungan usaha	Publisitas negatif skala nasional
4	$60 \% - < 80 \%$	Berdampak sangat pada material	Publisitas negatif skala provinsi
3	$40 \% - < 60 \%$	Berdampak pada material	Publisitas negatif skala kabupaten / kota
2	$20 \% - < 40 \%$	Berdampak terbatas	Publisitas negatif skala lokal (sekitar unit kerja)
1	$< 20 \%$	Tidak berdampak	Publisitas negatif skala lokal (sekitar unit kerja)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengolahan gula dimulai dari pengilingan tebu hingga proses akhir menjadi gula. Tahapan proses pembuatan gula dapat dilihat pada Gambar 1 (Yani et al., 2012). Proses LCA diawali dengan mengidentifikasi permasalahan serta menentukan ruang lingkup dan batasan dari pengukuran. Ruang lingkup kajian dalam pengukuran LCA dengan “*gate to gate*” meliputi pengolahan tebu sampai hasil berupa gula.



Gambar 1. Proses Produksi dalam Pengolahan Tebu Menjadi Gula

Proses pembuatan gula pada PG XYZ melalui tahapan-tahapan poses dari stasiun kerja. Stasiun pengolahan gula terbagi menjadi stasiun gilingan, stasiun gilingan, stasiun pemurnian, stasiun evaporator, stasiun evaporator, stasiun masakan, stasiun masakan, stasiun masakan, stasiun putaran, stasiun penyelesaian dan stasiun ketel. Setiap stasiun bekerja secara berkelanjutan dengan peran dan fungsi tertentu ketika produksi berlangsung. Proses produksi PG XYZ pada tahun 2022 berlangsung antara bulan Juni 2022 sampai Oktober 2022.

Data dari proses produksi dijadikan dalam perhitungan LCA pada penelitian ini. Perhitungan LCA dibatasi pada aspek yang berpengaruh terhadap produksi gula dan transportasi di area pabrik yang mempengaruhi aspek lingkungan. Tahapan dari LCA pada penelitian ini meliputi menentukan *inventory result*, *impact assessment* dan *life cycle interpretation*. Penjelasan lebih lanjut dari perhitungan LCA sebagai berikut :

1) *Inventory Result*

Langkah ini merupakan langkah yang paling penting dalam keberhasilan implementasi LCA. Hasil LCA berbanding lurus bila *inventory* pada kondisi baik pula. Kondisi *inventory* pada tahap ini berhubungan dengan sistem dan prosedur dalam perhitungan relevansi antara *input* dan *output*. Proses perhitungan memerlukan pengumpulan data dari setiap unit proses. Data yang terkumpul perlu ada tahapan lanjutan seperti validasi data, pengecekan korelasi data dengan unit proses maupun fungsional. Ketersediaan data diperlukan dalam membuat model inventaris dari sistem pada unit proses.

Hasil data proses yang terkumpul diolah dengan menggunakan *OpenLCA software*. Data hasil pengolahan berupa *single score* dari dampak proses produksi Gula. Tabel 3 merupakan hasil dari perhitungan *single score*. Perhitungan *single score* dapat diketahui dampak lingkungan yang terjadi pada proses produksi gula dan transportasi. Antara proses produksi gula dan transportasi dilihat dari Tabel 3 diketahui bahwa proses produksi gula menghasilkan 21,14147 Pt sedangkan transportasi menghasilkan 9,588872 Pt. Tingginya *total impact category* pada produksi gula diperlukan kajian kembali secara terperinci terhadap tahapan prosesnya. Hasil *impact category* dari 11 kategori dampak dari proses produksi gula menunjukkan nilai tertinggi pada *climate change* sebesar 10,17 Pt. Perlu adanya kajian perbaikan oleh PG XYZ terhadap kategori *climate change* agar sesuai kebijakan Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (PROPER LH).

Tabel 3. Hasil *Single Score* terhadap Dampak Lingkungan

<i>Impact Category</i>	Unit	Transportasi	Proses Produksi Gula
<i>Carcinogens</i>	Pt	1,872	0,2349
<i>Resp. inorganics</i>	Pt	5,652	3,861
<i>Resp. organics</i>	Pt	0,006849	0,004797
<i>Radiation</i>	Pt	0,003366	0,005922
<i>Ozone layer</i>	Pt	0,000156	0,000623
<i>Climate change</i>	Pt	10,17	0,63
<i>Ecotoxicity</i>	Pt	0,4608	0,4221
<i>Land use</i>	Pt	0,144	0,4167
<i>Minerals</i>	Pt	0,1683	0,01323
<i>Acidification / Eutrophication</i>	Pt	1,035	0,1926
<i>Fossil fuels</i>	Pt	1,629	3,807
<i>Total</i>	Pt	21,14147	9,588872

2) *Impact Assessment*

Tahapan *impact assessment* berkaitan dengan evaluasi terhadap dampak lingkungan yang berasal dari sumber daya hasil identifikasi terhadap proses *Life Cycle Inventory* (LCI). Proses penilaian dampak berkaitan dengan ekologi, *people's health* serta pemanfaatan sumber daya alam. Hubungan antara produk / proses terhadap potensi dampak lingkungan menjadi tolok ukur dalam perhitungan *impact assessment*. Penilaian dampak dapat dikonversi pada risiko, keterangan dan model karakterisasi. Penilaian *impact assessment* pada penelitian ini dibatasi pada proses produksi gula karena berdampak terhadap lingkungan dari masing-masing tahapan pengolahan nira sampai menjadi gula. Tabel 4 merupakan hasil penilaian *impact assessment* berdasarkan *characterization*. Penilaian *characterization* berhubungan dengan besarnya substansi yang memiliki kontribusi pada dampak dengan dasar faktor karakteristik selama proses produksi gula berlangsung. Hasil *characterization* dapat diketahui bahwa penyebab terjadinya *climate change* tertinggi pada stasiun masakan dengan nilai 1,98E-04 DALY. Selain itu juga potensi *ecotoxicity* juga tertinggi pada stasiun puteran dengan nilai 65,43 PDF*m2yr karena pada proses ini terjadi pemisahan kristal gula terhadap pengotor seperti *stroop*, *klare* dan tetes. Bila hasil pengotor tidak baik dalam proses penampungan dan penyimpanan maka menimbulkan bau yang tidak sedap pada lingkungan disekitar penduduk. Pada kasus di PG XYZ proses penampungan tetes melihat volume penampungan. Bila kondisi volume bak penampungan penuh untuk sementara waktu ditampung di kolam terbuka sehingga pencemaran bau tidak dapat dihindarkan. Oleh karenanya perlu adanya investasi kedepan oleh PG XYZ dalam pengolahan tetes menjadi bioetanol untuk menanggulangi oversupply tetes selama proses produksi gula.

Tabel 4. Hasil Pengukuran *Characterization* dari *Impact Assessment* Terhadap 1 Ton Gula

<i>Impact Category</i>	Unit	Stasiun				
		Gilingan	Pemurnian	Evaporator	Masakan	Puteran
<i>Carcinogens</i>	DALY	3,38E-09	4,37E-06	4,37E-06	3,65E-05	3,65E-05
<i>Resp. inorganics</i>	DALY	9,54E-09	1,17E-05	5,89E-05	9,00E-05	9,00E-05
<i>Resp. organics</i>	DALY	4,47E-12	5,45E-09	2,75E-08	1,24E-07	1,38E-07
<i>Radiation</i>	DALY	6,82E-12	8,52E-09	4,23E-08	6,13E-08	6,81E-08
<i>Ozone layer</i>	DALY	5,04E-13	6,31E-10	3,14E-09	3,00E-09	3,33E-09
<i>Climate change</i>	DALY	6,92E-09	1,53E-05	7,52E-05	1,98E-04	1,80E-04
<i>Ecotoxicity</i>	PDF* m2yr	0,003321	4,185	34,29	58,86	65,43
<i>Land use</i>	PDF* m2yr	0,000225	0,3195	1,584	1,8	1,998
<i>Minerals</i>	MJ Surplus	0,000326	0,4059	3,204	5,697	6,327
<i>Acidification / Eutrophication</i>	PDF* m2yr	0,000099	1,179	5,832	13,23	14,76
<i>Fossil fuels</i>	MJ Surplus	0,00738	8,937	44,55	38,97	43,29

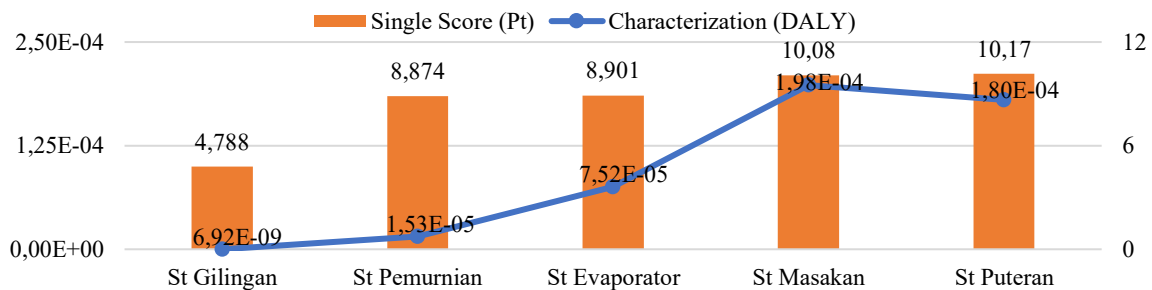
Pengukuran *single score* berdasarkan hasil konversi pada kategori dampak. Tabel 5 menunjukkan hasil *single score* dari *impact assessment* terhadap 1 ton gula. Hasil *total single score* per tiap stasiun adalah stasiun gilingan = 18,69 Pt, stasiun pemurnian = 23,06 Pt, stasiun evaporator = 23,95 Pt, stasiun masakan = 20,38 Pt dan stasiun puteran = 20,49 Pt. Hasil pengukuran *single score* berdasarkan *impact category* diketahui ada 2 dampak tertinggi dari produksi gula yaitu *resp. inorganics* dan *climate change*.

Tabel 5. Hasil Pengukuran *Single Score* dari *Impact Assessment* Terhadap 1 Ton Gula

<i>Impact Category</i>	Unit	Stasiun				
		Gilingan	Pemurnian	Evaporator	Masakan	Puteran
<i>Carcinogens</i>	Pt	2,34	2,538	2,835	1,845	1,845
<i>Resp. inorganics</i>	Pt	6,57	6,777	6,966	5,508	5,517
<i>Resp. organics</i>	Pt	0,003096	0,003168	0,003249	0,006273	0,006282
<i>Radiation</i>	Pt	0,004716	0,00495	0,00504	0,003105	0,003105
<i>Ozone layer</i>	Pt	0,000352	0,000366	0,000371	0,000144	0,000144
<i>Climate change</i>	Pt	4,788	8,874	8,901	10,08	10,17
<i>Ecotoxicity</i>	Pt	0,3519	0,3717	0,621	0,4563	0,4572
<i>Land use</i>	Pt	0,5625	0,2844	0,2871	0,1395	0,1395
<i>Minerals</i>	Pt	0,1305	0,1368	0,2196	0,1674	0,1674
<i>Acidification / Eutrophication</i>	Pt	1,044	1,053	1,053	1,026	1,035
<i>Fossil fuels</i>	Pt	2,898	3,015	3,06	1,143	1,152
<i>Total</i>	Pt	18,69	23,06	23,95	20,38	20,49

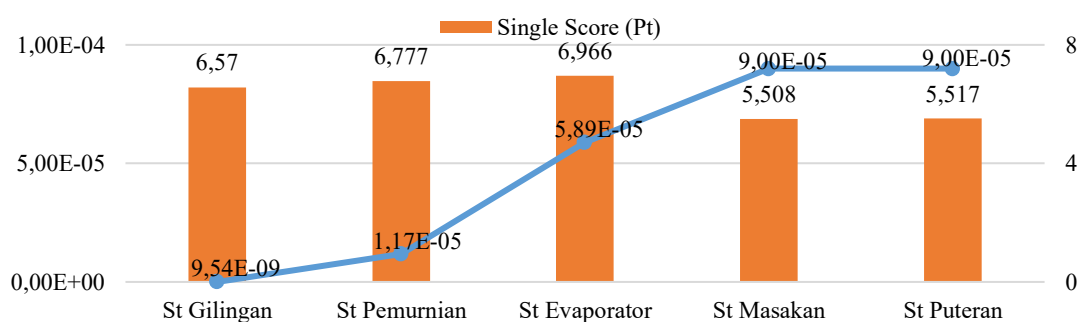
Permasalahan *climate change* salah satu penyebab permasalahan terhadap pencemaran selama proses produksi gula. Akibat *climate change* membuat perubahan iklim yang tidak dapat dihindarkan. Gambar 2 menunjukkan grafik hasil pengukuran *characterization* dan *single score* pada stasiun kerja di PG XYZ. Hasil pengukuran *characterization* dan *single score* menunjukkan stasiun masakan memiliki pengaruh

paling tinggi terhadap *climate change*. Potensi stasiun masakan terhadap *climate change* akibat penggunaan biomasa dari ampas tebu menyebabkan tingginya residu akibat proses pembakaran dalam menggerakkan turbin sebagai sumber tenaga. Residu yang dirasakan bisa berupa asap dan debu halus sehingga dalam intensitas tertentu dapat berdambak terhadap gangguan pernapasan.



Gambar 2 Potensi *Climate Change* Produksi Gula Di PT XYZ

Permasalahan *respiratory inorganics* mengakibatkan gangguan saluran pernapasan akibat sumber residu yang bersifat anorganik. Potensi *respiratory inorganics* pada PG XYZ dapat dilihat pada Gambar 3. Stasiun pemurnian dan stasiun evaporator menjadi bagian stasiun kerja yang berpotensi terhadap *respiratory inorganics*. Penyebabnya adalah dua stasiun kerja tersebut bersentuhan langsung dengan komponen kimia dalam proses pembuatan gula. Bahan kimia yang digunakan dalam proses pembentukan gula antara lain soda api (NaOH) dan gas SO₂. Tingkat kemungkinan pencemaran bisa membuat pekerja maupun penduduk di sekitar PG XYZ mengalami gangguan pernapasan sehingga lambat laun bisa terjadi komplikasi. Oleh karena selama proses produksi pabrik gula perlu adanya penggalakan dalam penggunaan alat pelindung diri berupa pemakaian masker dalam menanggulangi Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA).



Gambar 3 Potensi *Respiratory Inorganics* Produksi Gula Di PT XYZ

3) *Life Cycle Interpretation*

Life cycle interpretation merupakan tahapan akhir dari perhitungan LCA. Tahapan *life cycle interpretation* memberikan rekomendasi dan keputusan berdasarkan tujuan maupun ruang lingkup sesuai dengan ketentuan diawal dari *inventory result*. Hasil *life cycle interpretation* harus mencerminkan tindakan akuntabel berdasarkan perhitungan

impact assessment sehingga diketahui dampak potensial dari permasalahan yang terjadi. Hasil *life cycle interpretation* terhadap dampak lingkungan yang terjadi pada PG XYZ maka diberikan rekomendasi perbaikan seperti :

- a) Meminimalkan bahan bakar fosil dalam proses produksi gula
Bahan bakar fosil sebagai bahan baku substitusi dalam proses pembakaran dalam stasiun ketel. Pengalihan fungsi bahan bakar fosil dapat menggunakan bioetanol. Pembuatan bioetanol dapat dilakukan asalkan ada investasi kedepan terhadap pengolahannya. Selama ini hasil sampingan PG XYZ berupa tetes hanya dijual pada pihak ke 3 tanpa ada pengolahan sebelumnya. Nilai tambah dari hasil tetes belum dirasakan secara signifikan oleh PG XYZ.
- b) Memanfaatkan hasil limbah sampingan dari proses produksi gula
Hasil sampingan PG XYZ beberapa diantaranya berupa blotong dan ampas tebu. Pemanfaatan blotong selama ini hanya digunakan sebagai bahan campuran pupuk organik dengan perlakuan tertentu. Ampas tebu seringkali tersisa diakhir proses produksi. Bila tidak tersimpan dengan baik dapat mengganggu pernafasan bahkan debu yang dihasilkan dapat mengganggu penglihatan jika terkena angin. Solusi yang bisa diterapkan diantaranya adalah membuat ampas tebu sisa produksi sebagai briket sehingga dapat disimpan untuk proses produksi selanjutnya sehingga cost pembelian kayu bakar sebagai awalan bahan baku stasiun ketel dapat ditekan dan dikurangi.
- c) Menambah instalasi mesin *cottrell* untuk mengurangi terciptanya polusi udara
Polusi udara bagian yang tak terpisahkan dalam proses produksi gula di PG XYZ. Polusi udara dihasilkan dari pembakaran biomasa pada stasiun ketel sebagai sumber tenaga pabrik gula. Gas buang hasil pembakaran dibuang tanpa ada perlakuan dengan mekanisme tertentu yang ramah lingkungan membuat dampak emisi bagi lingkungan disekitar. Cara mencegah emisi buang hasil pembakaran perlu adanya kebijakan dalam hal perbaikan instalasi terhadap pengolahan gas buang. Bentuk instalasi dalam perbaikan gas buang dapat ditambahkan mesin *cottrell*. Manfaat mesin *cottrell* membantu dalam pemisahan partikel koloid melalui prinsip elektroforesis lebih ramah terhadap lingkungan.

Tahapan manajemen risiko dilakukan setelah perhitungan LCA. Proses manajemen risiko pada penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahapan manajemen risiko meliputi identifikasi risiko, penilaian risiko dan mitigasi risiko. Penjelasan dari tahapan manajemen risiko yang dilakukan pada penelitian ini, sebagai berikut :

1) Identifikasi risiko

Kegiatan identifikasi risiko merupakan tahapan awal dari proses manajemen risiko. Proses identifikasi risiko dilakukan baik secara internal maupun eksternal terhadap risiko potensial yang mengakibatkan gangguan dalam capaian tujuan PG XYZ. Hasil identifikasi dari potensi risiko dirangkum dalam tabel dimana didalamnya berisikan *risk agent* dari sumber pencemaran (Basri et al., 2014). Pembentukan tabel untuk memudahkan dalam proses identifikasi sehingga informasi terkait risiko yang sudah dikumpulkan dari berbagai pihak dapat diketahui (Darmawan et al., 2022). Tahapan identifikasi risiko pada penelitian ini berkaitan dampak lingkungan akibat kegiatan pra konstruksi, konstruksi

dan kegiatan operasi. Pihak yang menjadi responden dipilih berdasarkan pengetahuannya terkait risiko terhadap lingkungan di PG XYZ melalui wawancara dan pengumpulan data historis. Hasil identifikasi risiko dapat dilihat pada Tabel 6. Hasil identifikasi risiko diketahui bahwa terdapat 12 kriteria dan 36 sub kriteria. Hasil dari kriteria meliputi perbaikan peralatan, mobilisasi (tenaga kerja dan bahan baku), proses produksi (penggilingan, pemurnian / penjernihan nira, penguapan, kristalisasi, puteran dan pengemasan) serta operasional (power plan, instalasi pengolahan limbah, laboratorium pengolahan dan perumahan karyawan).

Tabel 6. Identifikasi Risiko

Kriteria		Sub Kriteria		Penjelasan
A	Perbaikan Peralatan Produksi	A1	Penurunan kualitas udara	Timbulan debu pada proses perbaikan peralatan yang berupa peralatan mekanik dan statis.
		...	...	...
		A4	Timbulan limbah B3	Limbah B3 berupa oli bekas, aki bekas, kemasan terkontaminasi (majun), lampu bekas.
...	...	...	...	...
		...	...	...
L	Operasional mess / rumah dinas, kantor, teknik, pengolahan	L1	Air limbah domestik	Air limbah domestik terdiri atas <i>black water</i> dan <i>grey water</i> yang dihasilkan dari aktivitas tenaga kerja / karyawan.
		L2	Sampah domestik terdiri atas organik dan anorganik	Sampah domestik terdiri atas organik dan anorganik yang dihasilkan dari aktivitas karyawan di unit teknik, pengolahan, kantor, bengkel dan rumah dinas.

2) Penilaian risiko

Tahapan penilaian risiko dilakukan setelah identifikasi risiko. Tujuan dilakukan penilaian risiko adalah untuk mengetahui potensi dan besarnya tingkatan bahaya (Hakim, 2017) sehingga kontrol risiko dapat dijalankan pada tahap yang dapat diterima (Albar et al., 2022). Pada penelitian ini penilaian risiko menggunakan metode *risk matrix*. Metode *risk matrix* memformulasikan tingkat risiko berdasarkan *likelihood* dan *impact* (Hakim, 2022). Formulasi tingkat risiko seperti pada Persamaan 1. Penentuan *likelihood* dan *impact* didasarkan perhitungan *severity index* pada Persamaan 2.

$$\text{Tingkat risiko} = \text{tingkat kemungkinan (probability)} \times \text{dampak (impact)} \quad (1)$$

$$SI = \frac{\sum_{i=0}^1 a_i x_i}{4 \sum_{i=0}^1 x_i} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :

SI = *Severity index*

i = 0,1,2,3,4,.....n

a_i = Konstanta penilai (a₀ = 0, a₁ = 1, a₂ = 2, a₃ = 3, a₄ = 4)

x_i = Frekuensi responsden (x₀, x₁, x₂, x₃, x₄ = respons frekuensi responsden)

x₀ = Frekuensi responsden “jarang / tidak berdampak”, maka a₀ = 0

x₁ = Frekuensi responsden “kemungkinan kecil / berdampak terbatas”, maka a₁ = 1

x₂ = Frekuensi responsden “kemungkinan sedang / berdampak”, maka a₂ = 2

x₃ = Frekuensi responsden “kemungkinan besar / berdampak sangat”, maka a₃ = 3

x₄ = Frekuensi responsden “hampir pasti / mengancam”, maka a₄ = 4

Penilaian risiko diawali dengan melakukan pengujian validitas dan reliabilitas dari jawaban hasil kuesioner pada 10 orang responden. Pemilihan responden didasarkan masa kerjanya lebih dari 15 tahun dan jabatan yang diemban sekarang minimal kepala divisi. Pengujian kuesioner dilakukan melalui beberapa replikasi sampai memenuhi syarat yang ditentukan. Hasil pengujian validitas dan reliabilitas dari responden terhadap *likelihood* (rata-rata $r_{hitung} = 0,903 > 0,632 / 0,765$ jika $\alpha = 5\% / 1\%$, rata-rata nilai nilai sig. = $0,001 < 0,05$ dan cronbach's alpha = $0,993 > 0,6$) dan *impact* (rata-rata $r_{hitung} = 0,919 > 0,632 / 0,765$ jika $\alpha = 5\% / 1\%$, rata-rata nilai nilai sig. = $0,000 < 0,05$ dan cronbach's alpha = $0,995 > 0,6$) menghasilkan luaran valid dan reliabel sehingga *feedback* responden dapat diakui kebenarannya. Hasilnya diketahui valid dan reliabel maka tahapan lanjutnya adalah perhitungan SI. Hasil perhitungan SI terhadap *likelihood* dan *impact* pada 36 sub kriteria risiko dapat diketahui pada Tabel 7 dan Tabel 8. Perhitungan SI mengikuti skala pada tabel *likelihood* dan *impact*. Salah contoh perhitungan perhitungan SI terhadap *likelihood* dan *impact* pada sub kriteria risiko A1 diuraikan sebagai berikut :

Contoh perhitungan SI pada *likelihood* terhadap sub kriteria A1.

$$SI = \frac{\sum_{i=0}^1 a_i x_i}{4 \sum_{i=0}^1 x_i} \times 100\%$$

$$SI = \frac{(0 \times 1) + (1 \times 2) + (2 \times 3) + (3 \times 2) + (4 \times 2)}{4 \times 10} \times 100\%$$

$$SI = 55\% \approx \text{jarang}$$

Contoh perhitungan SI pada *impact* terhadap sub kriteria A1.

$$SI = \frac{\sum_{i=0}^1 a_i x_i}{4 \sum_{i=0}^1 x_i} \times 100\%$$

$$SI = \frac{(0 \times 1) + (1 \times 1) + (2 \times 2) + (3 \times 4) + (4 \times 2)}{4 \times 10} \times 100\%$$

$$SI = 62,5\% \approx \text{sedang}$$

Tabel 7. Hasil Perhitungan SI dari Tingkat *Likelihood* / Kemungkinan

SK	Hasil Rekap					Jumlah	Perhitungan SI (%)	Nilai
	1	2	3	4	5			
A1	1	2	3	2	2	10	55	3
...	...	...	...	...	...	...	...	...
L1	5	4	1	0	0	10	15	1
L2	3	3	2	1	1	10	35	2

Tabel 8. Hasil Perhitungan SI dari *Impact* / Dampak

SK	Hasil Rekap					Jumlah	Perhitungan SI (%)	Nilai
	1	2	3	4	5			
A1	1	1	2	4	2	10	62,5	4
...	...	...	...	...	...	...	...	...
L1	5	5	0	0	0	10	12,5	1
L2	3	4	1	1	1	10	32,5	2

Hasil pengukuran tingkat risiko dapat diketahui pada Tabel 9. Hasil pengukuran tingkat risiko didapatkan bahwa 2 sub risiko kategori ekstrim, 3 sub risiko kategori tinggi, 14 sub risiko kategori sedang dan 17 sub risiko kategori rendah. Penentuan jumlah tingkat risiko sesuai

dengan pemetaan *risk matrix* pada Gambar 4. Hasil tingkat risiko pada kategori tinggi dan ekstrim menjadi prioritas dalam dilakukan perbaikan. Temuan dari tingkat risiko kategori tinggi dan sedang meliputi “penurunan kualitas udara”, “emisi dari proses pembakaran bahan bakar ampas (*bagase*)”, “emisi cerobong boiler yang mengeluarkan debu”, “penurunan kualitas air permukaan” dan “perubahan kualitas air permukaan”. Prioritas perbaikan terhadap kategori risiko tinggi dan ekstrim dipilih dan dilakukan untuk penanganan lebih lanjut atas rekomendasi dari pihak PG XYZ. Penanganan kategori risiko tinggi dan ekstrim diharapkan untuk mencegah dampak yang tidak baik dalam skala besar terhadap lingkungan.

Tabel 9. Hasil Penilaian Risiko

Sub Kriteria (SK)		Nilai		Tingkat Risiko	Skala Penilaian
		Kemungkinan	Dampak		
A1	Penurunan kualitas udara	3	4	12	Tinggi
...	...	...	...	...	...
L1	Air limbah domestik	1	1	1	Rendah
L2	Sampah domestik terdiri atas organik dan anorganik	2	2	4	Rendah

Dampak	5	D3, H1					Ekstrim Tinggi Sedang Rendah
	4	D4, G2	C2, E4, K1	A1		I2	
	3	C3, F2	A2, I3	J1	I1	J2	
	2	C4, E3	B2, E1, L2	A4, F1	C1, E2, I5		
	1	D1, L1	B1, E5	C5, F3	A3, G1	D1, I4	
		1	2	3	4	5	Tingkat Kemungkinan

Gambar 4 Hasil Pembentukan *Risk Matrix*

3) Evaluasi risiko

Kegiatan evaluasi risiko menjadi tahapan lanjutan dari proses penilaian risiko. Tindakan dalam evaluasi risiko dapat dilakukan (Kusuma, 2019) melalui menahan risiko (*risk retention*), mengurangi risiko (*risk mitigation*), mengalihkan risiko (*risk transfer*), menghindari risiko (*risk avoidance*) dan berbagi risiko (*risk sharing*). Tujuan dari evaluasi risiko memberikan rekomendasi perbaikan (Kusuma & Bima, 2022) dari risiko kategori tinggi dan ekstrim. Hasil dari evaluasi risiko pada penelitian ini dapat dijelaskan pada Tabel 10. Hasil tabel menunjukkan 6 pemicu terciptanya risiko, 10 kemungkinan dari penanggulangan risiko dan 8 solusi tindakan dari rencana kontingensi.

Tabel 10. Evaluasi Risiko dari Dampak Pencemaran Lingkungan PG XYZ

Respons Risiko	Pemicu	Kemungkinan	Rencana Kontingensi
Penurunan kualitas udara	Kadar debu dan kebisingan di tempat kerja	Mengalihkan, Mengurangi	1) Menyediakan ruang khusus untuk pekerjaan perbaikan peralatan / mesin. 2) Memasang dust collector dilokasi kegiatan perbaikan peralatan / mesin. 3) Mengatur ventilasi pada ruang untuk pekerjaan perbaikan peralatan / mesin.

Respons Risiko	Pemicu	Kemungkinan	Rencana Kontingensi
Emisi dari proses pembakaran bahan bakar ampas (bagase)	Perubahan kualitas udara emisi	Menghindari, Menahan	1) Melakukan uji kualitas udara ambien dan uji kualitas udara emisi. 2) Melakukan wawancara dengan masyarakat terkait kualitas udara ambien
Emisi cerobong boiler yang mengeluarkan debu	Partikel halus yang tertiuap angin sampai ke permukiman dari sisa proses pembakaran ampas tebu / <i>bagase</i>	Mengalihkan, Berbagi risiko	Melakukan observasi tentang volume timbulan limbah padat (neraca massa) abu selama 6 bulan sekali selama proses produksi.
Penurunan kualitas air permukaan	Outlet pelepasan air yang berasal dari instalasi pengolahan air limbah	Menahan, Menghindari	Melakukan uji kualitas air permukaan di lokasi pelepasan air limbah PG. XYZ, up stream dan down stream selama 3 bulan sekali selama proses produksi
Perubahan kualitas air permukaan	Aduan masyarakat terkait dengan kualitas air permukaan Aduan masyarakat terkait dengan kualitas air permukaan	Mengurangi, Menahan	Melakukan wawancara dengan masyarakat terkait kualitas air permukaan di Permukiman sekitar lokasi PG. XYZ selama 3 bulan sekali selama proses produksi

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari kajian penelitian bahwa munculnya dampak lingkungan tertinggi dihasilkan dari pengukuran *single score* antara proses produksi gula dengan transportasi. Proses produksi gula menghasilkan *single score* tertinggi dimana *impact category* yang berpengaruh adalah *climate change* dan *respiratory inorganics* terhadap dampak lingkungan. Tiga rekomendasi perbaikan dalam *life cycle interpretation* untuk meminimalkan dampak lingkungan yang terjadi. Hasil pengujian LCA menjadi acuan dalam kajian manajemen risiko. Hasil identifikasi risiko diketahui bahwa 12 kriteria dan 36 sub kriteria. Temuan 36 sub kriteria kemudian dilakukan penilaian risiko.

Hasil penilaian risiko didapatkan 2 sub risiko kategori ekstrim, 3 sub risiko kategori tinggi, 14 sub risiko kategori sedang dan 17 sub risiko kategori rendah. Atas rekomendasi dari PG XYZ, kegiatan evaluasi risiko hanya pada risiko kategori tinggi dan ekstrim. Kegiatan evaluasi risiko menunjukkan 6 pemicu terciptanya risiko, 10 kemungkinan dari penanggulangan risiko dan 8 solusi tindakan dari rencana kontingensi.

DAFTAR PUSTAKA

- Albar, M. E., Parinduri, L., & Sibuea, S. R. (2022). Analisis Potensi Kecelakaan Menggunakan Metode Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA). *Buletin Utama Teknik*, 17(3), 241–245.
- Ariningsih, E. (2014). Menuju Industri Tebu Bebas Limbah. *Prosiding Seminar Nasional Hari Pangan Sdunia*, 34, 409–419.
- Başaran, B. (2012). What Makes Manufacturing Companies More Desirous of Recycling? *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 24(1), 107–122.
- Basri, S., Bujawati, E., Amansyah, M., Habibi, & Samsiana. (2014). Analisis Risiko Kesehatan

- Lingkungan (Model Pengukuran Risiko Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan). *Jurnal Kesehatan*, 7(2), 427–442.
- Cao, G., Gao, Y., Wang, J., Zhou, X., Bi, J., & Ma, Z. (2019). Environmental, Financial and Quality Assessment of Drinking Water Processes at Waternet. *Journal of Cleaner Production*, 219, 856–864.
- Ciarapica, F., Bevilacqua, M., & Antomarioni, S. (2019). An Approach Based on Association Rules and Social Network Analysis for Managing Environmental Risk: A Case Study from A Process Industry. *Process Safety and Environmental Protection*, 128, 50–64.
- Dahruji, Wilianarti, P. F., & Hendarto, T. (2017). Limbah Usaha Mandiri Rumah Tangga dan Dampak Bagi Kesehatan di Wilayah Kenjeran. *Aksiologi : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 36–44.
- Darmawan, R. N., Wijaya, J. C. A., & Kanom. (2022). Analisis Keberlanjutan Ekologis Pantai Blibis Banyuwangi dengan Pendekatan Risk Management. *Jurnal Manajemen Perhotelan Dan Pariwisata*, 5(3), 352–361.
- Erlina, Y., Wicaksono, K. P., & Barunawati, N. (2017). Studi Pertumbuhan Dua Varietas Tebu (*Saccharum officinarum* L.) dengan Jenis Bahan Tanam Berbeda Study. *Jurnal Produksi Tanaman*, 5(1), 33–38.
- Esa, M., Bagaswara, A., & Hadi, Y. (2017). Analisis dan Rekayasa Proses Produksi untuk Mengendalikan Environmental Impact Menggunakan Metode LCA. *Jurnal Metris*, 18, 95–104.
- Fatikawati, Y. N., & Muktiali, M. (2015). Pengaruh Keberadaan Industri Gula Blora Terhadap Perubahan Penggunaan Lahan, Sosial Ekonomi dan Lingkungan di Desa Tinapan dan Desa Kedungwungu. *Jurnal Teknik PWK*, 4(3), 345–360.
- Fiksel, J. (2011). *Design for Environment*. McGraw-Hil.
- Hakim, A. R. (2017). Implementasi Manajemen Risiko Sistem Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lingkungan (K3L) pada Pembangunan Flyover Pegangsaan 2 Kelapa Gading Jakarta Utara. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23(2), 113.
- Hakim, A. R. (2022). Identifikasi dan Penilaian Risiko Sistem Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lingkungan pada Pembangunan Apartemen. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 7(3), 231–240.
- Handayani, S. (2015). Manajemen pengelolaan limbah industri. *BENEFIT : Jurnal Manajemen Dan Bisnis*, 19(2), 143–149.
- Horne, R., Grant, T., & Verghese, K. (2009). *Life Cycle Assessment : Principles, Practice and Prospects*. CSIRO PUBLISHING.
- ISO14001. (2004). *Environmental Management System – Requirements with Guidance For Use*. ISO.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah, (2014).
- Kusuma, Y. A. (2019). Supply Arrangement of Raw Material and Sugar Stock to Organize Overstock Risk in Warehouse. *Annual Conference of Science and Technology*, 1–10.
- Kusuma, Y. A., & Bima, A. C. A. (2022). Project Management Analysis of Manufacturing Laboratory Development by Considering Risk Factors. *JKIE : Journal Knowledge Industrial Engineering*, 9(1), 1–11.
- Lubis, M. M. R., Mawarni, L., & Husni, Y. (2015). Respons Pertumbuhan Tebu (*Sacharum officinarum* L.) terhadap Pengolahan Tanah pada Dua Kondisi Drainase Respons. *Jurnal AGROEKOTEKNOLOGI*, 3(2337), 214–220.
- Naimedr, A. (2017). An Evaluation of a Risk-Based Environmental Regulation in Brazil : Limitations to Risk Management of Hazardous Installations. *Environmental Impact Assessment Review*, 63, 35–43.
- Potrich, L., Cortimiglia, M. N., & Medeiros, J. F. de. (2019). A Systematic Literature Review

- on Firm-Level Proactive Environmental Management. *Journal of Environmental Management*, 243, 273–286.
- PTPN IX. (2014). *Manajemen Risiko*. PT Perkebunan Nusantara IX.
- Qinqin, C., Jia, Q., Yuan, Z., & Huang, L. (2014). Environmental Risk Source Management System for The Petrochemical Industry. *Process Safety and Environmental Protection*, 97(3), 251–260.
- Rokhman, H., Taryono, & Supriyanta. (2014). Jumlah Anakan dan Rendemen Enam Klon Tebu (*Saccharum officinarum* L.) Asal Bibit Bagal, Mata Ruas Tunggal, dan Mata Tunas Tunggal. *Vegetalika*, 3(3), 89–96.
- Ummah, M., & Hidayah, H. A. N. (2018). Efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Gula PT . X di Kabupaten Kediri Jawa Timur. *Jurnal Kesehatan*, 1(3), 260–268.
- Wang, F., & Tan, R. R. (2017). Segmented Pinch Analysis for Environmental Risk Management. *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 353–361.
- Xue, M., Li, J., & Xu, Z. (2015). Management Strategies on The Industrialization Road of State of The Art Technologies For E-Waste Recycling : The Case Study of Electrostatic Separation: A Review. *Waste Management & Research*, 31(2), 130–140.
- Yani, M., Purwaningsih, I., & Munandar, M. N. (2012). Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment) Gula pada Pabrik Gula Tebu. *Jurnal Agroindustri Indonesia*, 1(1), 60–67.