

Hubungan Aktivitas Produksi Pabrik Gula dengan Peningkatan Emisi CO₂ dan Partikulat : Studi Kasus Pabrik Gula Kreet, Kabupaten Malang.



Mochamad Iffan^{a*}, Husamah^b

^a Pendidikan Biologi, FKIP, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Tlogomas No. 246, Malang, Indonesia

^b Pendidikan Biologi, FKIP, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Tlogomas No. 246, Malang, Indonesia

* Email penulis korespondensi: mochamadippan@gmail.com

ABSTRAK

Pabrik gula merupakan sumber emisi gas rumah kaca (terutama CO₂) dan polutan partikulasi (PM₁₀/PM_{2.5}) yang berasal dari proses pembakaran bahan bakar pada boiler, pembakaran sisa biomassa, serta aktivitas logistik (truk angkut tebu dan bongkar muat). Tujuan penulisan artikel ini untuk menganalisis hubungan antara aktivitas produksi Pabrik Gula Kreet (PG Kreet) dengan peningkatan emisi CO₂ dan partikulat, memadukan kajian pustaka, dokumen lokal, dan laporan-laporan pemantauan/keluhan masyarakat. Hasil kajian menunjukkan bahwa fase musim giling (operasional pabrik) berkorelasi dengan kenaikan konsentrasi partikulat di area sekitar pabrik dan bahwa sumber CO₂ berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dan pembakaran biomassa (bagasse) untuk boiler bukti keluhan masyarakat terkait debu dan antrean truk mendukung kebutuhan intervensi teknis dan manajerial. Rekomendasi meliputi pemantauan kualitas udara, peningkatan sistem kontrol emisi (baghouse/wet scrubber/ESP), manajemen logistik truk, dan program komunikasi risiko kepada masyarakat.

Kata kunci: CO₂, Kontrol emisi, Pabrik gula, PM_{2.5}, PM₁₀.

PENDAHULUAN

Gula merupakan salah satu komoditas utama masyarakat Indonesia. Kebutuhan gula bagi masyarakat tidak hanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan pokok, tetapi juga digunakan sebagai bahan pemanis yang banyak digunakan sebagai bahan baku industri makanan dan minuman. Kebutuhan gula nasional Indonesia pada tahun 2022 mencapai sekitar 6,84 juta ton, yang terdiri dari 3,21 juta ton gula kristal putih (GKP) dan 3,7 juta ton gula kristal rafinasi (GKR) (Kristanti et al., 2025). Industri pengolahan tebu salah satunya terdapat di Provinsi Jawa Timur yang telah terkenal sebagai daerah untuk industri pengolahan bidang pertanian dan perkebunan. Salah satu daerah yang juga memiliki industri pengolahan tanaman tebu di Provinsi Jawa Timur adalah di Desa Kreet Kecamatan Bululawang Kabupaten Malang. Industri pengolahan tanaman tebu dikenal dengan nama Pabrik Gula Kreet Baru yang telah berdiri sejak tahun 1906.

Seminar Nasional Pendidikan Biologi X
Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Malang
Malang, 16 Desember 2025

PG Kreet Baru adalah salah satu industri yang berfokus pada produksi gula kristal dengan bahan baku tebu. Dengan produk samping yang dihasilkan antara lain blotong, ampas tebu, abu ketel, dan tetes tebu. PG Kreet Baru mengolah seluruh tebu yang diperoleh dari petani melalui sistem bagi hasil gula. PG Kreet Baru terdiri dari dua unit, yaitu PG Kreet Baru I (KB I) dengan kapasitas giling 6.500 Ton Cane per Day (TCD) dan PG Kreet Baru II (KB II) dengan kapasitas 5.500 Ton Cane per Day (TCD). Berdasarkan kapasitas tersebut, pada tahun 2022 PG Kreet Baru berhasil memproduksi 131,7 ribu ton gula kristal putih (GKP), yang menyumbang 5,05 persen dari produksi nasional. Tebu yang siap dikonversi menjadi gula kristal putih harus memenuhi kriteria MBS (Manis, Bersih, dan Segar). Tebu dengan kriteria MBS memiliki kandungan sukrosa sebesar 8-16%, serat (fiber) sekitar 11-16%, air 69-76%, dan sisanya merupakan padatan lainnya.

Berdirinya industri pengolahan tebu yang telah lama bukan merupakan jaminan bahwa permasalahan terselesaikan dengan baik. Banyak permasalahan yang timbul termasuk yang saat ini sedang berlangsung adalah penurunan kualitas lingkungan hidup yang cukup mengkhawatirkan atau dapat dikategorikan sebagai pencemaran lingkungan terjadi di kawasan sekitar Desa Kreet, Kecamatan Bululawang Kabupaten Malang yang diakibatkan oleh pengelolaan limbah yang kurang baik.

Senyawa pencemar udara berdasarkan sifatnya menjadi tiga kelompok yaitu: Senyawa yang bersifat reaktif, partikel-partikel halus yang tersangka di atmosfer dalam jangka waktu yang lama, partikel-partikel kasar yang segera jatuh ke permukaan tanah. Senyawa-senyawa pencemar udara tersebut antara lain adalah SO₂, SO₃, CO, anomia (NH₃), asam hidroklorit, senyawa flour dan unsur-unsur radioaktif. Partikel- partikel halus terutama berbentuk kabut yang berasal dari proses pembakaran bahan bakar secara tak sempurna, sedangkan partikel-partikel kasar terutama berbentuk senyawa organik. Senyawa SO₂, asap dan debu dapat berfungsi sebagai prototype senyawa pencemar udara yang lain.

Limbah gas dan partikel adalah limbah yang banyak dikeluarkan atau dibuang melalui media udara. Gas, partikulat, dan debu yang dikeluarkan oleh pencemar melalui udara dipengaruhi oleh arah angin, sehingga jangkauannya akan melebar sesuai arah angin berjalan. Partikel merupakan butiran halus yang masih bisa dilihat dengan kasat mata seperti uap air, debu, asap, dan kabut. Udara secara alami memiliki kandungan unsur kimia seperti oksigen, nitrogen, hidrogen, karbondioksida, dan jenis gas lainnya. Apabila ada penambahan unsur lain ke dalam udara sehingga melebihi ambang batas kandungan alaminya, akibatnya kualitas udara akan mengalami penurunan.

Pengaruh gas CO yang jumlahnya melebihi kapasitas serap alami oleh atmosfer lama-kelamaan akan mengakibatkan banyak kerusakan alam lainnya, seperti pemanasan global akibat menipisnya lapisan ozon, perubahan iklim yang ekstrem, dan tentunya membentuk kabut asap atau biasa kita sebut dengan polusi udara. Selain itu, gas CO yang terus-terusan terhirup oleh manusia bisa menyebabkan gangguan kesehatan seperti asma, penyakit jantung, dan lebih parahnya jika jumlah gas CO yang terhirup sudah melebihi batas bisa menyebabkan kematian.

Pabrik gula merupakan salah satu industri agro yang memiliki kontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO₂), serta polutan partikulat PM₁₀

dan PM_{2.5} yang dihasilkan melalui pembakaran bahan bakar fosil, penggunaan ampas tebu (bagasse) sebagai bahan bakar boiler, serta aktivitas logistik seperti truk angkut tebu. Proses produksi gula membutuhkan energi besar, dan penggunaan ketel uap berbahan bakar biomassa maupun fosil diketahui menghasilkan emisi SO₂, NO₂, CO₂, N₂O, dan CH₄ yang berkontribusi pada pemanasan global dan pencemaran udara lokal (Naufal et al., 2023). Aktivitas produksi seperti penguapan nira dan proses pembakaran di boiler juga berpotensi menghasilkan partikulat halus yang dapat berdampak pada kesehatan masyarakat sekitar, sebagaimana ditemukan pada studi serupa di industri tebu di negara lain (LeBlond et al., 2017). Masalah utama yang melatarbelakangi penelitian ini adalah meningkatnya keluhan masyarakat terkait debu, asap, dan antrean truk saat musim giling di sekitar wilayah Pabrik Gula (PG) Kreet, Kabupaten Malang. Beberapa dokumen lokal dan laporan informal menunjukkan bahwa konsentrasi partikulat meningkat signifikan ketika pabrik memasuki siklus operasi penuh. Kondisi ini diperburuk oleh sistem logistik tebu yang menimbulkan peningkatan debu resuspensi akibat pergerakan truk serta emisi dari proses bongkar muat. Selain itu, pembakaran ampas tebu pada boiler menghasilkan partikulat halus dan abu terbang yang dapat menyebar ke lingkungan sekitar jika sistem pengendalian emisi kurang optimal (LeBlond et al., 2017). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keterkaitan aktivitas produksi PG Kreet dengan peningkatan emisi CO₂ dan partikulat, mengidentifikasi sumber emisi dominan, serta memberikan rekomendasi teknis dan manajerial untuk meminimalkan dampaknya bagi masyarakat. Manfaat penelitian ini adalah memberikan dasar ilmiah bagi upaya peningkatan pengelolaan lingkungan di PG Kreet, membantu pemerintah daerah dalam pemantauan kualitas udara, serta menjadi rujukan bagi industri gula dalam menerapkan produksi yang lebih bersih. Selain itu, penelitian ini memperkuat bukti bahwa aktivitas pabrik gula di Indonesia perlu diarahkan menuju pengelolaan emisi yang lebih berkelanjutan melalui modernisasi peralatan dan sistem logistik yang lebih baik.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam artikel ini adalah **studi pustaka (library research)**, yaitu teknik pengumpulan dan analisis data yang bersumber dari berbagai referensi ilmiah, dokumen resmi, laporan teknis, serta hasil kajian sebelumnya yang relevan dengan topik emisi CO₂ dan partikulat pada pabrik gula. Studi pustaka dilakukan dengan menelaah jurnal nasional dan internasional yang berfokus pada proses produksi gula, karakteristik emisi dari pembakaran bagasse, dampak partikulat terhadap kualitas udara, serta dinamika emisi gas rumah kaca di industri berbasis biomassa. Referensi utama mencakup penelitian Life Cycle Assessment (LCA) pada pabrik gula di Indonesia yang mengidentifikasi lima emisi udara dominan SO₂, NO₂, CO₂, CH₄, dan N₂O yang dihasilkan oleh aktivitas pembakaran pada boiler (Naufal et al., 2023). Selain itu, penelitian mengenai kebutuhan energi pada proses evaporasi dan perannya dalam meningkatkan konsumsi bahan bakar turut dikaji untuk memahami keterhubungan antara beban produksi dan emisi (Kristanti et al., 2025).

Artikel ini juga menggunakan sumber internasional seperti studi (LeBlond et al., 2017), yang meneliti karakteristik partikulat yang dihasilkan dari pembakaran biomassa tebu dan aktivitas logistik industri gula, guna memberikan perspektif global mengenai paparan partikulat respirabel (PM₁₀ dan PM_{2.5}) di sekitar fasilitas pengolahan tebu. Selain literatur

akademik, kajian ini menelaah dokumen lokal, laporan pemantauan lingkungan, serta keluhan masyarakat sekitar PG Krebbe terkait debu, asap, dan peningkatan truk selama musim giling. Dengan demikian, metode studi pustaka memungkinkan analisis komprehensif yang menggabungkan data empiris berbagai peneliti dengan informasi lokal, sehingga dapat memetakan hubungan antara aktivitas produksi pabrik dan peningkatan emisi secara lebih menyeluruh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil kajian menunjukkan bahwa aktivitas produksi PG Krebbe selama musim giling memiliki hubungan yang kuat dengan peningkatan emisi CO₂ dan partikulat di lingkungan sekitar pabrik. Dari analisis pendahuluan, diketahui bahwa proses industri gula di PG Krebbe membutuhkan energi tinggi terutama pada stasiun ketel dan stasiun penguapan, yang menyebabkan pembakaran bagasse dalam jumlah besar sebagai sumber energi utama. Pembakaran bagasse ini menghasilkan berbagai emisi gas rumah kaca seperti CO₂, CH₄, N₂O, serta gas pencemar lain seperti SO₂ dan NO₂, sebagaimana dijelaskan dalam literatur yang menyebutkan bahwa pabrik gula menghasilkan lima emisi udara dominan selama operasi boiler. Informasi dari dokumen lokal dan laporan masyarakat juga menunjukkan bahwa peningkatan polusi udara sangat nyata pada musim giling, ketika pabrik beroperasi dengan kapasitas penuh. Keluhan masyarakat mengenai debu dan asap yang masuk ke rumah, kesulitan bernapas, serta penurunan kualitas udara menguatkan dugaan bahwa konsentrasi partikulat PM₁₀ dan PM_{2.5} meningkat cukup signifikan pada periode tersebut. Data pendukung juga menunjukkan bahwa partikel debu yang dihasilkan dari pembakaran bagasse dan aktivitas logistik truk banyak lolos ke udara, terutama ketika sistem filtrasi dan pengendalian emisi tidak bekerja secara optimal. Karakteristik partikulat yang dihasilkan sesuai dengan temuan studi internasional, yaitu berukuran kecil (<4 µm) sehingga mudah terhirup dan dapat memasuki saluran pernapasan bawah masyarakat di sekitar pabrik.

Selain emisi dari cerobong, aktivitas truk pengangkut tebu juga terbukti menjadi salah satu penyumbang partikulat terbesar di sekitar pabrik. Pergerakan truk dalam jumlah besar selama musim giling meningkatkan resuspensi debu, terutama di jalan tanah atau jalan desa yang kondisinya tidak rata atau rusak. Debu tebu kering dari proses bongkar muat turut memberikan kontribusi signifikan terhadap pencemaran udara, sehingga meningkatkan paparan partikulat pada masyarakat. Dokumen pemantauan kualitas udara yang dikaji menunjukkan bahwa konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2.5} pada beberapa tahun sebelumnya bahkan telah melampaui baku mutu nasional yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999. Temuan ini menguatkan bahwa pencemaran udara di sekitar PG Krebbe bukan hanya masalah persepsi masyarakat, tetapi merupakan kondisi yang dapat diverifikasi secara ilmiah dan didukung oleh data. Pola peningkatan emisi yang teridentifikasi juga konsisten dengan penelitian mengenai pembakaran biomassa yang menunjukkan bahwa kandungan air tinggi pada bagasse dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna, yang menghasilkan peningkatan CO, VOCs, serta partikulat halus. Dengan demikian, hasil penelitian secara keseluruhan mengindikasikan bahwa tingginya intensitas produksi dan beban energi,

Seminar Nasional Pendidikan Biologi X
Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Malang
Malang, 16 Desember 2025

ditambah aktivitas logistik yang masif, menjadi kombinasi faktor utama yang menyebabkan peningkatan emisi CO₂ dan partikulat di sekitar PG Krebbe selama musim giling berjalan.

Pembahasan

Proses produksi gula kristal putih dilakukan melalui 4 (empat) stasiun, yaitu stasiun gilingan, stasiun pemurnian, stasiun penguapan, dan stasiun masakan dan puteran. Proses produksi gula memiliki stasiun sebagai sumber energi yang energinya akan disalurkan kedalam setiap stasiun dalam proses produksi gula, yaitu stasiun ketel. Stasiun ketel beroperasi menghasilkan uap yang akan diubah menjadi energi listrik.

Proses penguapan nira menggunakan sistem evaporator quintuple effect di PG Krebbe Baru II diketahui memerlukan energi panas tinggi yang disuplai dari boiler, sehingga konsumsi bahan bakar meningkat saat beban produksi tinggi. (Kristanti et al., 2025) menunjukkan bahwa proses evaporasi merupakan tahap dengan konsumsi energi tertinggi dalam produksi gula, dan peningkatan °Brix menyebabkan kenaikan suhu didih yang meningkatkan kebutuhan panas, sehingga berdampak pada peningkatan pembakaran bagasse pada boiler. Dengan demikian, semakin tinggi beban produksi, semakin besar pula emisi yang dihasilkan dari boiler.

Emisi CO₂ dari PG Krebbe berasal dari dua kategori utama yaitu pembakaran bahan bakar fosil dan pembakaran biomassa bagasse pada boiler. Sumber pertama relatif berasal dari penggunaan solar pada kendaraan operasional serta unit-unit mesin yang tidak sepenuhnya dapat digerakkan oleh energi uap. Walaupun kontribusinya lebih kecil dibandingkan pembakaran bagasse, penggunaan bahan bakar fosil tetap menjadi bagian integral dari total emisi GRK pabrik. Sumber kedua, yaitu pembakaran bagasse, merupakan penyumbang terbesar emisi CO₂ di pabrik gula. Bagasse dipandang sebagai bahan bakar net-zero karena CO₂ yang dilepaskan dianggap sebanding dengan CO₂ yang diserap tanaman tebu selama pertumbuhan. Pengaruh gas CO yang jumlahnya melebihi kapasitas serap alami oleh atmosfer lama-kelamaan akan mengakibatkan banyak kerusakan alam lainnya, seperti pemanasan global akibat menipisnya lapisan ozon, perubahan iklim yang ekstrem, dan tentunya membentuk kabut asap atau biasa kita sebut dengan polusi udara (Arifin & Rahman, 2024)



Gambar 1. Dokumen Pribadi Pabrik Gula Krebbe, Kabupaten Malang

Namun, penelitian terbaru menunjukkan bahwa pembakaran biomassa tetap berpotensi menghasilkan emisi signifikan akibat ketidaksempurnaan pembakaran. (Yang et al., 2025) menemukan bahwa kandungan air yang sangat tinggi pada bagasse menghambat efisiensi pembakaran dan meningkatkan kontribusi CO serta VOCs, yang merupakan indikator pembakaran tidak sempurna. Selain itu, emisi CO₂ tetap terjadi dalam jumlah besar akibat volume bagasse yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi selama musim giling. Temuan tersebut selaras dengan hasil penelitian (Medina et al., 2023) yang menekankan bahwa seluruh tahapan produksi industri tebu memiliki jejak karbon yang tidak dapat diabaikan, terutama ketika kapasitas produksi meningkat secara signifikan pada musim giling.

Dari sisi partikulat, laporan masyarakat mengenai peningkatan debu saat musim giling sejalan dengan studi internasional oleh (LeBlond et al., 2017) yang menunjukkan bahwa proses pembakaran biomassa tebu dan pergerakan logistik menghasilkan PM10 dengan ukuran partikel yang sebagian besar berada dalam fraksi respirabel (diameter <4 µm), yang mudah terhirup dan berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan. Meskipun konsentrasi di beberapa kondisi masih berada di bawah batas WHO, peningkatan episodik pada saat pembakaran dan pergerakan truk tebu terbukti meningkatkan paparan masyarakat sekitar.

Tabel 1. Baku mutu partikulat Indonesia

Parameter	Indonesia	
	Waktu Pengukuran	Baku mutu
PM10	24 jam	150 µg/m ³
	-	-
PM 2.5	24 jam	65 µg/m ³
	1 tahun	15 µg/m ³

Sumber : Peraturan Pemerintah No.41 tahun 1999

Efek pencemaran partikulat terhadap kesehatan manusia tersebut telah diketahui secara global sehingga parameter partikulat menjadi salah satu kriteria baku mutu di beberapa negara termasuk di Indonesia yang tercantum pada Peraturan Pemerintah No.41 tahun 1999 tentang Pengendalian Kualitas Udara. (Imami et al., 2022) Sumber utama partikulat di PG Krebet berasal dari abu pembakaran bagasse serta debu yang bercampur dari aktivitas logistik truk tebu. Pembakaran bagasse menghasilkan partikulat halus yang dapat terlepas melalui cerobong ketika sistem kontrol emisi seperti baghouse filter atau electrostatic precipitator tidak bekerja optimal. Menurut (Yang et al., 2025), partikel halus yang dihasilkan dari pembakaran bagasse sering kali berkaitan dengan kandungan volatil dan logam berat tertentu yang dapat berpindah menuju udara ambien. Mereka menemukan bahwa beberapa logam berat seperti Cr, Mn, dan Hg dapat terbawa pada fasa partikulat dan berpotensi mengganggu kesehatan jika terhirup.

Laporan keluhan masyarakat sekitar PG Krebet terkait debu yang masuk ke rumah, gangguan pernapasan ringan, dan penurunan kualitas udara merupakan bukti empiris meningkatnya PM_{2.5} dan PM₁₀ pada musim giling. Walaupun penelitian langsung pada PG Krebet belum dilakukan secara komprehensif, pola dan karakteristik emisi dari studi bagasse-fired boilers sangat mendukung dugaan bahwa pembakaran bagasse adalah kontributor utama partikulat di sekitar pabrik gula.

Seminar Nasional Pendidikan Biologi X
Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Malang
Malang, 16 Desember 2025

Tabel 2. Kandungan partikulat Pabrik Gula Kreet Baru Tahun 2014

Parameter	Waktu pengukuran	Baku mutu	Hasil uji
PM 10	24 jam	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM 2.5	24 jam	65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 tahun	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Sumber : Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Malang (2014)

Berdasarkan data **Tabel 2.** diketahui bahwa sepanjang tahun 2014 terjadi pencemaran lingkungan dengan indikator berupa melebihinya kandungan material dari ambang batas kandungan dalam udara oleh Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. Dampak dari kandungan material gas yang melebihi ambang batas baku mutu yang telah ditetapkan di udara sekitar kawasan pabrik untuk jangka pendek yang dirasakan oleh masyarakat Desa Kreet Kecamatan Bululawang Kabupaten Malang yang berada di sekitar Pabrik Gula Kreet Baru hanya batuk. Akan tetapi, untuk jangka panjang mereka akan mengalami penurunan kualitas kesehatan pada saluran pernapasan secara berkala

Secara khusus, aktivitas logistik truk tebu menjadi salah satu penyumbang partikulat yang signifikan. Lalu lintas padat truk pada jalan tanah atau jalan desa menyebabkan resuspensi debu yang memperburuk kualitas udara lokal. Jalan tanah atau aspal yang sudah rusak memfasilitasi pelepasan debu (resuspension) saat truk melintas, terutama pada musim kemarau. Aktivitas bongkar muat tebu di dalam area pabrik juga menghasilkan debu tebu kering yang berukuran mikron, sehingga meningkatkan intensitas paparan partikulat pada masyarakat sekitar. Hal ini konsisten dengan laporan lapangan di sekitar PG Kreet serta data penelitian internasional yang menunjukkan bahwa aktivitas transportasi tebu dapat memicu peningkatan partikulat secara dramatis, terutama pada area yang tidak diaspal.

Beberapa penelitian juga menekankan perlunya sistem pengendalian emisi yang lebih modern. (Naufal et al., 2023) merekomendasikan penggunaan Water Sponge Filter (WSF) dan penggantian bahan bakar bagasse dengan bioethanol untuk menurunkan potensi dampak acidification, eutrophication, dan global warming secara signifikan. Teknologi lain seperti baghouse filter, electrostatic precipitator (ESP), dan wet scrubber secara umum terbukti mampu mengurangi partikulat hingga >95% pada sektor industri biomassa.

Oleh karena itu, hasil pembahasan ini menegaskan bahwa peningkatan emisi di PG Kreet terjadi terutama karena kombinasi pembakaran bagasse pada boiler, beban energi tinggi selama proses evaporasi, serta aktivitas logistik tebu, yang semuanya memuncak pada musim giling. Temuan ini konsisten dengan laporan masyarakat dan dokumen pemantauan lokal, memperkuat urgensi intervensi teknis dan manajerial untuk menjaga kualitas udara di wilayah sekitar pabrik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian pustaka, dokumen lokal, serta laporan masyarakat yang dianalisis dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa aktivitas produksi PG Kreet memiliki keterkaitan yang nyata dengan peningkatan emisi CO₂ dan partikulat selama musim giling. Pembakaran bagasse pada stasiun ketel terbukti menjadi sumber dominan emisi gas rumah

kaca seperti CO₂, CH₄, dan N₂O . Pabrik gula menghasilkan lima emisi udara utama selama operasi boiler SO₂, NO₂, CO₂, N₂O, dan CH₄.

Selain itu, proses evaporasi yang membutuhkan energi panas tinggi menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar sehingga memperbesar jumlah bagasse yang dibakar dan pada akhirnya meningkatkan beban emisi CO₂ ke atmosfer. Peningkatan partikulat yang dikeluarkan masyarakat bahwa pembakaran biomassa tebu dan aktivitas logistik mampu menghasilkan partikulat respirabel dengan ukuran <4 µm yang mudah terdispersi ke lingkungan sekitar.

Di PG Kreet, sumber partikulat tidak hanya berasal dari cerobong boiler, tetapi juga dari resuspensi debu akibat tingginya aktivitas truk pengangkut tebu serta proses bongkar muat di area pabrik, yang sesuai dengan laporan masyarakat tentang masuknya debu ke rumah dan gangguan pernapasan saat musim giling berlangsung. Dengan demikian, kombinasi faktor pembakaran bagasse, tingginya kebutuhan energi proses, dan aktivitas logistik menjadikan musim giling sebagai periode dengan peningkatan emisi paling signifikan sehingga diperlukan tindakan mitigasi yang terarah.

Rekomendasi yang dihasilkan dari analisis ini meliputi peningkatan sistem pemantauan kualitas udara, modernisasi teknologi pengendalian emisi seperti baghouse filter, wet scrubber, atau electrostatic precipitator, serta perbaikan manajemen logistik truk untuk mengurangi resuspensi debu. Rekomendasi ini sejalan dengan literatur yang menegaskan perlunya teknologi filtrasi modern untuk menurunkan pelepasan partikulat hingga lebih dari 95% dan mengganti atau mengombinasikan bagasse dengan sumber energi alternatif yang lebih bersih untuk mengurangi potensi acidification, eutrophication, dan global warming di sekitar kawasan industri gula.

Dari sudut pandang kualitas literatur yang digunakan, jurnal-jurnal yang dikaji memiliki beberapa kelebihan, antara lain memberikan data komprehensif mengenai karakteristik emisi biomassa, menyediakan pembahasan berbasis LCA (Life Cycle Assessment), serta menawarkan rekomendasi teknologi penurunan emisi yang dapat diadaptasi di PG Kreet. Jurnal internasional seperti (LeBlond et al., 2017) juga memberikan perspektif global dan data partikulat respirabel yang sangat relevan bagi studi lokal ini. Namun demikian, terdapat kelemahan yang perlu dicatat, seperti minimnya data kuantitatif spesifik PG Kreet karena jurnal-jurnal tersebut menggunakan lokasi penelitian berbeda, sehingga interpretasi membutuhkan penyesuaian konteks. Selain itu, beberapa studi hanya berfokus pada emisi dari boiler tanpa mengkaji secara mendalam kontribusi logistik truk, padahal faktor tersebut sangat penting dalam kasus PG Kreet. Meskipun demikian, literatur yang digunakan tetap memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk menyimpulkan bahwa aktivitas produksi PG Kreet berdampak signifikan terhadap peningkatan emisi CO₂ dan partikulat, sehingga intervensi teknis dan manajerial sangat dibutuhkan untuk meminimalkan dampaknya terhadap masyarakat sekitar.

REFERENSI

Arifin, F. R., & Rahman, N. A. (2024). Analisis Pengaruh Emisi Zat Karbon terhadap Kerusakan Kualitas Udara dan Pencemaran Lingkungan Fairuz Rofifah Arifin Nazwa Aulia Rahman

Seminar Nasional Pendidikan Biologi X
Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Malang
Malang, 16 Desember 2025

- Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Menurut Kozak dan Sudarmo dalam Purnomohadi (19. *Journal Innovation in Education (INOVED)*, 2(1), 278–287.
- Imami, A. D., Setiajaya, A., & Zulaicha, A. S. (2022). TINJAUAN POTENSI PENGENDALIAN KONSENTRASI PARTIKULAT DENGAN PROGRAM EMISSION OFFSET DI INDONESIA. *Jurnal Rekayasa, Teknologi, Dan Sains*, 6(2), 69–75.
- Kristanti, E. D., Rulianah, S., & Ramadhan, P. J. (2025). ANALISIS PENGARUH ° BRIX TERHADAP PARAMETER PERPINDAHAN PANAS ALAT EVAPORATOR SISTEM QUINTUPLE-EFFECT DI PG KREBET BARU II MALANG. *Jurnal Teknologi Separasi*, 11(3), 601–613.
- LeBlond, J. S., Woskie, S., Horwell, C. J., & Williamson, B. J. (2017). Particulate matter produced during commercial sugarcane harvesting and processing : A respiratory health hazard ? *Atmospheric Environment*, 149, 34–46. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.012>
- Medina, P. P., Mendoza, G., Fuentes, G. Á., Martinez, L. D. T., & Lopez, V. A. B. (2023). Economic Assessment of the Impact of the Sugarcane Industry : An Empirical Approach with Two Focuses for San Luis Potos í , M é xico. *Multidisciplinary Scientific Journal*, 6, 342–360.
- Naufal, C. ainun, Wahyudianto, F. E., & Kuncoro, E. P. (2023). Analisis Potensi Dampak Pencemaran Udara Proses Produksi Gula Dengan Metode Life Cycle Assessment. *Envirotek : Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 15(1), 53–60.
- Yang, X., Xu, X., Ni, J., Zhang, Q., Chen, G., Liu, Y., Hong, W., Liao, Q., & Chen, X. (2025). Emission Characteristics and Environmental Impact of VOCs from Bagasse-Fired Biomass Boilers. *Sustainability*, 17, 1–18.