

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sumber emisi udara , tracing material input dan mengelompokkan sumber emisi udara menggunakan metode k-means clustering berdasarkan karakteristik tertentu. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini menggunakan metode analisis klaster dengan k-means clustering yang diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman python di google colab. Data yang digunakan untuk analisis merupakan data dari industri power plant serta oil & gas distribution . Berdasarkan hasil analisis yang telah dianalisa, di dapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis mengenai identifikasi sumber emisi udara yang berfokus kepada industri power plant serta oil & gas distribution didapatkan kesimpulan bahwa :
 - a. Industri minyak & gas distribusi (*oil & gas distribution*) lebih besar kontribusinya terhadap emisi udara dibandingkan dengan industri pembangkit listrik (*power plant*). Dalam industri oil & gas distribution sektor yang menjadi sumber emisi udara terbesar yaitu sektor IT (Injection Terminal) dengan total emisi mencapai 4,025,105.000 ton, kemudian unit proses yang paling banyak menghasilkan emisi udara adalah proses Use Stage. Proses Use Stage adalah proses Ketika bahan bakar digunakan (dibakar di mesin kendaraan atau generator) pada proses inilah emisi udara paling banyak dihasilkan. Kemudian Carbon Dioxide (CO₂) menjadi material emisi yang paling banyak dilepaskan dari proses Use Stage ini, proses use stage dalam industry oil & gas distribution melepaskan banyak emisi CO₂ karena beberapa alasan yaitu selama proses pembakaran

produk oil & gas seperti bensin, diesel, dan gas alam dibakar untuk menghasilkan energi dalam jumlah yang besar. Proses pembakaran ini secara kimiawi mengubah karbon dalam bahan bakar menjadi karbon dioksida (CO₂) sangat besar, yang kemudian dilepaskan ke atmosfer.

- b. Pada analisis industri power plant terlihat bahwa sektor Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTG/PLTGU) memiliki kontribusi emisi paling besar di sektor ini dengan total emisi mencapai sekitar 60,590,120 ton, kemudian unit proses HRSG (Heat Recovery Steam Generator) adalah proses dalam sistem pembangkit listrik (terutama pembangkit listrik tenaga gas dan uap atau PLTGU) yang mengambil panas dari gas buang turbin gas untuk menghasilkan uap, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Proses tersebut diidentifikasi sebagai penyumbang terbesar emisi udara dalam industri power plant karena berkaitan dengan bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi, emisi utama dari sektor ini adalah Nitrogen Dioxide (NO₂). Nitrogen Dioxide (NO₂) adalah salah satu komponen utama emisi udara dari industri, gas ini mencemari udara dan berkontribusi pada pembentukan hujan asam dan ozon permukaan yang berbahaya.
2. Berdasarkan analisis keseluruhan tracing input didapatkan kesimpulan pada industri oil & gas distribution terdapat tiga material input penting di proses Use Stage (Proses pembakaran) yaitu Fuel (Bahan Bakar) dengan total input sejumlah 187 juta kiloliter, Diesel (Bahan Bakar Minyak Bumi) sebesar 1,400 ton, dan Electricity (Listrik) sebesar 1,8 juta kWh. Sedangkan pada industri power plant terdapat tiga material input penting yang berperan dalam proses HRSG (Heat Recovery Steam Generator) yaitu Exhaust Gas (Gas Buang Hasil Pembakaran) sekitar 55 juta kilo kalori, Condensate ST (Air Hasil Kondensasi Uap) sekitar 2,000 ton dan Chemical (Bahan Kimia) sekitar 9,9 ton.

3. Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode K-Means Clustering terhadap data output berupa emisi dari industri Power Plant dan Oil & Gas Distribution di perusahaan Ailesh, diperoleh tiga klaster utama yang merepresentasikan karakteristik pola emisi berdasarkan sektor, unit proses, serta jenis dan nilai emisi yang dihasilkan.
 - a. Cluster 0 (High Air Emission) merupakan kelompok dengan tingkat emisi udara tertinggi yang berasal dari industri distribusi minyak dan gas (Oil & Gas Distribution), dengan total emisi mencapai 4 Milyar ton. Emisi dalam cluster ini didominasi oleh sektor Injection Terminal (IT), yang menyumbang lebih dari 99% total emisi, sementara sektor lain seperti Fuel Terminal (FT) dan Depot Pengisian Pesawat Udara (DPPU) memberikan kontribusi yang sangat kecil. Dari sisi proses, emisi terbesar berasal dari tahap penggunaan atau proses Use Stage, yang mengindikasikan bahwa pembakaran bahan bakar dalam operasional menjadi penyebab utama emisi tinggi. Jenis emisi yang paling dominan dalam cluster ini adalah Carbon Dioxide (CO₂), diikuti oleh Methane (CH₄), Nitrous Oxide (N₂O), dan Ammonia (NH₃), yang semuanya merupakan gas rumah kaca. Dengan karakteristik tersebut, Cluster 0 menunjukkan bahwa aktivitas pembakaran bahan bakar fosil dalam distribusi energi menjadi faktor utama penyumbang emisi udara yang perlu menjadi prioritas dalam strategi pengurangan emisi.
 - b. Cluster 1 dengan label emisi udara rendah (Low air emission)
Cluster 1 (Low Air Emission) adalah kelompok emisi udara rendah dengan total nilai emisi hanya mencapai 11,2 ribu ton, yang terutama berasal dari proses penguapan bahan bakar atau pelarut kimia di sektor Fuel Terminal(FT) dan Storage Tank. Emisi utama berupa Volatile Organic Compounds (VOC) yang mudah menguap dan jumlahnya jauh lebih kecil dibanding cluster lain. Karena bersumber dari proses non-

pembakaran dan volume emisinya kecil, dampak lingkungan cluster ini tergolong rendah.

c. Cluster 2 dengan label emisi udara sedang (Moderate air emission)

Cluster 2 tergolong Moderate Air Emission dengan total emisi 3,61 juta ton, berasal dari industri Power Plant, didominasi oleh sektor PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) dan proses Boiler. Proses Boiler adalah proses pembakaran bahan bakar dalam pembangkit listrik yang menghasilkan panas dan energi Listrik. Emisi utama yang dihasilkan adalah Carbon Dioxide (CO₂) akibat pembakaran bahan bakar fosil. Penanganan difokuskan pada pengurangan CO₂ melalui efisiensi boiler, energi bersih, dan teknologi penangkapan karbon.

Hasil analisis menunjukkan temuan utama yaitu terkait sumber emisi udara , material input dan penerapan metode k-means clustering untuk mengidentifikasi tiga klaster yang menggambarkan Tingkat emisi udara berdasarkan karakteristik pada industri Power Plant serta Oil & Gas Distribution.

5.2 SARAN

1. Setelah mengetahui hasil analisis dan mengetahui dampak-dampak yang dapat terjadi dari emisi udara yang dihasilkan, berikut terdapat beberapa solusi/ saran yang mungkin bisa diterapkan oleh pihak Perusahaan ailesh kepada sektor-sektor tersebut untuk mengurangi emisi yang dihasilkan.
 - a. Industri Oil & Gas pada material Fuel dapat menerapkan teknologi carbon capture and storage (CSS), CSS adalah teknologi yang menangkap emisi CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan menyimpannya dibawah tanah untuk mencegahnya masuk ke atmosfer. Sedangkan pada material Electricity dapat melakukan efisiensi energi dengan menggunakan teknologi smart grid yang dapat meningkatkan efisiensi distribusi dan mengurangi pemborosan energi, serta menurunkan emisi dari pembangkit Listrik melalui penggunaan sensor dan sistem manajemen energi yang canggih. Selanjutnya pada material Diesel Langkah yang dapat dilakukan adalah dengan menggantikan diesel konvensional dengan biodiesel dapat mengurangi emisi CO₂ dan partikel berbahaya.
 - b. Industri Power Plant pada material Exhaust Gas dapat melakukan pemasangan sistem selective catalytic reduction (SCR). SCR adalah sistem yang mengurangi emisi NO_x secara efisien sebelum gas buang dilepaskan ke atmosfer, sedangkan pada material Condensate ST dapat melakukan optimasi sistem kondensat dengan teknologi closed loop yaitu berfungsi mengoptimalkan penggunaan Kembali kondensat dalam proses produksi, mengurangi kebutuhan air tambahan dan energi yang diperlukan untuk memanaskan air baru, sehingga menurunkan emisi terkait. Selanjutnya yang terakhir pada material Chemical penerapan green chemistry principles

dengan menggunakan bahan kimia yang lebih ramah lingkungan atau menggantinya dengan alternatif yang memiliki dampak lingkungan lebih rendah. Ini termasuk bahan kimia yang biodegradable dan memiliki toksisitas rendah.

2. Berdasarkan hasil analisis cluster, terdapat saran yang mungkin bisa menjadi pemahaman lebih dalam lagi untuk membantu Perusahaan ailesh mengambil keputusan mengenai pengurangan emisi ke udara, saran dari penelitian yaitu fokuskan pengendalian emisi pada Cluster 0 dan Cluster 2 karena kontribusinya paling besar terhadap total emisi, dengan prioritas pada sektor dan proses utama seperti Use Stage (Proses pembakaran) dan Boiler (Pemanas Air Menjadi Uap), sekaligus tetap menjaga pengawasan pada Cluster 1 karena jenis emisinya berbahaya meskipun volumenya rendah. Terapkan teknologi rendah emisi, tingkatkan efisiensi proses, dan gunakan sistem pemantauan emisi terintegrasi untuk mendukung pengendalian yang tepat sasaran.