

Inventarisasi Fluktuasi Emisi Polutan NO_x, CO₂, dan CH₄ di Bandar Udara Internasional Juanda Kabupaten Sidoarjo

Affiah Raudloh Anni'mah, Abdu Fadli Assomadi, dan Joni Hermana

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: hermana@enviro.its.ac.id

Abstrak—Inventarisasi emisi dilakukan dengan mendaftarkan besaran polutan dari sumber pencemar dari sektor energi, yaitu transportasi *on-road*, transportasi *off-road*, dan sektor limbah yang meliputi limbah padat domestik dan limbah cair domestik. Rentang waktu inventarisasi adalah tahun 2006 hingga tahun 2016. Perhitungan menggunakan *worksheet Atmospheric Brown Clouds (ABC) – Emission Inventory Manual (EIM) Excel 2013* dan *worksheet IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (GL) Excel*. Identifikasi menunjukkan NO_x dan CH₄ berasal dari pembakaran kurang sempurna pada transportasi *on-road* maupun *off-road*. Fluktuasi emisi sektor transportasi *on-road* sangat bergantung pada jenis kendaraan, sedangkan sektor transportasi *off-road* sangat bergantung pada tipe pesawat. Fluktuasi emisi sektor limbah padat domestik bergantung pada efisiensi pembakaran di insenerator, sedangkan faktor emisi limbah cair domestik bergantung pada bangunan pengolahan. Alternatif yang disarankan pada sektor *off-road* berupa manajemen LTO (kegiatan taxi). Pada transportasi *on-road*, yaitu realisasi pengadaan dan penggunaan kereta api.

Kata Kunci— ABC-EIM, IPCC 2006 GL, transportasi, limbah padat domestik, limbah cair domestik.

I. PENDAHULUAN

PENERBANGAN yang semakin mudah diakses masyarakat berdampak juga pada kenaikan aktivitas di Bandar Udara Internasional Juanda, Kabupaten Sidoarjo. Kenaikan aktivitas ini menyebabkan potensi emisi polutan meningkat, termasuk NO_x, CO₂, dan CH₄. Pada penelitian ini dilakukan inventarisasi fluktuasi emisi NO_x, CO₂, dan CH₄ aktivitas Bandara untuk transportasi *on-road*, transportasi *off-road*, limbah padat domestik dan limbah cair domestik. Hasil inventarisasi kemudian dituangkan kedalam rekomendasi berupa alternatif yang memungkinkan bagi PT. Angkasapura I.

Emisi terbesar dari kegiatan penerbangan, adalah pada saat pesawat itu *landing* dan *take-off* (LTO). Knalpot pesawat sangat besar berperan dalam aktivitas tersebut dan menjadi poin utama setiap penerbangan yang dilakukan. Polutan yang dihasilkan akan tersebar dan pola penyebarannya yang luas, mengikuti media udara, angin dan perubahan elevasi sumber karena gerak pesawat. Demikian pula potensi karena

perubahan aktivitas lalu lintas pendukung bandara. Padatnya kegiatan di bandar udara berdampak terhadap padatnya transportasi darat. Dengan demikian potensi pencemaran udara akibat transportasi menjadi salah satu yang patut diperhatikan. Di sisi lain, aktivitas di Bandar Udara Internasional Juanda juga menghasilkan limbah padat dan cair yang berpotensi menghasilkan emisi polutan secara tidak langsung.

Rujukan [1] menyatakan bahwa, pentingnya diadakan penelitian terhadap polutan di Bandar Udara adalah: 1) Hasil polutan dari sumber pencemar dekat dengan lapisan ozon (lapisan bagian atas troposfer dan lapisan bagian bawah stratosfer). 2) Polutan dari sumber pencemar transportasi udara, tidak ada media absorpsi seperti transportasi darat yang dapat di absorpsi oleh vegetasi, dimana hanya hujan yang mampu membersihkan polutan udara

Melalui inventarisasi emisi, dapat dianalisis fluktuasi dari daftar besaran konsentrasi NO_x, CO₂, dan CH₄. Sesuai Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, pengendalian pencemaran udara meliputi pencegahan dan penanggulangan pencemaran, serta pemulihan mutu udara dengan melakukan inventarisasi mutu udara ambien, pencegahan sumber pencemar, baik dari sumber bergerak maupun sumber tidak bergerak termasuk sumber gangguan serta penanggulangan keadaan darurat. Sumber pencemar penelitian berfokus pada sektor energi-transportasi, limbah-padat dan limbah-cair di Bandara Juanda dalam kurun waktu tertentu. Selanjutnya hasil dari analisis ini dituangkan pada alternatif yang mampu diterapkan pada Bandara Juanda. Keberlanjutan ini diharapkan mampu terkontrol dan berdampak baik pada manusia dan lingkungan, bahkan mampu memberikan keuntungan pada manajemen internal Bandara, terutama membawa reputasi baik dalam berdedikasi menjaga bumi.

II. METODE PENELITIAN

A. Metode Pengumpulan Data

Pendekatan dalam pengumpulan data dilakukan secara pendekatan sektoral atau pendekatan *Bottom-Up (Sectoral Approach)*; pendekatan berdasarkan pada setiap jenis sektor yang diteliti sehingga didapatkan total beban emisi polutan yang diteliti). Emisi dikelompokkan menurut sektor kegiatan,

seperti: energi-transportasi *on-road* dan *off-road*, limbah-padat domestik dan limbah-cair domestik.

Data yang diperoleh merupakan data sekunder, meliputi:

1. Jumlah dan jenis transportasi: Dibutuhkan data jumlah dan jenis transportasi *on-road* dan *off-road* penumpang. Data yang dimiliki oleh PT. Angkasa Pura I dan melalui studi referensi.
2. Konsumsi Bahan Bakar : Dibutuh data jumlah konsumsi bahan bakar pesawat dan transportasi darat setiap tahunnya, melalui studi referensi.
3. Jenis Limbah : Dibutuhkan jenis limbah-padat domestik dan limbah-cair domestik yang dihasilkan, beserta pengolahan. Data yang dimiliki oleh Bandara Juanda dan melalui studi referensi.
4. Faktor Emisi : Data faktor emisi digunakan dalam perhitungan beban emisi yang dihasilkan tiap sektor, melalui studi referensi.

B. Pengolahan Data

Data yang telah didapatkan kemudian diolah melalui persamaan yang telah ditentukan.

a. Transportasi : *on-road*

Perhitungan beban emisi sektor energi-transportasi *on-road*, merujuk ke (1) berikut:

$$E = \text{BBK} \times \text{TSJK} \times \text{TJT} \times \text{FE} \dots (1)$$

- **BBK** = konsumsi bahan bakar (ton)
= berat jenis bahan bakar (kg/m^3) x Konsumsi energi Spesifik (L/km)
- **TSJK** = total sirkulasi jumlah kendaraan
- **TJT** = total jarak tempuh (km/tahun)

Perhitungan untuk beban emisi untuk parameter NO_x adalah perkalian antara total jarak tempuh dengan faktor emisi. Parameter CO_2 dan CH_4 perkalian antara konsumsi bahan bakar dengan faktor emisi.

Dasar perhitungan sektor energi-transportasi *on-road* (kendaraan angkut penumpang) menggunakan data penumpang yang melakukan pemberangkatan dan kedatangan baik penerbangan domestik maupun internasional. Berdasarkan penelitian oleh [2], mobil pribadi sebesar 59,46%, sepeda motor 28,32%, taksi sebesar 10,32% dan bis damri sebesar 1,9%.

b. Transportasi : *off-road*

Perhitungan beban emisi sektor energi-transportasi *off-road*, merujuk ke (2) berikut:

$$E = ((\text{TLTO} \times \text{FE}_{\text{LTO}})) / 1000 \dots (2)$$

- **E** = total emisi pada setiap jenis polutan (ton)
- **TLTO** = total kegiatan LTO untuk setiap jenis penerbangan dalam satu tahun dengan ketidakpastian data (dalam persen (%))
- **FE_{LTO}** = faktor emisi polutan saat aktivitas LTO (kg/ton)

Perhitungan seluruh jenis polutan adalah sama, memenuhi persamaan diatas. Emisi total adalah emisi yang dikeluarkan untuk seluruh jenis pesawat pada penerbangan domestik dan internasional.

c. Insenerasi

Perhitungan beban emisi sektor limbah-padat domestik insenerasi, merujuk ke (3) berikut:

$$E = (\text{T}_{\text{LPT}} / 1000 \times \text{FE}) \dots (3)$$

- **E** = total emisi pada setiap jenis polutan (ton).
- **T_{LPT}** = total limbah padat terolah (Ggram)
= Pengguna Bandar Udara Juanda x ketidakpastian data (%) x timbulan sampah per kapita ($\text{kg}/\text{orang.hari}$) x efisiensi pengumpulan sampah (ϵ) (%) x fraksi pembakaran (δ) x efisiensi pembakaran
- **FE** = faktor emisi polutan

Worsheet ABC-EIM yang digunakan adalah pada sektor limbah padat yang terolah oleh *open burning*, namun faktor-faktor yang digunakan dalam perhitungan adalah untuk sektor insenerasi. Hal ini dikarenakan data yang didapatkan pada penelitian kurang spesifik. Perhitungan tetap relevan walaupun dihitung pada sektor yang berbeda.

d. Limbah Cair Domestik

Perhitungan beban emisi sektor limbah-cair domestik, merujuk ke (4) berikut:

$$\text{TOW} = \text{P} \times \text{BOD} \times \text{I} \dots (4)$$

- **TOW** = senyawa organik total limbah cair ($\text{kg BOD}/\text{tahun}$)
- **P** = populasi
- **BOD** = Biological Oxygen Demand, default Indonesia 35-40 gram/populasi.hari
- **I** = faktor koreksi BOD yang dibuang ke selokan (sewer), dimana default untuk *collected* 1,25 dan untuk *un-collected* 1

Perhitungan beban emisi sektor limbah-cair domestik, selanjutnya merujuk ke (5) berikut:

$$\text{EF}_j = \text{Bo} \times \text{MCF}_j \dots (5)$$

- **EF_j** = faktor emisi ($\text{kg CH}_4/\text{kg BOD}$)
- **Bo** = kapasitas maksimum produksi CH_4 untuk limbah cair, dengan perkotaan memiliki nilai 0,25 $\text{kg CH}_4/\text{kg COD}$ atau 0,6 $\text{kg CH}_4/\text{kg COD}$
- **MCF_j** = faktor koreksi metan (fraksi)

Sehingga keseluruhan emisi, merujuk ke (6) berikut:

$$E = [\sum_{i,j} (\text{U}_i \times \text{T}_{ij} \times \text{EF}_j) \times (\text{TOW} - \text{S})] - \text{R} \dots (6)$$

- **E** = total emisi pada setiap jenis polutan (ton) dimana perhitungan dilakukan untuk jenis polutan CH_4 , sehingga harus diekivalensi kembali menurut polutan yang dicari.
- **U_i** = fraksi populasi
- **T_{ij}** = derajat nilai penggunaan terhadap unit pengolahan limbah cair dalam setiap fraksi
- **S** = komponen organik sebagai lumpur ($\text{kg BOD}/\text{tahun}$)
- **R** = jumlah CH_4 yang tercover ($\text{kg CH}_4/\text{tahun}$)

C. Analisis Data dan Pembahasan

Dilakukan *plotting* pada data yang telah didapatkan dan dilakukan analisis berdasarkan fluktuasi yang dihasilkan. Pembahasan dari besaran emisi kemudian akan dituangkan kedalam rekomendasi berupa alternatif yang disesuaikan dengan kemampuan PT. Angkasa Pura I, Bandar Udara

Internasional Juanda, Kabupaten Sidoarjo.

D. Kesimpulan dan Saran

Pada penelitian ini, kesimpulan diperoleh dari hasil analisis dan pembahasan. Kesimpulan berisi mengenai besaran beban emisi pada kawasan Bandar Udara Internasional Juanda, Kabupaten Sidoarjo untuk masing-masing sektor.

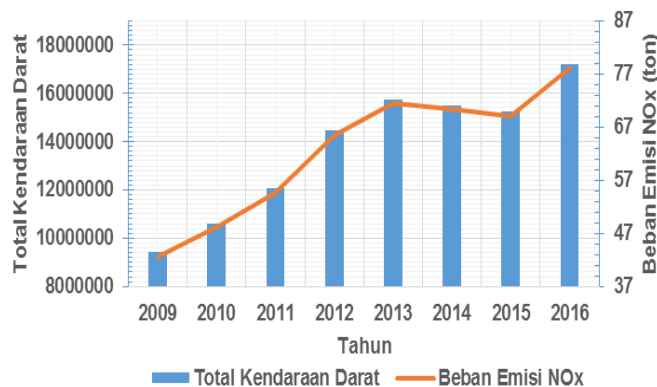
Saran diberikan berdasarkan hasil dari kesimpulan dan kendala yang terjadi selama penelitian. Saran juga diberikan mengenai pengembangan yang bisa dilakukan setelah penelitian ini selesai dilakukan.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisis terhadap Fluktuasi di Bandar Udara Internasional Juanda

a. Transportasi : on-road

Tren fluktuasi total kendaraan darat terhadap nilai beban emisi polutan NO_x, CO₂ dan CH₄ berbanding lurus. Hal ini diakibatkan faktor-faktor seperti konsumsi bahan bakar, densitas bahan bakar, dan faktor emisi dari setiap kendaraan



Gambar. 1. Tren Fluktuasi Total Kendaraan Darat terhadap Beban Emisi NO_x. Gambaran fluktuasi parameter CO₂ dan CH₄ adalah sama.

angkut penumpang bersifat konstan, sehingga fluktuasi nilai beban emisi mengikuti jumlah penumpang yang diangkut. Terlihat pada gambar 1, terjadi penurunan pada nilai beban emisi NO_x, CO₂ maupun CH₄ pada tahun 2014 dan tahun 2015. Hal ini disebabkan penumpang penerbangan domestik dan penumpang penerbangan internasional mengalami penurunan. Kepala BPS Suryamin menyampaikan bahwa, penurunan pada tahun 2014 di Bandar Udara Juanda di diindikasikan sebagai akibat dari Letusan Gunung Kelud pada 13 November 2014 [3].

Kontribusi beban emisi NO_x dari nilai terbesar adalah mobil pribadi 76%, taksi 18%, sepeda motor 5% dan bus damri 1%. Kontribusi beban emisi CO₂ dari nilai terbesar adalah mobil pribadi 78,8%, taksi 12,6%, sepeda motor 8,5% dan bus damri 0,1%. Kontribusi beban emisi dari nilai terbesar adalah mobil pribadi 80,727%, taksi 12,93%, sepeda motor 6,327% dan bus damri 0,016%.

Rujukan [4] menyebutkan, emisi CO₂ bergantung dengan konsumsi bahan bakar, sehingga perkembangan emisi mencerminkan tren konsumsi bahan bakar. Mengacu kepada

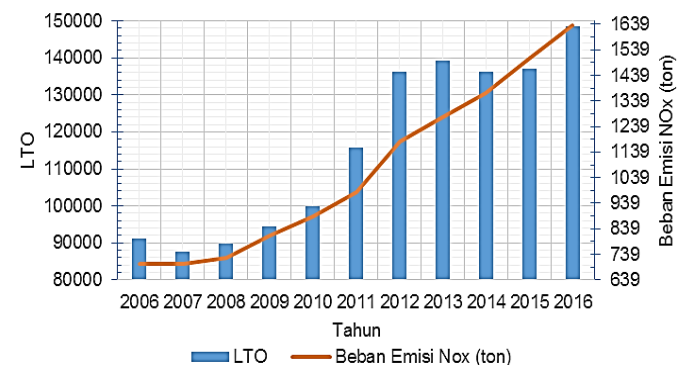
laporan IPCC kedua, 1 g CH₄ akan menimbulkan efek gas rumah kaca sebesar 21 g CO₂. Terlepas dari besarnya potensi CH₄ pada pemanasan global, kontribusi terbesar terhadap emisi CO₂ eq, berasal dari CO₂ transportasi *on-road*.

Berdasarkan pada [5], parameter NO_x dan CH₄ sangat bergantung pada katalis mesin. Mengingat data yang diolah kurang spesifik, sehingga diharapkan penelitian selanjutnya mampu mengidentifikasi katalisator mesin yang digunakan. Hal ini akan meningkatkan presisi kualitas inventarisasi di Bandar Udara Juanda.

Keseluruhan tren fluktuasi beban emisi meningkat seiring dengan peningkatan volum kendaraan setiap tahun. Hal ini memberikan gambaran, bahwa di masa yang akan datang, beban emisi memiliki beban yang lebih besar (terkecuali jika terdapat bencana), sehingga dibutuhkan alternatif pengendalian. Dominasi beban emisi berasal dari mobil pribadi dan taksi, sehingga pengalihan kepada transportasi umum dengan kapasitas lebih besar akan menghasilkan beban emisi lebih sedikit.

b. Transportasi : off-road

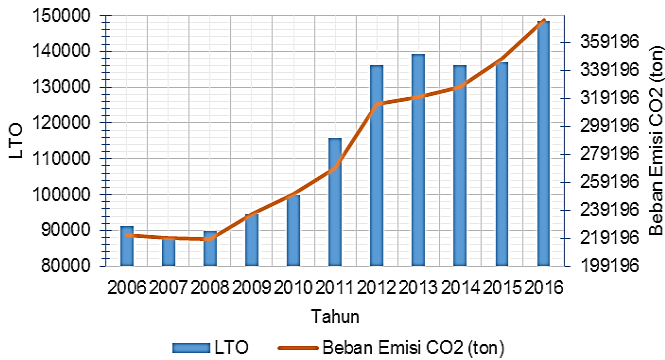
Rujukan [6] menyatakan, 10% dari semua jenis emisi pesawat (kecuali HC dan CO) dihasilkan saat berada di tanah dan LTO. LTO memiliki kontribusi yang signifikan terhadap inventarisasi emisi gas rumah kaca di Bandar Udara, walaupun hanya 10%



Gambar. 2. Tren Fluktuasi LTO terhadap Beban Emisi NO_x dari total keseluruhan emisi pesawat. Emisi pesawat saat LTO berkontribusi hingga 70% dari keseluruhan inventarisasi emisi di Bandar Udara.

Tren LTO cukup berbanding lurus terhadap tren beban emisi parameter NO_x yang dihasilkan, sebagaimana pada gambar 2. Pesawat yang belum teridentifikasi faktor emisi NO_x, merupakan pesawat yang belum terakaji ataupun belum diketahui pesawat lain yang mungkin dapat dijadikan sebagai representasi.

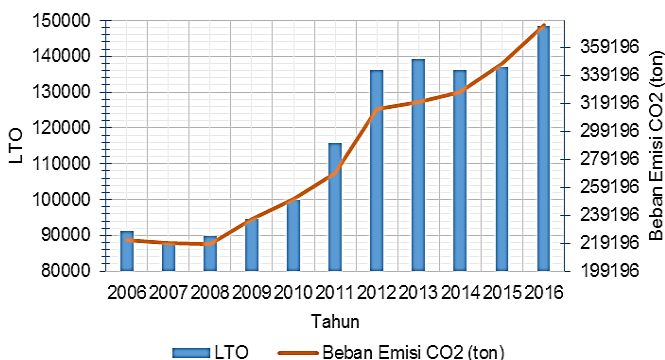
Secara keseluruhan penerbangan domestik pada tahun 2006-2008, kontribusi terbesar berasal dari tipe pesawat MD82 (McDonnell Douglas MD-80). Tahun 2009-2016, kontribusi terbesar berasal dari tipe Boeing; B734, B738 dan B739. Pada penerbangan internasional, kontribusi beban emisi terbesar oleh tipe pesawat Airbus. A322 pada tahun 2006, dan A320 dari tahun 2007-2016.



Gambar. 3. Tren Fluktuasi LTO terhadap Beban Emisi CO₂.

Tren fluktuasi LTO terhadap beban emisi CO₂ pada gambar 3, memberikan hasil yang sama selama dengan tren fluktuasi LTO terhadap NO_x antara tahun 2006-2016. Hal ini diakibatkan pembakaran bahan bakar seiring dengan dihasilkannya beban emisi polutan NO_x dan CO₂, sehingga menghasilkan tren fluktuasi yang sama. Winther dan Rypdal (2017) [7] menjabarkan, hasil pembakaran, mengandung emisi CO₂ sebanyak 72%, dan 0,4% yang merupakan residu hasil dari pembakaran tidak sempurna; 84% merupakan emisi NO_x

Secara keseluruhan penerbangan domestik, kontribusi terbesar berasal dari tipe pesawat Boeing. B732 dari tahun 2006-2009, B739 pada tahun 2010-2014 dan 2016, B738 pada tahun 2015. Pada penerbangan internasional, kontribusi beban emisi terbesar oleh tipe pesawat Airbus. A322 pada tahun 2006,



Gambar. 4. Tren Fluktuasi LTO terhadap Beban Emisi CH₄ dan A320 dari tahun 2007-2016.

Tren aktivitas LTO terhadap nilai beban emisi polutan CH₄ tidak berbanding lurus, sebagaimana pada gambar 4. Peningkatan aktivitas LTO pada tahun tertentu tidak menunjukkan nilai beban emisi CH₄ yang meningkat pula. Terlihat pada tahun 2007, dimana nilai beban emisi lebih besar dibandingkan tahun 2006.

Secara keseluruhan penerbangan domestik, kontribusi terbesar berasal dari tipe pesawat MD82 dari tahun 2006 dan 2008, F28 pada tahun 2007, B734 pada tahun 2009-2010, B739 pada tahun 2011-2012, A320 pada tahun 2013-2015, dan C172 pada tahun 2016. Pada penerbangan internasional, kontribusi beban emisi terbesar oleh B743 pada tahun 2006-2008, dan A320 dari tahun 2009-2016.

Keseluruhan tren fluktuasi beban emisi meningkat seiring dengan peningkatan kegiatan LTO penerbangan setiap tahun. Hal ini memberikan gambaran, bahwa di masa yang akan

datang, beban emisi memiliki beban yang lebih besar, sehingga dibutuhkan alternatif pengendalian. Terkecuali pada dominasi beban emisi parameter CH₄ pada tahun 2007 yang tidak sebanding dengan kegiatan LTO, menunjukkan bahwa beban emisi yang dihasilkan, ditentukan pula oleh jenis tipe pesawat.

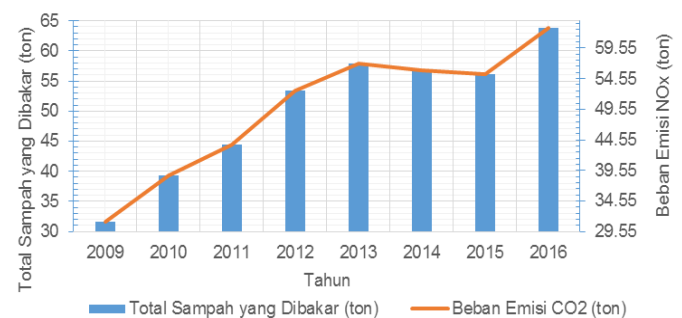
Rujukan [6] menjelaskan, tipe series pesawat Boeing 737 dan Airbus A320 adalah pesawat yang biasa digunakan. Tipe pesawat ini lebih ringan dan dirancang untuk jarak yang lebih pendek, sehingga memberikan kontribusi beban emisi terbesar.

Rujukan [8] tidak menyatakan secara terperinci produksi tipe McDonnell Douglas MD-80 dan MD-82 diproduksi kapan. Di sisi lain, memberikan gambaran produksi series MD, yaitu sekitar pada tahun 1986 (produksi awal series McDonnell Douglas tipe MD-11)-1988 (produksi akhir series McDonnell Douglas tipe MD-88). B732, B734, B738 dan B739 yang merupakan series tipe Boeing 737 menjadi *jetliner* yang sukses pada tahun 1968. B743 yang merupakan series tipe B747, menjadi *prototype* pertama dengan “badan besar” (*wide-bodies*) sehingga menjadi ikon global. Fokker F28 Fellowship diproduksi pada tahun 1976, sedangkan Cessna C172 pada tahun 1956. A322 merupakan tipe Airbus yang diproduksi pada tahun 1995 dan A320 pada tahun 1988.

Berdasarkan pada penjelasan diatas, memberikan gambaran bahwa tipe pesawat dengan kontribusi beban emisi terbesar setiap tahunnya, diproduksi dibawah tahun 2000. Hal ini mengindikasikan bahwa pesawat produksi baru menghasilkan beban emisi yang lebih kecil. Peluang penurunan beban emisi dapat dicapai dengan meningkatkan (*upgrade*) efisiensi pesawat.

c. Insenerasi

Data penumpang sebagai dasar perhitungan dan faktor-faktor lain yang bersifat konsisten setiap tahunnya. Faktor-faktor seperti efisiensi pengumpulan, fraksi pembakaran (δ), fraksi timbulan sam pah terbakar, efisiensi pembakaran, bersifat konsisten dari tahun 2009-2016. Hal ini menghasilkan nilai



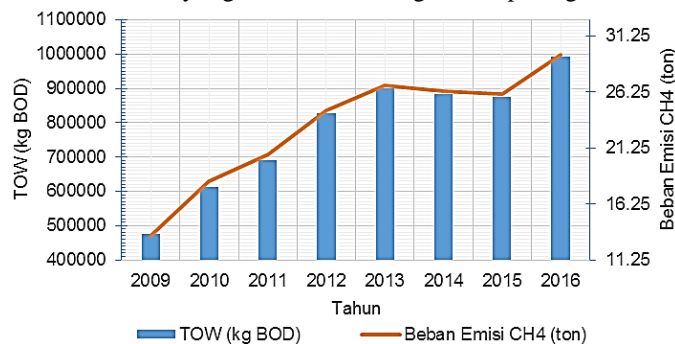
Gambar. 5. Tren Fluktuasi Total Timbulan Sampah yang Dibakar terhadap Beban Emisi CO₂. Gambaran fluktuasi parameter NO_x adalah beban emisi yang berbanding lurus terhadap total beban sampah yang dihasilkan

Gambar 5 menunjukkan bahwa, keseluruhan tren fluktuasi beban emisi berbanding lurus seiring dengan jumlah penumpang setiap tahun. Hal ini memberikan gambaran, bahwa di masa yang akan datang, beban emisi memiliki beban yang lebih besar (terkecuali jika terdapat bencana alam), sehingga dibutuhkan alternatif pengendalian. Dibutuhkan peningkatan

pemantauan untuk presisi kualitas inventarisasi yang lebih baik lagi di Bandar Udara Juanda. Utamanya pada data jenis dan jumlah timbulan sampah yang terolah di insenerator dan efisiensinya.

d. Limbah Cair Domestik

Data penumpang sebagai dasar perhitungan dan faktor-faktor lain yang bersifat konsisten setiap tahunnya. Faktor-faktor seperti estimasi limbah cair yang dihasilkan, *default BOD effluent*, faktor koreksi BOD, kapasitas maksimum metan terproduksi, faktor koreksi metan, fraksi populasi, dan derajat nilai penggunaan unit pengolahan bersifat konsisten dari tahun 2009-2016 mengacu kepada IPCC 2006 GL. Hal ini menghasilkan nilai beban emisi yang berbanding lurus terhadap total limbah cair yang dihasilkan, sebagaimana pada gambar 6.



Gambar. 6. Tren Fluktuasi TOW terhadap Beban Emisi CH₄

Proses pengolahan limbah cair domestik terbagi atas Terminal 1 yang oleh bangunan pengolah *Aerated Lagoon* dan Terminal 2 yang oleh bangunan pengolah *Anaerobic Reactor*. Perhitungan keseluruhan beban hanya dihasilkan berupa beban emisi polutan CH₄, yaitu pada proses aerobik pada *Aerated Lagoon* dan pada proses anaerobik pada *Anaerobic Reactor*. Faktor koreksi metan, dan faktor emisi *Aerated Lagoon* lebih kecil, sehingga hasil keseluruhan beban emisi CH₄ didominasi oleh terminal 2 yaitu *Anaerobic Reactor*.

B. Rekomendasi Alternatif

Emisi yang dihitung pada penelitian kali ini tidak dapat dibandingkan dengan baku mutu, karena satuan yang dihitung dalam satuan berat, bukan dalam satuan volum udara.

a. Alternatif Perencanaan

Pengembangan Perencanaan Aksi Iklim (*Climate Action Planning*), menggunakan dampak gas rumah kaca (inventarisasi emisi) sebagai parameter untuk mengambil keputusan, dan mengoptimalkan manajemen LTO pesawat. Alternatif ini meliputi keseluruhan emisi gas rumah kaca di Bandar udara, namun memperhitungkan emisi GRK (Gas Rumah Kaca) dari LTO di Bandar Udara. Alternatif ini terbatas pada manajemen pengelolaan, dan biasanya tidak membutuhkan perubahan fisik Bandar Udara.

Rujukan [9] menyebutkan, alternatif yang dapat dilakukan adalah penyempurnaan perencanaan transportasi dan pengelolaan kebutuhan lalu lintas. Tata guna lahan (perencanaan lahan parkir dan wilayah *drop*) dan perencanaan transportasi (kebijakan pelayanan angkutan), pengelolaan

kebutuhan perjalanan (menyesuaikan tujuan penumpang), opsi transportasi massal publik (pengalihan dari kendaraan pribadi) dan transportasi non kendaraan bermotor.

Menurut laporan [10], beberapa kegiatan wajib PT. Angkasapura I. Berikut kegiatan yang dapat dioptimalkan berdasarkan alternatif perencanaan:

• Inspeksi Lingkungan di Terminal 1 dan Terminal 2

Kegiatan ini bertujuan agar pengolahan limbah cair dan limbah padat tetap berjalan efisien dan meningkatkan pelayanan pada pengguna jasa. Hal yang sangat disayangkan adalah pengontrolan terhadap teknis dari pengelolaan limbah cair dan limbah padat belum terekap secara rapi, sehingga inventarisasi belum optimal. Perlu ditelaah perihal pendataan setiap kegiatan pengelolaan seperti dalam limbah padat, yaitu timbulan sampah yang dihasilkan, komposisi timbulan sampah, efisiensi pengumpulan sampah, efisien pengolahan oleh insenerator, dan timbulan sampah yang tidak di olah oleh insenerator (baik dijual maupun di olah oleh DKP). Pada pengolahan limbah cair perlu diperhatikan perihal debit yang diolah, lumpur yang di dapatkan sebagai bahan aspal pada Bandar Udara Juanda, dan gas CH₄ yang mungkin terolah.

• Inspeksi Tempat Penampungan Sementara (TPS) di Terminal 1 dan Terminal 2

Kegiatan ini bertujuan agar pengolahan limbah padat tetap berjalan efisien dan memenuhi persyaratan yang telah ditentukan agar pelayanan yang diberikan Bandara Juanda tetap maksimal.

b. Alternatif Pengembangan

Rekomendasi pengalihan moda transportasi menjadi usulan yang patut dipertimbangkan. Penelitian oleh [2], direncanakan pengalihan transportasi masal sebanyak 70% transportasi pengguna Tol, yaitu mobil pribadi dan taksi. Pemilihan kereta api sebagai transportasi masal, yaitu memiliki kapasitas jumlah duduk untuk mengangkut penumpang dan memiliki ketepatan waktu sehingga melaju tanpa kemacetan. Estimasi dalam 1 rangkaian terdapat 5 gerbong, dengan setiap gerbong berkapasitas 77 tempat duduk. 1 rangkaian dapat memuat 385 penumpang, dengan *head way* sekitar 30 menit. Melalui perencanaan ini, pengalihan pengguna mobil sebanyak 667 penumpang dan taksi 49 penumpang dapat terangkut oleh 2 kereta api dalam kurun waktu 1 jam. Perencanaan mampu mengurangi area drop sebanyak 12,42% dan *demand* lahan parkir 39,62%. Perencanaan ini patut dipertimbangkan, melihat tidak semua penumpang bertujuan ke stasiun Gubeng sebagai pemberhentian kereta api. Sangat dibutuhkan informasi tujuan penumpang, sehingga mampu memudahkan pemilihan angkutan moda transportasi.

IV. KESIMPULAN

Fluktuasi emisi sektor transportasi *on-road* sangat bergantung pada jenis kendaraan, sedangkan sektor transportasi *off-road* sangat bergantung pada tipe pesawat. Fluktuasi emisi sektor limbah padat domestik bergantung pada efisiensi pembakaran di insenerator, sedangkan faktor emisi

limbah cair domestik bergantung pada bangunan pengolahan.

Alternatif yang disarankan pada sektor *off-road* berupa manajemen LTO (kegiatan *taxi*). Pada transportasi *on-road*, yaitu realisasi pengadaan dan penggunaan kereta api.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Departemen Teknik Lingkungan ITS dan pihak PT. Angkasa Pura I atas izin dan dukungan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. S, "Potensi dan dampak polusi udara dari sektor penerbangan," Jakarta, 2010.
- [2] N. Hafizah, "Evaluasi Karakteristik Penggunaan Moda Akses Bandar Udara Juanda Surabaya sebagai Dasar Usulan Pengadaan Transportasi Massal Menuju Bandara," Surabaya, 2015.
- [3] SIDONEWS.com, "Jumlah Penumpang Pesawat 2014 Naik," 2015. [Online]. Available: <https://ekbis.sindonews.com/read/945650/34/jumlah-penumpang-pesawat-2014-naik-1420275905> .
- [4] M. Winther, "Danish Emission Inventories For Road Transport And Other Mobile Sources. In-ventories until the year 2010," 2012.
- [5] IPCC, "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories," 2006.
- [6] T. Norton, "Aircraft Greenhouse Gas Emissions during the Landing and Takeoff Cycle at Bay Area Airports," 2014.
- [7] M. Winther and K. Rypdal, "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016," 2017.
- [8] D. Kindersly, *The Aircraft Book: The Definitive Visual History*. London: Penguin Random House Company, 2013.
- [9] Dewan Nasional Perubahan Iklim, "Peluang dan Kebijakan Pengurangan Emisi Sektor Transportasi," 2010.
- [10] Oktaviani and Kurniawaty, "Laporan kelompok pelaksanaan magang PT. Angkasa Pura I (Persero) cabang Bandar Udara Internasional Juanda," Surabaya, 2016.