



TESIS - RE142541

**PREDIKSI POTENSI PENURUNAN EMISI GAS
METANA (CH₄) DARI LIMBAH CAIR DOMESTIK DAN
NON DOMESTIK DI SURABAYA TIMUR**

NASHRULLAH AL MUBARAK
3315201202

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Mohammad Razif, MM

PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



THESIS - RE142541

**PREDICTION OF THE POTENTIAL METHANE GAS
EMISSION DECLINE (CH₄) FROM DOMESTIC AND
NON DOMESTIC WASTEWATER IN EAST
SURABAYA**

NASHRULLAH AL MUBARAK
3315201202

SUPERVISOR
Dr. Ir. Mohammad Razif, MM

MAGISTER PROGRAM
DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL, ENVIRONMENTAL, AND GEO ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Nashrullah Al Mubarak
NRP. 3315201202

Tanggal Ujian : 04 Januari 2018
Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh :

1. **Dr. Ir. Mohammad Razif, MM**
NIP : 19530502 198103 1 004

(Pembimbing)

2. **Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc, PhD**
NIP : 19500114 197903 1 001

(Penguji)

3. **Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT**
NIP : 19660116 199703 1 001

(Penguji)

4. **Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT**
NIP : 19751018 200501 1 001

(Penguji)



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dekan

I D A Warmadewanthi, S.T., M.T., PhD
NIP.19750212 199903 2 001

POTENSI PENURUNAN EMISI GAS METANA (CH₄) DARI PENGOPERASIAN TANGKI SEPTIK DOMESTIK DAN NON DOMESTIK DI SURABAYA TIMUR

Nama Mahasiswa : Nashrullah AL Mubarak
NRP : 03211550010202
Pembimbing : Dr. Ir. Mohammad Razif, MM

ABSTRAK

Potensi penurunan emisi gas metana pada penelitian ini dilakukan pada sektor limbah cair domestik dan non domestik berdasarkan pengoperasian tangki septik yang ditinjau berdasarkan tiga aspek yaitu, aspek lingkungan, teknis, dan ekonomi. Untuk menyusun strategi penurunan emisi gas metana, terlebih dahulu dilakukan perhitungan dan analisa mengenai tiga aspek tersebut, yaitu, melakukan perhitungan mengenai dampak dan kerugian lingkungan akibat emisi CH₄ dari aktifitas domestik dan non domestik di Surabaya Timur. Melakukan perhitungan konversi gas CH₄ menjadi energi listrik yang ditinjau dari aspek teknisnya. Merencanakan strategi penurunan emisi CH₄ dan menghitung nilai ekonominya.

Perhitungan emisi gas metana dilakukan dengan mengacu pada metode yang telah dikembangkan oleh IPCC 2006 dan penelitian sebelumnya berdasarkan massa CH₄. Perhitungan energi listrik berdasarkan faktor konversi energi listrik. Penetapan strategi didasarkan pada RAD-GRK Kota Surabaya dan RAD-GRK Propinsi Jawa Timur.

Berdasarkan perhitungan, limbah cair domestik menghasilkan emisi gas metana pada tahun 2013 sebesar 171.31 m³/tahun dan meningkat setiap tahunnya sama halnya seperti hasil IPCC dan non domestik. Emisi gas metana dipengaruhi oleh kenaikan populasi, semakin tinggi populasi maka semakin tinggi emisi gas metana yang dihasilkan. Sehingga membuat dampak lingkungan yang semakin besar pula pada lingkungan. Energi listrik yang dihasilkan dari sektor domestik pada tahun 2013 1458508.7 kWh, Energi listrik meningkat setiap tahunnya sejalan dengan peningkatan emisi gas metana. Penerapan energi terbarukan sangat menunjang bagi usaha untuk menurunkan emisi gas metan di Surabaya Timur. namun penerapan teknologi tersebut juga terdapat beberapa permasalahan.

Kata kunci : domestik, emisi CH₄, energi listrik, non domestik.

**PREDICTION OF THE POTENTIAL METHANE GAS EMISSION
DECLINE (CH₄) FROM DOMESTIC AND NON DOMESTIC
WASTEWATER IN EAST SURABAYA**

Name : Nashrullah AL Mubarak
Id Number : 03211550010202
Supervisor : Dr. Ir. Mohammad Razif, MM

ABSTRACT

The potential decrease in the emission of methane gas on the research carried out on the sector of domestic liquid waste and non domestic based on operation of septic tanks that are reviewed based on three aspects, namely, environmental aspects, technical, and economic. To strategize a decrease in emissions of methane gas, first performed the calculations and analysis on three aspects, namely, performing calculations on the impact and harm the environment due to emissions of CH₄ from domestic and non-domestic activities in Surabaya, the East. Calculating gas CH₄ conversion into electrical energy which is reviewed from its technical aspects. Plan a strategy for decreasing emissions of CH₄ and calculate the value of its economy.

Calculation of the emission of methane gas is conducted with reference to the method that has been developed by the IPCC 2006 and previous research based on the mass of CH₄. Calculation of electric energy based on electric energy conversion factors. The determination of the strategy based on the RAD-GRK Surabaya and East Java province RAD_GRK.

Based on calculations, domestic liquid waste generates methane gas emissions in 2013 of 171.31 m³/year and increase every year in the same halmya as the IPCC and non domestic results. Emissions of methane gas is affected by the increase in the population, the higher the population then the higher emissions of methane gas produced. So make a bigger environmental impact on the environment. Electrical energy generated from the domestic sector in the year 2013 1458508.7 kWh, electric energy increased each year in line with the increase in the emission of methane gas. The application of renewable energy is very conducive for businesses to lower the emission of methane gas in Eastern Surabaya. However the application of these technologies there are also some problems.

Key words: domestic, emissions of CH₄, electric energy, non domestic.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Strategi Penurunan Emisi Gas Metana (CH₄) dari Pengoperasian Tangki Septik Domestik dan Non Domestik Di Surabaya Timur” ini dapat diselesaikan dengan baik sesuai dengan batas waktu penelitian tesis. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dengan bidang keahlian Teknik Lingkungan pada program studi Pascasarjana Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Diharapkan nantinya dari tesis ini dapat berguna bagi pihak-pihak terkait untuk membantu dalam proses pemenuhan Rencana Aksi Nasional – Gmas Rumah Kaca (RAN-GRK) di Kota Surabaya dan sebagai bahan rujukan untuk membantu penelitian terkait berikutnya.

Tidak lupa, pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada :

1. Kedua orang tua dan saudara penulis yang telah memberikan segala bentuk dukungan baik yang bersifat moril maupun materil kepada penulis selama melakukan studi S2
2. Dr. Ir. Mohammad Razif, MM selaku pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, bantuan dan petunjuk selama proses pengerjaan tesis ini.
3. Prof. Ir. Wahyono Hadi, Msc., PhD selaku penguji yang telah memberikan kritik, saran dan arahan yang berguna untuk menyempurnakan tesis ini.
4. Dr. Abdu Fadli Assomadi, SSi, MT selaku penguji yang telah memberikan kritik, saran dan arahan yang berguna untuk menyempurnakan tesis ini.
5. Dr. Eng. Arie Dipareza Syafe'i, ST., MEPM. selaku penguji yang telah maemberikan kritik, saran dan arahan yang berguna untuk menyempurnakan tesis ini.
6. Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT. selaku penguji yang telah maemberikan kritik, saran dan arahan yang berguna untuk menyempurnakan tesis ini.

7. Teman S2 Teknik Lingkungan angkatan 2016 genap atas semua kenangan indah selama kurang lebih 2 tahun ini.
8. Teman-teman dekat yang sama-sama pejuang tesis rima, dede, dan suhendra atas semua dorongan masukan dan kerjasamanya menyelesaikan tesis bersama-sama.

Akhirnya penulis berharap semoga Tesis ini dapat bermanfaat dan permohonan maaf yang sebesar-besarnya jika masih terdapat kesalahan dan kekurangan dalam penulisan. Penulis juga menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi menyempurnakan penulisan tesis ini.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Ruang Lingkup.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Gambaran Kota Surabaya	9
2.1.1 Letak dan Kondisi Geografis	9
2.1.2 Demografi	11
2.2 Pemanasan Global (<i>Global Warming</i>)	13
2.2.1 Definisi Pemanasan Global (<i>Global Warming</i>)	13
2.2.2 Gas Rumah Kaca (GRK)	14
2.2.3 Metan (CH ₄)	18
2.3 Tangki Septik	19
2.3.1 Definisi.....	19
2.3.2 Sistem Kerja Tangki Septik	19
2.4 Proses Pembentukan CH ₄ pada Tangki Septik	20
2.5 Perhitungan Emisi CH ₄ dari Tangki Septik.....	21
2.6 Konversi Biogas Menjadi Energi Listrik.....	26
2.7 Analisis Trend (<i>Trend Analysis</i>)	27

2.8 Penelitian Sebelumnya	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Gambaran Umum	31
3.2 Kerangka Penelitian	31
3.3 Lokasi Penelitian	33
3.4 Waktu dan Tahapan Penelitian	34
3.4.1 Studi Literatur.....	34
3.4.2 Persiapan Penelitian.....	35
3.4.3 Pengumpulan Data.....	35
3.4.4 Analisis dan Pembahasan Data	36
3.4.5 Kesimpulan dan Saran	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Aspek Lingkungan	41
4.1.1 Proyeksi Penduduk Kota Surabaya	41
4.1.2 Perhitungan Pemakaian Air dan Limbah	43
4.1.3. Perhitungan Emisi Gas Metana (CH ₄).....	51
4.1.5. Analisis Dampak Lingkungan	68
4.2. Aspek Teknis.....	69
4.2.1. Prediksi Pemanfaatan Gas CH ₄ Sebagai Energi Listrik	69
4.2.2. Perhitungan Jumlah Genset yang dibutuhkan untuk konversi gas CH ₄ menjadi energi listrik	75
4.2.3 Strategi Penurunan Emisi CH ₄	78
4.2.4 Kajian Aspek Teknis.....	86
4.3. Aspek Ekonomi	88
BAB 5 KESIMPULAN.....	91
5.1 Kesimpulan	91
5.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN	97

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Luas masing-masing Kecamatan di Kota Surabaya Tahun 2016	10
Tabel 2.2 Jumlah Penduduk Kota Surabaya Tahun 2015 Tiap Kecamatan.....	12
Tabel 2.3 Kontribusi Emisi Gas Rumah Kaca di Indonesia.....	14
Tabel 2.4 Sektor Kegiatan Penyumbang Emisi Gas Rumah Kaca di Indonesia	14
Tabel 2.5 Intensitas Pelepasan CO ₂ ke Atmosfer	15
Tabel 2.6 Indeks Pemanasan Global Gas Rumah Kaca	16
Tabel 2.7 Kuantitas Tinja (<i>Feses</i>) dan Air Seni (<i>Urine</i>).....	21
Tabel 2.8 Karakteristik Sampel Awal Tinja	21
Tabel 3.1 Data Kelurahan di Wilayah Surabaya Timur.....	31
Tabel 4.1 Data Populasi Penduduk Surabaya Timur	39
Tabel 4.2 Pemakaian Air Bersih Domestik Tahun 2014 - 2016.....	42
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Limbah Domestik Tahun 2014 - 2016	42
Tabel 4.4 Backward Prediction 3 ke 3 ($Y = 672029*(e^{0.1605X})$).....	44
Tabel 4.5 Backward Prediction 6 ke 4 ($Y = 415225*(e^{0.1605X})$).....	44
Tabel 4.6 Data Pemakaian Air Bersih Domestik.....	45
Tabel 4.7 Limbah Domestik Rumah Susun dan Apartemen	45
Tabel 4.8 Perhitungan Pemakaian Air Bersih Non Domestik.....	46
Tabel 4.9 Perhitungan Air Limbah Non Domestik Tahun 2014 - 2016	46
Tabel 4.10 Pemakaian Air Bersih Non Domestik	48
Tabel 4.11 Limbah yang Dihasilkan Non Domestik	48
Tabel 4.12 Populasi Ekuivalen Domestik	50
Tabel 4.13 Emisi Gas Metana (CH ₄) Domestik.....	52
Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Emisi Gas CH ₄ IPCC Domestik	57
Tabel 4.15 Populasi Ekuivalen Non Domestik.....	59
Tabel 4.16 Emisi Gas Metana (CH ₄) Non Domestik.....	60
Tabel 4.17 Emisi Gas Metana CH ₄ Aktifitas Non Domestik (IPCC).....	67
Tabel 4.18 Energi Listrik Domestik.....	69
Tabel 4.19 Energi Listrik Domestik (IPCC)	71
Tabel 4.20 Energi Listrik Non domestik	73

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Kebutuhan Genset Domestik	75
Tabel 4.22 Hasil Perhitungan Kebutuhan Genset Domestik (IPCC).....	76
Tabel 4.23 Hasil Perhitungan Kebutuhan Genset Non Domestik	77
Tabel 4.24 Hasil Perhitungan Kebutuhan Genset Non Domestik (IPCC)	77
Tabel 4.25 Reduksi Gas CH ₄ Aktifitas Domestik	78
Tabel 4.26 Reduksi Gas CH ₄ Aktifitas Domestik (IPCC)	79
Tabel 4.27 Reduksi Gas CH ₄ Aktifitas Non Domestik	81
Tabel 4.28 Reduksi Gas CH ₄ Aktifitas Domestik (IPCC)	82
Tabel 4.29 Strategi Pemanfaatan Emisi Gas Metana	84
Tabel 4.30 Nilai Ekonomis Domestik	85
Tabel 4.31 Nilai Ekonomis Non Domestik	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Administrasi Kota Surabaya	10
Gambar 2.2 Skema Aliran Pengolahan dan Pembuangan Limbah Cair Domestik/Industri	15
Gambar 2.3 Penentuan Bahan Organik dari Limbah Cair Domestik Yang dapat Terdegradasi.....	25
Gambar 2.4 Faktor emisi CH ₄ untuk Limbah Cair Domestik	26
Gambar 2.5 Estimasi emisi CH ₄ dari Limbah Cair Domestik.....	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 4.1 Proyeksi Penduduk Surabaya Timur	40
Gambar 4.2 Grafik Prediksi 3 ke 3 Pemakaian Air Bersih	43
Gambar 4.3 Grafik Prediksi 6 ke 4 Pemakaian Air Bersih	44
Gambar 4.4 Prediksi 10 Tahun Emisi Gas Metana (CH ₄) Domestik	52
Gambar 4.5 Hubungan Populasi Ekuivalen Terhadap Limbah dan Emisi CH ₄	53
Gambar 4.6 Tahap Pertama IPCC Domestik.....	54
Gambar 4.7 Tahap Kedua IPCC Domestik	55
Gambar 4.8 Tahap Ketiga IPCC Domestik.....	56
Gambar 4.9 Prediksi Emisi Gas Metan (CH ₄) IPCC Domestik	58
Gambar 4.10 Prediksi Emisi Gas Metana Non Domestik.....	60
Gambar 4.11 Tahap Pertama IPCC Non Domestik	62
Gambar 4.12 Tahap Kedua IPCC Non Domestik.....	63
Gambar 4.13 Tahap Ketiga IPCC Non Domestik	64
Gambar 4.14 Prediksi Emisi Gas Metan (CH ₄) Non Domestik (IPCC).....	66
Gambar 4.15 Prediksi Energi Listrik Domestik	70
Gambar 4.16 Prediksi Energi Listrik Domestik (IPCC)	71
Gambar 4.17 Prediksi Energi Listrik Non Domestik.....	73
Gambar 4.18 Grafik Reduksi Emisi Gas CH ₄ Aktifitas Domestik.....	79
Gambar 4.19 Grafik Reduksi Emisi Gas CH ₄ Aktifitas Domestik (IPCC)	80
Gambar 4.20 Grafik Reduksi Emisi Gas CH ₄ Aktifitas Non Domestik	82
Gambar 4.21 Grafik Reduksi Emisi Gas CH ₄ Aktifitas Non Domestik (IPCC)...	83

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sudah menjadi masalah global, regional dan lokal yang berdampak terjadinya perubahan iklim (*climate change*). Presiden Republik Indonesia dalam Pertemuan G-20 di Pittsburg telah menyepakati penurunan emisi GRK di Indonesia sebesar 26% dengan usaha sendiri dan 41% jika mendapat bantuan international pada tahun 2020.

Untuk itu telah dikeluarkan Peraturan Presiden RI No 61 Tahun 2011 yang berisi Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK), termasuk diantaranya adalah pengelolaan limbah untuk kota besar. Ada 16 Kota yaitu 10 kota dengan pengembangan pengelolaan air limbah *off site* (Medan, Jakarta, Tangerang, Bandung, Cirebon, Yogyakarta, Surakarta, Denpasar, Banjarmasin, Balikpapan), 6 kota dengan pembangunan baru pengelolaan air limbah *off site* (Batam, Palembang, Semarang, Surabaya, Malang, Makasar). Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup (2009), komposisi Emisi GRK di Indonesia adalah CO₂ (59,1%), CH₄ (19,1%), N₂O (4,2%), lainnya (17,6%). Dari data ini menunjukkan bahwa kontribusi GRK terbesar di Indonesia adalah gas karbondioksida (CO₂) dan gas metana (CH₄).

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomer 19 Tahun 2012, Peningkatan konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) yaitu Karbondioksida (CO₂), Metan (CH₄), N₂O, Sulfur Heksafluorida (SF₆), Hidrofluorokarbon (HFC), dan Perfluorokarbon (PFC) yang dihasilkan dari beragam aktivitas manusia menyebabkan bertambahnya radiasi yang terperangkap di atmosfer dan berdampak pada kenaikan suhu bumi sehingga terjadi pemanasan global. Tanpa dilakukannya upaya untuk mengontrol emisi GRK, suhu bumi diperkirakan akan meningkat antara 1,4–5,8 0C pada tahun 2100. Berdasarkan data yang ada, tercatat bahwa suhu global bumi telah meningkat antara 0,6–2 0C sejak akhir abad ke-19.

Pemerintah Provinsi Jawa Timur juga telah mengeluarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No 67 Tahun 2012, dimana bidang Pengelolaan Limbah juga

termasuk dalam Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAD-GRK). Pada Lampiran A dari peraturan ini tercantum kegiatan inti dimana ada kebijakan yang dilaksanakan untuk menurunkan GRK dengan Peningkatan Pengelolaan Limbah Cair Domestik melalui Rencana Aksi Pengembangan Sarana/Instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL). Pada Lampiran B untuk kegiatan penunjang ada Rencana Aksi untuk Bidang Pengelolaan Limbah dengan Pengendalian Pencemaran dan Perusakan Lingkungan Hidup.

Perlu diketahui bahwa pengoperasian IPAL mempunyai dampak yang hampir tidak pernah tersentuh yaitu dihasilkannya gas CO₂ dan CH₄. Dimana gas CO₂ dan CH₄ tersebut merupakan GRK. Emisi GRK yang berasal dari aktifitas tangki septik domestik dan non domestik IPAL sebagian bisa dimanfaatkan kembali untuk energi listrik utamanya dari gas CH₄. Energi listrik tersebut merupakan energi biogas yang dihasilkan dari pengolahan lebih lanjut terhadap gas CH₄.

Panwar dkk (2011) menjelaskan bahwa teknologi biogas memberikan kesempatan yang baik untuk mitigasi emisi GRK dan mengurangi pemanasan global. Biogas sendiri adalah gas produk akhir pencemaran atau degradasi anaerobik (dalam lingkungan tanpa oksigen) oleh bakteri-bakteri menthanogen (Houdkova dkk., 2008). Gas CH₄ pada hasil IPAL tersebut berpotensi untuk digunakan sebagai energi alternatif. Seperti kita ketahui bahwa saat ini di Indonesia pada umumnya dan Surabaya khususnya, gas metana hasil keluaran instalasi tersebut belum optimum pemanfaatannya untuk dapat menghasilkan energi listrik. Untuk dapat menghasilkan energi listrik diperlukan gas CH₄ yang murni, sehingga gas-gas lain hasil pengolahan instalasi tersebut dapat dihilangkan atau diabaikan.

Masalahan pemanasan global atau *global warming* sebagai akibat dari Gas Rumah Kaca (GRK) tidak hanya menjadi tanggung jawab salah satu negara saja, akan tetapi menjadi tanggung jawab bersama semua negara. Menurut Panwar dkk (2011) penyebab pemanasan global adalah karena adanya peningkatan konsentrasi gas rumah kaca seperti CO₂, CH₄, CFCs, *halons*, N₂O, O₃, dan *peroksi-acetylnitrate* di atmosfer yang dapat mengikat panas yang dipancarkan dari permukaan bumi sehingga dapat meningkatkan suhu di permukaan bumi. Tingkat CO₂ secara keseluruhan telah meningkat 31% dalam 200 tahun terakhir dan rata-rata suhu permukaan global telah meningkat sebesar 0,4-0,8°C pada beberapa abad terakhir.

Pada beberapa tahun terakhir ini telah terjadi peningkatan penduduk kota, sehingga terjadi pula peningkatan volume air limbah yang dihasilkan sebagai akibat dari kegiatan penduduk kota. Penambahan volume air limbah tersebut harus disertai dengan penambahan sarana dan prasarana pengolahan air limbah yang memadai. Sehingga tidak menimbulkan dampak negatif yang besar terhadap lingkungan. Salah satu sarana dan prasarana yang setidaknya harus ada di setiap rumah adalah IPAL berupa tangki septik untuk limbah dari kegiatan domestik. Sedangkan limbah dari kegiatan non domestik dapat dibangun IPAL komunal. Emisi GRK yang berasal dari aktifitas Tangki Septik Domestik dan Non domestik sebenarnya sebagian bisa dimanfaatkan kembali untuk energi listrik utamanya dari gas metana. Oleh sebab itu menjadi penting untuk menghitung berapa besar potensi emisi GRK dan prediksi peningkatannya yang berkontribusi pada peningkatan GRK diperkotaan, dan perlu menghitung prediksi potensi energi listrik yang bisa dihasilkan dari gas metana tersebut.

Penelitian sebelumnya oleh Basri (2017) menyebutkan bahwa prediksi besarnya emisi gas pada 10 tahun ke depan untuk Surabaya bagian selatan sebesar 224.941 kg/tahun.CO₂ dan 53.076 kg/tahun.CH₄ untuk aktifitas domestik serta untuk non domestik sebesar 3.092.484 kg/tahun.CO_{2-eq} dan 729.687 kg/tahun.CH_{4-eq}. Prediksi besarnya potensi energi listrik dari emisi gas CH₄ pada akhir 10 tahun kedepan untuk Surabaya bagian selatan dari aktifitas domestik sebesar 748.773 kWh/tahun dan dari aktifitas non domestik sebesar 13.036.487 kWh/tahun. Prediksi besarnya pengurangan emisi gas rumah kaca dengan pengalihan emisi CH₄ menjadi biogas di Surabaya bagian selatan pada akhir 10 tahun kedepan dari aktifitas domestik -53.076 kg/tahun CH₄ dan dari aktifitas non domestik sebesar -729.687 kg/tahun CH_{4-eq}.

Untuk memperluas penelitian sebelumnya diatas, maka dilakukan penelitian serupa tetapi pada daerah lain di kota Surabaya. Oleh karena itu dipilihlah Kota Surabaya bagian timur sebagai studi kasus pada penelitian ini. Kota Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia. Banyak aktivitas yang terjadi di kota ini, baik aktifitas domestik maupun non domestik dikarenakan penduduk Surabaya yang banyak dan padat. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Surabaya pada tahun 2016, jumlah penduduk Kota Surabaya sebanyak 2.853.661

jiwa. Alasan lain dipilihnya Kota Surabaya bagian timur adalah karena Surabaya Timur merupakan salah satu wilayah terluas dan terpadat penduduknya di wilayah Kota Surabaya. Sehingga merupakan salah satu penghasil emisi CH₄ terbesar di wilayah Kota Surabaya. Hal ini disebabkan karena di wilayah Surabaya Timur terdapat banyak perumahan padat penduduk, perkantoran, pertokoan, *mall* (pusat perbelanjaan), rumah sakit baik yang besar maupun yang kecil, rumah makan, aktifitas pendidikan yang ditandai dengan banyaknya sekolah baik dari tingkat dasar sampai perguruan tinggi dan juga adanya aktifitas industri. Peningkatan jumlah penduduk di Surabaya Timur dan aktivitas pembuangan limbah dari aktivitas domestik dan non domestik akan meningkatkan emisi gas CH₄ sehingga diperlukan langkah prediksi untuk jangka waktu 10 tahun kedepan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana dampak dan kerugian lingkungan akibat emisi CH₄ (gas rumah kaca) dari aktifitas domestik dan non domestik di Surabaya Timur ditinjau dari aspek lingkungan.
2. Bagaimana memanfaatkan emisi gas CH₄ menjadi energi listrik dari aktivitas domestik dan non domestik di Surabaya Timur ditinjau dari aspek teknis
3. Bagaimana potensi penurunan emisi gas CH₄ dari aktivitas domestik dan non domestik di Surabaya Timur disertai dengan menghitung nilai ekonominya.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung dampak dan kerugian lingkungan akibat emisi CH₄ dari aktifitas domestik dan non domestik di Surabaya Timur ditinjau dari aspek lingkungan.
2. Menghitung konversi CH₄ (biogas) yang berpotensi menjadi energi listrik dari aktivitas domestik dan non domestik di Surabaya Timur ditinjau dari aspek teknis

3. Merencanakan potensi penurunan emisi gas CH₄ dari aktivitas domestik dan non domestik di Surabaya Timur disertai dengan menghitung nilai ekonominya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat Penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merupakan sumbangsih peneliti yang dapat digunakan sebagai acuan bagi instansi pemerintah tentang dampak dan kerugian lingkungan akibat emisi gas CH₄ dari aktifitas domestic dan non domestic di Surabaya Timur.
2. Merupakan sumbangsih peneliti yang dapat digunakan sebagai acuan bagi instansi pemerintah kota tentang potensi gas CH₄ yang bisa direduksi dari aktifitas domestik dan non domestik di Surabaya Timur.
3. Merupakan sumbangsih peneliti yang dapat digunakan sebagai acuan bagi instansi pemerintah tentang strategi penurunan emisi gas CH₄ dengan dikonversi menjadi biogas dan energi listrik di Surabaya Timur sebagai bagian dari RAD Kota Surabaya.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variabel penelitian yang digunakan dalam tesis ini dibagi menjadi 3 aspek yang meliputi, aspek lingkungan, aspek teknik, dan aspek ekonomi.
2. Aspek Lingkungan
 - a. Perhitungan besarnya proyeksi penduduk selama 10 tahun yang akan datang yang berkontribusi menimbulkan dampak lingkungan pembuangan limbah cair ke Tangki Septik yang akan menghasilkan dampak lingkungan emisi gas CH₄.
 - b. Perhitungan besarnya proyeksi pemakaian air bersih selama 10 tahun yang akan datang yang berkontribusi menimbulkan dampak lingkungan pembuangan limbah cair ke Tangki Septik yang akan menghasilkan dampak lingkungan emisi gas CH₄.

- c. Perhitungan besarnya proyeksi limbah cair yang dihasilkan dari pemakaian air bersih selama 10 tahun yang akan datang yang berkontribusi menimbulkan dampak lingkungan emisi gas CH₄.
 - d. Perhitungan besarnya proyeksi 10 tahun dari emisi gas CH₄ dari tangki septik domestik dan non domestik yang berkontribusi menimbulkan dampak emisi gas rumah kaca.
3. Aspek Teknik
- a. Perhitungan besarnya proyeksi 10 tahun dari potensi biogas yang berasal dari gas CH₄ dari tangki septik domestik dan non domestik.
 - b. Perhitungan besarnya proyeksi 10 tahun dari potensi energi listrik yang berasal dari potensi biogas dari tangki septi domestik dan non domestik
 - c. Perhitungan kebutuhan energi listrik dan biogas tiap unit apartemen atau rumah susun
4. Aspek Ekonomi
- a. Perhitungan besarnya potensi biogas yang mempunyai nilai ekonomi dari bangunan domestik berlantai banyak (apartemen) dan bangunan non domestik berlantai banyak (pusat perkantoran, pusat perbelanjaan, hotel, rumah sakit, kampus).
 - b. Perhitungan besarnya potensi energi listrik yang mempunyai nilai ekonomi dari bangunan domestik berlantai banyak (apartemen) dan bangunan non domestik berlantai banyak (pusat perkantoran, pusat perbelanjaan, hotel, rumah sakit, kampus).
5. Emisi gas CH₄ yang diprediksi dihitung dari aktifitas tangki septik domestik dan non domestik selama tahun 2017 – 2026 dilakukan melalui pendekatan terhadap penelitian terdahulu Wati (2011) dan IPCC (2006)
6. Data jumlah populasi domestik dan jumlah aktifitas non domestik didapatkan dari Monografi Kelurahan dan kecamatan dalam angka di Surabaya bagian Timur.
7. Perhitungan pemakaian air domestik rata-rata diperoleh dari rekening air/bulan melalui teknik sampling responden pada 7 kecamatan yang terdiri dari 40 kelurahan termasuk bangunan dengan lantai banyak (apartemen).

8. Perhitungan populasi non domestik dilakukan dengan teknik populasi ekuivalen dari pemakaian air populasi domestik dibandingkan dengan rekening air dari pemakaian air aktivitas non domestik melalui teknik sampling aktivitas pada 7 kecamatan yang terdiri dari 40 kelurahan.
9. Aktivitas non domestik menyangkut perkantoran, pertokoan, pasar modern/mall, rumah sakit, rumah makan, hotel, instansi pendidikan, dan industri yang ada dalam Monografi Kelurahan di Surabaya Timur.
10. Prediksi potensi energi listrik bisa diperoleh dari konversi gas metana selama sepuluh tahun dari tahun 2017 sampai tahun 2026.
11. Prediksi emisi gas CH₄ untuk tahun 2017-2026 dilakukan dengan memakai perangkat lunak Minitab 2016.
12. Prediksi potensi penurunan emisi gas CH₄ dilakukan dengan cara melakukan prediksi potensi konversi biogas dari gas CH₄, namun hanya pada bangunan yang besar-besar saja (mempunyai potensi energi listrik minimal untuk dapat menghidupkan satu genset). Potensi pada rumah penduduk tidak akan dirubah dikarenakan sangat kecil dan sulit untuk dikumpulkan dan diolah menjadi satu.
13. Penelitian ini dilaksanakan dari Bulan Agustus 2017 – Desember 2017.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Kota Surabaya

2.1.1 Letak dan Kondisi Geografis

Kota Surabaya berada pada $7^{\circ}9' - 7^{\circ}21'$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}36' - 112^{\circ}57'$ Bujur Timur, sebagian besar wilayahnya merupakan dataran rendah dengan ketinggian 3-6 meter di atas permukaan air laut, sebagian lagi pada sebelah Selatan merupakan kondisi berbukit-bukit dengan ketinggian 25-50 meter di atas permukaan air laut. Luas wilayah Kota Surabaya adalah 52.087 Ha, dengan luas daratan 33.048 Ha atau 63,45% dan selebihnya sekitar 19.039 Ha atau 36,55% merupakan wilayah laut yang dikelola Pemerintah Kota Surabaya. Jumlah penduduk Kota Surabaya hingga Desember 2015 adalah sejumlah 2.939.421 jiwa (Dinas Komunikasi dan Informatika Kota Surabaya, 2015). Kawasan terbangun di wilayah Kota Surabaya, meliputi hampir 2/3 dari seluruh luas wilayah. Secara relatif, konsentrasi perkembangan fisik kota membujur dari kawasan utara hingga selatan kota, pada saat ini cenderung bergeser ke kawasan barat dan kawasan timur kota akibat sudah terbangunnya lahan di kawasan utara, tengah dan selatan. Secara umum perkembangan fisik kota tersebut didominasi oleh pembangunan kawasan perumahan *real estate* dan fasilitas perniagaan. Kawasan perumahan yang berupa kampung terkonsentrasi di area pusat kota, sedangkan perumahan real estate tersebar di kawasan barat, timur dan selatan kota. Pada beberapa lokasi sudah dibangun perumahan vertikal baik berupa rumah susun (sederhana) maupun apartemen atau kondominium (mewah). Batas wilayah Kota Surabaya adalah sebagai berikut :

Sebelah Utara	: Selat Madura
Sebelah Timur	: Selat Madura
Sebelah Selatan	: Kabupaten Sidoarjo
Sebelah Barat	: Kabupaten Gresik

Secara administrasi Kota Surabaya dibagi menjadi 5 daerah administrasi, dimana dari kelima daerah administrasi tersebut terdapat 31 kecamatan dan 154

kelurahan. Gambar 2.1 menunjukkan peta pembagian daerah administrasi Kota Surabaya dan Tabel 2.1 menunjukkan Luas masing-masing kecamatan di Kota Surabaya Tahun 2016.



Gambar 2.1 Peta Administrasi Kota Surabaya
(Sumber : DCKTR Online Pemerintah Kota Surabaya, 2013)

Tabel 2.1 Luas masing-masing Kecamatan di Kota Surabaya Tahun 2016

No	Wilayah Administrasi	Kecamatan	Luas (km ²)
1	Surabaya Pusat	Tegalsari	4.56
		Genteng	4.06
		Bubutan	3.64
		Simokerto	2.27
2	Surabaya Utara	Pabean Cantikan	6.89
		Semampir	10.97
		Krembangan	7.32
		Kenjeran	6
		Bulak	7.08
3	Surabaya Timur	Tambaksari	12.58
		Gubeng	8.1
		Rungkut	22.58
		Tenggilis Mejoyo	5.53
		Gunung Anyar	9.46
		Sukolilo	31.56
		Mulyorejo	13.68

Lanjutan Tabel 2.1 Luas masing-masing Kecamatan di Kota Surabaya

No	Wilayah Administrasi	Kecamatan	Luas (km ²)
4	Surabaya Selatan	Sawahan	7.74
		Wonokromo	8.31
		Karang Pilang	8.66
		Dukuh Pakis	9.6
		Wiyung	10.8
		Wonocolo	6.67
		Gayungan	6.08
		Jambangan	3.83
5	Surabaya Barat	Tandes	6.33
		Sukomanunggal	10.34
		Asemrowo	12.99
		Benowo	23.65
		Pakal	19.17
		Lakarsantri	22.04
		Sambi Kerep	15.49
Total			327.98

Sumber : Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil Kota Surabaya, 2017

2.1.2 Demografi

Jumlah penduduk Kota Surabaya tahun registrasi 2015 adalah sebanyak 2.943.628 jiwa. Jumlah penduduk Kota Surabaya terus mengalami pertambahan setiap tahunnya. Rata-rata laju pertumbuhan Kota Surabaya dari tahun 2011 – 2015 adalah 0,6% per tahun. Dengan semakin bertambahnya jumlah penduduk, menjadikan Kota Surabaya semakin padat. Pada tahun 2015 diperkirakan kepadatan penduduk Kota Surabaya mencapai 8.564 jiwa/Km². Hal tersebut disebabkan karena posisi strategis Kota Surabaya sebagai pusat kegiatan ekonomi dan aktivitas masyarakat. Menjadi pusat kegiatan ekonomi dan aktivitas sama artinya dengan menjadi tujuan bagi orang-orang dari berbagai daerah. Sehingga banyak pendatang yang pada akhirnya menetap di Kota Surabaya yang pada akhirnya membuat laju pertumbuhan penduduk di Kota Surabaya semakin meningkat (Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2016). Tabel 2.2 menunjukkan jumlah penduduk Kota Surabaya tahun registrasi 2015 di setiap kecamatan.

Tabel 2.2 Jumlah Penduduk Kota Surabaya Tahun Registrasi 2015 Tiap Kecamatan.

No	Wilayah Administrasi	Kecamatan	Jumlah Kelurahan	Jumlah Penduduk (Jiwa)
1	Surabaya Pusat	Tegalsari	5	104109
		Genteng	5	60462
		Bubutan	5	103942
		Simokerto	5	100050
2	Surabaya Utara	Pabean Cantikan	5	82601
		Semampir	5	190158
		Kremlangan	5	119159
		Kenjeran	4	154531
		Bulak	4	42176
3	Surabaya Timur	Tambaksari	8	223906
		Gubeng	6	139355
		Rungkut	6	108494
		Tenggiling Mejoyo	4	56482
		Gunung Anyar	4	54127
		Sukolilo	7	108292
		Mulyorejo	6	85344
4	Surabaya Selatan	Sawahan	6	207101
		Wonokromo	6	164122
		Karang Pilang	4	72379
		Dukuh Pakis	4	60048
		Wiyung	4	68080
		Wonocolo	5	80436
		Gayungan	4	45415
		Jambangan	4	49310
5	Surabaya Barat	Tandes	6	91497
		Sukomanunggal	6	100794
		Asemrowo	3	45901
		Benowo	4	58613
		Pakal	6	55403
		Lakarsantri	4	50866
		Sambi Kerep	4	60375
Total		31	154	2,943,528

(Sumber : Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2016)

Seperti yang kita ketahui, demografi atau kepadatan penduduk dalam hal ini adalah populasi penduduk berpengaruh terhadap emisi gas metana (CH₄) yang

dihasilkan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa semakin bertambah populasi penduduk setiap tahunnya, maka akan semakin bertambah pula emisi gas metana (CH_4) yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena jumlah penduduk yang meningkat juga diikuti dengan pemakaian air yang meningkat pula, sehingga limbah yang dihasilkan juga ikut mengalami peningkatan. (Basri, 2017)

2.2 Pemanasan Global (*Global Warming*)

2.2.1 Definisi Pemanasan Global (*Global Warming*)

Pemanasan global seperti kita ketahui merupakan fenomena peningkatan temperatur global karena terjadinya efek rumah kaca (*green house effect*) yang disebabkan oleh meningkatnya emisi gas-gas seperti karbondioksida (CO_2), metana (CH_4), dinitrooksida (N_2O) dan CFC. Panas yang dilepaskan oleh matahari terperangkap oleh gas-gas ini, sehingga terjadi peningkatan suhu. Temperatur rata-rata global pada permukaan bumi telah meningkat $0,74 \pm 0,18$ C selama 100 tahun terakhir (Damayanti, 2013). Tingkat CO_2 secara keseluruhan telah meningkat 31% dalam 200 tahun terakhir dan rata-rata suhu permukaan global telah meningkat sebesar $0,4-0,8^\circ\text{C}$ pada beberapa abad terakhir (Panwar dkk, 2011).

Tetapi, menurut IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ada dua hal yang sudah dapat dipastikan, yaitu :

1. Efek rumah kaca (ERK) alami di Bumi, dan
2. Gas-gas yang mengakibatkan efek rumah kaca (ERK) kini meningkat dalam atmosfer akibat ulah dari manusia.

Pemanasan global secara umum disebabkan oleh dua hal yaitu pembakar fosil dalam industri, kendaraan bermotor, pembangkit listrik dan sebagainya dan emisi berbagai gas dari kegiatan industri termasuk juga penggunaan serta pembuatan CFC (Numberi, 2009). Tanpa sadar manusia berkontribusi terhadap pemanasan global yang terjadi karena kontributor terbesar gas rumah kaca adalah ulah manusia.

Menurut hukum fisika, panjang gelombang sinar yang dipancarkan sebuah benda tergantung pada suhu benda tersebut. Makin tinggi suhunya, akan semakin pendek panjang gelombangnya. Matahari dengan suhu yang tinggi memancarkan sinar dengan gelombang yang pendek. Namun sebaliknya permukaan bumi dengan suhu yang rendah, maka memancarkan sinar dengan gelombang panjang yaitu sinar

infra merah. Sinar infra merah dalam atmosfer terserap oleh gas tertentu sehingga tidak terlepas ke angkasa luar. Panas yang terperangkap di dalam lapisan bawah atmosfer yaitu troposfer, sebagai akibat ditimbulkannya permukaan bumi dan troposfer menjadi naik suhu udaranya. Dan peristiwa inilah yang disebut dengan istilah efek rumah kaca (ERK). Jika kecenderungan seperti sekarang ini terus berlangsung, maka pada abad yang akan datang, suhu udara permukaan bumi akan naik antara 2,3°C sampai 7,0°C (Wahyono, 2008).

2.2.2 Gas Rumah Kaca (GRK)

Gas rumah kaca (GRK) seperti karbondioksida, uap air, klorofluorokarbon (CFCs), metan dan nitrogen oksida merupakan gas-gas yang dapat memicu meningkatnya panas di permukaan bumi (global warming). Meningkatnya GRK ini dapat menyebabkan terjadinya efek rumah kaca. Efek rumah kaca sendiri diartikan sebagai proses masuknya radiasi matahari dan terjebaknya radiasi tersebut di atmosfer akibat GRK sehingga menaikkan suhu permukaan bumi. Sekitar 80-90 % radiasi yang terjebak memberikan kehangatan bagi makhluk hidup di bumi. Dengan demikian sebenarnya efek rumah kaca tidaklah buruk, karena tanpa efek tersebut rata-rata suhu permukaan di bumi -18°C.

Pada dasarnya ada dua faktor penyebab peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) yaitu kejadian alami dan antropogenik (campur tangan manusia). Faktor antropogenik masih dapat dibedakan antara faktor pembakaran BBF (bahan bakar fosil) dan alih-guna lahan khususnya kegiatan deforestasi. Faktor alami juga dibedakan atas faktor internal (interaksi atmosfer dan lautan) dan faktor eksternal (variasi input radiasi matahari dan letusan gunung berapi) (Cunha dkk., 2016). GRK yang dihasilkan dari kegiatan tersebut seperti karbondioksida, metana dan nitroksida menyebabkan meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca. Tabel 2.3 menyajikan pembahasan mengenai gas-gas yang berkontribusi terhadap pemanasan global di Indonesia. Tabel 2.4 menunjukkan sektor kegiatan yang menyumbang emisi GRK di Indonesia.

Tabel 2.3 Kontribusi Emisi Gas Rumah Kaca di Indonesia

Gas	Ekuivalen Emisi CO ₂	Presentase Total Emisi
CO ₂	438.609,64	59,1
CH ₄	142.042,81	19,1
N ₂ O	31.113,60	4,2
Lainnya	130.809,21	17,6
Total	742.575,26	100

Sumber : Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2009

Tabel 2.4 Sektor Kegiatan Penyumbang Emisi Gas Rumah Kaca di Indonesia

Sektor	Emisi Ekuivalen Karbondioksida (CO ₂) (Gg)	Persentase Total Emisi GRK (%)
Kehutanan dan Tata Guna Lahan	315.290,19	42,5
Energi dan Transportasi	303.829,95	40,9
Pertanian	99.515,24	13,4
Proses Industri	17.900,50	2,4
Limbah	6.039,39	0,8
Total	742.575,26	100

Sumber : Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2009

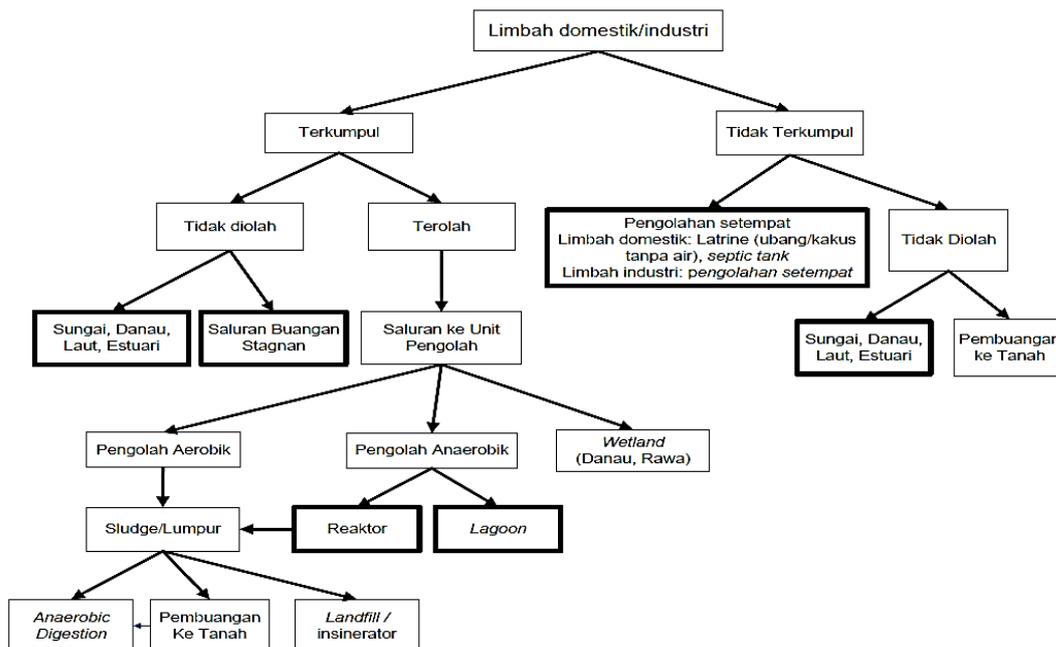
Tabel 2.5 Intensitas Pelepasan CO₂ ke Atmosfer

Gedung	Beban Emisi CO ₂ Rata-rata (Kg/m ² /tahun)	Emisi CO ₂ dari Penggunaan BPO (kg/m ² /tahun)	Total Emisi CO ₂ (Kg/m ² /tahun)
Hotel	0,191	1,355	
Perdagangan	0,139	0,832	
Perkantoran	6,241	81,132	
Rumah Sakit	0,349	3,143	
Pendidikan	2,387	54,896	
Total Beban Emisi CO ₂ rata-rata dari Penggunaan BPO			9,307
Total Beban Emisi CO ₂ dari Penggunaan BPO			141,358

Sumber : Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya, 2014

Tabel 2.5 menunjukkan Intensitas Pelepasan CO₂ ke Atmosfer pada Sektor Gedung Bertingkat di Kota Surabaya yang Bersumber pada Penggunaan Energi Listrik. Peningkatan emisi GRK tidak terlepas dari hasil kegiatan lainnya seperti kegiatan TPA. Pengolahan limbah padat secara biologis yang menghasilkan gas metana. Insenerasi limbah padat dan pembakaran terbuka yang menghasilkan

karbondioksida, pengolahan dan pembuangan limbah cair. Limbah cair yang dimaksud pada pedoman ini mencakup limbah domestik dan limbah industri yang diolah setempat (*uncollected*) atau dialirkan menuju pusat pengolahan limbah cair (*collected*) atau dibuang tanpa pengolahan melalui saluran pembuangan dan menuju ke sungai seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.2



Gambar 2.2 Skema Aliran Pengolahan dan Pembuangan Limbah Cair Domestik/Industri
(Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup, 2012)

Efek GRK dapat timbul karena adanya gas rumah kaca yang memiliki indeks pemanasan global atau juga bisa disebut juga sebagai potensi pemanasan gas rumah kaca, seperti yang terdapat pada tabel 2.5. Pada tabel tersebut dapat diambil contoh misalnya keefektifan CH₄ dalam menyerap panas jika dibandingkan dengan CO₂. CH₄ atau gas metan dapat menyerap panas 21 kali lebih besar daripada CO₂ atau karbondioksida. Meskipun CO₂ memiliki potensi pemanasan lebih kecil, akan tetapi jumlah konsentrasi CO₂ di atmosfer adalah yang paling besar. Maka dari itu perlu dilakukan reduksi CO₂ atau karbondioksida.

Tabel 2.6 Indeks Pemanasan Global Gas Rumah Kaca

Jenis Gas Rumah Kaca	Potensi Pemanasan (ton CO ₂ ekuivalen)
Karbondioksida (CO ₂)	1
Metana (CH ₄)	21
Nitrooksida (N ₂ O)	310
Hydrofluorocarbon (HFCs)	500
Sulfurhexafluorida (SF ₆)	9200

Sumber : Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2009

Pemanasan global dalam hal ini biasanya akan diikuti dengan perubahan iklim, seperti peningkatan curah hujan di beberapa belahan bumi sehingga menimbulkan bencana banjir dan longsor. Sebaliknya di belahan bumi yang lain mengalami musim kering yang berkepanjangan dan menimbulkan beberapa dampak terhadap kehidupan manusia diantaranya, lahan pertanian kehilangan kesuburannya, iklim menjadi tidak menentu dan mengganggu pertanian serta ketahanan pangan sedangkan nelayan akan terganggu karena meningkatnya intensitas badai.

Cara yang paling mudah dan dapat langsung diaplikasikan untuk mengurangi karbondioksida (CO₂) di udara adalah dengan memelihara pepohonan dan menanam pohon lebih banyak. Pohon terutama yang muda dan cepat dalam pertumbuhannya, menyerap karbondioksida (CO₂) yang banyak, memecahnya melalui proses fotosintesis dan menyimpan karbon dalam batang kayunya. Di bumi tingkat perambahan hutan telah mencapai level yang mengkhawatirkan. Di banyak area, tanaman yang tumbuh kembali sedikit karena tanah kehilangan kesuburannya ketika diubah untuk kegunaan yang lain, seperti untuk lahan pertanian atau pembangunan rumah tinggal. Langkah untuk mengatasi hal ini adalah dengan penghutanan kembali yang berperan dalam mengurangi semakin bertambahnya gas rumah kaca (Mahmudsyah, 2014).

Kandungan metana dalam biogas yang terdapat pada limbah cair dari kegiatan domestik dan domestik, bila terbakar akan relatif lebih bersih dari pada batu bara dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbondioksida (CO₂) yang lebih sedikit. Pemanfaatan biogas memegang peranan penting dalam manajemen limbah karena metana merupakan gas rumah kaca yang lebih berbahaya dalam pemanasan global bila dibandingkan dengan karbondioksida (CO₂).

2.2.3 Metan (CH₄)

Gas Metana adalah senyawa hidrokarbon paling sederhana yang berbentuk gas yang tidak berwarna dan tidak berbau dengan rumus kimia CH₄. Selain itu sifat-sifat lain gas metana antara lain dapat terbakar pada kadar antara 5-15%, memiliki berat molekul 16,04 dan berat jenis atau specific gravity 0,554, titik didih -161°C dan memiliki kelarutan dalam air sekitar 35 mg/L pada tekanan 1 atm (Cunha dkk., 2016).

Gas Metana (CH₄) terutama berasal dari proses penguraian anaerobik limbah padat, limbah cair perkotaan, dan limbah cair industri pada saat ditimbun di TPA maupun dikomposkan. Disamping menghasilkan CH₄, proses ini juga mengemisikan CO₂ dan N₂O. Gas Metan (CH₄) juga dapat berasal dari *collected untreated wastewater* limbah cair kota yang mencakup air limbah yang terkumpul dan tidak diolah (dibuang ke laut, sungai, danau, *stagnant sewer*/saluran air kotor yang mampat), *treated wastewater* limbah cair kota (*anaerobik, digester, septictank, laterine*), dan fasilitas pengolahan air limbah industri (Kementrian Lingkungan Hidup, 2012).

Jumlah emisi gas metana ke atmosfer yang berasal dari sumber-sumber alamiah pada saat ini diperkirakan mencapai 208 juta ton pertahunnya. Dari keseluruhan sumber-sumber alamiah yang ada, sumber dari lahan basah (*wetland*) merupakan sumber yang terbesar yang jumlahnya diperkirakan sebanyak 170 Tg atau 170 juta ton pertahunnya. Sumber-sumber lainnya adalah emisi geologis (*geological emissions*) yang diperkirakan sebanyak 42- 64 juta ton/tahun, emisi dari danau-danau sekitar 30 juta ton per tahun dan emisi dari tumbuh-tumbuhan sebanyak 20-60 juta ton pertahunnya (US-EPA, 2010). Gas metana yang dihasilkan dari suatu kegiatan dapat berdampak negatif bagi lingkungan dan manusia. Dampaknya bagi manusia adalah terganggunya sistem pernapasan (R. Ratih dkk, 2015). Bagi lingkungan dapat menyebabkan pemanasan global, karena gas metana adalah salah satu gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap penipisan lapisan ozon yang terjadi.

2.3 Tangki Septik

2.3.1 Definisi

Tangki septik adalah suatu ruangan kedap air yang terdiri dari kompartemen ruang yang berfungsi menampung/mengolah air limbah rumah tangga dengan kecepatan alir yang sangat lambat sehingga memberi kesempatan untuk terjadinya pengendapan terhadap suspensi benda-benda padat dan kesempatan dekomposisi bahan-bahan organik oleh mikroba anaerobik (Direktorat Jendral Cipta Karya, 2012). Tinja atau kotoran manusia yang ditampung dalam tangki septik akan mengalami pengendapan dan nantinya akan dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang ada dalam tangki septik secara lambat laun tinja akan mengalami penguraian dan akan berbentuk lumpur yang disebut juga sebagai lumpur tinja (Mara, 2003 dalam Yuliasuti, 2007). Proses ini berjalan secara alamiah sehingga dapat memisahkan anatar padatan berupa lumpur yang lebih stabil serta cairan (supernatant). Proses anaerobik yang terjadi juga menghasilkan biogas yang dapat dimanfaatkan

Lumpur tinja yang telah mengendap didalam tangki septik berupa material yang berbentuk padatan dan cairan yang merupakan hasil dari pengolahan air limbah black water dalam tangki septik. Komposisi yang terdapat pada lumpur tinja berupa zat-zat organik, lemak (minyak), pasir (*grit*) yang berpotensi sebagai tempat virus, penyakit, bakteri dan parasit. Tangki septik umumnya dimiliki oleh tiap rumah, namun pada kenyataannya masih ada masyarakat yang belum memiliki tangki septik. Banyak juga yang memiliki tangki septik namun belum memenuhi syarat tangki septik yang baik.

2.3.2 Sistem Kerja Tangki Septik

Tangki septik terdiri dari tangki sedimentasi yang kedap air digunakan sebagai tempat tinja dan air buangan masuk dan akan mengalami dekomposisi. Di dalam tangki ini tinja akan berada selama beberapa hari. Selama waktu tersebut tinja akan mengalami dua proses yakni proses kimiawi dan proses biologis (Notoatmodjo, 2007).

Pada proses kimiawi, akibat dari penghancuran tinja akan direduksi dan sebagian besar (60-70%) zat-zat padat akan mengendap di dalam tangki sebagai

sludge. Zat-zat yang tidak dapat hancur bersama-sama dengan lemak dan busa akan mengapung dan membentuk lapisan yang menutup permukaan air dalam tangki tersebut. Lapisan ini disebut *scum* atau buih yang berfungsi mempertahankan suasana anaerobik dari cairan dibawahnya yang memungkinkan bakteri-bakteri anaerob dapat tumbuh subur dan yang akan berfungsi pada proses berikutnya.

Pada proses biologis terjadi dekomposisi melalui aktivitas bakteri anaerob dan fakultatif anaerob yang memakan zat-zat organik dalam *sludge* dan *scum*. Hasilnya, selain terbentuknya gas dan zat cair lainnya adalah juga pengurangan volume *sludge* sehingga memungkinkan tangki septik tidak cepat penuh. Kemudian cairan *effluent* sudah tidak mengandung bagian-bagian tinja dan memiliki BOD yang relatif rendah. Cairan *effluent* ini akhirnya dialirkan keluar melalui pipa dan masuk ke dalam tempat perembesan atau peresapan. Kedua tahapan di atas berlangsung dalam tangki septik. Air buangan yang berasal dari *Water Closet* masuk ke dalam bejana atau tangki akan mengendap, terpisah antara benda cair dengan benda padatnya. Benda padatan yang mengendap di dasar tangki dalam keadaan tanpa udara akan diproses secara anaerobik oleh bakteri sehingga kandungan organik di dalamnya akan terurai. Akibatnya, setelah kurun waktu tertentu tangki septik tersebut sudah penuh dan isinya dikeluarkan maka sisa padatan sudah tidak berbau lagi seperti halnya jika kotoran atau tinja tersebut dibiarkan di luar tangki septik. Permasalahannya adalah untuk benda cair setelah padatnya dipisahkan, karena di dalam cairan tersebut masih akan terkandung sejumlah mikroba yang mungkin masih bersifat patogen (dapat menyebabkan penyakit). Karenanya salah satu cara pemecahan yang banyak digunakan adalah dengan menggunakan resapan untuk mengalirkan cairan setelah benda padatnya mengendap. Cara resapan yang digunakan adalah dengan membuat lapisan yang terdiri dari batu kerikil di bawah tanah sehingga air yang meresap masih mendapatkan suplai oksigen (aerobik), sehingga mikroba patogen akhirnya akan mati.

2.4 Proses Pembentukan CH₄ pada Tangki Septik

Di dalam tangki septik terjadi proses anaerobik yang menghasilkan gas CH₄, CO₂, N₂, H₂ dan H₂S. Menurut Polpraset (2007) kandungan biogas berkisar pada

rentang 55-65% untuk CH₄, 35-45% untuk CO₂, 0-3% untuk N₂, 0-1% untuk H₂ adalah 2 % dan 0-1% untuk H₂S. Proses anaerobik ini dibagi atas 4 tahap :

1. Tahap Hidrolisis

Pada tahap ini, senyawa organik kompleks diurai oleh mikroorganisme hidrolitik menjadi molekul sederhana dengan rantai pendek seperti glukosa, asam amino, asam organik, etanol, karbondioksida dan hidrokarbon yang dimanfaatkan sebagai sumber karbon dan energi bagi bakteri yang melakukan fermentasi. Proses hidrolisis dikatalisis oleh enzim yang dikeluarkan oleh bakteri seperti selulase, protease dan lipase. Reaksi zat organik dalam proses hidrolisis ini adalah :

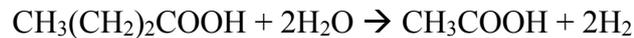


2. Tahap Pembentukan Asam Organik (*Acidogenesis*)

Pada tahap ini bakteri acidogenesis merubah hasil dari tahap hidrolisis menjadi asam organik

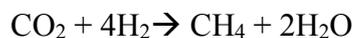
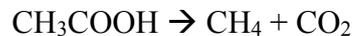
3. Tahap Pembentukan asam asetat (*Acetogenesis*)

Pada tahap ini bakteri acetogenesis (penghasil *hydrogen*), membentuk senyawa asetat, CO₂ dan H₂ dari asam organik dengan persamaan reaksi :



4. Tahap pembentukan metana (*Methanogenesis*)

Pada tahap ini terjadi pembentukan gas metana dari senyawa asetat ataupun hydrogen dan karbondioksida oleh bakteri methanogen. Reaksi yang terjadi pada tahap ini adalah :



2.5 Perhitungan Emisi CH₄ dari Tangki Septik

Perhitungan emisi gas CH₄ dari tangki septik untuk aktifitas domestik didasarkan atas jumlah air limbah yang dibuang oleh setiap orang ke dalam septik tank setiap hari. Wati (2011) telah menghitung massa rata-rata CH₄ yang dihasilkan dari berat kering feces dan urine. Feces memiliki massa CH₄ sebanyak 18,17 gram/orang.hari dan massa CO₂ sebanyak 43,82 gram/orang.hari, sedangkan urine

memiliki massa CH₄ sebanyak 2,558 gram/orang.hari dan massa CO₂ sebanyak 45,56 gram/orang.hari. Jika massa dari feces dan urine dijumlah akan diperoleh massa CH₄ total 20,72 gram/orang.hari dan massa CO₂ total 89,38 gram/orang.hari. Dengan mencari data jumlah orang/KK maka akan dapat dihitung massa CH₄ rata-rata/KK dan massa CO₂ rata-rata/KK untuk aktivitas domestik di wilayah penelitian Surabaya Timur.

Senyawa kimia untuk *urine* C₁₀₀₀H₃₃₁₀N₁₅₁₀S₂ dan untuk feces adalah C₁₀₀₀H₃₃₁₀O₈₆₀N₁₅₁₀S (Liu dkk, 2008). Untuk menghitung emisi CO₂ dan CH₄ yang terdapat pada tangki septik, maka digunakan berat kering tinja dan urine seperti pada tabel 2.7. Selain itu juga dibutuhkan karakteristik awal tinja menurut El Haq (2009), seperti pada tabel 2.8.

Tabel 2.7 Kuantitas Tinja (*Feces*) dan Air Seni (*Urine*)

Keterangan	Berat Basah (gr/orang.hari)	Berat Kering (gr/orang.hari)
Tinja (<i>feces</i>)	135 - 270	35 - 70
Air Seni (<i>urine</i>)	1000 - 1300	50 - 70
Jumlah	1135 - 1570	85 - 140

Sumber : Soeparman, 2002

Tabel 2.8 Karakteristik Sampel Awal Tinja

Parameter	Nilai
pH	7,3
Suhu	26°C
%N	6
COD	12.080 mg/L
%C	47,32
C/N	7,9
VS	4,222 g/L
TS	4,957 g/L

Sumber : El Haq, 2009

Cara untuk menghitung emisi gas metana dapat mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Basri (2017), dimana perhitungan CH₄ yang dihasilkan dari aktifitas tangki septik domestik dan non domestik dilakukan menggunakan pendekatan populasi penduduk, dimana limbah yang dihasilkan merupakan 70% dari hasil pemakaian air bersih selama satu tahun. Dan perhitungan gas metan

mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh wati (2011) dengan mengasumsikan bahwa prosesnya terjadi secara sempurna.

Menurut kementerian lingkungan hidup (2012), disebutkan bahwa ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam melakukan perhitungan estimasi GRK dari limbah cair rumah tangga sesuai dengan template IPCC 2006, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Pemilihan metode tier dalam penghitungan emisi CH₄ dari limbah cair rumah tangga.

a. Tier 1

Estimasi-estimasi dari metode Tier 1 berdasarkan pada metode IPCC FOD yang sebagian besar menggunakan data aktivitas default dan parameter-parameter default. Metode Tier 1 cocok untuk perhitungan dengan parameter data yang terbatas.

b. Tier 2

Metode ini sama dengan metode Tier 1, tetapi membutuhkan faktor emisi spesifik dan data aktivitas spesifik. Misalnya pada metode Tier 2, faktor emisi spesifik untuk sistem pengolahan spesifik pada perhitungan dapat tidak dipertimbangkan. Jumlah lumpur yang dihilangkan untuk insinerasi, landfill, dan lahan pertanian dapat dipertimbangkan pada metode Tier 2.

c. Tier 3

Metode ini dapat digunakan pada negara dengan data yang baik dan telah menggunakan metode yang sangat baik. Negara dengan metode yang sangat baik dapat didasarkan atas data spesifik dari fasilitas pengolahan limbah cair.

2. Pemilihan faktor emisi

Emisi CH₄ dari Limbah Cair kota dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\text{Emisi CH}_4 = [\sum I_j (U_i * T_{ij} * EF_j)] (TOW - S) - R \quad (2.1)$$

dengan persamaan faktor emisinya adalah,

$$EF_j = B_o * MCF_j \quad (2.2)$$

dimana :

Emisi CH ₄	= emisi-emisi CH ₄ dalam tahun inventori, kg CH ₄ /th
TOW	= total organik dalam limbah cair dalam tahun inventori, kg BOD/th
S	= komponen organik diambil sebagai lumpur dalam tahun inventori, kg BOD/th
U _i	= fraksi populasi dalam grup income i dalam tahun inventori
T _{i,j}	= derajat pemanfaatan dari saluran atau sistem pengolahan/pembuan, j, untuk tiap fraksi grup pendapatan i dalam tahun inventori.
i	= grup pendapatan: perkotaan, pendapatan tinggi perkotaan dan pendapatan rendah perkotaan
j	= tiap saluran atau sistem pengolahan/ pembuangan
EF _j	= faktor emisi, kg CH ₄ / kg BOD
R	= jumlah dari pemulihan CH ₄ dalam tahun inventori, kg CH ₄ /th
Bo	= kapasitas maksimum produksi CH ₄ (kg CH ₄ /kg BOD) dengan default maksimum kapasitas produksi CH ₄ untuk limbah cair perkotaan 0.6 kg CH ₄ /kg BOD atau 0.25 kg CH ₄ /kg COD
MCF _j	= faktor koreksi metan (fraksi).

3. Pemilihan data aktivitas

4. *Time series consistency*

Sama halnya dengan limbah cair rumah tangga, penghilangan lumpur dan rekoveri CH₄ sebaiknya diestimasi secara konsisten sepanjang tahun pada jangka tahun tertentu. Rekoveri metan sebaiknya dipertimbangkan jika data spesifik mencukupi. Jumlah rekoveri metan sebaiknya dikurangi dari produksi metan seperti pada Persamaan penghitungan emisi GRK.

5. Tingkat ketidakpastian.

Pada estimasi perhitungan emisi dari limbah cair industri terdapat beberapa parameter yang sulit untuk didapatkan nilai kepastiannya (tingkat ketidakpastian).

Langkah – langkah penentuan emisi GRK limbah cair domestik dapat mengikuti template yang telah disediakan seperti pada Gambar 2.3 sampai Gambar 2.5 dibawah ini.

Sector	Waste			
Category	Domestic Wastewater Treatment and Discharge			
Category Code	4D1			
Sheet	1 of 3 Estimation of Organically Degradable Material in Domestic Wastewater			
STEP 1				
Region or City	A	B	C	D
	Population (P) cap	Degradable organic component (BOD) (kg BOD/cap.yr) ¹	Correction factor for industrial BOD discharged in sewers (I) ²	Organically degradable material in wastewater (TOW) (kg BOD/yr) D = A x B x C
Indonesia	218,868,791	14.6	1	3,195,484,349
Total				3,195,484,349
<small>1 g BOD/cap.day x 0.001 x 365 = kg BOD/cap.yr 2 Correction factor for additional industrial BOD discharged into sewers, (for collected the default is 1.25, for uncollected the default is 1.00).</small>				

Gambar 2.3 Penentuan Bahan Organik dari Limbah Cair Domestik Yang dapat Terdegradasi

Sector	Waste		
Category	Domestic Wastewater Treatment and Discharge		
Category Code	4D1		
Sheet	2 of 3 Estimation of CH₄ emission factor for Domestic Wastewater		
STEP 2			
Type of treatment or discharge	A	B	C
	Maximum methane producing capacity (B ₀) (kg CH ₄ /kg BOD)	Methane correction factor for each treatment system (MCF)	Emission factor (EF) (kg CH ₄ /kg BOD) C = A x B
Untreated System			
Sea, river, lake discharge	0.6	0.1	0.06
Stagnant sewer	0.6	0.5	0.3
Flowing sewer (open/closed)	0.6	0	0
Treated System			
centralized, aerobic treatment plant	0.6	0	0
centralized, aerobic treatment plant (not well managed)	0.6	0.3	0.18
Anaerobic digester for sludge	0.6	0.8	0.48
Anaerobic shallow lagoon	0.6	0.8	0.48
Anaerobic deep lagoon	0.6	0.2	0.12
Septic system	0.6	0.5	0.3
Latrine (dry climate, ground water table lower than latrine, small family 3-5 persons)	0.6	0.1	0.06
Latrine (dry climate, ground water table lower than latrine, communal)	0.6	0.5	0.3
Latrine (wet climate/flush water use, ground water table higher than latrine)	0.6	0.7	0.42
Latrine (regular sediment removal for fertilizer)	0.6	0.1	0.06

Gambar 2.4 Faktor emisi CH₄ untuk Limbah Cair Domestik

Sector		Waste							
Category		Domestic Wastewater Treatment and Discharge							
Category Code		4D1							
Sheet		3 of 3 Estimation of CH ₄ emissions from Domestic Wastewater							
STEP 3									
Income group	Type of treatment or discharge pathway	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraction of population income group (U _i) (fraction)	Degree of utilization (T _i) (fraction)	Emission Factor (EF _i) (kg CH ₄ /kg BOD)	Organically degradable material in wastewater (TOW) (kg BOD/yr)	Sludge removed (S) (kg BOD/yr)	Methane recovered and flared (R) (kg CH ₄ /yr)	Net methane emissions (CH ₄) (kg CH ₄ /yr)	Net methane emissions (CH ₄) (Gg CH ₄ /yr)
			Sheet 2 of 3		Sheet 1 of 3		G = [(A x B x C) x (D - E)] - F		
Rural	Septic tank	0.54	0.11	0.30					
	Latrine	0.54	0.20	0.06					
	Other	0.54	0.35	0.06					
	Sewer	0.54	0.00	0.30					
	None	0.54	0.34	0.00					
Urban high income	Septic tank	0.12	0.88	0.30					
	Latrine	0.12	0.03	0.06					
	Other	0.12	0.05	0.06					
	Sewer	0.12	0.04	0.06					
	None	0.12	0.00	0.00					
Urban low income	Septic tank	0.34	0.80	0.30					
	Latrine	0.34	0.10	0.06					
	Other	0.34	0.07	0.06					
	Sewer	0.34	0.01	0.06					
	None	0.34	0.02	0.00					
Total									

Gambar 2.5 Estimasi emisi CH₄ dari Limbah Cair Domestik

2.6 Konversi Biogas Menjadi Energi Listrik

Menurut Bent (2007), 1 Kg gas metana setara dengan $6,13 \times 10^7$ J, sedangkan 1 kWh setara dengan $3,6 \times 10^6$ J. Untuk massa jenis gas metana $0,656 \text{ kg/m}^3$. Sedangkan 1 m^3 gas metana setara dengan 11,17 kWh.

Perhitungan potensi energi listrik dari gas metan (CH₄) dapat menggunakan persamaan 2.3 dibawah ini.

$$E = V_{gm} \times FK \quad (2.3)$$

Dimana : E = Produksi Energi Listrik (kWh)

V_{gm} = Jumlah volume gas metana (m³)

FK = Faktor Konversi (kWh/m³)

2.7 Analisis Trend (*Trend Analysis*)

Analisis trend merupakan model trend umum untuk data time series dan untuk meramalkan. Analisis trend adalah analisis yang digunakan untuk mengamati kecenderungan data secara menyeluruh pada suatu kurun waktu yang cukup panjang. Trend dapat dipergunakan untuk meramalkan suatu kondisi apakah data di masa lampau ataupun mendatang, dapat dipergunakan untuk memprediksi data pada suatu waktu dalam kurun waktu tertentu. Beberapa metode yang dapat dipergunakan untuk memodelkan tren, diantaranya model linear (*linear Model*), model kuadrat (*Quadratic Model*), model pertumbuhan eksponensial (*Exponential Growth Model*) dan model kurva-S (*S-Curve Model*).

1. Tipe Model Linear (Linear Model)

Trend linier adalah suatu trend yang kenaikan atau penurunan nilai yang akan diramalkan naik atau turun secara linier. Analisis Trend yang digunakan secara umum untuk model trend linier adalah :

dimana β_1 menunjukkan perubahan rata-rata dari periode satu ke periode berikutnya.

2. Tipe Model Kuadrat (Quadratic Model)

Trend parabolik (kuadrat) adalah trend yang nilai variabel tak bebasnya naik atau turun secara linier atau terjadi parabola bila datanya dibuat scatter plot (hubungan variabel dependen dan independen adalah kuadrat). Analisis Trend yang digunakan secara umum untuk model trend kuadrat adalah :

3. Tipe Model Eksponensial (Exponential Growth Model)

Trend eksponensial ini adalah sebuah trend yang nilai variabel tak bebasnya naik secara berlipat ganda atau tidak linier. Analisis Trend yang digunakan secara umum untuk model trend pertumbuhan eksponensial adalah :

4. Tipe Model Kurva-S (S-Curve Models)

Trend model kurva S digunakan untuk model trend logistik Pearl Reed. Trend ini digunakan untuk data runtun waktu yang mengikuti kurva bentuk S.

Penentuan baik atau tidaknya suatu model ditunjukkan oleh besarnya nilai MAPE, MAD dan MSD. Semakin kecil nilai MAPE menunjukkan bahwa model yang digunakan semakin akurat. Sehingga model tersebut secara statistis semakin

cocok untuk digunakan. Untuk menggunakan trend analisis, ada beberapa syarat yang harus dipenuhi, yaitu:

- a. Data mempunyai nilai tren yang relatif konstan.
- b. Data yang dimiliki tidak mengandung unsur musiman.
- c. Data tidak digunakan untuk meramalkan dalam jangka waktu yang cukup panjang.

2.8 Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang perhitungan emisi gas CH₄, diantaranya adalah melakukan konversi ke dalam energi listrik dan mereduksi emisi CH₄ telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, yaitu :

1. Basri (2017) telah melakukan penelitian yang serupa hanya saja terdapat di wilayah Surabaya Selatan. Dimana penelitian tersebut menghasilkan prediksi besarnya potensi biogas 53.076 kg/tahun dan potensi energi listrik 748.773 kWh/tahun untuk aktifitas domestik serta untuk aktifitas non domestik sebesar 729.687 kg/tahun dan potensi energi listrik 13.036.487 kWh/tahun. Finarta (2011) telah menyimpulkan bahwa dari air limbah domestik (*black water*) di Surabaya Utara dihasilkan emisi CH₄ rata-rata 9,6 Gg/tahun dan emisi CO₂ rata-rata 40,2 Gg/tahun.
2. Rismawati (2017) melakukan penelitian strategi mitigasi gas rumah kaca dengan pendekatan IPCC di Kota Jayapura. Untuk sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya menggunakan pendekatan historical dan forward looking, sedangkan untuk sektor Pengelolaan Limbah Domestik menggunakan template (dalam *excel software*) dengan data aktivitas dan parameter – parameter yang disesuaikan dengan ketersediaan di wilayah penelitian. Dimana penelitian tersebut menghasilkan tingkat emisi GRK sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya memberikan kontribusi sebesar 41.074.00,00 Ton CO₂eq (metode historical) dan 44.098.611,18 Ton CO₂eq (metode forward looking), sedangkan sektor pengelolaan limbah domestik sebesar 93.378,45 Ton CO₂eq. Skenario mitigasi sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya mampu menurunkan emisi sebesar 75,65%.

Sedangkan untuk sektor pengelolaan limbah domestik, skenario mitigasi mampu menurunkan rata – rata emisi sebesar 31,95%.

3. Nugroho dkk (2014) melakukan penelitian di Desa Pangpajung, Kecamatan Modung, Kabupaten Bangkalan, Madura dimana dilakukan pemanfaatan limbah dari ternak ruminansia menjadi energi biogas untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan dari limbah ternak tersebut kemudian dibuatkan sebuah instalasi untuk menampung gas yang dihasilkan dari limbah tersebut lalu dimanfaatkan sebagai energi listrik.
4. Wati (2011) menyimpulkan bahwa dari air limbah domestik (*black water*) di Surabaya Selatan dihasilkan emisi CH₄ rata-rata 10,42 Gg/tahun dan emisi CO₂ rata-rata 44,95 Gg/tahun.
5. Waskito (2011) melakukan kajian pemanfaatan limbah peternakan berupa *feces* dan *urine* di peternakan sebagai bahan baku biogas, kemudian mengkorelasi kapasitas energi listrik dari PLT Biogas yang dapat dibangkitkan serta kajian terhadap nilai karbon yang dapat diturunkan oleh pembangkit listrik tersebut jika diajukan sebagai proyek CDM (*Clean Development Mechanism*).
6. El Haq dkk (2009) melakukan penelitian mengenai potensi tinja manusia sebagai penghasil biogas dimana dilakukan perbandingan pengadukan terhadap tinja manusia tersebut untuk diketahui jumlah pengadukan mana yang memiliki potensi biogas yang lebih cepat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum

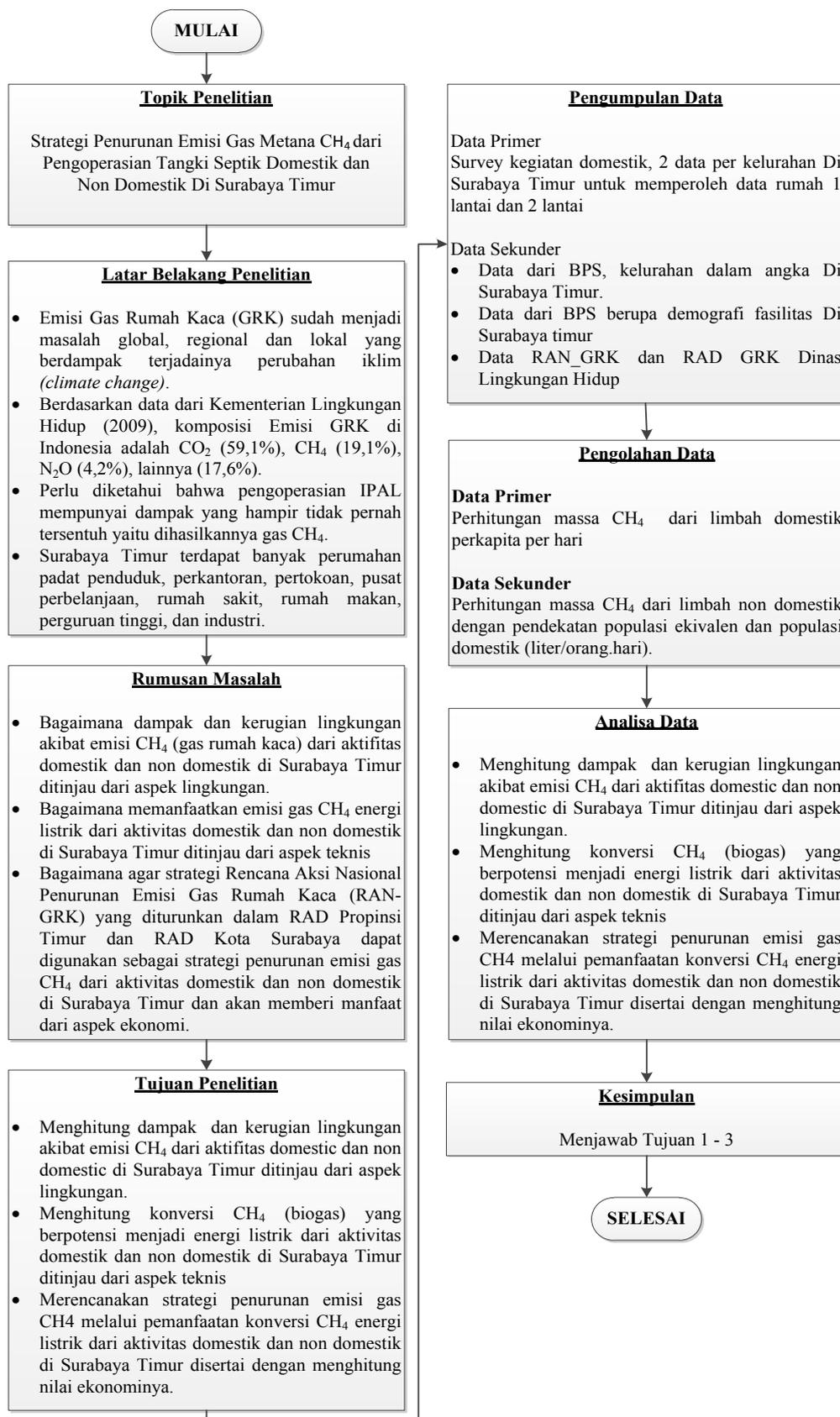
Metodologi penelitian adalah metode untuk memahami obyek penelitian, sehingga peneliti mudah untuk menentukan cara atau teknik memperoleh data, cara penentuan sample, cara menganalisa, dan menyimpulkan hasil penelitian serta memberikan saran/rekomendasi untuk penelitian selanjutnya. Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk dapat memprediksi besarnya emisi metana (CH₄) dari aktifitas domestik dan non domestik serta potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari emisi tersebut di wilayah Surabaya Timur.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian digunakan untuk dapat mengetahui segala sesuatu yang berkaitan atau berhubungan dengan penelitian yang akan dilaksanakan. Setiap tahap dalam kerangka penelitian ini digambarkan dalam metodologi penelitian yang digunakan sebagai pedoman pada pelaksanaan penelitian ini. Dimana tujuan dari adanya kerangka penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menyusun tahapan awal penelitian secara sistematis untuk mengetahui gambaran awal dari tahapan-tahapan penelitian sehingga pelaksanaan penelitian dan penulisan laporan bisa lebih sistematis.
2. Mempermudah pelaksanaan dalam penelitian untuk mengetahui segala sesuatu yang berhubungan dan berkaitan dengan penelitian agar tujuan dari penelitian dapat tercapai.
3. Memperkecil dan menghindari terjadinya kesalahan dalam penelitian.

Untuk lebih jelasnya, kerangka penelitian atau diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah mencakup seluruh kelurahan yang terdapat di wilayah Surabaya Timur. Seperti pada Tabel 3.1 dibawah ini :

Tabel 3.1 Data Kelurahan di Wilayah Surabaya Timur

Wilayah Administrasi	Kecamatan	Kelurahan	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Luas Wilayah (km ²)
Surabaya Timur	Tambaksari	Pacar Keling Pacar Kembang Ploso Gading Rangkah Tambaksari	223906	12.58
	Gubeng	Gubeng Kertajaya Pucang Sewu Barata Jaya Mojo Airlangga	139355	8.1
	Rungkut	Kalirungkut Rungkut Kidul Medokan Ayu Wonorejo Penjaringan Sari Kedung Baruk	108494	22.58
	Tenggilis Mejoyo	Kutisari Kendangsari Tenggilis Mejoyo Panjang Jiwo Prapen	56482	5.53
	Gunung Anyar	Rungkut Menanggal Rungkut Tengah Gunung Anyar Gunung Anyar Tambak	54127	9.46

Sumber : Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2016

Lanjutan Tabel 3.1 Data Kelurahan di Wilayah Surabaya Timur

Wilayah Administrasi	Kecamatan	Kelurahan	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Luas Wilayah (km ²)
Surabaya Timur	Sukolilo	Keputih Gebang Putih Nginden Jangkungan Medokan Semampir Semolowaru Klampis Ngasem Menur Pumpungan	108292	31.56
	Mulyorejo	Manyar Sabrangan Kejawen Putih Tambak Dukuh Sutorejo Kalijudan Mulyorejo Kalisari	85344	13.68

Sumber : Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2016

3.4 Waktu dan Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam waktu 4 bulan dalam 1 semester dimulai pada bulan September 2017 sampai dengan Desember 2017 yang meliputi beberapa tahapan kegiatan, yaitu studi literatur, persiapan penelitian, pengumpulan data, analisa dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

3.4.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahapan penelitian, dimana tahap ini dilakukan untuk mencari informasi yang berkaitan dengan pemanasan global, efek rumah kaca dan emisi metana (CH₄) dari hasil cemaran domestik maupun non domestik. Adapun sumber-sumber yang digunakan bisa berasal dari textbook, jurnal penelitian, artikel, internet, tugas akhir, thesis maupun data dari dinas terkait. Sumber pustaka yang digunakan meliputi:

1. Literatur tentang pemanasan global dan efek gas rumah kaca
2. Literatur tentang tangki septik dan *anaerobic process*
3. Literatur tentang perhitungan emisi metana (CH₄)

4. Literatur tentang perhitungan konversi emisi metana (CH_4) menjadi energi listrik
5. Jurnal ilmiah dan penelitian terdahulu yang terkait.

3.4.2 Persiapan Penelitian

Tahap persiapan dalam penelitian ini meliputi perijinan untuk melakukan survey primer dan sekunder, survey awal lokasi, serta identifikasi masalah. Perijinan survey awal dilakukan untuk mempermudah peneliti dalam memperoleh data primer dan sekunder. Perijinan juga bertujuan agar tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan kedepannya, serta agar pihak-pihak terkait mengetahui apa yang kita lakukan untuk mendapatkan data primer dan sekunder tersebut. Survey awal dilakukan untuk mengetahui secara umum kondisi lokasi studi.

3.4.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memenuhi kebutuhan data sebelum data tersebut diolah lebih lanjut. Adapun pengumpulan data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

A. Data Aspek Lingkungan

Data yang diperlukan untuk dapat menganalisa mengenai dampak lingkungan dari emisi gas CH_4 adalah :

1. Data populasi penduduk, data tersebut adalah data sekunder yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik.
2. Data pemakaian air bersih yang berasal dari data PDAM dan nomor pelanggan PDAM merupakan data primer yang didapat dari perhitungan pemakaian air tiap bulan berdasarkan nomor pelanggan. Data tersebut diambil dengan metode purposive sample. Menurut Arikunto (2006) purposive sample adalah metode pengambilan data atau sample yang dilakukan dengan cara mengambil subjek bukan didasarkan atas strata atau wilayah atau random tetapi didasarkan atas adanya pertimbangan dan tujuan tertentu, seperti: keterbatasan waktu, tenaga, dan dana sehingga tidak dapat mengambil sampel yang besar dan jauh. Dalam penelitian ini pertimbangan yang dilakukan adalah mengambil 2 responden setiap

kelurahan dengan masing-masing responden rumah 1 lantai dan rumah 2 lantai. Tujuannya adalah agar data yang didapatkan merata dan mencakup semua kelurahan yang ada di Surabaya Timur. Sehingga bisa mewakili keadaan yang sebenarnya di lapangan.

3. Data jumlah air limbah yang dihasilkan dari pemakaian air bersih, dimana diasumsikan bahwa 70% dari pemakaian air bersih menghasilkan limbah, sedangkan 30% sisanya merupakan air bersih yang terbuang. Data tersebut merupakan data primer yang didapatkan dari perhitungan jumlah air bersih.
4. Data emisi CH₄ yang berasal dari limbah cair yang dihasilkan merupakan data primer yang didapatkan dari perhitungan.

B. Data Aspek Teknis

Data yang diperlukan untuk aspek teknik adalah sebagai berikut :

1. Data fasilitas domestik dan non domestik yang berpotensi untuk dikonversi menjadi listrik.
2. Spesifikasi konverter biogas menjadi energi listrik.
3. Spesifikasi genset

C. Data Aspek Ekonomi

Data yang diperlukan untuk aspek ekonomi adalah sebagai berikut :

1. Data RAN-GRK
2. Data RAD Propinsi Jawa Timur
3. Data RAD Kota Surabaya yang akan digunakan sebagai panduan dalam menentukan strategi penurunan emisi GRK dari biogas CH₄.

3.4.4 Analisis dan Pembahasan Data

Tahap ini dilakukan setelah didapatkan data-data primer dan sekunder. Pengolahan dan analisis data bertujuan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan peneliti dari sekumpulan data. Data-data tersebut dapat disusun dalam bentuk tabel, diagram, ataupun grafik agar mudah dalam pengolahan selanjutnya. Data yang telah dikumpulkan akan diolah sebagai berikut :

A. Aspek Lingkungan

1. Proyeksi Penduduk

Data populasi total penduduk 40 kelurahan di wilayah Surabaya Timur akan diprediksi selama 10 tahun yaitu tahun 2017 – 2026 dengan metode least square, arimatik dan geometri untuk memperoleh rate pertumbuhan populasi yang terbaik (konstanta R^2 mendekati 1). Dimana akan dipilih salah satu dari ketiga metode tersebut yang memiliki nilai standart deviasi paling kecil. Sehingga bisa diketahui bahwa metode tersebut yang paling sesuai.

Penentuan populasi penduduk pada apartemen dan rumah susun dilakukan dengan cara menghitung rata-rata penghuni apartemen dan rumah susun sesuai data (5 apartemen dan rumah susun). Kemudian rata-rata penghuni dikalikan dengan jumlah apartemen dan rumah susun yang terdapat di Surabaya timur berdasarkan data BPS.

2. Perhitungan Pemakaian Air Bersih

Untuk pemakaian air domestik, data 80 responden KK domestik akan dicetak pemakaian airnya selama 12 bulan tahun 2016 untuk dihitung pemakaian rata-rata setiap bulan dan setiap harinya. Dengan membagi rata-rata pemakaian air minum perhari dengan rata-rata jumlah orang per KK akan diperoleh pemakaian air minum rata-rata domestik dalam liter/orang/hari. Rata-rata pemakaian air domestik dalam liter/orang/hari digunakan untuk mencari populasi ekivalen dari rumah susun dan apartemen. Dimana populasi ekivalen diperoleh dengan membagi pemakaian air minum tiap unit domestik apartemen dan rusun atau aktifitas non domestik per hari dengan pemakaian air minum domestik (tiap rumah) tiap orang/hari. Populasi ekivalen ini digunakan untuk menghitung emisi CH_4 yang dihasilkan pada tahap selanjutnya.

Namun hasil pemakaian air bersih hanya didapatkan dari tahun 2014 – 2016 saja. Untuk mengetahui pemakaian air tahun 2007 – 2013 supaya prediksi 10 tahun dapat dilakkan, maka digunakan metode *backward prediction* menggunakan bantuan software excel. Dimana metode ini

adalah metode yang digunakan untuk memprediksi ke belakang dengan menggunakan persamaan eksponensial.

Data 56 responden unit non domestik akan dicetak pemakaian airnya selama 12 bulan tahun 2016 untuk dihitung pemakaian rata-rata setiap bulan dan setiap harinya. Kemudian membagi pemakaian air minum non domestik dalam l/unit/hari dengan pemakaian air minum domestik dalam l/orang/hari akan diperoleh populasi ekuivalen untuk setiap unit non domestik dalam satuan orang. Hasil ini kemudian digunakan untuk menghitung populasi ekuivalen total dan prediksi selama 10 tahun dari seluruh fasilitas non domestik di wilayah Surabaya Timur. Sama halnya seperti pemakaian air domestik. Untuk mengetahui pemakaian air tahun 2007 – 2013 supaya prediksi 10 tahun dapat dilakkan, maka digunakan metode *backward prediction* menggunakan bantuan software excel.

3. Perhitungan Limbah yang Dihasilkan

Perhitungan limbah yang dihasilkan dari aktifitas domestik dan non domestik berdasarkan asumsi bahwa 70% dari air bersih yang digunakan merupakan limbah yang dihasilkan, sedangkan 30% sisanya merupakan air bersih yang terbuang.

$$\text{Limbah} = \text{Pemakaian Air Bersih} \times 70\%$$

4. Perhitungan Emisi Gas CH₄

Perhitungan emisi gas CH₄ dari aktivitas domestik dan non domestik dengan menggunakan dua perhitungan. Pertama menggunakan perhitungan berdasarkan populasi penduduk dan populasi ekuivalen. Selanjutnya digunakan perhitungan berdasarkan IPCC. Perhitungan dengan populasi penduduk sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Basri (2017) seperti persamaan dibawah ini :

$$\text{Massa CH}_4 = \text{Jumlah populasi (orang)} \times \text{massa CH}_4 \text{ (Wati, 2011)}$$

Dimana, jumlah populasi adalah rata-rata jumlah penghuni apartemen dan rumah susun dikalikan dengan jumlah apartemen dan rumah susun di Surabaya Timur berdasarkan hasil BPS. Sedangkan massa CH₄ total

adalah massa CH₄ yang berasal dari hasil penelitian sebelumnya oleh Wati (2011) sebesar 21.3 gram/orang.hari.

Perhitungan yang lain dilakukan sesuai dengan template IPCC dalam software excel seperti yang terdapat pada Gambar 2.3 – 2.5 untuk limbah cair domestik. Untuk limbah cair non domestik karena tidak diketahui karakteristik dari limbah masing-masing industri, maka digunakan template yang sama hanya saja menggunakan populasi ekivalen.

B. Aspek Teknis

1. Perhitungan potensi energi listrik berdasarkan hasil emisi gas CH₄ yang merupakan hasil dari kegiatan domestik dan non domestik di Surabaya Timur dapat dilakukan Menurut Bent (2007), dimana 1 Kg gas metana setara dengan 6,13 x 10⁷J, sedangkan 1 kWh setara dengan 3,6 x 10⁶J. Sedangkan 1 m³ gas metana setara dengan 11,17 kWh. Untuk massa jenis gas metana 0.656 kg/m³. Dimana persamaannya dapat dilihat pada persamaan 2.1
2. Perhitungan kebutuhan listrik untuk satu unit apartemen atau rumah susun. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan persamaan seperti dibawah ini :

$$\text{Kebutuhan Listrik Tiap Unit} = \frac{\text{Energi Listrik yang Dihasilkan (kWh)}}{\text{Jumlah Unit}}$$

3. Perhitungan biogas untuk satu unit apartemen atau rumah susun. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan persamaan seperti dibawah ini :

$$\text{Kebutuhan Biogas Tiap Unit} = \frac{\text{Biogas yang Dihasilkan}}{\text{Jumlah Unit}}$$

Pada aspek teknis juga akan dibahas kendala – kendala yang terdapat dilapangan untuk melakukan konversi emisi gas metana menjadi energi listrik.

C. Aspek Ekonomi

Prediksi penurunan emisi gas rumah kaca (CH₄) dapat dilihat dari pemanfaatan gas metana menjadi energi terbarukan (listrik). Jika setiap tahunnya dilakukan pemanfaatan secara kontinyu, maka akan berpengaruh juga terhadap

penurunan emisi gas rumah kaca pula. Hal tersebut dikarenakan penurunan emisi gas metana berbanding lurus dengan pemanfaatan gas metana menjadi energi listrik. Maka dari itu dilakukan perhitungan nilai ekonomis pemanfaatan gas metana menjadi listrik dan biogas. Serta strategi yang mendukung untuk menurunkan emisi gas metana selama 10 tahun kedepan.

3.4.5 Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisa dan pembahasan yang telah dijelaskan diambil suatu kesimpulan yang menyatakan ringkasan dari hasil penelitian tentang strategi penurunan emisi gas metana (CH₄) dari pengoperasian tangki septik domestik dan non domestik di Surabaya Timur dan dapat menjawab tujuan pada penelitian tersebut. Saran diberikan oleh penulis sebagai referensi perbaikan penelitian dan pelaksanaan penelitian lebih lanjut.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Aspek Lingkungan

4.1.1 Proyeksi Penduduk Kota Surabaya

Kota Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia. Banyak aktivitas yang terjadi di kota ini, baik aktifitas domestik maupun non domestik dikarenakan penduduk Surabaya yang banyak dan padat. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Surabaya pada tahun 2016, jumlah penduduk Kota Surabaya sebanyak 2.853.661 jiwa dan Wilayah Surabaya Timur sendiri 836679 jiwa. Di Wilayah Surabaya Timur terdiri dari 7 kecamatan, diantaranya adalah kecamatan Gubeng, Gunung Anyar, Rungkut, Tenggiling Mejoyo, Sukolilo, Tambaksari dan Mulyorejo. Data populasi penduduk tersebut diperlukan untuk melakukan setiap perhitungan.

Sebelum melakukan perhitungan lebih lanjut, maka terlebih dahulu dilakukan proyeksi penduduk yang berada di Wilayah Surabaya Timur berdasarkan data populasi penduduk Badan Pusat Statistik Kota Surabaya. Adapun data populasi penduduk di wilayah Surabaya Timur terdapat pada tabel 4.1 sebagai berikut :

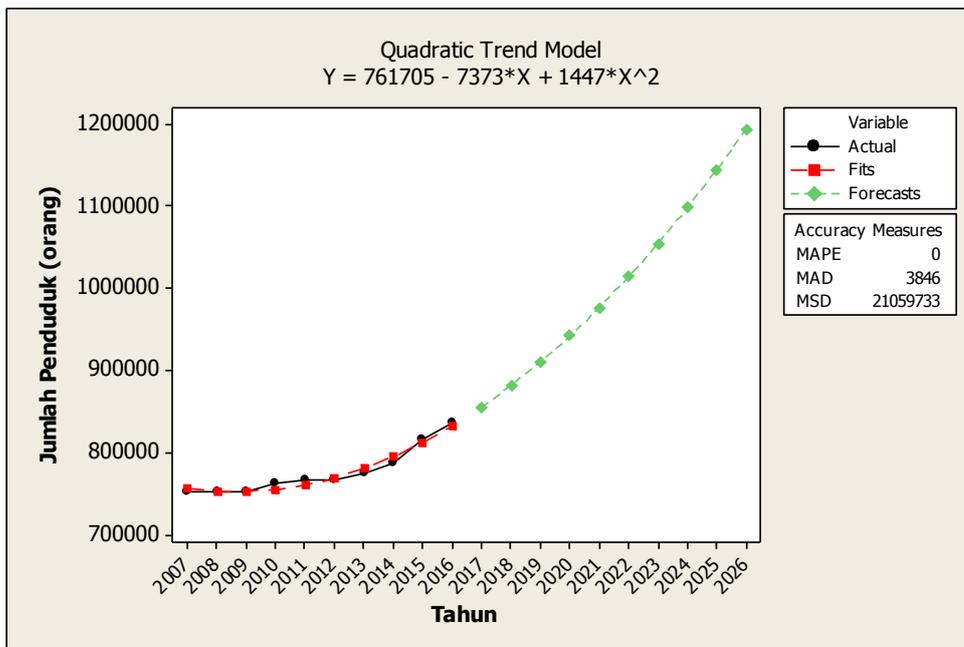
Tabel 4.1 Data Populasi Penduduk Surabaya Timur

Tahun	Jumlah Penduduk
2007	752414
2008	752753
2009	752753
2010	762031
2011	766775
2012	766839
2013	776000
2014	787207
2015	815252
2016	836679

Sumber : Surabaya Dalam Angka, 2017

Berdasarkan data populasi penduduk pada tabel 4.1 selanjutnya dilakukan proyeksi selama sepuluh tahun kedepan, untuk mengetahui populasi penduduk pada tahun

2017 – 2026. Proyeksi populasi penduduk dilakukan untuk mengetahui bahwa limbah yang dihasilkan sejalan dengan pertambahan jumlah penduduk pada tahun-tahun mendatang. Adapun hasil proyeksi penduduk di wilayah Surabaya Timur dengan menggunakan *software minitab* ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Proyeksi Penduduk Surabaya Timur

Dari Gambar 4.1 dapat diketahui trend kenaikan populasi penduduk di Wilayah Surabaya Timur pada tahun 2017 – 2026. Dari gambar tersebut didapatkan persamaan regresi untuk proyeksi populasi penduduk selama sepuluh tahun kedepan yaitu $Y = 761705 - 7373X + 1447X^2$, dimana Y adalah jumlah penduduk sedangkan X adalah tahun ke-X. Untuk tahun 2017 maka $X = 11$, 2018 $X = 12$ begitu seterusnya sampai pada tahun 2026 $X = 20$. Sehingga untuk dapat mengetahui prediksi pada tahun 2017 maka nilai $X = 11$ disubstitusikan kedalam persamaan regresi yang telah didapatkan seperti contoh perhitungan dibawah ini :

$$Y = 761705 - 7373X + 1447X^2$$

$$Y = 761705 - 7373(11) + 1447(11)^2$$

$$Y = 761705 - 7373(11) + 1447(121)$$

$$Y = 855689 \text{ orang}$$

4.1.2 Perhitungan Pemakaian Air dan Limbah

Perhitungan pemakaian air dan limbah dibagi menjadi dua sektor yaitu, sektor domestik dan non domestik. Dimana sektor domestik yang dimaksud adalah pemakaian air dan limbah yang berasal dari rumah susun dan apartemen. Sedangkan sektor non domestik yaitu pemakaian air dan limbah yang berasal dari hotel, rumah sakit, rumah makan, industri, perkantoran, pertokoan, mall, dan kampus. Data sektor domestik dan non domestik didapatkan dari hasil survey yang telah dilakukan sebelumnya yang terdapat pada lampiran.

Dalam melakukan perhitungan limbah domestik terlebih dahulu dilakukan perhitungan pemakaian air sesuai data PDAM dan hasil survey yang dilakukan, dimana limbah yang dihasilkan adalah 70% - 80% dari hasil total pemakain air tersebut dalam satu tahun, sedangkan sisanya merupakan air bersih yang terbuang. Dalam penelitian ini diasumsikan limbah yng dihasilkan merupakan 70% dari total pemakaian air tiap tahunnya. Data pemakaian air domestik pada penelitian ini didapatkan dari hasil pemakaian air tiap tahunnya untuk rusunawa dan apartemen. Hasil perhitungan pemakaian air bersih aktivitas domestik berdasarkan dapat dilihat pada tabel 4.2. dan hasil perhitungan limbah domestik dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Pemakaian Air Bersih Domestik Tahun 2014 - 2016

No	Tahun	Jumlah Fasilitas	Jumlah Pemakaian Air		
			m ³ /tahun	m ³ /bulan	m ³ /hari
1	2014	9	814314.60	67859.55	2261.99
2	2015	10	863464.00	71955.33	2398.51
3	2016	13	1130612.60	94217.72	3140.59

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Limbah Domestik Tahun 2014 – 2016

No	Tahun	Jumlah Fasilitas	Jumlah Limbah yang Dihasilkan		
			m ³ /unit.tahun	m ³ /unit.bulan	m ³ /unit.hari
1	2014	9	570020.22	47501.69	1583.39
2	2015	10	604424.80	50368.73	1678.96
3	2016	13	791428.82	65952.40	2198.41

Dari tabel diatas dapat diketahui pemakaian air dan limbah yang dihasilkan dari apartemen dan rusunawa di wilayah Surabaya Timur per tahun, per bulan dan per

harinya setiap tahunnya. Dalam proses perhitungan emisi Gas CH₄ diperlukan data pemakaian air tiap bulannya selama satu tahun untuk mendapatkan rata-rata pemakaian air tiap tahun. Selain itu diperlukan pula data jumlah orang per KK. Dimana data tersebut diperlukan untuk mengetahui pemakaian air per orang hari setiap KK, sehingga didapatkan rata-rata pemakaian air per orang hari tiap tahun. Hasil perhitungan pemakaian air per orang hari tiap tahun digunakan untuk mencari populasi ekuivalen pada saat melakukan perhitungan pada aktivitas domestik yang menggunakan perhitungan air bersih dari rusunawa dan apartemen. Adapun contoh perhitungan untuk menghitung pemakaian air bersih dan limbah yang dihasilkan seperti pada perhitungan dibawah ini :

Pemakaian Air Bersih (Tabel 4.2)

Tahun	: 2014
Jumlah Fasilitas	: 9
Rata – rata pemakaian air bersih	: 90479.4 m ³ /tahun

Maka pemakaian air bersih tiap tahun, tiap bulan dan tiap hari untuk 9 fasilitas apartemen dan rumah susun yang ada pada tahun 2014 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Pemakaian air bersih tiap tahun} &= (\text{Jumlah fasilitas}) \times (\text{Rata-rata} \\
 &\quad \text{pemakaian air bersih}) \\
 &= 9 \times 90479.4 \text{ m}^3/\text{unit.tahun} \\
 &= 814314.6 \text{ m}^3/\text{unit.tahun} \\
 \text{Pemakaian air bersih tiap bulan} &= (\text{Pemakaian air tiap tahun}) : 12 \\
 &= 814314.6 \text{ m}^3/\text{unit.tahun} : 12 \\
 &= 67859.55 \text{ m}^3/\text{unit.bulan} \\
 \text{Pemakaian air bersih tiap hari} &= (\text{Pemakaian air tiap bulan}) : 30 \\
 &\quad (\text{diambil rata-rata 1 bulan} = 30 \text{ hari}) \\
 &= 67859.55 \text{ m}^3/\text{unit.bulan} : 30 \\
 &= 2261.99 \text{ m}^3/\text{unit.hari}
 \end{aligned}$$

Limbah yang Dihasilkan

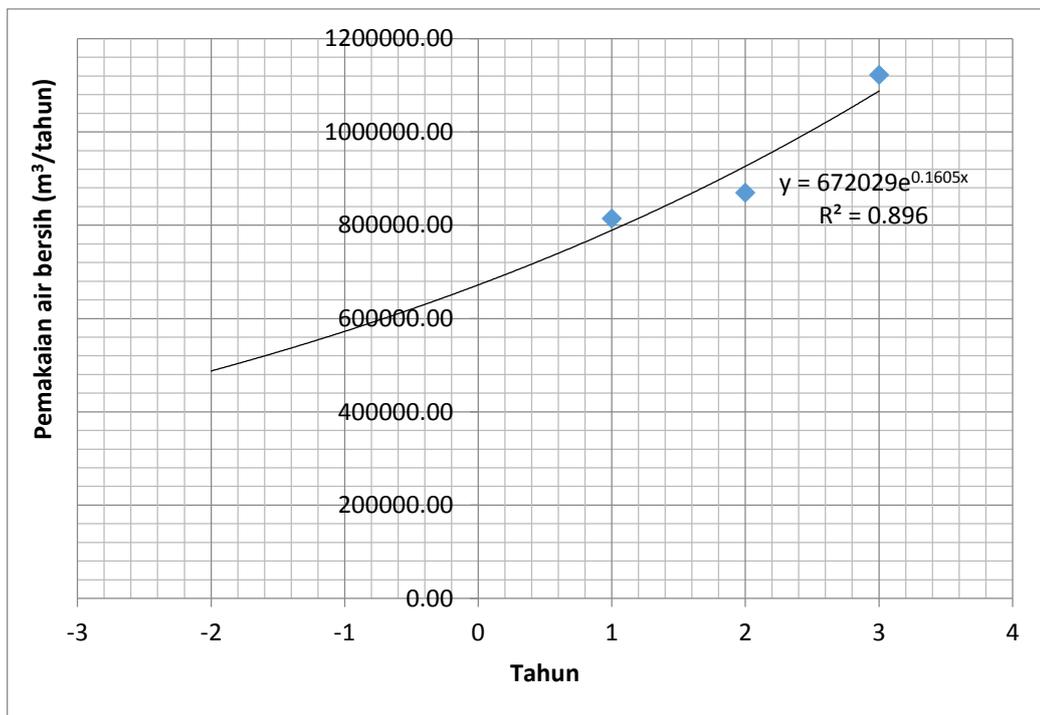
Tahun	: 2014
Pemakaian air bersih tiap tahun	: 814314.6 m ³ /unit.tahun

Diasumsikan limbah yang dihasilkan adalah 70% dari pemakaian air bersih. Maka limbah yang dihasilkan dari pemakaian air tiap tahun pada tahun 2014 adalah sebagai berikut :

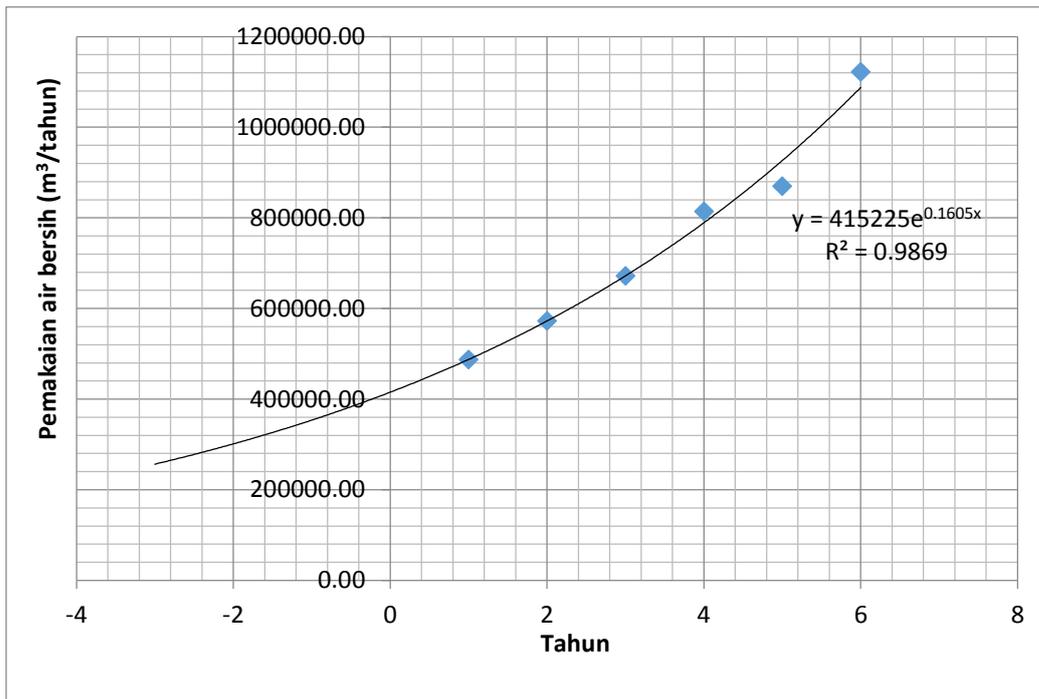
$$\begin{aligned}
 \text{Limbah yang Dihasilkan} &= \text{Pemakaian air bersih} \times 70\% \\
 &= 814314.6 \text{ m}^3/\text{unit.tahun} \times 70\% \\
 &= 570020.22 \text{ m}^3/\text{unit.tahun}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan limbah yang dihasilkan tiap bulan dan tiap harinya sama seperti perhitungan air yaitu dengan membagi limbah per tahun dengan 12 dan 30.

Perhitungan yang serupa dilakukan selama 3 tahun saja mulai dari tahun 2014 – 2016. Hal ini dikarenakan data pemakaian air bersih dari PDAM yang tersedia hanya sampai 3 tahun terakhir. Namun untuk melakukan prediksi 10 tahun kedepan, data yang didapat harus data 10 tahun terakhir agar terlihat trend datanya. Sehingga untuk memenuhi kekurangan data digunakan metode *backward prediction* dengan menggunakan persamaan eksponensial pada software excel seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 4.2 Grafik Prediksi 3 ke 3 Pemakaian Air Bersih



Gambar 4.3 Grafik Prediksi 6 ke 4 Pemakaian Air Bersih

Tabel 4.4 Backward Prediction 3 ke 3 ($Y = 672029 \cdot (e^{0.1605X})$)

NO	Tahun Prediksi	X	$0.1605 \cdot X$	$e^{0.1605X}$	Hasil Prediksi (Pers Y)
1	2011	-2	-0.321	0.725423251	487505.46
2	2012	-1	-0.1605	0.851717824	572379.08
3	2013	0	0	1	672029.00

Tabel 4.5 Backward Prediction 6 ke 4 ($Y = 415225 \cdot (e^{0.1605X})$)

NO	Tahun Prediksi	X	$0.1605 \cdot X$	$e^{0.1605X}$	Hasil Prediksi (Pers Y)
1	2007	-3	-0.4815	0.617855913	48324.36
2	2008	-2	-0.321	0.725423251	56737.53
3	2009	-1	-0.1605	0.851717824	66615.41
4	2010	0	0	1	78213.00

Dari Gambar 4.2 – 4.3 dan Tabel 4.4 – 4.5 diatas dilakukan dua kali prediksi. Hal tersebut dikarenakan jika memprediksi 10 tahun dengan 3 data saja hasil R^2 rendah sekitar 0.8, sehingga dapat disimpulkan bahwa model persamaannya kurang sesuai untuk data tersebut. Maka dari itu dilakukan dua kali prediksi sehingga didapatkan hasil R^2 mendekati 1 atau 0.9821, sehingga dapat disimpulkan bahwa model

persamaan tersebut sesuai untuk data tersebut. Sehingga dari backward diatas didapatkan data pemakaian air dari tahun 2007 – 2016 seperti terdapat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data Pemakaian Air Bersih Domestik

No	Tahun	Jumlah Pemakaian Air		
		m ³ /tahun	m ³ /bulan	m ³ /hari
1	2007	48324.36	4027.03	134.23
2	2008	56737.53	4728.13	157.60
3	2009	66615.41	5551.28	185.04
4	2010	78213.00	6517.75	217.26
5	2011	487505.46	40625.46	1354.18
6	2012	572379.08	47698.26	1589.94
7	2013	672029.00	56002.42	1866.75
8	2014	814314.60	67859.55	2261.99
9	2015	869702.00	72475.17	2415.84
10	2016	1122503.20	93541.93	3118.06

Dari tabel 4.6 maka dapat dihitung limbah domestik yang dihasilkan pemakaian air bersih seperti pada tabel 4.7. Perhitungan limbah domestik apartemen dan rumah susun sama seperti yang telah dilakukan pada tabel 4.2 diatas.

Tabel 4.7 Limbah Domestik Rumah Susun dan Apartemen

No	Tahun	Jumlah Limbah yang Dihasilkan		
		m ³ /tahun	m ³ /bulan	m ³ /hari
1	2007	33827.06	2818.92	93.96
2	2008	39716.27	3309.69	110.32
3	2009	46630.78	3885.90	129.53
4	2010	54749.10	4562.43	152.08
5	2011	341253.82	28437.82	947.93
6	2012	400665.35	33388.78	1112.96
7	2013	470420.30	39201.69	1306.72
8	2014	570020.22	47501.69	1583.39
9	2015	608791.40	50732.62	1691.09
10	2016	785752.24	65479.35	2182.65

Cara dan metode perhitungan yang sama dilakukan untuk menghitung pemakaian air dan limbah non domestik. Dimana hasil perhitungan pemakaian air non domestik dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan limbah yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Pemakaian Air Bersih Non Domestik Tahun 2014 – 2016

Tahun	Aktivitas Non Domestik	Jumlah Unit	Rata-Rata Pemakaian (m ³ /tahun)	Total Pemakaian Air Bersih		
				m ³ /tahun	m ³ /bulan	m ³ /hari
2014	Mall	10	120902.00	1209020.00	100751.67	3358.39
	Hotel	20	6049.43	120988.57	10082.38	336.08
	Perkantoran	235	5090.86	1196351.43	99695.95	3323.20
	Rumah Makan	1543	1689.43	2606788.29	217232.36	7241.08
	Pertokoan	581	1041.43	605070.00	50422.50	1680.75
	Kampus	45	628750.43	28293769.29	2357814.11	78593.80
	Rumah Sakit	9	38178.50	343606.50	28633.88	954.46
	Industri	107	1424051.83	152373546.17	12697795.51	423259.85
	Total		2225753.90	186749140.24	15562428.35	518747.61
	Rata-Rata		278219.24	23343642.53	1945303.54	64843.45
2015	Mall	10	125780.25	1257802.50	104816.88	3493.90
	Hotel	20	6649.71	132994.29	11082.86	369.43
	Perkantoran	240	5240.29	1257668.57	104805.71	3493.52
	Rumah Makan	1603	1866.29	2991656.00	249304.67	8310.16
	Pertokoan	593	1056.86	626716.29	52226.36	1740.88
	Kampus	47	567330.14	26664516.71	2222043.06	74068.10
	Rumah Sakit	9	38413.25	345719.25	28809.94	960.33
	Industri	107	1590007.50	170130802.50	14177566.88	472585.56
	Total		2336344.29	203407876.11	16950656.34	565021.88
	Rata-Rata		292043.04	25425984.51	2118832.04	70627.73
2016	Mall	11	129634.50	1425979.50	118831.63	3961.05
	Hotel	20	7111.86	142237.14	11853.10	395.10
	Perkantoran	243	5456.71	1325981.57	110498.46	3683.28
	Rumah Makan	1645	1926.14	3168505.00	264042.08	8801.40
	Pertokoan	625	1109.71	693571.43	57797.62	1926.59
	Kampus	50	663873.57	33193678.57	2766139.88	92204.66
	Rumah Sakit	9	38539.00	346851.00	28904.25	963.48
	Industri	107	1646682.17	176194991.83	14682915.99	489430.53
	Total		2494333.67	216491796.05	18040983.00	601366.10
	Rata-Rata		311791.71	27061474.51	2255122.88	75170.76

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Air Limbah Non Domestik Tahun 2014 – 2016

Tahun	Aktivitas Non Domestik	Jumlah Unit	Limbah yang Dihasilkan		
			m ³ /tahun	m ³ /bulan	m ³ /hari
2014	Mall	10	846314.00	70526.17	2350.87
	Hotel	20	84692.00	7057.67	235.26
	Perkantoran	235	837446.00	69787.17	2326.24
	Rumah Makan	1543	1824751.80	152062.65	5068.76
	Pertokoan	581	423549.00	35295.75	1176.53
	Kampus	45	17870899.50	1489241.63	49641.39
	Rumah Sakit	9	240524.55	20043.71	668.12
	Industri	107	106661482.32	8888456.86	296281.90
	Total		128789659.17	10732471.60	357749.05
	Rata-Rata		16098707.40	1341558.95	44718.63
2015	Mall	10	880461.75	73371.81	2445.73
	Hotel	20	93096.00	7758.00	258.60
	Perkantoran	240	880368.00	73364.00	2445.47
	Rumah Makan	1603	2094159.20	174513.27	5817.11
	Pertokoan	593	442378.00	36864.83	1228.83
	Kampus	47	20685889.10	1723824.09	57460.80
	Rumah Sakit	9	242003.48	20166.96	672.23
	Industri	107	119091561.75	9924296.81	330809.89
	Total		144409917.28	12034159.77	401138.66
	Rata-Rata		18051239.66	1504269.97	50142.33
2016	Mall	11	998185.65	83182.14	2772.74
	Hotel	20	99566.00	8297.17	276.57
	Perkantoran	243	928187.10	77348.93	2578.30
	Rumah Makan	1645	2217953.50	184829.46	6160.98
	Pertokoan	625	485500.00	40458.33	1348.61
	Kampus	50	23235575.00	1936297.92	64543.26
	Rumah Sakit	9	242795.70	20232.98	674.43
	Industri	107	123336494.28	10278041.19	342601.37
	Total		151544257.23	12628688.10	420956.27
	Rata-Rata		18943032.15	1578586.01	52619.53

Hasil *backward prediction* pemakaian air bersih dengan menggunakan software excel dengan persamaan eksponensial dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan limbah yang dihasilkan setelah *backward prediction* dapat dilihat pada Tabel 4.11. *backward prediction* dilakukan dua kali agar didapatkan R^2 mendekati 1 yang berarti model persamaan yang dihasilkan dapat sesuai.

Tabel 4.10 Pemakaian Air Bersih Non Domestik

No	Tahun	Pemakaian Air Bersih (m ³ /tahun)			
		Mall	Hotel	Kantor	R.Makan
1	2007	628050.92	68990.32	632682.23	649014.64
2	2008	686304.39	74803.61	688261.11	749611.65
3	2009	749961.03	81106.75	748722.40	865801.16
4	2010	819522.00	87941.00	814495.00	1000000.00
5	2011	932580.32	95350.98	902307.42	1645340.22
6	2012	965701.98	103385.48	949898.64	1814023.27
7	2013	1000000.00	112097.00	1000000.00	2000000.00
8	2014	1209020.00	120988.57	1196351.43	2606788.29
9	2015	1257802.50	132994.29	1257668.57	2991656.00
10	2016	1425979.50	142237.14	1325981.57	3168505.00
No	Tahun	Pemakaian Air Bersih (m ³ /tahun)			
		Toko	Kampus	R.Sakit	Industri
1	2007	372072.79	6158203.49	332645.48	40221241.12
2	2008	398373.30	7238290.74	334212.59	48380422.69
3	2009	426532.90	8507814.49	335787.09	58194755.68
4	2010	456683.00	10000000.00	337369.00	70000000.00
5	2011	488938.34	15380989.11	338957.77	86484930.60
6	2012	523499.66	17539092.97	340554.63	92997274.47
7	2013	560504.00	20000000.00	342159.00	100000000.00
8	2014	605070.00	25529856.43	343606.50	152373546.17
9	2015	631968.57	29551270.14	345719.25	170130802.50
10	2016	693571.43	33193678.57	346851.00	176194991.83

Tabel 4.11 Limbah yang Dihasilkan Non Domestik

No	Tahun	Limbah Yang Dihasilkan (m ³ /tahun)			
		Mall	Hotel	Kantor	R.Makan
1	2007	439635.64	48293.22	442877.56	454310.25
2	2008	480413.07	52362.53	481782.78	524728.16
3	2009	524972.72	56774.72	524105.68	606060.81
4	2010	573665.40	61558.70	570146.50	700000.00
5	2011	652806.22	66745.68	631615.19	1151738.15
6	2012	675991.39	72369.84	664929.04	1269816.29
7	2013	700000.00	78467.90	700000.00	1400000.00
8	2014	846314.00	84692.00	837446.00	1824751.80
9	2015	880461.75	93096.00	880368.00	2094159.20
10	2016	998185.65	99566.00	928187.10	2217953.50

Lanjutan Tabel 4.11 Limbah yang Dihasilkan Non Domestik

No	Tahun	Limbah Yang Dihasilkan (m ³ /tahun)			
		Toko	Kampus	R.Sakit	Industri
1	2007	260450.95	4310742.44	232851.83	28154868.78
2	2008	278861.31	5066803.52	233948.81	33866295.88
3	2009	298573.03	5955470.14	235050.96	40736328.97
4	2010	319678.10	7000000.00	236158.30	49000000.00
5	2011	342256.84	10766692.38	237270.44	60539451.42
6	2012	366449.76	12277365.08	238388.24	65098092.13
7	2013	392352.80	14000000.00	239511.30	70000000.00
8	2014	423549.00	17870899.50	240524.55	106661482.32
9	2015	442378.00	20685889.10	242003.48	119091561.75
10	2016	485500.00	23235575.00	242795.70	123336494.28

Pada perhitungan prediksi Gas CH₄ dilakukan dengan pendekatan lain yaitu dengan menggunakan cara perhitungan inventarissi emisi menurut Kementerian Lingkungan Hidup, (2012) yang merupakan terjemahan dari IPCC. Sehingga nantinya akan dibandingkan hasil perhitungan menggunakan massa CH₄ tiap orang seperti pada penelitian terdahulu (Wati, 2011) dengan menggunakan perhitungan IPCC.

4.1.3. Perhitungan Emisi Gas Metana (CH₄)

Untuk melakukan perhitungan dan prediksi selama 10 tahun emisi gas metana (CH₄) pada tangki septik domestik dilakukan dua pendekatan perhitungan, yang pertama adalah dengan perhitungan massa CH₄ tiap orang dan yang kedua adalah dengan pendekatan IPCC. Untuk perhitungan dengan perhitungan massa CH₄ tiap orang diperlukan data populasi ekivalen apartemen dan rumah susun tabel 4.12 dan data massa CH₄ total tangki septik berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh wati (2011) sebesar 21.296 gram/orang.hari dan didapatkan hasil emisi Gas CH₄ dari tahun 2007 – 2016 yang akan digunakan untuk memprediksi selama 10 tahun kedepan seperti pada tabel 4.13. metode perhitungan yang sama juga dilakukan untuk mengetahui emisi gas metana sektor non domestik.

Tabel 4.12 Populasi Domestik

Tahun	Populasi (orang)
2013	22350.00
2014	23940.00
2015	25640.00
2016	27685.00

Dari tabel 4.12 diatas, populasi domestik didapatkan berdasarkan rate pertumbuhan penduduk di Surabaya Timur dengan cara data rata-rata penghuni pada tahun 2016 diakalikan dengan jumlah apartemen dan rusun yang ada di Surabaya Timur. Kemudian ditarik kebelakang untuk tahun 2013 – 2015.

Massa CH₄

Populasi Domestik : 22350 orang
Massa CH₄ (Wati, 2011) : 21.296 gram/orang.hari
: 0.021 kg/orang.hari

Maka massa CH₄ total tangki septik yang akan digunakan dalam menghitung emisi CH₄ adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Massa CH}_4 &= \text{Populasi Domestik} \times \text{Massa CH}_4 \\ &= 22350 \text{ orang} \times 0.021 \text{ kg/orang.hari} \\ &= 469.35 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan hasil massa CH₄ selama 1 tahun, maka hasil nya dikalikan dengan 365.

$$\begin{aligned} \text{Massa CH}_4 &= 357.7 \text{ kg/hari} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 171312.75 \text{ kg/tahun} = 171.3 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan massa CH₄ total emisi pada tangki septik untuk kegiatan domestik. Sehingga didapatkan hasil emisi CH₄ total gas metana yang terdapat didalam tangki septik seperti perhitungan dibawah ini :

Emisi CH₄ Domestik

Massa CH₄ : 171312.75 kg/tahun
Massa Jenis CH₄ : 0.656 kg/m³

Maka emisi CH₄ total (m³/tahun) untuk tahun 2013 adalah sebagai berikut :

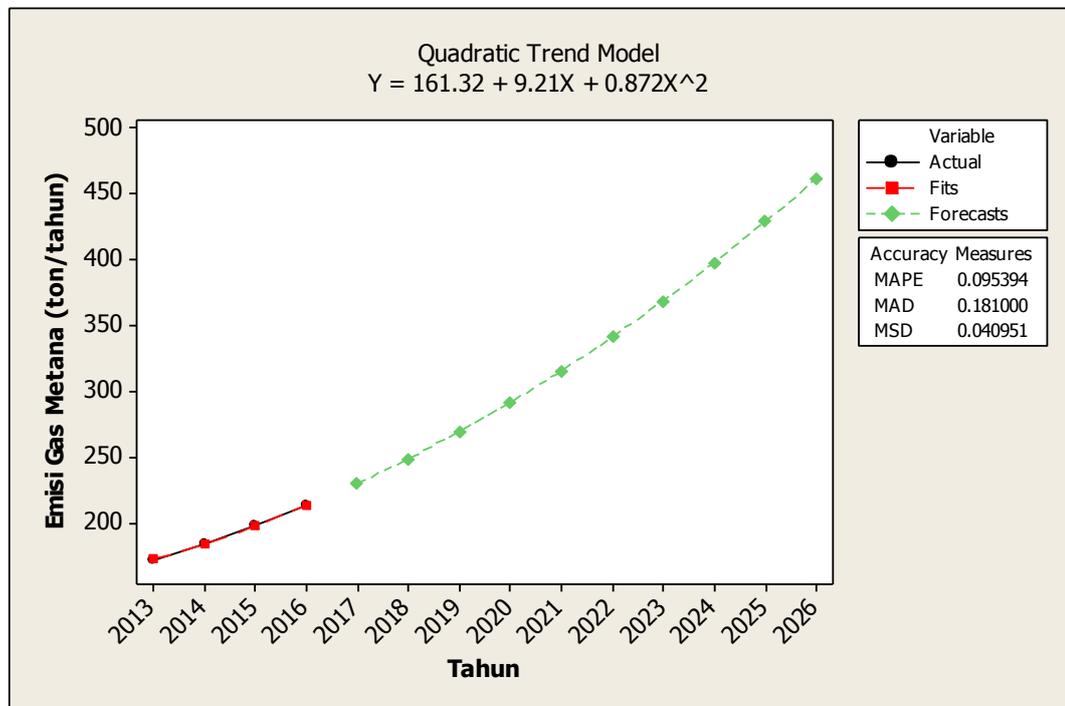
$$\begin{aligned}
 \text{Emisi CH}_4 &= \text{Massa CH}_4 : \text{Massa Jenis CH}_4 \\
 &= 171312.75 \text{ kg/tahun} \times 0.656 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 261147.48 \text{ m}^3/\text{unit.tahun}
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk tahun 2014 – 2016. Hasil perhitungan emisi gas metana domestik dapat disajikan di Tabel 4.13

Tabel 4.13 Emisi Gas Metana (CH₄) Domestik

Tahun	Populasi (orang)	Massa CH ₄ (kg/tahun)	Massa CH ₄ (ton/tahun)
2013	22350.00	171312.75	171.31
2014	23940.00	183500.10	183.50
2015	25640.00	196530.60	196.53
2016	27685.00	212205.53	212.21

Dari Tabel 4.13 dapat diketahui emisi gas metana yang dihasilkan pada tahun 2013 – 2016. Berdasarkan hasil tersebut dilakukan proyeksi emisi gas metana selama sepuluh tahun kedepan sampai pada tahun 2026 dengan menggunakan metode quadratic dengan software minutab. Hasil prediksi dengan menggunakan metode quadratic dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Prediksi Gas Metana Domestik

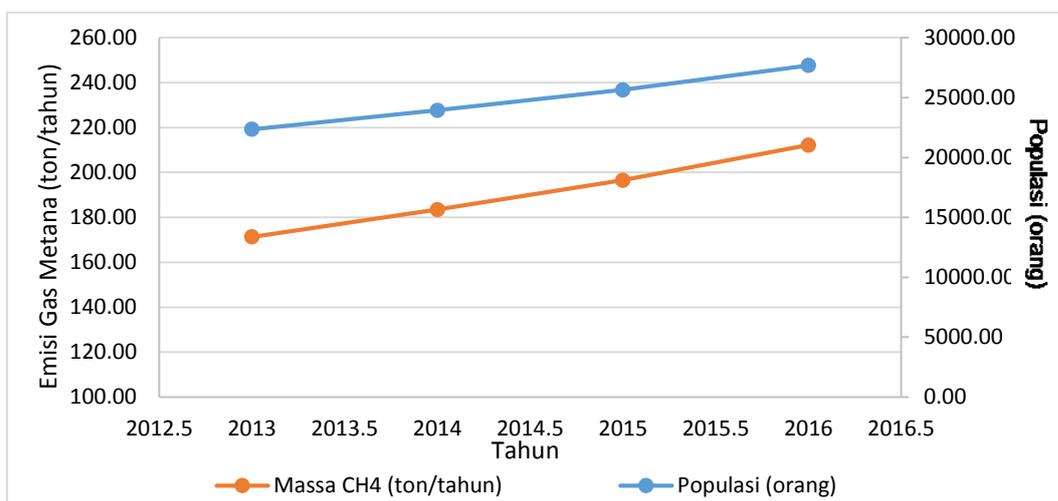
Berdasarkan Gambar 4.4 diatas dapat dilihat prediksi kenaikan emisi Gas Metan (CH₄) selama 10 tahun, dimana pada tahun awal 2013 Emisi Gas Metan yang dihasilkan adalah 171 ton/tahun dan meningkat setiap tahunnya. Dari hasil tersebut juga diperoleh persamaan regresi untuk Emisi Gas Metan yaitu $Y = 161.32 + 9.21X + 0.872X^2$. Berdasarkan persamaan tersebut Y adalah emisi gas metana dan X adalah tahun prediksi, dimana untuk tahun 2017 maka nilai X yang disubstitusikan adalah 5, dan seterusnya sampai tahun 2026 yang disubstitusikan adalah $X = 14$. Adapun contoh perhitungan tersebut adalah sebagai berikut :

Prediksi Emisi Gas Metana Tahun 2017

$$X = 5$$

$$\begin{aligned} Y &= 161.32 + 9.21X + 0.872X^2 \\ &= 161.32 + 9.21(5) + 0.872(5)^2 \\ &= 224.82 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada tahun 2018 – 2026. Kenaikan emisi gas metana setiap tahunnya sejalan dengan kenaikan jumlah penduduk dan jumlah limbah yang dihasilkan. Jika semakin besar jumlah limbah dan pertambahan penduduknya setiap tahun maka, akan semakin besar pula emisi gas metana yang dihasilkan. Hal tersebut dapat disajikan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hubungan Populasi Domestik Terhadap Limbah dan Emisi CH₄

Dari gambar diatas diketahui bahwa kenaikan populasi penduduk atau populasi domestik sejalan dengan kenaikan gas metana. Semakin tinggi populasi domestik, maka akan semakin tinggi pula kenaikan emisi gas metannya. Hasil tersebut

didukung oleh penelitian sebelumnya oleh Basri (2017) yang menyatakan bahwa Adanya peningkatan jumlah emisi gas rumah kaca seiring jumlah populasi setiap tahunnya, sebesar 224.941 kg.CO₂/tahun dan 53.076 kg.CH₄/tahun untuk aktifitas domestik serta untuk non domestik sebesar 3.092.484 kg.CO₂-eq/tahun dan 729.687 kg.CH₄-eq/tahun.

Perhitungan emisi gas metana (CH₄) bisa juga dilakukan dengan emnggunakan template IPCC. Perhitungan menggunakan template IPCC diperlukan data populasi domestic yang sebelumnya telah dihitung berdasarkan data penghuni apartemen rumah susun dan data jumlah apartemen ruamh susun di Surabaya Timur, sebagai populasi penduduknya, namun pada perhitungan ini terdapat 3 tahapan perhitungan, yang pertama adalah perhitungan estimasi materi yang terdegradasi secara organik di IPAL domestik seperti pada Gambar 4.2

Sector	Waste			
Category	Domestic Wastewater Treatment and Discharge			
Category Code	4D1			
Sheet	1 of 3 Estimation of Organically Degradable Material iin Domestic Wastewater			
STEP 1				
Year	A	B	C	D
	Population Domestic	Degradable Organic Component	Corection factor for industrial BOD discharge in sewers	Organically degradable material in wastewater
	(P)	(BOD)	(I)	(TOW)
	People	(kg BOD/cap.yr)		(kg BOD/yr)
				D = A x B x C
2013	22350	14.6	1	326310.00
2014	23940	14.6	1	349524.00
2015	25640	14.6	1	374344.00
2016	27685	14.6	1	404201.00
Total				1,454,379
<i>Note: g BOD/cap.day x 0.001 x 365 = kg BOD/cap.yr</i>				
<i>Correction factor for industrial NOD discharge into sewers, (for collected the default is 1.25, for uncollected the default is 1.00)</i>				

Gambar 4.6 Tahap Pertama IPCC Domestik

Dari data diatas dapat diketahui bahwa banyaknya TOW atau materi organik yang terdegradasi di dalam IPAL adalah sebesar 248740.2 kgBOD/tahun pada tahun 2013, dan meningkat terus sampai pada tahun 2016, dimana hasil tersebut diperoleh dari perkalian antara populasi penduduk dimana dalam hal ini yang digunakan adalah populasi ekivalen, komponen organik terdegradasi (BOD) sebesar 14.6 kg berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Rismawati,2017) dan faktor

koreksi untuk BOD industri, dimana jika terdapat limbah industri yang masuk kedalam IPAL domestik atau komunal maka nilainya 1.25 tetapi jika tidak maka nilainya 1. Dari kondisi di lapangan tidak terdapat limbah industry yang masuk kedalam IPAL, maka faktor koreksinya adalah 1.

Tahapan perhitungan kedua dari pendekatan IPCC adalah penentuan estimasi faktor emisi CH₄ untuk IPAL domestik. Dimana faktor emisi CH₄ untuk IPAL domestik didapatkan dari perkalian antara kapasitas produksi CH₄ maksimum (B₀) dalam kgCH₄/kgBOD dengan faktor koreksi gas metana untuk tiap sistem pengolahan (MCF_j). Dimana kapasitas produksi CH₄ maksimum (B₀) dan faktor koreksi gas meatana (CH₄) untuk tiap sistem pengolahan merupakan ketetapan IPCC. Tahap kedua perhitungan IPCC dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Sector	Waste		
Kategori	Domestic Wastewater Treatment and Discharge		
Category Code	4D1		
Sheet	1 of 3 Estimation of CH ₄ emission factor for Domestic Wastewater		
STEP 2			
Type of treatment or discharge	A	B	C
	Maximum methane producing capacity	Methane correction factor for each treatment system	Emission factor
	(B ₀)	(MCF _j)	(EF _j)
	(kg CH ₄ /kgBOD)		(kg CH ₄ /kg BOD) C = A x B
Untreated System			
Sea, river and lake discharge	0.6	0.1	0.06
Saluran (sewer) yang stagnan	0.6	0.5	0.3
Sewer yang mengalir (saluran terbuka atau tertutup)	0.6	0	0
Sistem terolah			
IPAL aerob terpusat	0.6	0	0
IPAL aerob terpusat (tidak dikelola baik)	0.6	0.3	0.18
Anaerobik digester untuk pengolahan lumpur	0.6	0.8	0.48
Laguna (lagoon) anaerob dangkal	0.6	0.8	0.48
Laguna (lagoon) anaerob dalam	0.6	0.2	0.12
Sistem septik (tangki septik)	0.6	0.5	0.3
Latrine/cubluk (iklim kering, muka air tanah lebih rendah dari latrine, keluarga kecil 3-5 orang)	0.6	0.1	0.06
Latrine/cubluk (iklim kering, muka air tanah lebih rendah dari latrine, komunal)	0.6	0.5	0.3
Latrine/cubluk (iklim basah/menggunakan air bilasan, muka air tanah lebih tinggi dari latrine)	0.6	0.7	0.42

Gambar 4.7 Tahap Kedua IPCC Domestik

Dari gambar diatas untuk perhitungan rumah susun dan apartemen, maka dipilih untuk sistem yang tidak terolah adalah dibuang ke laut, sungai dan danau (*sea, river and lake discharge*). Sedangkan untuk sistem terolah dipilih sistem tangki septik dan IPAL aerob terpusat namun tidak diolah. Hal ini didasarkan karena pada kenyataannya berdasarkan hasil survey dan wawancara, limbah yang dihasilkan rusunawa dialirkan ke tangki septik yang terpusat, dimana tangki septik ini biasanya berada dibawah bangunan gedung. Sedangkan pada apartemen pada umumnya mempunyai IPAL aerob namun tidak dikelola dengan benar. Akan tetapi dipertimbangkan juga ada kebocoran pipa sehingga limbah yang dihasilkan masuk ke badan air seperti sungai tetapi persentasenya kecil. Jadi untuk faktor emisi (EF_j) yang digunakan adalah 0.3 untuk tangki septik, 0.06 untuk limbah yang dibuang ke badan air (laut, sungai, dan danau) dan 0.18 untuk IPAL aerob terpusat tidak dikelola. Perhitungan tahap kedua ini juga digunakan untuk tahun 2015 dan 2016.

Tahap perhitungan ketiga dari pendekatan IPCC adalah dengan mengalikan semua tahapan sesuai dengan rumus perhitungan emisi CH_4 dari IPCC yaitu $Emisi CH_4 = [(U_i \times T_{ij} \times EF_j) \times (TOW - S)] - R$. perhitungan tahap ketiga IPCC dapat dilihat pada Gambar 4.4

TAHUN 2013									
Sektor	Limbah								
Kategori	IPAL domestik								
Kode Kategori	4D1								
Lembar	3 dari 3 Estimasi emisi CH_4 dari limbah cair domestik								
STEP 3									
Grup income	Jenis pengolahan	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraksi grup income	Tingkat penggunaan	Faktor emisi	Materi organik terdegradasi di limbah cair	Lumpur yang diambil (sludge removed)	Gas metana yang direkoveri dan dibakar	Emisi gas metana (Net)	Emisi gas metana (Net)
		(U_j) (fraksi)	(T_{ij}) (fraksi)	(EF_j) (kg CH_4 /kg BOD)	(TOW) (kg BOD/tahun)	(S) (kg BOD/tahun)	(R) (kg CH_4 /tahun)	(CH_4) (kg CH_4 /yr)	(CH_4) (Gg CH_4 /yr)
				Lembar 2 dari 3	Lembar 1 dari 3			$G = [(A \times B \times C) \times (D - E)] - F$	
Pedesaan	Tangki septik	0.12	0.00	0.30	326,310			-	-
	IPAL Komunal	0.12	0.00	0.18	326,310			-	-
	River	0.12	0.00	0.06	326,310			-	-
	Stagnant Sewer	0.12	0.00	0.30	326,310			-	-
	None	0.12	0.00	0.00	326,310			-	-
Perkotaan pendapatan tinggi	Tangki septik	0.5	0.00	0.30	326,310			-	-
	IPAL Komunal	0.5	0.88	0.18	326,310			25,844	0.0
	River	0.5	0.10	0.06	326,310			979	0.0
	Stagnant Sewer	0.5	0.02	0.30	326,310			979	0.0
	None	0.5	0.00	0.00	326,310			-	-
Perkotaan pendapatan rendah	Tangki septik	0.38	0.60	0.30	326,310			22,320	0.0
	IPAL Komunal	0.38	0.30	0.18	326,310			6,696	0.0
	River	0.38	0.04	0.06	326,310			298	0.0
	Stagnant Sewer	0.38	0.06	0.30	326,310			2,232	0.0
	None	0.38	0.00	0.00	326,310			-	-
TOTAL								59,347	0.1

Gambar 4.8 Tahap Ketiga IPCC Domestik

Pada perhitungan tahap ketiga seperti pada gambar 4.8 diatas, untuk U_i atau fraksi group income untuk pedesaan adalah 0.12, perkotaan dengan pendapatan tinggi 0.5 dan perkotaan dengan pendapatan rendah 0.38. Sedangkan untuk tingkat penggunaan (T_{ij}) adalah merupakan persentase dari jenis pengolahan yang

dilakukan. Untuk tahun 2013 seperti yang terdapat pada gambar 4.8. Limbah yang akan diolah dengan menggunakan IPAL aerob terpusat namun tidak dikelola sebesar 0.80 (80%). Limbah yang dibuang ke badan air sebesar 0.02 (2%), dan limbah yang masuk ke saluran air sebesar 0.1 (10%). EF_f merupakan faktor emisi yang sebelumnya telah ditentukan pada tahap kedua. TOW merupakan materi organik terdegradasi di limbah cair yang didapatkan pada perhitungan tahap 1. Untuk S dan R dianggap tidak ada, karena diasumsikan bahwa tidak ada lumpur yang diambil dan tidak ada gas metan yang *direct recovery*. Sehingga didapatkan hasil emisi gas metan (CH_4) pada tahun 2013 sebesar 59346.65 kg CH_4 /tahun atau sekitar 59.3 ton/tahun). Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk tahun 2014 - 2016, sehingga gas metan yang dihasilkan dari tahun 2013 – 2016 menurut perhitungan IPCC dapat dilihat pada Tabel 4.15

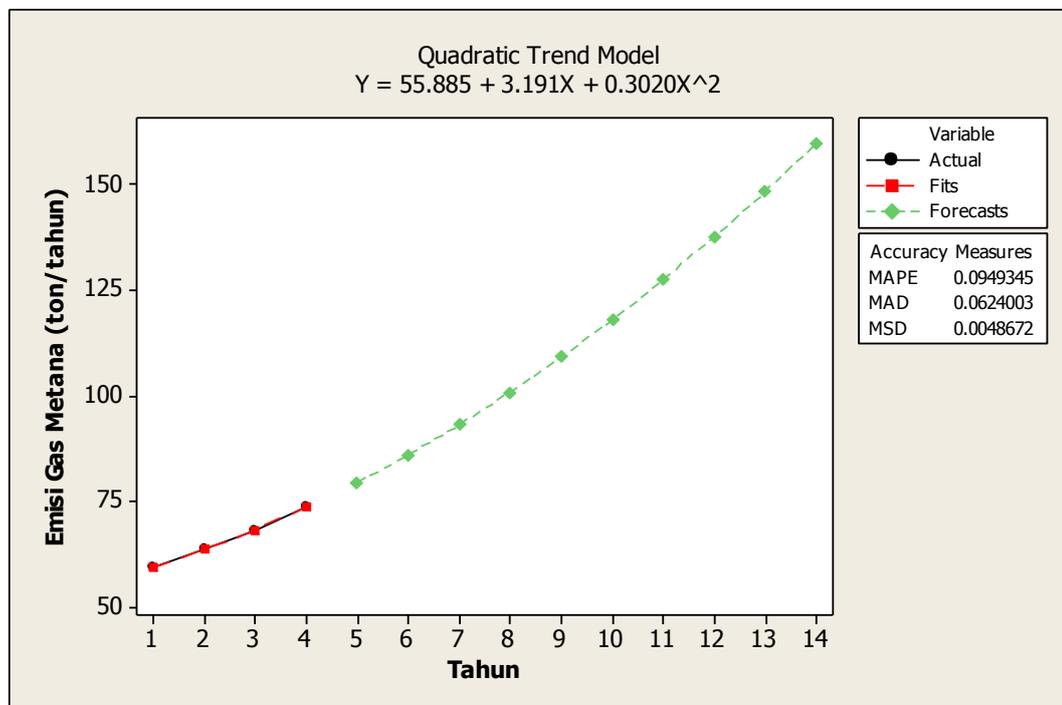
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Emisi Gas CH_4 IPCC Domestik

Tahun	Populasi (Orang)	Emisi Gas Metana		
		(kg CH_4 /tahun)	(ton/tahun)	(m ³ /Tahun)
2013	22350	59346.65	59.3	90467.46
2014	23940	63568.63	63.6	96903.40
2015	25640	68082.69	68.1	103784.59
2016	27685	73512.84	73.5	112062.26

Dari Tabel 4.15 dapat diketahui hasil emisi gas metan (CH_4) pada tahun 2013 sebesar 59346.65 kg CH_4 /tahun atau sekitar 59.3 ton/tahun dan mengalami peningkatan setiap tahunnya dikarenakan populasi yang semakin meningkat pula. Seperti halnya perhitungan sebelumnya, perhitungan emisi gas metana dengan menggunakan template IPCC juga menunjukkan adanya peningkatan setiap tahunnya. Sehingga proyeksi emisi gas metan (CH_4) berdasarkan hasil perhitungan IPCC dapat dilihat pada Gambar 4.9

Berdasarkan Gambar 4.9 diatas dapat dilihat prediksi kenaikan emisi Gas Metan (CH_4) selama 10 tahun berdasarkan perhitungan IPCC, dimana pada tahun awal 2013 Emisi Gas Metan yang dihasilkan adalah 59.3 ton/tahun dan meningkat setiap tahunnya. Hal tersebut menandakan bahwa terjadinya peningkatan emisi Gas metan (CH_4) terjadi seiring dengan berjalannya waktu. Dari hasil tersebut juga diperoleh persamaan regresi untuk Emisi Gas Metan yaitu $Y = 55.885 + 3.191X +$

$0.302X^2$. Berdasarkan persamaan tersebut Y adalah emisi gas metana dan X adalah tahun prediksi, dimana untuk tahun 2017 maka nilai X yang disubstitusikan adalah 5, dan seterusnya sampai tahun 2026 yang disubstitusikan adalah $X = 14$.



Gambar 4.9 Prediksi Emisi Gas Metana Domestik (IPCC)

Dari kedua pendekatan perhitungan yang telah dilakukan diatas hasilnya terdapat perbedaan, namun tetap menunjukkan peningkatan emisi gas metana setiap tahunnya. Hal tersebut dikarenakan pada pendekatan IPCC hasil perhitungan langsung menunjukkan emisi CH₄ yang dihasilkan, jika perhitungan populasi hasilnya harus dikalikan dengan massa gas metana per orang seperti penelitian sebelumnya (Wati, 2011). Selain itu pada perhitungan IPCC banyak faktor yang menjadi pertimbangan diantaranya adalah faktor emisi, faktor pengolahan limbah, faktor BOD, dll.

Sedangkan untuk non domestik dilakukan juga perhitungan yang sama yaitu dengan menggunakan massa CH₄ dan template IPCC. Dimana populasi ekivalen juga digunakan untuk menghitung emisi CH₄ dengan dua perhitungan tersebut Populasi ekivalen non domestik dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.15 Populasi Ekvivalen Non Domestik

No	Tahun	Populasi Ekvivalen
1	2007	8914940.065
2	2008	9951552.094
3	2009	11108699.37
4	2010	12400397.5
5	2011	13842291.79
6	2012	15451846.77
7	2013	17248557.7
8	2014	19318448.88
9	2015	21661487.59
10	2016	24247081.16

Massa CH₄ total tangki septik dapat dihitung dengan massa CH₄ total tangki septik yang merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh Wati (2011). Perhitungan tersebut adalah sebagai berikut :

Emisi CH₄ Non Domestik

Sektor Non Domestik

Tahun : 2007
 Jumlah Non Domestik : 2061 aktifitas
 Populasi Ekvivalen : 10116141.07 orang
 Rata-rata per aktifitas : 4908 orang/aktifitas
 Massa CH₄ (Wati, 2011) : 21.296 gram/orang.hari

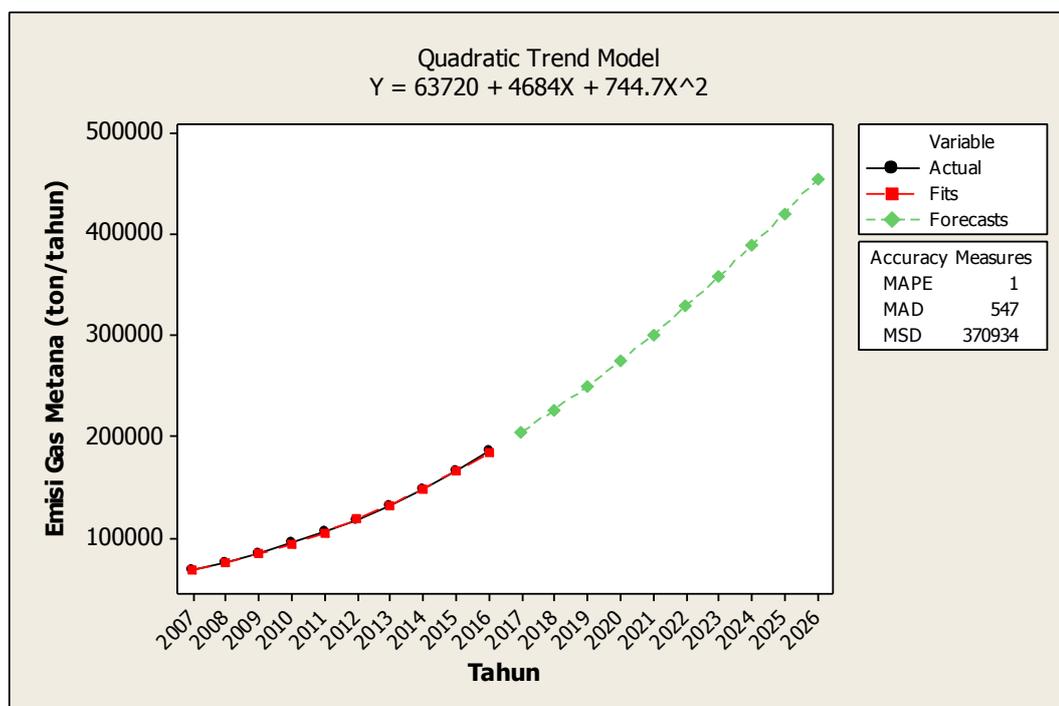
Maka massa CH₄ total tangki septik yang akan digunakan dalam menghitung emisi CH₄ adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi CH}_4 \text{ Non Domestik} &= \text{Rata-rata per aktifitas} \times \text{Massa CH}_4 \\
 &= 4908 \text{ orang/aktifitas} \times 21.296 \text{ gram/orang.hari} \\
 &= 104519.84 \text{ gram/aktifitas.hari} \\
 &= 104519.84 \text{ gram/aktifitas.hari} \times 365 \text{ hari/tahun} \\
 &= 38149743.35 \text{ kg/aktifitas.tahun} : 0.656 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 58155.10 \text{ m}^3/\text{aktifitas.tahun}
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk tahun 2008 – 2016. Hasil perhitungan emisi gas metana non domestik dapat disajikan di Tabel 4.16

Tabel 4.16 Emisi Gas Metana (CH₄) Non Domestik

No	Tahun	Populasi Ekvivalen	Emisi Gas Metana		
			kg/tahun	ton/tahun	m ³ /tahun
1	2007	8914940.065	68333015.60	68333.02	104166182.32
2	2008	9951552.094	76278646.80	76278.65	116278425.00
3	2009	11108699.37	85148180.67	85148.18	129799055.90
4	2010	12400397.5	95049046.82	95049.05	144891839.67
5	2011	13842291.79	106101166.59	106101.17	161739583.21
6	2012	15451846.77	118438405.51	118438.41	180546349.86
7	2013	17248557.7	132210194.77	132210.19	201539931.05
8	2014	19318448.88	148075910.63	148075.91	225725473.52
9	2015	21661487.59	166035302.39	166035.30	253102595.10
10	2016	24247081.16	185853877.07	185853.88	283313837.00



Gambar 4.10 Prediksi Emisi Gas Metana Non Domestik

Berdasarkan Gambar 4.10 diatas dapat dilihat prediksi kenaikan emisi Gas Metan (CH₄) selama 10 tahun, dimana pada tahun awal 2007 Emisi Gas Metan yang dihasilkan adalah 68333.02 ton/tahun dan meningkat setiap tahunnya. Dari hasil tersebut juga diperoleh persamaan regresi untuk Emisi Gas Metan yaitu $Y = 63720 + 4684X + 744.7X^2$. Berdasarkan persamaan tersebut Y adalah emisi gas metana dan X adalah tahun prediksi, dimana untuk tahun 2017 maka nilai X yang

disubstitusikan adalah 11, dan seterusnya sampai tahun 2026 yang disubstitusikan adalah $X = 20$. Adapun contoh perhitungan tersebut adalah sebagai berikut :

Prediksi Emisi Gas Metana Tahun 2017

$$X = 11$$

$$\begin{aligned} Y &= 63720 + 4684X + 744.7X^2 \\ &= 63720 + 4684(11) + 744.7(11)^2 \\ &= 205305 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk prediksi pada tahun 2018 – 2026. Kenaikan emisi gas metana setiap tahunnya sejalan dengan kenaikan jumlah penduduk dan jumlah limbah yang dihasilkan. Jika semakin besar jumlah limbah dan pertambahan penduduknya setiap tahun maka, akan semakin besar pula emisi gas metana yang dihasilkan. Hasil tersebut didukung oleh penelitian sebelumnya oleh Basri (2017) yang menyatakan bahwa Adanya peningkatan jumlah emisi gas rumah kaca seiring jumlah populasi setiap tahunnya, sebesar 224.941 kg.CO₂/tahun dan 53.076 kg.CH₄/tahun untuk aktifitas domestik serta untuk non domestik sebesar 3.092.484 kg.CO₂-eq/tahun dan 729.687 kg.CH₄-eq/tahun.

Sama halnya dengan sektor domestik, perhitungan emisi gas metana (CH₄) sektor domestik juga dapat dihitung dengan menggunakan template IPCC. Dimana, perhitungan menggunakan template IPCC diperlukan data populasi ekivalen dari tahun 2007 - 2016 sebagai populasi penduduknya, namun pada pendekatan ini terdapat 3 tahapan perhitungan, yang pertama adalah perhitungan estimasi materi yang terdegradasi secara organik di IPAL domestik seperti pada Gambar 4.11.

Dari Gambar 4.11 dapat diketahui bahwa banyaknya TOW atau materi organik yang terdegradasi di dalam IPAL adalah sebesar 162697656 kgBOD/tahun pada tahun 2007, dan meningkat setiap tahunnya. Dimana hasil tersebut diperoleh dari perkalian antara populasi penduduk dimana dalam hal ini yang digunakan adalah populasi ekivalen, komponen organik terdegradasi (BOD) sebesar 14.6 kg berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Rismawati,2017) dan faktor koreksi untuk BOD industri, dimana jika masuk kedalam IPAL domestik atau komunal maka nilainya 1.25 tetapi jika tidak maka nilainya 1. Dari kondisi

dilapangan karena limbah aktivitas non domestik sebagian besar ditampung pada IPAL komunal atau domestik, maka faktor koreksinya adalah 1.25.

Sektor	Limbah Non domestik			
Kategori	IPAL domestik			
Kode Kategori	4D1			
Lembar	1 dari 3 Estimasi materi yang terdegradasi secara organik di IPAL domestik			
STEP 1				
	A	B	C	D
Tahun	Populasi Ekuivalen	Komponen organik terdegradasi	Faktor koreksi untuk BOD industri yang masuk ke IPAL domestik, jika masuk = 1,25 jika tidak =1.	Materi organik terdegradasi di dalam IPAL
	(P)	(BOD)	(I)	(TOW)
	orang	(kg BOD/orang.tahun)		(kg BOD/tahun)
				$D = A \times B \times C$
2007	8914940.07	14.6	1.25	162,697,656
2008	9951552.09	14.6	1.25	181,615,826
2009	11108699.37	14.6	1.25	202,733,764
2010	12400397.50	14.6	1.25	226,307,254
2011	13842291.79	14.6	1.25	252,621,825
2012	15451846.77	14.6	1.25	281,996,204
2013	17248557.70	14.6	1.25	314,786,178
2014	19318448.88	14.6	1.25	352,561,692
2015	21661487.59	14.6	1.25	395,322,149
2016	24247081.16	14.6	1.25	442,509,231
			Total	2,468,838,296

Catatan: $g \text{ BOD/orang.hari} \times 0.001 \times 365 = \text{kg BOD/orang.tahun}$
Komponen organik terdegradasi = 40 g/orang.hari

Gambar 4.11 Tahap Pertama IPCC Non Domestik

Tahapan perhitungan kedua dari pendekatan IPCC adalah penentuan estimasi faktor emisi CH_4 untuk IPAL domestik. Dimana faktor emisi CH_4 untuk IPAL domestik didapatkan dari perkalian antara kapasitas produksi CH_4 maksimum (B_0) dalam $\text{kgCH}_4/\text{kgBOD}$ dengan faktor koreksi gas metana untuk tiap sistem pengolahan (MCF_j). Dimana kapasitas produksi CH_4 maksimum (B_0) dan faktor koreksi gas metana (CH_4) untuk tiap sistem pengolahan merupakan ketetapan IPCC. Tahap kedua perhitungan IPCC dapat dilihat pada gambar 4.12.

Dari Gambar 4.12 untuk perhitungan non domestik, maka dipilih untuk sistem yang tidak terolah adalah dibuang ke laut, sungai dan danau. Sedangkan untuk sistem terolah dipilih sistem tangki septik dan IPAL aerob terpusat, sistem tangki septik dan IPAL aerob terpusat namun tidak diolah dan sistem tangki septik. Hal

ini didasarkan karena pada kenyataannya limbah yang dihasilkan aktivitas non domestik ada yang dialirkan ke tangki septik yang terpusat, dimana tangki septik ini biasanya berada dibawah bangunan gedung, biasanya pada aktivitas non domestik rumah makan, pertokoan, perkantoran dan sebagian besar kampus, untuk sistem IPAL terpusat aerob biasanya pada aktivitas non domestik rumah sakit dan industri, dan untuk sistem IPAL aerob terpusat tidak dikelola dengan benar biasanya terdapat pada aktivitas non domestik mall dan hotel. Akan tetapi dipertimbangkan juga ada kebocoran pipa sehingga limbah yang dihasilkan masuk ke badan air seperti sungai tetapi persentasenya kecil. Jadi untuk faktor emisi (EF_j) yang digunakan adalah 0.3 untuk tangki septik, 0.06 untuk limbah yang dibuang ke badan air (laut, sungai, dan danau), 0.18 untuk IPAL aerob terpusat tidak dikelola dan 0.00 untuk IPAL aerob terpusat. Perhitungan tahap kedua ini juga digunakan untuk tahun 2008 - 2016

Sektor	Limbah		
Kategori	IPAL domestik		
Kode Kategori	4D1		
Lembar	2 dari 3 Estimasi faktor emisi CH ₄ untuk IPAL domestik		
STEP 2			
Jenis pengolahan	A	B	C
	Kapasitas produksi CH ₄ maksimum	Faktor koreksi gas metana untuk tiap sistem pengolahan	Faktor emisi
	(B_0) (kg CH ₄ /kgBOD)	(MCF_j)	(EF_j) (kg CH ₄ /kg BOD) C = A x B
Sistem tidak terolah			
Dibuang ke laut, sungai dan danau	0.6	0.1	0.06
Saluran (sewer) yang stagnan	0.6	0.5	0.3
Sewer yang mengalir (saluran terbuka atau tertutup)	0.6	0	0
Sistem terolah			
IPAL aerob terpusat	0.6	0	0
IPAL aerob terpusat (tidak dikelola baik)	0.6	0.3	0.18
Anaerobik digester untuk pengolahan lumpur	0.6	0.8	0.48
Laguna (lagoon) anaerob dangkal	0.6	0.8	0.48
Laguna (lagoon) anaerob dalam	0.6	0.2	0.12
Sistem septik (tangki septik)	0.6	0.5	0.3
Latrine/cubluk (iklim kering, muka air tanah lebih rendah dari latrine, keluarga kecil 3-5 orang)	0.6	0.1	0.06
Latrine/cubluk (iklim kering, muka air tanah lebih rendah dari latrine, komunal)	0.6	0.5	0.3
Latrine/cubluk (iklim basah/menggunakan air bilasan, muka air tanah lebih tinggi dari latrine)	0.6	0.7	0.42
Latrine/cubluk (pemanfaatan sedimen untuk pupuk secara reguler)	0.6	0.1	0.06

Gambar 4.12 Tahap Kedua IPCC Non Domestik

Tahap perhitungan ketiga dari pendekatan IPCC adalah dengan mengalikan semua tahapan sesuai dengan rumus perhitungan emisi CH₄ dari IPCC yaitu Emisi CH₄ = [(U_I x T_{IJ} x EF_J) x (TOW – S)] – R. Perhitungan tahap ketiga IPCC dapat dilihat pada Gambar 4.13.

2007									
Sektor	Limbah								
Kategori	IPAL domestik								
Kode Kategori	4D1								
Lembar	3 dari 3 Estimasi emisi CH ₄ dari limbah cair domestik								
STEP 3									
Grup income	Jenis pengolahan	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraksi grup income (U _i) (fraksi)	Tingkat penggunaan (T _{ij}) (fraksi)	Faktor emisi (EF _j) (kg CH ₄ /kg BOD)	Materi organik terdegradasi di limbah cair (TOW) (kg BOD/tahun)	Lumpur yang diambil (sludge removed) (S) (kg BOD/tahun)	Gas metana yang direkoveri dan dibakar (R) (kg CH ₄ /tahun)	Emisi gas metana (Net) (CH ₄) (kg CH ₄ /yr)	Emisi gas metana (Net) (CH ₄) (Gg CH ₄ /yr)
					Lembar 2 dari 3	Lembar 1 dari 3			G = [(A x B x C) x (D - E)] - F
Pedesaan	Tangki septik	0.12	0.00	0.30	162,697,656				-
	IPAL tidak dikelola	0.12	0.00	0.18	162,697,656				-
	Badan Air	0.12	0.00	0.06	162,697,656				-
	Saluran/Sewer	0.12	0.00	0.00	162,697,656				-
	IPAL Terpusat	0.12	0.00	0.00	162,697,656				-
Perkotaan pendapatan tinggi	Tangki septik	0.5	0.58	0.30	162,697,656			14,154,986	14.2
	IPAL tidak dikelola	0.5	0.21	0.18	162,697,656			3,074,986	3.1
	Badan Air	0.5	0.11	0.06	162,697,656			536,902	0.5
	Saluran/Sewer	0.5	0.00	0.00	162,697,656				-
	IPAL Terpusat	0.5	0.10	0.00	162,697,656				-
Perkotaan pendapatan rendah	Tangki septik	0.38	0.00	0.30	162,697,656				-
	IPAL tidak dikelola	0.38	0.00	0.18	162,697,656				-
	Badan Air	0.38	0.00	0.06	162,697,656				-
	Saluran/Sewer	0.38	0.00	0.00	162,697,656				-
	IPAL Terpusat	0.38	0.00	0.00	162,697,656				-
TOTAL								17766584.06	17.8

Gambar 4.13 Tahap Ketiga IPCC Non Domestik

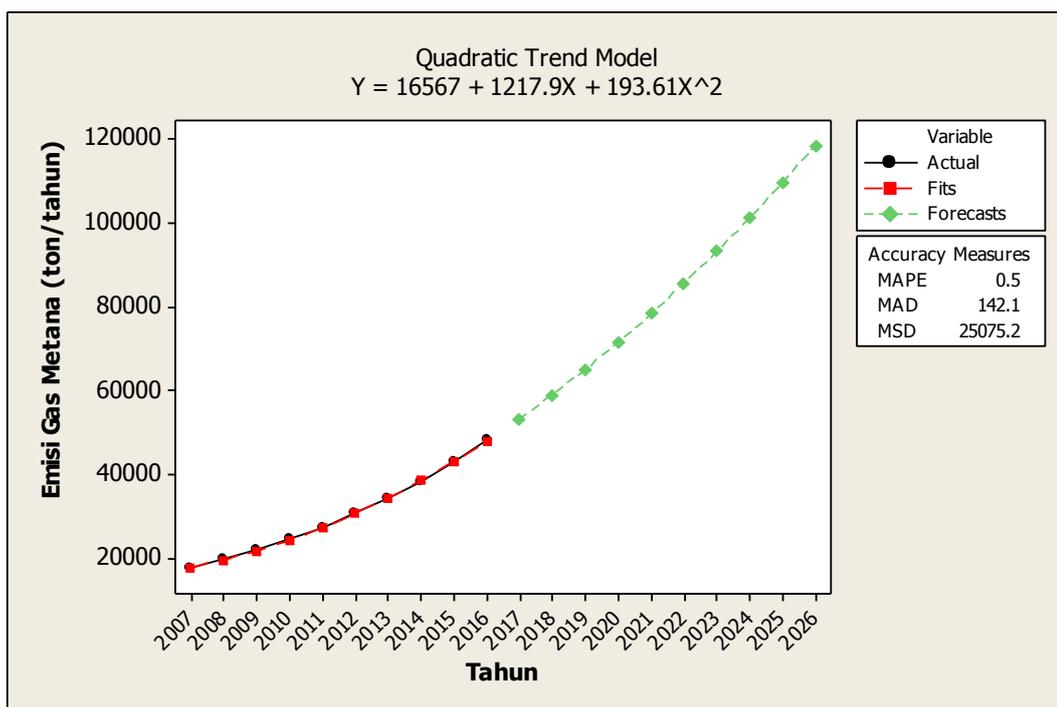
Pada perhitungan tahap ketiga seperti pada Gambar 4.13 diatas, untuk U_I atau fraksi *group income* untuk pedesaan adalah 0.12, perkotaan dengan pendapatan tinggi 0.5 dan perkotaan dengan pendapatan rendah 0.38. Sedangkan untuk tingkat penggunaan (T_{IJ}) adalah merupakan persentase dari jenis pengolahan yang dilakukan. Untuk tahun 2007 seperti yang terdapat pada Gambar 4.13, T_{IJ} untuk perkotaan dengan pendapatan tinggi limbah yang akan diolah dengan menggunakan sistem tangki septik sebesar 0.58, hal ini dikarenakan sebagian dari aktivitas non domestik masih membuang limbahnya pada tangki septik. Sistem IPAL aerob terpusat namun tidak dikelola sebesar 0.21 (21%), hal ini dikarenakan ada dua aktivitas non domestik yang besar yang membuang limbahnya pada sistem ini. Sistem IPAL aerob terpusat sebesar 0.10 (10%), hal ini disebabkan biasanya industri dan rumah sakit sudah memiliki IPAL sendiri yang sesuai pengelolaannya. Sedangkan limbah yang dibuang ke badan air sebesar 0.12 (12%), hal ini disebabkan karena pada kenyataannya masih ada aktivitas non domestik yang membuang limbahnya ke badan air walaupun tidak banyak, dan untuk pengolahan lainnya tidak ada.

Pada penetapan persentase tingkat penggunaan hanya dipilih perkotaan dengan pendapatan tinggi saja, karena semua aktivitas tersebut tidak terdapat pada perkotaan dengan pendapatan rendah. EF_J merupakan faktor emisi yang sebelumnya telah ditentukan pada tahap kedua. TOW merupakan materi organik terdegradasi di limbah cair yang didapatkan pada perhitungan tahap 1. Untuk S dan R dianggap tidak ada, karena diasumsikan bahwa tidak ada lumpur yang diambil dan tidak ada gas metan yang *direcovery*. Sehingga didapatkan hasil emisi gas metan (CH_4) pada tahun 2007 sebesar 17766584.06 kg CH_4 /tahun atau sekitar 17.77 Gg CH_4 /tahun. Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk tahun 2008 - 2016. Namun agar satuan dari gas metan menjadi m³ CH_4 /tahun, sehingga emisi gas metan yang dihasilkan harus dibagi dengan 0.656 m³/tahun. Sehingga gas metan yang dihasilkan dari tahun 2007 – 2016 dalam m³/tahun menurut perhitungan IPCC dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Emisi Gas CH_4 Aktifitas Non Domestik (IPCC)

Tahun	Emisi Gas Metan (Net)		
	(kg CH_4 /tahun)	(ton CH_4 /tahun)	(m ³ /tahun)
2007	17766584.06	17766.58	27083207.40
2008	19832448.17	19832.45	30232390.50
2009	22138526.97	22138.53	33747754.53
2010	24712752.17	24712.75	37671878.31
2011	27586303.31	27586.30	42052291.63
2012	30793985.43	30793.99	46942050.96
2013	34374650.64	34374.65	52400382.07
2014	38499736.76	38499.74	58688623.11
2015	43169178.62	43169.18	65806674.73
2016	48322008.04	48322.01	73661597.62

Dari tabel 4.17 dapat diketahui hasil emisi gas metan (CH_4) perhitungan IPCC juga mengalami peningkatan setiap tahunnya. Sama seperti halnya perhitungan dengan menggunakan massa CH_4 . Sehingga prediksi emisi gas metan (CH_4) berdasarkan hasil perhitungan IPCC dapat dilihat pada Gambar 4.14



Gambar 4.14 Prediksi Emisi Gas Metan (CH₄) Non Domestik (IPCC)

Berdasarkan Gambar 4.14 diatas dapat dilihat prediksi kenaikan emisi Gas Metan (CH₄) selama 10 tahun berdasarkan perhitungan IPCC, dimana pada tahun awal 2007 Emisi Gas Metan yang dihasilkan adalah 17766.58 ton/tahun, dan meningkat terus setiap tahunnya. Hal tersebut menandakan bahwa terjadinya peningkatan emisi Gas metan (CH₄) terjadi seiring dengan berjalannya waktu. Dari hasil tersebut juga diperoleh persamaan regresi untuk Emisi Gas Metan yaitu $Y = 16567 + 1217.9X + 193.61X^2$. Berdasarkan persamaan tersebut ,Y adalah emisi gas metana dan X adalah tahun prediksi, dimana untuk tahun 2017 maka nilai X yang disubstitusikan adalah 11 ($X = 11$), dan seterusnya sampai tahun 2026 yang disubstitusikan adalah 20 ($X = 20$).

Dari kedua pendekatan perhitungan yang telah dilakukan diatas hasilnya tidak jauh berbeda. Hal tersebut dikarenakan pada pendekatan IPCC hasil perhitungan langsung menunjukkan emisi CH₄ yang dihasilkan, jika perhitungan populasi hasilnya harus dikalikan 365 terlebih dahulu sehingga didapatkan emisi gas metana dalam 1 tahun. Selain itu pada perhitungan IPCC banyak faktor yang menjadi pertimbangan, diantaranya adalah faktor emisi, faktor pengolahan limbah, faktor BOD, dll.

4.1.5. Analisis Dampak Lingkungan

Dari perhitungan yang telah dilakukan untuk menghasilkan limbah untuk sektor domestik sebesar 338827 m³/tahun (apartemen dan rumah susun) dan untuk sektor non domestik sebesar 33954030.67 m³/tahun (pertokoan, perkantoran, mall, rumah makan, rumah sakit, industri, kampus, dan hotel). Limbah yang dihasilkan sektor domestik dan non domestik tiap tahunnya berperan dalam peningkatan emisi gas rumah kaca di Surabaya Timur. Kontribusi limbah cair dalam penyumbang emisi GRK dipengaruhi oleh hasil emisi gas metan yang merupakan salah satu jenis gas rumah kaca. Berdasarkan sumbernya, limbah cair terdiri dari limbah industri dan limbah domestik. Air limbah industri dapat berasal dari industri petrokimia, industri kelapa sawit atau industri lainnya, sedangkan air limbah domestik dapat berasal dari air bekas cucian, limbah atau kotoran manusia dimana akan terbawa oleh aliran sungai atau tersimpan di dalam septic tank (Ma'rufatin A dkk, 2016).

Emisi gas rumah kaca dari kegiatan penanganan limbah cair salah satunya adalah gas metana (CH₄) yang dapat terjadi pada pengolahan dengan kondisi anaerobik. Gas metana atau CH₄ dihasilkan dari *collected untreated wastewater* (IPAL Komunal) limbah cair kota yang mencakup air limbah yang terkumpul dan tidak diolah (dibuang ke laut, sungai, danau, stagnant sewer/saluran air kotor yang mampat), *treated wastewater* limbah cair kota (anaerobik, digester, septic tank, laterine), dan fasilitas pengolahan air limbah industry. Gas metana yang dihasilkan dari aktifitas domestik sebesar 171.3 ton/tahun bagi lingkungan, jika tidak dilakukan pengolahan dan pemanfaatan maka dapat menyebabkan pemanasan global akibat naiknya suhu bumi. Hal tersebut dikarenakan gas metana 23 kali lebih berbahaya dari gas karbondioksida. Pencemaran emisi gas metana yang besar tentunya mengakibatkan dampak yang lebih besar pula pada lingkungan. Disamping CH₄, proses ini juga menghasilkan emisi CO₂ dan N₂O. Maka dari itu sangat perlu untuk dilakukan perhitungan emisi atau mitigasi emisi CH₄ yang ada di Kota Surabaya, khususnya Surabaya Timur sebagai salah satu upaya dalam pemenuhan Rencana Aksi Daerah Gas rumah Kaca (RAD-GRK) Provinsi Jawa Timur yang tertuang dalam Pergub Jatim No 67 tahun 2012.

Seperti diketahui di berbagai kota besar, pencemaran air telah menjadi masalah yang serius, terutama karena penambahan jumlah penduduk yang semakin

meningkat. Dari berbagai literatur disebutkan bahwa antara 60-70% air yang digunakan oleh masyarakat kota akan terbuang sebagai air limbah dan air limbah tersebut akan masuk ke badan sungai tanpa ada upaya pengolahan terlebih dahulu (Ma'rufatin A dkk, 2016). Berdasarkan hasil proyeksi yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistik, jumlah penduduk Indonesia tahun 2015, 2020, 2025, 2030, dan 2035 semakin meningkat. Dengan asumsi setiap orang akan menghasilkan limbah sebesar 150 liter/orang/hari, maka dapat diperkirakan pembuangan air limbah domestik yang pada tahun tersebut akan semakin meningkat. Tentunya dengan meningkatnya jumlah limbah cair domestik akan meningkatkan emisi gas rumah kaca terutama gas metana (Ma'rufatin A dkk, 2016). Berdasarkan perhitungan yang dilakukan oleh Purwanta dan Susanto (2009), pada tahun 2000 emisi GRK dari limbah cair sebesar 470.12 Gg, meningkat menjadi 499.27 Gg tahun 2004 dan 520.52 Gg pada tahun 2007.

4.2. Aspek Teknis

4.2.1. Prediksi Pemanfaatan Gas CH₄ Sebagai Energi Listrik

Perhitungan pemanfaatan gas CH₄ juga dibagi menjadi dua sektor yaitu, sektor domestik dan non domestik. Dimana sektor domestik yang dimaksud adalah pemanfaatan gas metana sebagai energi listrik dari limbah yang berasal dari rumah susun dan apartemen. Sedangkan sektor non domestik yaitu pemanfaatan gas metana sebagai energi listrik dari limbah yang berasal dari hotel, rumah sakit, rumah makan, industri, perkantoran, pertokoan, mall, dan kampus. Perhitungan prediksi pemanfaatan gas metana (CH₄) menjadi energi listrik sektor domestik memerlukan data gas metan yang dihasilkan tiap tahunnya berdasarkan perhitungan massa CH₄ dan IPCC. Data gas metan yang dihasilkan kemudian dikonversi menjadi energi listrik dengan cara dikalikan 11,17 kWh. Karena 1m³ gas metan menghasilkan 11.17 kWh energi listrik (Bent,2007). Pemanfaatan gas metana sebagai energi listrik merupakan salah satu cara untuk mereduksi gas metana yang dihasilkan dari limbah cair sektor domestik dan non domestik di Surabaya Timur. Sehingga Surabaya Timur dapat berkontribusi dalam menurunkan tingkat emisi gas metana sesuai RAD Kota Surabaya dan RAD Provinsi Jawa Timur. Hasil

pemanfaatan gas metana (CH₄) menjadi energi listrik perhitungan massa CH₄ dapat dilihat pada tabel 4.18.

Tabel 4.18 Energi Listrik Domestik

Tahun	Emisi CH ₄ (m ³ /tahun)	Biogas (m ³ /tahun)	Energi Listrik (kWh)
2013	261147.48	130573.74	1458508.70
2014	279725.76	139862.88	1562268.38
2015	299589.33	149794.66	1673206.40
2016	323484.03	161742.02	1806658.32

Energi Listrik (kWh)

Tahun : 2013

Emisi Gas CH₄ : 130573.74 m³/tahun

Faktor Konversi : 11.17 kWh/m³

Maka energi listrik yang dihasilkan pada tahun 2007 adalah sebagai berikut :

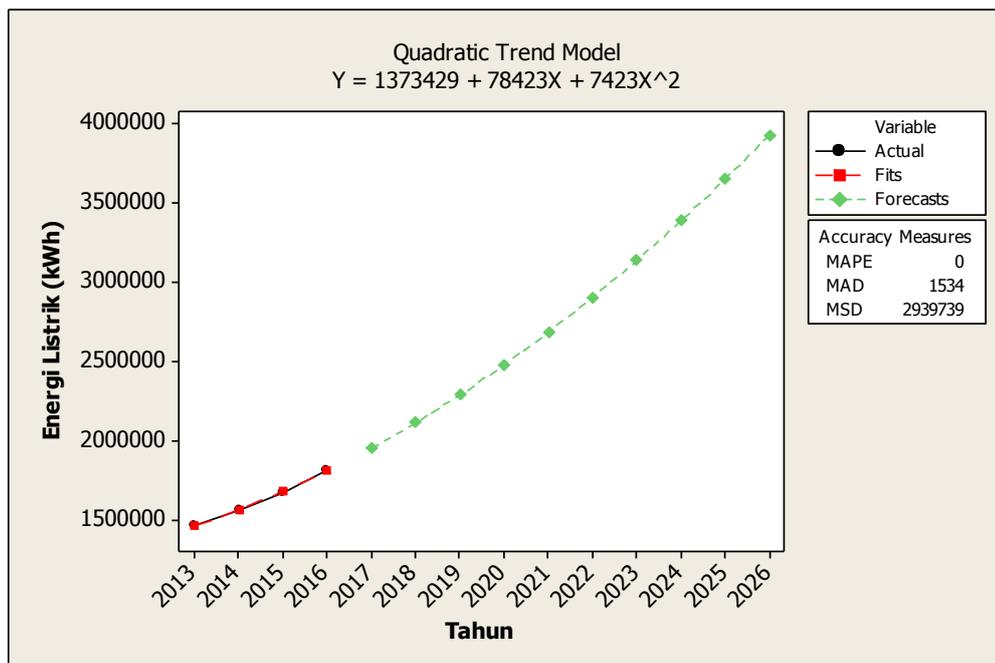
$$\begin{aligned}
 \text{Energi Listrik (kWh)} &= \text{Emisi Gas CH}_4 \times \text{Faktor Konversi} \\
 &= 130573.74 \text{ m}^3/\text{tahun} \times 11.17 \text{ kWh/m}^3 \\
 &= 1458508.70 \text{ kWh/tahun}
 \end{aligned}$$

Perhitungan konversi tersebut juga dilakukan untuk emisi gas metana hasil dari perhitungan dengan menggunakan template IPCC.

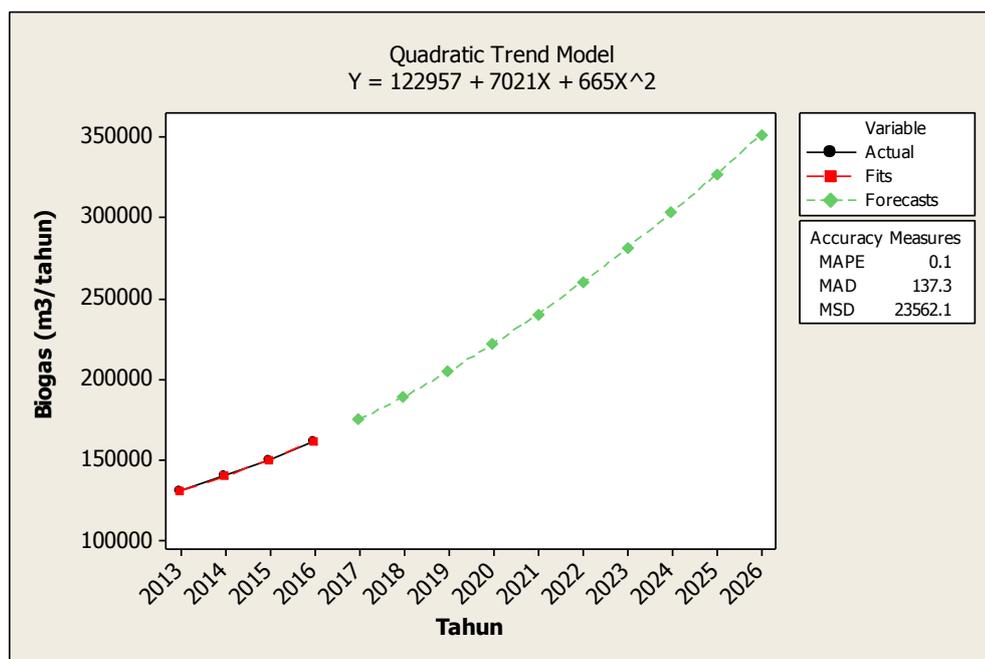
Dari tabel 4.15 diatas dapat dilihat potensi energi listrik semakin meningkat setiap tahunnya. Peningkatan potensi energi listrik tersebut tentu saja dipengaruhi oleh peningkatan emisi gas metana yang dihasilkan. Hasil serupa juga ditunjukkan oleh penelitian yang dilakukan Basri (2017), dimana disebutkan bahwa terjadi kenaikan setiap tahunnya terhadap potensi energi listrik yang dihasilkan dari limbah cair domestik dan non domestik di Surabaya Selatan. Persamaan regresi dan prediksi 10 tahun potensi energi listrik dapat dilihat pada Gambar 4.15

Dari Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan potensi energi listrik seiring dengan berjalannya waktu. Potensi energi listrik yang dihasilkan pada periode awal prediksi 2013 adalah 1458508.70 kWh/tahun dan meningkat setiap tahunnya. Dari hasil prediksi tersebut didapatkan persamaan regresinya yaitu $Y = 1373429 + 78423X + 7423X^2$. Berdasarkan persamaan tersebut ,Y adalah emisi gas

metana dan X adalah tahun prediksi, dimana untuk tahun 2017 maka nilai X yang disubstitusikan adalah 11 ($X = 11$), dan seterusnya sampai tahun 2026 yang disubstitusikan adalah 20 ($X = 20$). Hasil prediksi tersebut adalah hasil potensi energi listrik jika gas metan setiap tahunnya dimanfaatkan sebesar 100%. Akan tetapi pada kenyataannya gas metan tidak dapat dimanfaatkan 100% setiap tahunnya dikarenakan berbagai situasi dan kondisi di lapangan.



Gambar 4.15 Prediksi Energi Listrik Domestik



Gambar 4.16 Prediksi Biogas Domestik

Diasumsikan sebagian dari emisi gas metana yang dihasilkan merupakan pemanfaatan emisi gas metana untuk biogas di rumah susun dan apartemen. Dimana biogas tersebut nantinya akan digunakan untuk kebutuhan memasak penghuni apartemen dan umah susun. Prediksi biogas domestic dapat dilihat pada Gambar 4.16

Hal yang sama juga dilakukan terhadap hasil perhitungan IPCC. Akan tetapi pada hasil perhitungan IPCC, gas metana yang dihasilkan harus dikonversi terlebih dahulu menjadi m^3 /tahun. Karena, untuk menghitung potensi energi listrik gas metan harus dalam satuan m^3 /tahun, sehingga gas metan yang dihasilkan harus dibagi dengan massa jenis gas metan sebesar $0.656 \text{ kg}/m^3$ agar didapatkan emisi gas metan dengan satuan m^3 /tahun. Setelah didapatkan emisi gas metan dalam m^3 /tahun, hasilnya dikalikan dengan faktor konversi 11.17 kWh . karena $1m^3$ metana sama dengan 11.17 kWh energi listrik. Hasil konversi biogas menjadi energi listrik perhitungan IPCC dapat dilihat pada tabel 4.19.

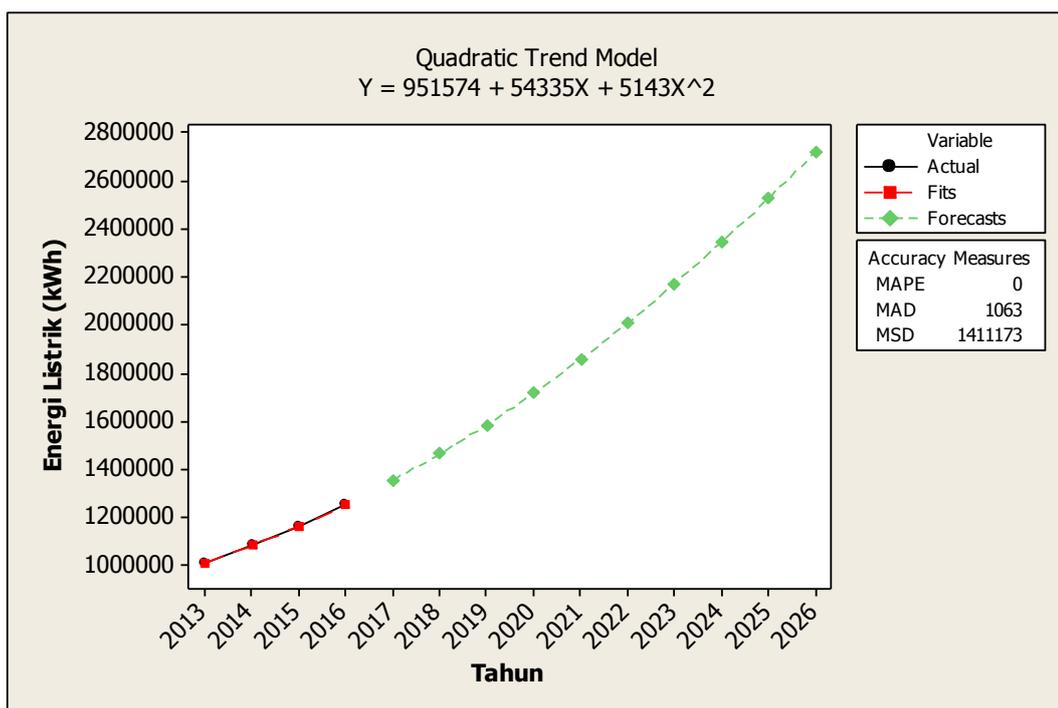
Tabel 4.19 Energi Listrik Domestik (IPCC)

Tahun	Emisi Gas Metana			Energi Listrik (kWh/tahun)
	(kg CH ₄ /tahun)	(ton/tahun)	(m ³ /Tahun)	
2013	59346.65	59.3	90467.46	1010521.50
2014	63568.63	63.6	96903.40	1082410.95
2015	68082.69	68.1	103784.59	1159273.89
2016	73512.84	73.5	112062.26	1251735.47

Dari tabel diatas sama halnya dengan tabel 4.18, pada tabel 4.19 juga terjadi peningkatan potensi energi listrik setiap tahunnya. Peningkatan potensi energi listrik tersebut tentu saja dipengaruhi oleh peningkatan emisi gas metana yang dihasilkan. Dimana emisi gas metana juga dipengaruhi oleh limbah yang dihasilkan. Jadi semakin naik limbah yang dihasilkan maka emisi gas metana juga semakin naik, sehingga potensi energi listrik juga ikut mengalami kenaikan. Persamaan regresi dan prediksi 10 tahun potensi energi listrik dapat dilihat pada Gambar 4.17

Dari Gambar 4.17 diatas dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan potensi energi listrik seiring dengan bertambahnya gas metana. Potensi energi listrik yang dihasilkan pada periode awal tahun 2013 adalah $1010521.50 \text{ kWh/tahun}$ dan

meningkat setiap tahunnya. Dari hasil prediksi tersebut didapatkan persamaan regresinya yaitu $Y = 951574 + 54335X + 5143X^2$. Berdasarkan persamaan tersebut, Y adalah emisi gas metana dan X adalah tahun prediksi, dimana untuk tahun 2017 maka nilai X yang disubstitusikan adalah 11 ($X = 11$), dan seterusnya sampai tahun 2026 yang disubstitusikan adalah 20 ($X = 20$). Hasil prediksi tersebut adalah hasil potensi energi listrik jika gas metan setiap tahunnya dimanfaatkan sebesar 100%.



Gambar 4.17 Prediksi Energi Listrik Domestik (IPCC)

Sedangkan untuk sektor non domestik, perhitungan prediksi pemanfaatan gas metana (CH_4) menjadi energi listrik juga diperlukan data emisi gas metan yang dihasilkan tiap tahunnya berdasarkan perhitungan massa gas metan dan IPCC. Berbeda dengan aktifitas domestik, perhitungan pemanfaatan gas metana (CH_4) menjadi energi listrik pada aktifitas non domestik hanya dilakukan pada unit aktifitas yang berpotensi saja. Dalam hal ini unit aktifitas yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai energi listrik adalah unit aktifitas pada mall, kampus, rumah sakit dan industri. Hal ini disebabkan karena 1 unit menghasilkan limbah yang cukup banyak untuk memproduksi gas metan dan bisa lebih mudah pemanfaatannya dilapangan. Dikarenakan mall, kampus, rumah sakit, dan industri adalah termasuk bangunan besar yang berpotensi dan menghasilkan emisi gas

metan yang besa yang cukup untuk menghasilkan energy listrik yang dapat mengoperasikan genset yang nantinya dapat berguna pada saat prose operasional bangunan tersebut.

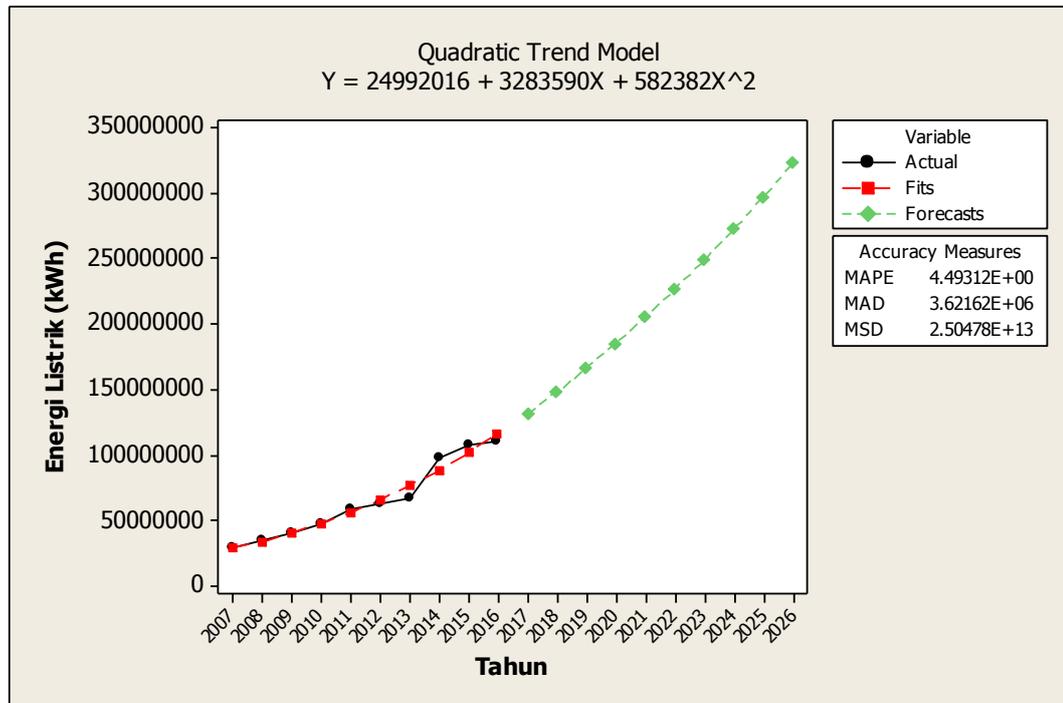
Gas metan yang dihasilkan kemudian dikonversi menjadi energi listrik dengan cara dikalikan 11,72 kWh. Karena 1m³ gas metan menghasilkan 11.72 kWh energi listrik (Bent,2007). Hasil konversi biogas menjadi energi listrik perhitungan populasi ekivalen dapat dilihat pada tabel 4.20. Dari tabel 4.20 dapat dilihat potensi energi listrik semakin meningkat setiap tahunnya. Peningkatan potensi energi listrik tersebut tentu saja dipengaruhi oleh peningkatan emisi gas metana yang dihasilkan. Persamaan regresi dan prediksi 10 tahun potensi energi listrik dapat dilihat pada Gambar 4.18. Konversi energi listrik pada aktifitas non domestik hanya dilakukan pada aktifitas yang berpotensi saja. Diantaranya adalah mall, rumah sakit, industri, dan kampus.

Tabel 4.20 Energi Listrik Non Domestik

No	Tahun	Emisi Gas Metana (CH ₄)			Energi Listrik (kWh)
		gr/tahun	kg/tahun	m ³ /tahun	
1	2007	1702351598.06	1702351.60	2595048.17	28986688.03
2	2008	2002014387.88	2002014.39	3051851.20	34089177.92
3	2009	2355238247.73	2355238.25	3590302.21	40103675.65
4	2010	2771631713.18	2771631.71	4225048.34	47193789.99
5	2011	3462236079.14	3462236.08	5277798.90	58953013.73
6	2012	3690436510.12	3690436.51	5625665.41	62838682.65
7	2013	3935611700.74	3935611.70	5999408.08	67013388.26
8	2014	5710194296.37	5710194.30	8704564.48	97229985.2
9	2015	6330755396.81	6330755.40	9650541.76	107796551.5
10	2016	6491281102.23	6491281.10	9895245.58	110529893.2

Dari Gambar 4.18 diatas dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan potensi energi listrik seiring dengan bertambahnya waktu. Potensi energi listrik yang dihasilkan pada periode awal prediksi 2007 adalah 28986688.03 kWh/tahun dan meningkat setiap tahunnya. Dari hasil prediksi tersebut didapatkan persamaan regresinya yaitu $Y = 24992016 + 3283590X + 582382X^2$. Berdasarkan persamaan tersebut ,Y adalah emisi gas metana dan X adalah tahun prediksi, dimana untuk tahun 2017 maka nilai X yang disubtitusikan adalah 11 (X = 11), dan seterusnya

sampai tahun 2026 yang disubstitusikan adalah 20 ($X = 20$). Hasil prediksi tersebut adalah hasil potensi energi listrik jika gas metan setiap tahunnya dimanfaatkan sebesar 100%.



Gambar 4.18 Prediksi Energi Listrik Non Domestik

Sedangkan konversi biogas menjadi energi listrik berdasarkan perhitungan IPCC tidak dapat diketahui. Hal tersebut dikarenakan perhitungan IPCC menggunakan populasi ekuivalen total keseluruhan limbah yang dihasilkan tiap tahunnya. Jadi tidak diketahui berapa besar emisi gas metan untuk setiap unit aktifitas non domestiknya. Selain itu perhitungan untuk limbah industri dilakukan dengan cara tersendiri dan lebih banyak lagi aspek yang akan dihitung dari tahap 1. Sedangkan pada penelitian ini untuk limbah industri tidak dihitung dengan cara seperti itu.

4.2.2. Perhitungan Jumlah Genset yang dibutuhkan untuk konversi gas CH₄ menjadi energi listrik

Perhitungan jumlah genset yang dibutuhkan untuk konversi gas CH₄ menjadi energi listrik juga dibagi menjadi dua sektor yaitu, sektor domestik dan non domestik. Dimana sektor domestik yang dimaksud adalah Perhitungan jumlah

genset yang dibutuhkan untuk konversi gas CH₄ menjadi energi listrik dari emisi gas metana yang berasal dari rumah susun dan apartemen. Sedangkan sektor non domestik yaitu Perhitungan jumlah genset yang dibutuhkan untuk konversi gas CH₄ menjadi energi listrik dari emisi gas metana yang berasal dari hotel, rumah sakit, rumah makan, industri, perkantoran, pertokoan, mall, dan kampus. Perhitungan jumlah genset yang dibutuhkan untuk konversi gas CH₄ menjadi energi listrik untuk sektor domestik memerlukan data energi listrik yang dihasilkan tiap tahunnya berdasarkan perhitungan massa CH₄ dan IPCC. Data tersebut kemudian dibagi dengan kapasitas 1 genset biogas menjadi energi listrik. Namun emisi gas metan yang akan dikonversi menjadi energi listrik hanya sebagiannya saja, sebagian lainnya adalah gas CH₄ yang dimanfaatkan untuk biogas. Hasil perhitungan jumlah genset domestik dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Kebutuhan Genset Domestik

Tahun	Emisi CH ₄ (m ³ /tahun)	Emisi Gas Metan Distribusi	Energi Listrik (kWh)	Kebutuhan Genset
2013	261147.48	130573.74	1458508.70	729.25
2014	279725.76	139862.88	1562268.38	781.13
2015	299589.33	149794.66	1673206.40	836.60
2016	323484.03	161742.02	1806658.32	903.33

Kebutuhan Genset

Tahun : 2013

Emisi CH₄ : 261147.48 m³/tahun

Emisi CH₄ Distribusi : (Emisi CH₄ : 2) = 130573.74m³/unit.tahun

Energi Listrik Genset : (Emisi CH₄ Distribusi x Faktor Konversi)

: (130573.74m³/unit.tahun x 11.17) = 1458508.70 kWh

Maka, kebutuhan genset untuk tahun 2013 dengan genset yang digunakan adalah genset biogas dengan kapasitas 2000 kWh dengan merek CAT dan dengan kode genset CG170-20 adalah sebagai berikut :

Jumlah Genset = Energi Listrik Genset : Kapasitas Genset

= 1458508.70 kWh : 2000 kWh

= 729.25 buah atau 729 buah

Perhitungan yang sama dilakukan untuk energi listrik yang dihasilkan dari konversi gas metana hasil perhitungan dengan menggunakan template IPCC. Kebutuhan genset yang dihasilkan menunjukkan jumlah yang besar, hal ini dikarenakan banyak aspek yang diperhitungkan saat menghitung emisi gas metana dengan menggunakan template IPCC. Sehingga kebutuhan genset untuk perhitungan IPCC dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel. 4.22 Hasil Perhitungan Kebutuhan Genset Domestik (IPCC)

Tahun	Emisi Gas Metana		Energi Listrik (kWh/tahun)	Kebutuhan Genset
	(kg CH ₄ /tahun)	(m ³ /Tahun)		
2013	59346.65	90467.46	1010521.50	505.26
2014	63568.63	96903.40	1082410.95	541.21
2015	68082.69	103784.59	1159273.89	579.64
2016	73512.84	112062.26	1251735.47	625.87

Dari hasil perhitungan dua pendekatan diatas tentunya terdapat kendala dilapangan seperti sudah terdapatnya genset biasa berbahan solar di apartemen dan pengelola yang tidak mau untuk mengeluarkan biaya lebih jika harus membeli genset baru yang berbahan bakar biogas. Untuk rumah susun memang tidak terdapat genset namun juga tidak ada keinginan untuk membeli genset yang bisa digunakan apabila lampu mati. Para penghuni rumah susun yang rata-rata dari kalangan menengah kebawah tidak mau mengeluarkan biaya lebih untuk patungan membeli genset yang padahal bisa mereka gunakan saat terjadi pemadaman listrik.

Sedangkan untuk sektor non domestik perhitungannya juga sama seperti sektor domestik. Perhitungan kebutuhan genset sektor non domestik dapat dilihat pada Tabel 4.23 dan Tabel 4.24 untuk perhitungan IPCC. Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.23 dan 4.24 kebutuhan genset menghasilkan nominal yang besar. Pada tahun 2007 untuk perhitungan berdasarkan massa gas metan per orang dihasilkan kebutuhan genset 14493 buah dan berdasarkan perhitungan IPCC 158708 buah. Hasil tersebut untuk kebutuhan genset aktifitas non domestik yang berpotensi untuk di konversi menjadi energi listrik di Surabaya Timur yaitu sebanyak 171 unit aktifitas yang terdiri dari kampus, rumah sakit, industri dan mall.

Tabel 4.23 Hasil Perhitungan Kebutuhan Genset Non Domestik

No	Tahun	Emisi Gas Metana (CH ₄)		Energi Listrik (kWh)	Kebutuhan Genset
		kg/tahun	m ³ /tahun		
1	2007	1702351.60	2595048.17	28986688.03	14493
2	2008	2002014.39	3051851.20	34089177.92	17045
3	2009	2355238.25	3590302.21	40103675.65	20052
4	2010	2771631.71	4225048.34	47193789.99	23597
5	2011	3462236.08	5277798.90	58953013.73	29477
6	2012	3690436.51	5625665.41	62838682.65	31419
7	2013	3935611.70	5999408.08	67013388.26	33507
8	2014	5710194.30	8704564.48	97229985.2	48615
9	2015	6330755.40	9650541.76	107796551.5	53898
10	2016	6491281.10	9895245.58	110529893.2	55265

Tabel 4.24 Hasil Perhitungan Kebutuhan Genset Non Domestik (IPCC)

Tahun	Emisi Gas Metan (Net)		Potensi Energi Listrik (kWh/Tahun)	Kebutuhan Genset
	(ton CH ₄ /tahun)	(m ³ /tahun)		
2007	17766.58	27083207.40	317415190.76	158708
2008	19832.45	30232390.50	354323616.67	177162
2009	22138.53	33747754.53	395523683.14	197762
2010	24712.75	37671878.31	441514413.84	220757
2011	27586.30	42052291.63	492852857.96	246426
2012	30793.99	46942050.96	550160837.30	275080
2013	34374.65	52400382.07	614132477.90	307066
2014	38499.74	58688623.11	687830662.90	343915
2015	43169.18	65806674.73	771254227.79	385627
2016	48322.01	73661597.62	863313924.10	431657

4.2.3 Strategi Penurunan Emisi CH₄

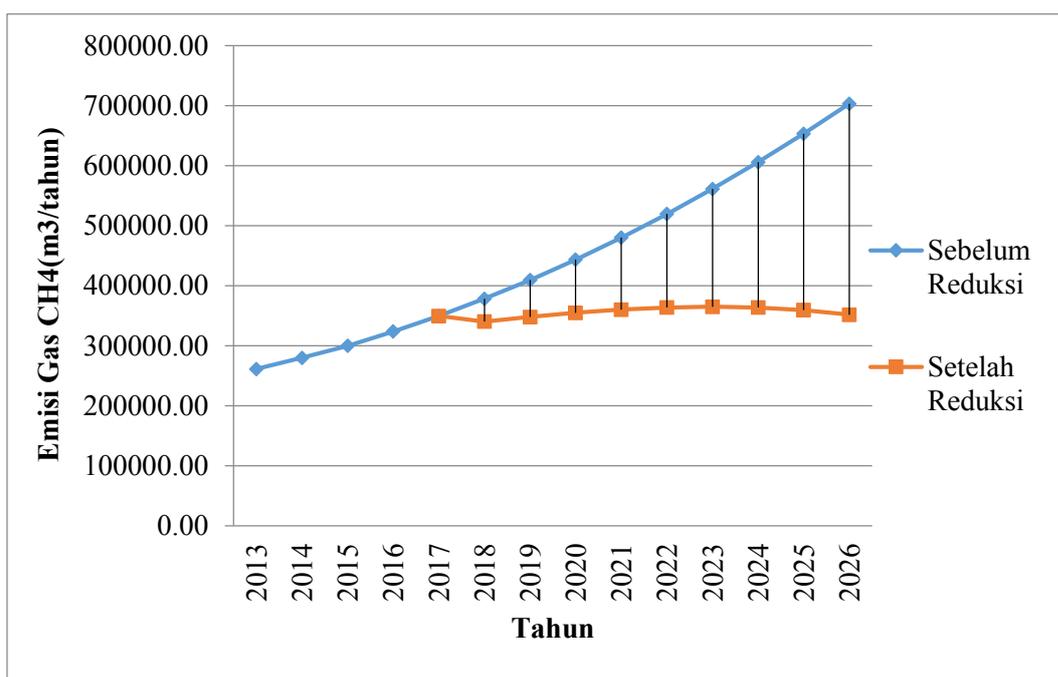
Pemanfaatan potensi emisi gas metana (CH₄) yang tereduksi merupakan hasil pemanfaatan emisi gas metan untuk energi terbarukan seperti biogas dan potensi energi listrik yang berasal dari dua pendekatan perhitungan. Pemanfaatan emisi CH₄ didasarkan pada hasil prediksi emisi gas metan yang dihasilkan selama 10 tahun kedepan sampai tahun 2026, yang dimulai pada tahun 2018 sebesar 10% dan meningkat sebesar 5% setiap tahunnya sampai pada tahun 2026. Reduksi gas CH₄

dengan pemanfaatan menjadi energi listrik berdasarkan perhitungan populasi dapat dilihat pada Tabel 4.25. Grafik perbandingan antara sebelum dilakukan reduksi gas CH₄ dengan pemanfaatan menjadi energi listrik dengan sesudah dimanfaatkannya gas CH₄ menjadi energi listrik berdasarkan perhitungan populasi dapat dilihat pada Gambar 4.17

Tabel 4.25 Reduksi Gas CH₄ Aktifitas Domestik

Tahun	Sebelum Reduksi	%	Pemanfaatan Emisi Gas CH ₄	Potensi Energi Listrik	Setelah Reduksi
2013	261147.48	-	-	-	
2014	279725.76	-	-	-	
2015	299589.33	-	-	-	
2016	323484.03	-	-	-	
2017	349350.00	-	-	-	349350.00
2018	378012.00	10%	37801.2	422239.40	340210.80
2019	409333.00	15%	61399.95	685837.44	347933.05
2020	443311.00	20%	88662.2	990356.77	354648.80
2021	479948.00	25%	119987	1340254.79	359961.00
2022	519242.00	30%	155772.6	1739979.94	363469.40
2023	561195.00	35%	196418.25	2193991.85	364776.75
2024	605807.00	40%	242322.8	2706745.68	363484.20
2025	653076.00	45%	293884.20	3282686.51	359191.80
2026	703004.00	50%	351502.00	3926277.34	351502.00

Dari Tabel 4.25 dapat dilihat pemanfaatan emisi gas CH₄ sebesar 10% atau sebanyak 37801.2 m³/tahun pada tahun 2018 yang dimanfaatkan menjadi potensi energi listrik sebesar 422239.40 kWh. Pemanfaatan gas metan setiap tahunnya mengalami peningkatan sebesar 5% sampai akhir tahun prediksi pada tahun 2026. Sedangkan pada gambar 4.18 dapat dilihat margin perbedaan emisi CH₄ sebelum dilakukan reduksi dengan pemanfaatan menjadi potensi energi listrik dengan sesudah dilakukannya pemanfaatan potensi energi listrik. Sedangkan Gambar 4.18 menunjukkan bahwa semakin tahun emisi CH₄ akan mengalami penurunan seiring dengan dimanfaatkannya menjadi energi terbarukan berupa energi listrik.



Gambar 4.18 Grafik Reduksi Emisi Gas CH₄ Aktifitas Domestik

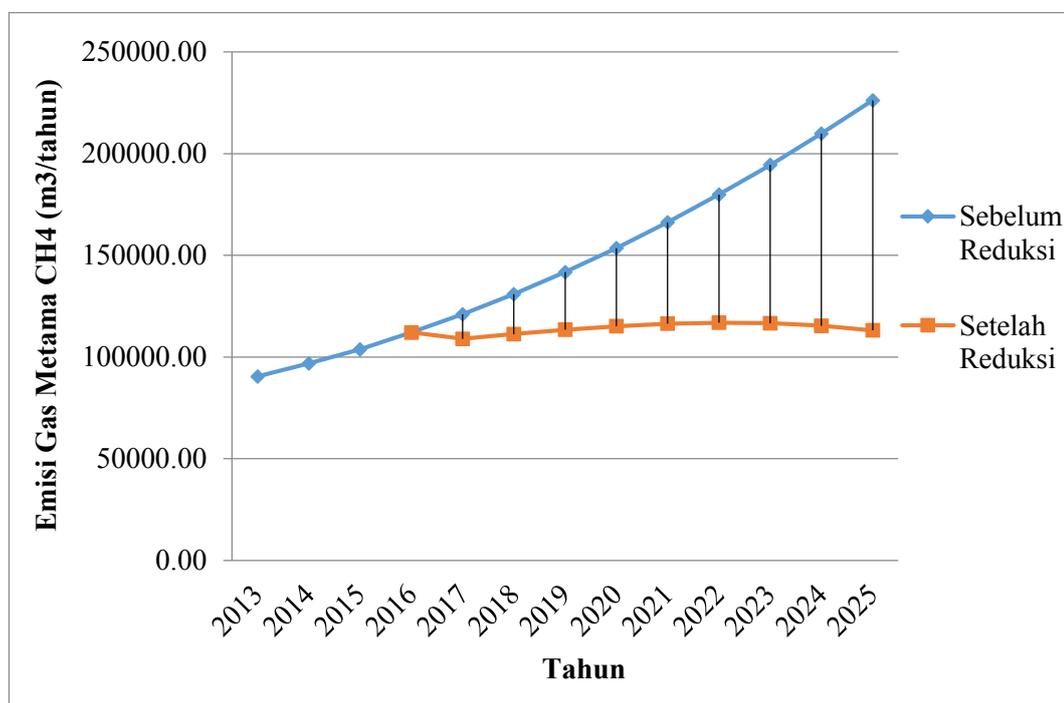
Reduksi gas CH₄ dengan pemanfaatan menjadi energi listrik berdasarkan perhitungan IPCC dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Reduksi Gas CH₄ Aktifitas Domestik (IPCC)

Tahun	Sebelum Reduksi	%	Pemanfaatan Emisi CH ₄	Potensi Energi Listrik	Setelah Reduksi
2013	90467.46				
2014	96903.40				
2015	103784.59				
2016	112062.26				112062.26
2017	121023.00	10%	12102.3	135182.69	108920.70
2018	130952.00	15%	19642.8	219410.08	111309.20
2019	141802.00	20%	28360.4	316785.67	113441.60
2020	153573.00	25%	38393.25	428852.60	115179.75
2021	166265.00	30%	49879.5	557154.02	116385.50
2022	179877.00	35%	62956.95	703229.13	116920.05
2023	194411.00	40%	77764.4	868628.35	116646.60
2024	209865.00	45%	94439.25	1054886.42	115425.75
2025	226240.00	50%	113120	1263550.40	113120.00
2026	243537.00	150%	365305.5	4080462.44	121768.50

Dari tabel 4.26 dapat dilihat pemanfaatan emisi gas CH₄ sebesar 10% atau sebanyak 19642.8 m³/tahun pada tahun 2018 yang dimanfaatkan menjadi potensi energi listrik sebesar 219410.08 kWh. Pemanfaatan gas metan setiap tahunnya mengalami peningkatan sebesar 5% sampai akhir tahun prediksi pada tahun 2026.

Grafik perbandingan antara sebelum dilakukan reduksi gas CH₄ dengan pemanfaatan menjadi energi listrik dengan sesudah dimanfaatkannya gas CH₄ menjadi energi listrik berdasarkan perhitungan IPCC dapat dilihat pada gambar 4.19



Gambar 4.19 Grafik Reduksi Emisi Gas CH₄ Aktifitas Domestik (IPCC)

Berdasarkan gambar 4.19 diatas dapat dilihat adanya margin perbedaan emisi CH₄ sebelum dilakukan reduksi dengan pemanfaatan menjadi potensi energi listrik dengan sesudah dilakukannya pemanfaatan potensi energi listrik. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin tahun emisi CH₄ akan mengalami penurunan seiring dengan dimanfaatkannya menjadi energi terbarukan berupa energi listrik.

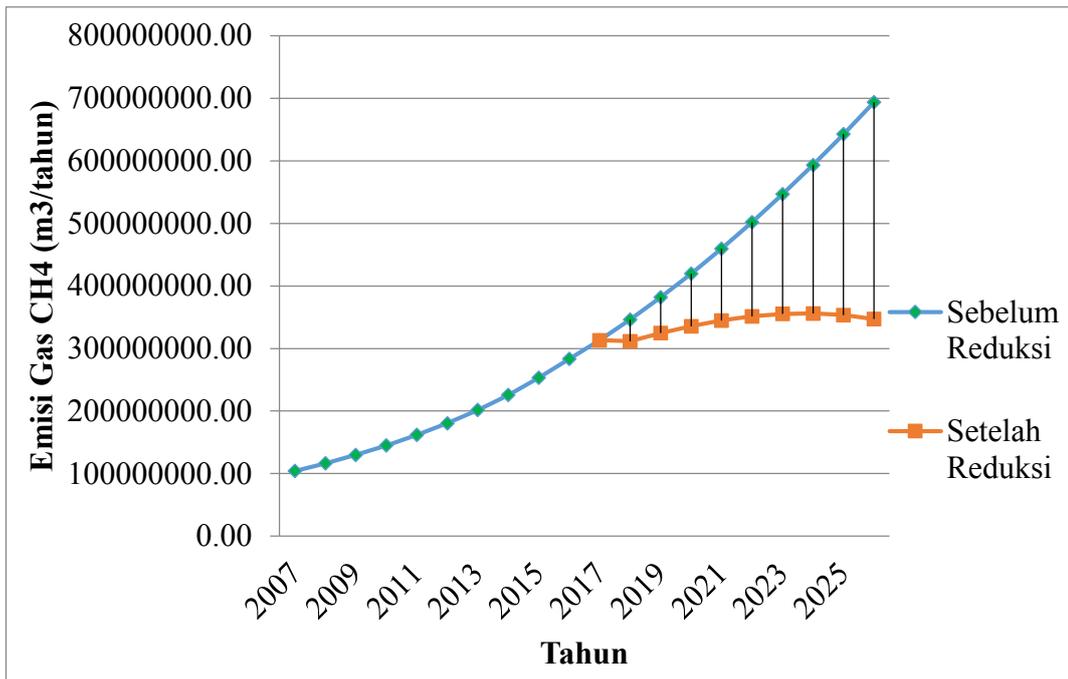
Untuk sektor non domestik reduksi gas CH₄ dengan pemanfaatan menjadi energi listrik berdasarkan perhitungan massa gas metana dapat dilihat pada Tabel 4.27. Dari Tabel 4.27 dapat dilihat pemanfaatan emisi gas CH₄ sebesar 10% atau sebanyak 12365.1 m³/tahun pada tahun 2018 yang dimanfaatkan menjadi potensi

energi listrik sebesar 138118.17 kWh. Pemanfaatan gas metan setiap tahunnya mengalami peningkatan sebesar 5% sampai akhir tahun prediksi pada tahun 2026 sebesar 108158.5 m³/tahun yang dimanfaatkan menjadi potensi energi listrik sebesar 1208130.45 kWh.

Tabel 4.27 Reduksi Gas CH₄ Menjadi Energi Listrik Aktifitas Non Domestik

Tahun	Sebelum Reduksi	%	Pemanfaatan Emisi Gas CH ₄	Potensi Listrik (kWh)	Setelah Reduksi
2007	104166182.32				
2008	116278425.00				
2009	129799055.90				
2010	144891839.67				
2011	161739583.21				
2012	180546349.86				
2013	201539931.05				
2014	225725473.52				
2015	253102595.10				
2016	283313837.00				
2017	313032916.00				313032916.00
2018	346281829.00	10%	34628182.9	386796802.99	311653646.10
2019	381801034.00	15%	57270155.1	639707632.47	324530878.90
2020	419590531.00	20%	83918106.2	937365246.25	335672424.80
2021	459650320.00	25%	114912580	1283573518.60	344737740.00
2022	501980402.00	30%	150594120.6	1682136327.10	351386281.40
2023	546580776.00	35%	191303271.6	2136857543.77	355277504.40
2024	593451442.00	40%	237380576.8	2651541042.86	356070865.20
2025	642592401.00	45%	289166580.5	3229990703.63	353425820.55
2026	694003652.00	50%	347001826	3876010396.42	347001826.00

Grafik perbandingan antara sebelum dilakukan reduksi gas CH₄ dengan pemanfaatan menjadi energi listrik dengan sesudah dimanfaatkannya gas CH₄ menjadi energi listrik berdasarkan perhitungan populasi ekivalen dapat dilihat pada Gambar 4.20



Gambar 4.20 Grafik Reduksi Emisi Gas CH₄ Aktifitas Non Domestik

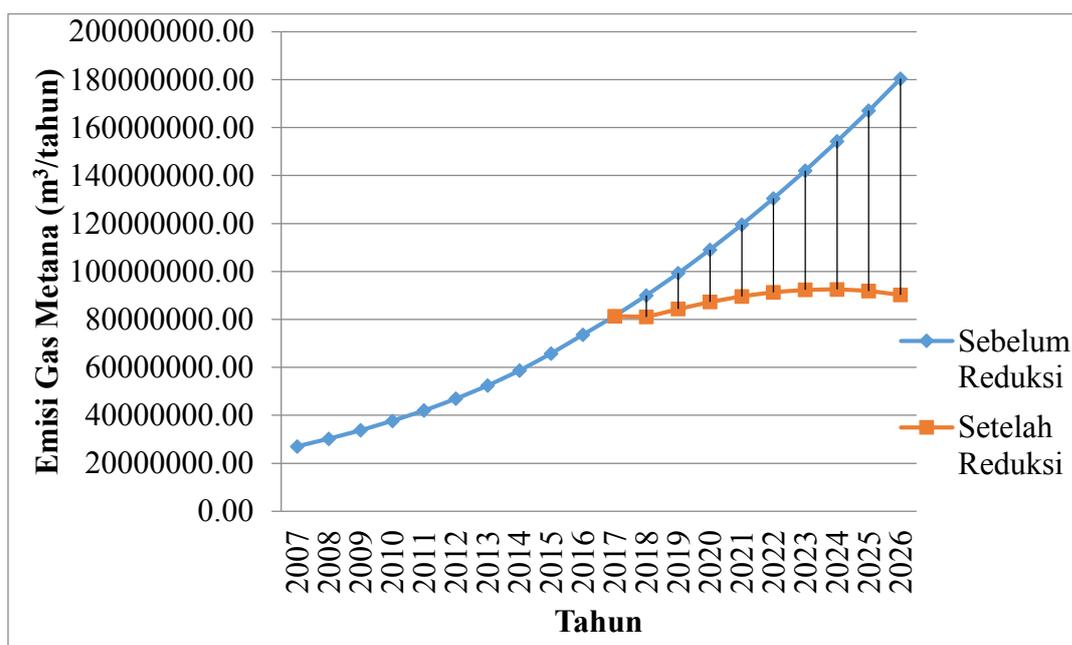
Berdasarkan Gambar 4.20 diatas dapat dilihat adanya margin perbedaan emisi CH₄ sebelum dilakukan reduksi dengan pemanfaatan menjadi potensi energi listrik dengan sesudah dilakukannya pemanfaatan potensi energi listrik. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin tahun emisi CH₄ akan mengalami penurunan seiring dengan dimanfaatkannya menjadi energi terbarukan berupa energi listrik. Dan untuk reduksi gas metana menjadi energi listrik berdasarkan perhitungan IPCC dapat dilihat pada Tabel 4.28 dan gambar grafik reduksi dapat dilihat pada Gambar 4.21

Tabel 4.28 Reduksi Gas CH₄ Menjadi Energi Listrik Aktifitas Non Domestik (IPCC)

Tahun	Sebelum Reduksi	%	Pemanfaatan Emisi Gas CH ₄	Potensi Listrik (kWh)	Setelah Reduksi
2007	27083207.40				
2008	30232390.50				
2009	33747754.53				
2010	37671878.31				
2011	42052291.63				
2012	46942050.96				
2013	52400382.07				
2014	58688623.11				
2015	65806674.73				

Lanjutan Tabel 4.28 Reduksi Gas CH₄ Menjadi Energi Listrik Aktifitas Non Domestik (IPCC)

Tahun	Sebelum Reduksi	%	Pemanfaatan Emisi Gas CH ₄	Potensi Listrik (kWh)	Setelah Reduksi
2016	73661597.62				
2017	81388558.00				81388558.00
2018	90033275.00	10%	9003327.5	100567168.18	81029947.50
2019	99268269.00	15%	14890240.35	166323984.71	84378028.65
2020	109093538.00	20%	21818707.6	243714963.89	87274830.40
2021	119509083.00	25%	29877270.75	333729114.28	89631812.25
2022	130514905.00	30%	39154471.5	437355446.66	91360433.50
2023	142111002.00	35%	49738850.7	555582962.32	92372151.30
2024	154297375.00	40%	61718950	689400671.50	92578425.00
2025	167074024.00	45%	75183310.8	839797581.64	91890713.20
2026	180440950.00	50%	90220475	1007762705.75	90220475.00



Gambar 4.21 Grafik Reduksi Emisi Gas CH₄ Aktifitas Non Domestik (IPCC)

Untuk mengoptimalkan pemanfaatan emisi gas metana menjadi energi listrik pada dua sektor diatas sesuai dengan target persentase prediksi. Dimana strategi tersebut diputuskan berdasarkan keadaan lapangan dan disesuaikan dengan target pemerintah yang dituangkan dalam RAD-GRK Kota Surabaya dan RAD-GRK Propinsi Jawa Timur. Strategi disajikan pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Strategi Pemanfaatan Emisi Gas Metana

No	Persentase Pemanfaatan	Strategi Pemanfaatan
1	10% 15% 20% 25%	1. Sosialisasi efek, dampak dan pemanfaatan gas metana oleh pemerintah. 2. Pembuatan peraturan yang mengikat tentang pemanfaatan emisi gas metana
2	30% 35%	1. Penambahan IPAL Komunal 2. Inspeksi petugas terkait terhadap IPAL yang ada di aktifitas domestik dan non domestik 3. Memaksimalkan kinerja IPAL Komunal, IPLT dan IPAL industri yang ada di Kota Surabaya
3	40% 45% 50%	1. Pengembangan teknologi pengelolaan limbah dan efisiensi produksi limbah dengan prinsip-prinsip daur ulang (Reuse, Reduce, Recycle). 2. Pengembangan sistem manajemen pengelolaan limbah industri, limbah domestik dan sektor lainnya. 3. Mengembangkan panduan mutu dan teknologi pengelolaan limbah. 4. Meningkatkan pengawasan dan monitoring pengelolaan limbah. 5. Melakukan uji kualitas air limbah dan uji udara emisi secara periodik dan berkelanjutan. 6. Melakukan pemanfaatan emisi gas metana menjadi energi terbarukan, yaitu energi listrik dan biogas. Secara menyeluruh seperti yang telah dilakukan oleh pemerintah kabupaten pasuruan di Desa Balunganyar, Lekok Pasuruan. Dimana pada desa tersebut memanfaatkan kotoran sapi sebagai biogas untuk memenuhi kebutuhan memasak sehari-hari

Agar dapat sesuai dengan RAD GRK Kota Surabaya, RAD GRK Provinsi Jawa Timur dan RAN GRK, maka perlu juga dilakukan reduksi emisi gas metana untuk rumah-rumah penduduk di Surabaya Timur dan sektor non domestik lainnya.

4.2.4 Kajian Aspek Teknis

Kajian aspek teknis pada penelitian ini didasarkan dari strategi penurunan emisi gas metana yang dikaji dari segi teknis pengaplikasiannya di lapangan. Adapun strategi yang dapat dikaji segi teknisnya adalah penambahan IPAL komunal, dan penerapan teknologi bio-digester tiap rumah atau bangunan.

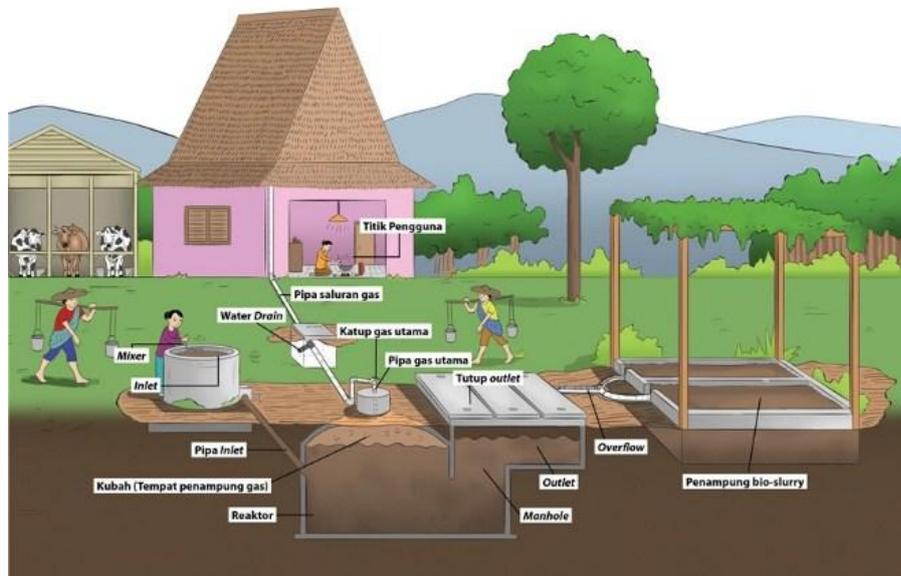
Digester Biogas

Digester biogas atau yang bisa disebut sebagai program biogas rumah merupakan teknologi terbaru yang memanfaatkan tinja atau kotoran manusia maupun hewan yang akan diubah menjadi biogas. Dimana biogas yang dihasilkan bisa digunakan untuk keperluan memasak dan sebagai energi listrik. Salah satu teknologi digester biogas adalah reactor kubah beton. Dimana reaktor ini merupakan adaptasi dari sistem yang telah digunakan di negara lain seperti Banglades, Kamboja, Laos, Pakistan, Nepal dan Vietnam. Reaktor kubah beton ini terbuat dari batu-bata dan beton yang tertutup di bawah tanah. Sistem ini terbukti aman bagi lingkungan dan berfungsi sebagai sumber energi yang bersih.

Di Nepal, teknologi ini digunakan oleh lebih dari 200 ribu rumah tangga selama lebih dari 15 tahun, dengan 95% reaktor masih berfungsi. Bangunan kubah beton biogas ini dapat bertahan minimal 15 tahun dengan penggunaan dan perawatan benar. Perawatannya mudah, hanya membutuhkan pemeriksaan sesekali dan – jika butuh – penggantian pipa dan perlengkapan. Untuk mengoperasikan satu unit, dibutuhkan setidaknya dua sapi atau tujuh babi (atau 170 ayam) untuk memproduksi bahan baku (kotoran) yang cukup agar reaktor dapat memproduksi gas yang dapat mencukupi kebutuhan dasar memasak dan penerangan lampu rumah tangga.

Namun perlu diketahui bahwa di Surabaya Timur sangat sulit untuk mendapatkan kotoran sapi sebagai bahan baku biogas. Yang dapat dilakukan adalah menggunakan kotoran manusia. Namun kenyataannya kotoran manusia membutuhkan waktu yang lebih lama dalam menghasilkan biogas dibandingkan dengan kotoran hewan (sapi). Hal tersebut dikarenakan kandungan organik yang terdapat pada kotoran sapi lebih besar dari pada yang terdapat pada kotoran manusia. Sehingga jika menggunakan kotoran manusia diperlukan kajian khusus untuk menemukan teknologi yang efisien sehingga dapat menghasilkan biogas yang

lebih cepat. Atau dengan menggunakan propeller didalam bio-digester, sehingga akan mempercepat pembentukan gas metana.



Gambar 4.23 Teknologi Biogas Rumah

Teknologi ini telah diterapkan di beberapa kabupaten di Jawa Timur yang merupakan salah satu program CSR dari perusahaan energi milik negara. Seperti yang terdapat pada Desa Mandiri Energi Kabupaten Pasuruan, yaitu Desa Balunganyar, Lekom, Pasuruan. Di desa tersebut telah memanfaatkan kotoran ternak sapi sebagai bahan utama untuk menghasilkan biogas. Dimana untuk 1 digester bisa mensuplai biogas ke 3-4 rumah tergantung dari berapa banyak kotoran sapi yang dimasukkan. Sehingga warga di desa tersebut sudah memanfaatkan biogas untuk digunakan memasak.

4.3. Aspek Ekonomi

Aspek ekonomi dalam penelitian ini adalah dengan menghitung nilai ekonomis dari pemanfaatan gas metana menjadi energi listrik. Dimana perhitungan tersebut dilakukan dengan cara mengalikan gas metana yang dimanfaatkan dengan tarif dasar listrik untuk rumah 2200 kV sebesar Rp 1352. Diasumsikan selama sepuluh tahun kedepan tarif dasar listrik yang bersubsidi akan dicabut oleh pemerintah, sehingga digunakan tarif dasar listrik yang tidak bersubsidi. Nilai ekonomis domestik dapat dilihat pada Tabel 4.30

Tabel 4.30 Nilai Ekonomis Domestik

Tahun	Pemanfaatan Emisi Gas CH₄	Potensi Energi Listrik	Nilai Ekonomis
2018	37801.2	422239.40	Rp51,107,222.40
2019	61399.95	685837.44	Rp83,012,732.40
2020	88662.2	990356.77	Rp119,871,294.40
2021	119987	1340254.79	Rp162,222,424.00
2022	155772.6	1739979.94	Rp210,604,555.20
2023	196418.25	2193991.85	Rp265,557,474.00
2024	242322.8	2706745.68	Rp327,620,425.60
2025	293884.20	3282686.51	Rp397,331,438.40
2026	351502.00	3926277.34	Rp475,230,704.00

Dari Tabel 4.30 dapat diketahui bahwa setidaknya pada tahun 2018 dengan reduksi 10% dengan memanfaatkan emisi gas metana menjadi energi listrik dapat melakukan penghematan biaya pembayaran listrik kurang lebih Rp51,107,222.40 dan akan semakin meningkat setiap tahunnya dengan ditunjang peniingkatan pemanfaatan emisi gas metana. Nilai ekonomis dari perhitungan IPCC dapat dilihat pada Tabel 4.31

Tabel 4.31 Nilai Ekonomis Domestik (IPCC)

Tahun	Pemanfaatan Emisi CH₄	Potensi Energi Listrik	Nilai Ekonomis
2018	19642.8	219410.08	Rp26,557,065.60
2019	28360.4	316785.67	Rp38,343,260.80
2020	38393.25	428852.60	Rp51,907,674.00
2021	49879.5	557154.02	Rp67,437,084.00
2022	62956.95	703229.13	Rp85,117,796.40
2023	77764.4	868628.35	Rp105,137,468.80
2024	94439.25	1054886.42	Rp127,681,866.00
2025	113120	1263550.40	Rp152,938,240.00
2026	365305.5	4080462.44	Rp493,893,036.00

Dari Tabel 4.31 dapat diketahui bahwa setidaknya pada tahun 2018 dengan reduksi 10% dengan memanfaatkan emisi gas metana menjadi energi listrik dapat melakukan penghematan biaya pembayaran listrik kurang lebih Rp26,557,065.60. dan akan semakin meningkat setiap tahunnya dengan ditunjang peniingkatan pemanfaatan emisi gas metana.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Aspek Lingkungan :

- 1) Emisi gas metana yang dihasilkan sektor domestik pada tahun 2013 sebesar 171.31 ton/tahun dan meningkat setiap tahunnya. Sedangkan emisi gas metana domestik dari perhitungan IPCC pada tahun 2013 sebesar 59.3 ton/tahun, emisi gas metan sektor non domestik tahun 2013 sebesar 68333.02 ton/tahun dan emisi gas metan sektor non domestik perhitungan IPCC sebesar 17766.58 ton/tahun.
- 2) Kenaikan populasi mengakibatkan naiknya emisi gas metana, sehingga akan menimbulkan dampak yang lebih besar pula pada lingkungan. Karena gas metana merupakan salah satu gas rumah kaca. Sehingga diperlukan teknologi pemanfaatan gas metana agar dapat mengurangi emisi gas metana.

2. Aspek Teknis :

- 1) Energi listrik yang dihasilkan dari sektor domestik pada tahun 2013 sebesar 1458508.7 kWh, energi listrik domestik perhitungan IPCC pada tahun 2013 sebesar 1010521.5 kWh dan sektor domestik pada tahun 2007 sebesar 28986688.03 kWh. Energi listrik meningkat setiap tahunnya sejalan dengan peningkatan emisi gas metana.
- 2) Jumlah genset yang dibutuhkan sektor domestik pada tahun 2013 sebanyak 729.25 genset, sektor domestik perhitungan IPCC sebanyak 505.26, sektor non domestik sebanyak 14493 dan sektor non domestik dengan perhitungan IPCC sebanyak 158708 untuk 171 unit aktifitas non domestik.

3. Aspek Ekonomis :

- 1) Nilai ekonomis pemanfaatan metana menjadi energy listrik pada sektor domestik tahun 2018 dapat melakukan penghematan biaya listrik sebesar

Rp51,107,222.40 dan berdasarkan perhitungan IPCC sebesar Rp26,557,065.60

5.2 Saran

Dari hasil dan kesimpulan yang telah dijelaskan, maka saran untuk peneliti selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan untuk menghitung dan menganalisis emisi gas rumah kaca selain gas metana.
2. Perlu dihitung komposisi biogas yang dihasilkan limbah domestik dan non domestik, agar dapat diketahui secara pasti hasil pemanfaatan biogas sebagai energi terbarukan.
3. Perhitungan IPCC untuk aktifitas pengoperasian tangki septik non domestik, diperhatikan aspek lainnya. Seperti untuk industri harus diketahui aspek dari limbah yang dihasil untuk tiap industri tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. (2011). Peraturan Presiden RI No 61/2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca. Sekretariat Kabinet RI. Jakarta.
- _____. (2012). Peraturan Gubernur Jawa Timur No 67/2012 tentang Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Provinsi Jawa Timur.
- Al Saedi,T., Rutz,D., Prassl,H., Kottnes,M., Finsterwalder,T., Volk,S dan Jansen,R., 2008. Biogas Handbook. Esbejerg : University of Southern, Denmark
- Ataei, A., Nojedehi, P., Heidari, M., Nadaei, M., Kurdestani, E. (2016). Environment Assessment of Energy Production from Lanfill Gas Plants by Using Long-range Energy Alternative Planing (LEAP) and IPCC Methane Estimation Methods : A Case Study of Tehran. *Sustainable Energy Technolgies and Assessments* (16). 33-42.
- Badan Pusat Statistik Kota Surabaya. (2016). *Publikasi*. Diakses Maret 27, 2017, from Badan Pusat Statistik Kota Surabaya: <https://surabayakota.bps.go.id/>
- Basri, A.D. (2017). *Prediksi Emisi Gas Karbondioksida dan Metana serta Petensi Energi Listrik dari Aktifitas Domestik dan Non Domestik di Surabaya Selatan*. Tesis di Program Magister., Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.
- Bent, S. (2007). Renewable Energy Conversation, Transmission and Storage, *International Journal Global Energy Issues* 13(3). 196-276.
- Cunha, C.S., Lopes, N.L., Veloso, C.M., Jacovine, L.A.G., Tomich, T.R., Pereira, L.G.R., Marcondes, M.I. (2016). Greenhouse Gases Inventory and Carbon Balance of Two Dairy Systems Obtained From Two Methane Estimation Methods, *Science of The Total Environment* 571. 744-754
- Damayanti, D. P. (2013, Januari). Global Warming dalam Perspektif Environmental Management Accounting. *Jurnal ilmiah ESAI*, 7(1).
- DCKTR Online Pemerintah Kota Surabaya. (2013). *Peta Peruntukan*. Diakses Maret 27, 2017, from DCKTR Online Pemerintah Kota Surabaya: <http://dcktr.surabaya.go.id/petaperuntukan.php>

- Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil Kota Surabaya. (2017). *Sistem Informasi Geografis Kependudukan Surabaya*. Diakses Maret 24, 2017, from Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil: <http://dispendukcapil.surabaya.go.id/>
- Dinas Komunikasi dan Informatika Kota Surabaya. (2015, Desember 10). *Profil Kota Surabaya Tahun 2015*. Diakses Maret 27, 2017, from Dinas Komunikasi dan Informatika Kota Surabaya: <https://dinkominfo.surabaya.go.id/dki.php?hal=30>
- Direktorat Jendral Cipta Karya. (2012). *Materi Bidang Air Limbah*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum.
- El Haq, P, S. (2009). *Potensi Lumpur Tinja Manusia Sebagai Biogas*, Tugas Akhir, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Surabaya.
- Houdkova, L., J, Boran., J, Pecek dan P, Sumpela. (2008). Biogas-A Renewable Source of Energy, *Journal of Thermal Science* 12 (4). 27 -33.
- IPCC. (1990). *Climate Change, The IPCC Scientific Assessment*. World Meteorological Organization / United Nations Environment Programme Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kamaruddin, S.K., Zakaria, Z. (2016). *Direct Conversion Technologies of Methane to Methanol*. (65). 250-261.
- Kementrian Lingkungan Hidup. (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional* (2 ed., Vol. 4). Jakarta, Jakarta, Indonesia.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. (2009). *Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Angka*, Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Mahmudsyah, S., Saputri, Y.F., Yuwono, T. (2014). Pemanfaatan Kotoran Sapi untuk Bahan Bakar PLT Biogas 80 kWh di Desa Babadan Kecamatan Ngajum Kabupaten Malang. *Jurnal Teknik POMITS* 1 (1). 1-6. Surabaya.
- Mara, D, D. (2003). *Domestic Wastewater Treatment In Developing Countries*, Earthscan. London. pp 293.
- Notoatmodjo, S. (2007). *Promosi Kesehatan*, Rineka Cipta. Jakarta.
- Nugroho, R, D dan Latiefah, S. (2014). *Konversi Energi Biogas Menjadi Energi Listrik sebagai Alternatif Energi Terbarukan dan Ramah Lingkungan di Desa Pangpajung Madura*, Studi Ilmiah. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Numberi. (2009). *Perubahan Iklim : Implikasinya Terhadap Kehidupan di Laut, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*, Fortuna. Jakarta.

- Panwar, N., Kaushik, S., & Kothari, S. (2011). Role of Renewable energy Source in Environmental Protection : A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(15), 1513-1524.
- Polprasert. (2007). *Organic Water Recycling*. Second Edition. Environmental Engineering Division Asian Institute of Technology Bangkok, Thailand, 4(4).145-215.
- Rismawati. (2017). *Strategi Mitigasi PENurunan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Di Kota Jayapura*, Tesis, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- US-EPA. (2010). *Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Sources*. United States Environmental Protection Agency, Washington DC, USA, EPA 430-R-10-001.
- Wati, D.A.E. (2011). *Studi Pola Penggunaan Tangki Septik dan Emisi Karbondioksida (CO₂) dan Metana (CH₄) dari Tangki Septik di Surabaya Bagian Selatan*. Tugas Akhir di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya.
- Wahyono, T. (2008). *Upaya Pemberdayaan Masyarakat Dalam Pelestarian Hutan Sebagai Pencegah Pemanasan Global*, Universitas Indonesia. Jakarta.
- Waskito, D. (2011). *Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi di Kawasan Usaha Peternakan Sapi*, Tesis. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Yuliastuti, I. (2007). *Perencanaan Awal Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Tanah Merah Papua*, Tugas Akhir, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERHITUNGAN EMISI GAS METANA DOMESTIK (IPCC)

Tahap 1

Sector	<i>Waste</i>			
Category	<i>Domestic Wastewater Treatment and Discharge</i>			
Category Code	<i>4D1</i>			
Sheet	<i>1 of 3 Estimation of Organically Degradable Material iin Domestic Wastewater</i>			
STEP 1				
	A	B	C	D
Year	Population Domestic	Degradable Organic Component	Corection factor for industrial BOD discharge in sewers	Organically degradable material in wastewater
	(P)	(BOD)	(I)	(TOW)
	People	(kg BOD/cap.yr)		(kg BOD/yr)
				D = A x B x C
2013	22350	14.6	1	326310.00
2014	23940	14.6	1	349524.00
2015	25640	14.6	1	374344.00
2016	27685	14.6	1	404201.00
	Total			1,454,379
<i>Note: g BOD/cap.day x 0.001 x 365 = kg BOD/cap.yr</i>				
<i>Correction factor for industrial NOD discharge into sewers, (for collected the default is 1.25, for uncollected the default is 1.00)</i>				

Tahap 2

<i>Sector</i>	<i>Waste</i>		
<i>Kategori</i>	<i>Domestic Wastewater Treatment and Discharge</i>		
<i>Category Code</i>	<i>4D1</i>		
<i>Sheet</i>	<i>1 of 3 Estimation of CH₄ emission factor for Domestic Wastewater</i>		
STEP 2			
<i>Type of treatment or discharge</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
	<i>Maximum methane producing capacity</i>	<i>Methane correction factor for each treatment system</i>	<i>Emission factor</i>
	<i>(B₀)</i> <i>(kg CH₄ /kgBOD)</i>	<i>(MCF_i)</i>	<i>(EF_i)</i> <i>(kg CH₄ /kg</i> <i>C = A x B</i>
Untreated System			
<i>Sea, river and lake discharge</i>	0.6	0.1	0.06
<i>Saluran (sewer) yang stagnan</i>	0.6	0.5	0.3
<i>Sewer yang mengalir (saluran terbuka atau tertutup)</i>	0.6	0	0
Sistem terolah			
<i>IFAL aerob terpusat</i>	0.6	0	0
<i>IFAL aerob terpusat (tidak dikelola baik)</i>	0.6	0.3	0.18
<i>Anaerobik digester untuk pengolahan lumpur</i>	0.6	0.8	0.48
<i>Laguna (lagoon) anaerob dangkal</i>	0.6	0.8	0.48
<i>Laguna (lagoon) anaerob dalam</i>	0.6	0.2	0.12
<i>Sistem septik (tangki septik)</i>	0.6	0.5	0.3
<i>Latrine/subluk (iklim kering, muka air tanah lebih rendah dari latrine, keluarga kecil 3-5 orang)</i>	0.6	0.1	0.06
<i>Latrine/subluk (iklim kering, muka air tanah lebih rendah dari latrine, komunal)</i>	0.6	0.5	0.3
<i>Latrine/subluk (iklim basah/menggunakan air bilasan, muka air tanah lebih tinggi dari latrine)</i>	0.6	0.7	0.42
<i>Latrine/subluk (pemanfaatan sedimen untuk pupuk secara reguler)</i>	0.6	0.1	0.06

Tahap 3

TAHUN 2013									
Sektor		Limbah							
Kategori		IPAL domestik							
Kode Kategori		4D1							
Lembar		3 dari 3 Estimasi emisi CH ₄ dari limbah cair domestik							
STEP 3									
Grup income	Jenis pengolahan	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraksi grup income	Tingkat penggunaan	Faktor emisi	Materi organik terdegradasi di limbah cair	Lumpur yang diambil (sludge removed)	Gas metana yang direkoveri dan dibakar	Emisi gas metana (Net)	Emisi gas metana (Net)
		(U _i) (fraksi)	(T _{ij}) (fraksi)	(EF _j) (kg CH ₄ /kg BOD)	(TOW) (kg BOD/tahun)	(S) (kg BOD/tahun)	(R) (kg CH ₄ /tahun)	(CH ₄) (kg CH ₄ /yr)	(CH ₄) (Gg CH ₄ /yr)
			Lembar 2 dari 3	Lembar 1 dari 3				G = [(A × B × C) × (D - E)] - F	
Pedesaan	Tangki septik	0.12	0.00	0.30	326,310			-	-
	IPAL Komunal	0.12	0.00	0.18	326,310			-	-
	River	0.12	0.00	0.06	326,310			-	-
	Stagnant Sewer	0.12	0.00	0.30	326,310			-	-
	None	0.12	0.00	0.00	326,310			-	-
Perkotaan pendapatan tinggi	Tangki septik	0.5	0.00	0.30	326,310			-	-
	IPAL Komunal	0.5	0.88	0.18	326,310			25,844	0.0
	River	0.5	0.10	0.06	326,310			979	0.0
	Stagnant Sewer	0.5	0.02	0.30	326,310			979	0.0
	None	0.5	0.00	0.00	326,310			-	-
Perkotaan pendapatan rendah	Tangki septik	0.38	0.60	0.30	326,310			22,320	0.0
	IPAL Komunal	0.38	0.30	0.18	326,310			6,696	0.0
	River	0.38	0.04	0.06	326,310			298	0.0
	Stagnant Sewer	0.38	0.06	0.30	326,310			2,232	0.0
	None	0.38	0.00	0.00	326,310			-	-
TOTAL								59,347	0.1

Nb : Perhitungan tahap 3 dihitung setiap tahunnya

PERHITUNGAN EMISI GAS METANA NON DOMESTIK (IPCC)

Tahap 1

Sektor	Limbah Non domestik			
Kategori	IPAL domestik			
Kode Kategori	4D1			
Lembar	1 dari 3 Estimasi materi yang terdegradasi secara organik di IPAL domestik			
STEP 1				
Tahun	A	B	C	D
	Populasi Ekuivalen	Komponen organik terdegradasi	Faktor koreksi untuk BOD industri yang masuk ke IPAL domestik, jika masuk = 1,25 jika tidak =1.	Materi organik terdegradasi di dalam IPAL
	(P)	(BOD)	(I)	(TOW)
	orang	(kg BOD/orang.tahun)		(kg BOD/tahun)
				$D = A \times B \times C$
2007	8914940.07	14.6	1.25	162,697,656
2008	9951552.09	14.6	1.25	181,615,826
2009	11108699.37	14.6	1.25	202,733,764
2010	12400397.50	14.6	1.25	226,307,254
2011	13842291.79	14.6	1.25	252,621,825
2012	15451846.77	14.6	1.25	281,996,204
2013	17248557.70	14.6	1.25	314,786,178
2014	19318448.88	14.6	1.25	352,561,692
2015	21661487.59	14.6	1.25	395,322,149
2016	24247081.16	14.6	1.25	442,509,231
Total				2,468,838,296

Catatan: $g \text{ BOD/orang.hari} \times 0.001 \times 365 = \text{kg BOD/orang.tahun}$
 Komponen organik terdegradasi = 40 g/orang.hari

Tahap 2

Sektor	Limbah		
Kategori	IPAL domestik		
Kode Kategori	4D1		
Lembar	2 dari 3 Estimasi faktor emisi CH ₄ untuk IPAL domestik		
STEP 2			
Jenis pengolahan	A	B	C
	Kapasitas produksi CH ₄ maksimum	Faktor koreksi gas metana untuk tiap sistem pengolahan	Faktor emisi
	(B ₀) (kg CH ₄ /kgBOD)	(MCF _j)	(EF _j) (kg CH ₄ /kg BOD) C = A x B
Sistem tidak terolah			
Dibuang ke laut, sungai dan danau	0.6	0.1	0.06
Saluran (sewer) yang stagnan	0.6	0.5	0.3
Sewer yang mengalir (saluran terbuka atau tertutup)	0.6	0	0
Sistem terolah			
IPAL aerob terpusat	0.6	0	0
IPAL aerob terpusat (tidak dikelola baik)	0.6	0.3	0.18
Anaerobik digester untuk pengolahan lumpur	0.6	0.8	0.48
Laguna (lagoon) anaerob dangkal	0.6	0.8	0.48
Laguna (lagoon) anaerob dalam	0.6	0.2	0.12
Sistem septik (tangki septik)	0.6	0.5	0.3
Latrine/cubluk (iklim kering, muka air tanah lebih rendah dari latrine, keluarga kecil 3-5 orang)	0.6	0.1	0.06
Latrine/cubluk (iklim kering, muka air tanah lebih rendah dari latrine, komunal)	0.6	0.5	0.3
Latrine/cubluk (iklim basah/menggunakan air bilasan, muka air tanah lebih tinggi dari latrine)	0.6	0.7	0.42
Latrine/cubluk (pemanfaatan sedimen untuk pupuk secara reguler)	0.6	0.1	0.06

Tahap 3

2007									
Sektor		Limbah							
Kategori		IPAL domestik							
Kode Kategori		4D1							
Lembar		3 dari 3 Estimasi emisi CH ₄ dari limbah cair domestik							
STEP 3									
Grup income	Jenis pengolahan	A	B	C	D	E	F	G	H
		Fraksi grup income	Tingkat penggunaan	Faktor emisi	Materi organik terdegradasi di limbah cair	Lumpur yang diambil (sludge removed)	Gas metana yang direkoveri dan dibakar	Emisi gas metana (Net)	Emisi gas metana (Net)
		(U _i) (fraksi)	(T _{ij}) (fraksi)	(EF _j) (kg CH ₄ /kg BOD)	(TOW) (kg BOD/tahun)	(S) (kg BOD/tahun)	(R) (kg CH ₄ /tahun)	(CH ₄) (kg CH ₄ /yr)	(CH ₄) (Gg CH ₄ /yr)
				Lembar 2 dari 3	Lembar 1 dari 3			G = [(A x B x C) x (D - E)] - F	
Pedesaan	Tangki septik	0.12	0.00	0.30	162,697,656			-	-
	IPAL tidak dikelola	0.12	0.00	0.18	162,697,656			-	-
	Badan Air	0.12	0.00	0.06	162,697,656			-	-
	Saluran/Sewer	0.12	0.00	0.00	162,697,656			-	-
	IPAL Terpusat	0.12	0.00	0.00	162,697,656			-	-
Perkotaan pendapatan tinggi	Tangki septik	0.5	0.58	0.30	162,697,656			14,154,696	14.2
	IPAL tidak dikelola	0.5	0.21	0.18	162,697,656			3,074,986	3.1
	Badan Air	0.5	0.11	0.06	162,697,656			536,902	0.5
	Saluran/Sewer	0.5	0.00	0.00	162,697,656			-	-
	IPAL Terpusat	0.5	0.10	0.00	162,697,656			-	-
Perkotaan pendapatan rendah	Tangki septik	0.38	0.00	0.30	162,697,656			-	-
	IPAL tidak dikelola	0.38	0.00	0.18	162,697,656			-	-
	Badan Air	0.38	0.00	0.06	162,697,656			-	-
	Saluran/Sewer	0.38	0.00	0.00	162,697,656			-	-
	IPAL Terpusat	0.38	0.00	0.00	162,697,656			-	-
TOTAL								17766584.06	17.8

Nb : Perhitungan tahap 3 dihitung setiap tahunnya

BIOGRAFI



Penulis dilahirkan di Kota Surabaya pada tanggal 4 April 1992 dengan nama lengkap Nashrullah Al Mubarak. Penulis merupakan putra pertama dari dua bersaudara dari ayah Drs Misdan (Alm) dan ibu Siti Aisah.S.Pd.,MM. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SDN Penjaringan Sari II/608 tahun 2004, kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 35 Surabaya dengan tahun kelulusan 2007, dan menyelesaikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 14 Surabaya pada tahun 2010. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan tinggi di Program Studi D4 Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya – ITS dan berhasil menyelesaikan studi selama 4 tahun pada 2014 dengan judul Tugas Akhir “Evaluasi Perbaikan Postur Kerja Pada Pekerjaan Las dan Gerinda, Pda Bengkel Kerja dan Proyek Banuwati-K (Studi Kasus : Divisi General Engineering, PT PAL Indonesia (Persero)). Setelah lulus dari Perguruan Tinggi, selanjutnya penulis bekerja disalah satu perusahaan asal Korea yang bergerak di bidang manufacturing di Kabupaten Bekasi yaitu PT BUMJIN Electronics Indonesia selama kurang lebih 1 tahun sampai tahun 2015. Pada tahun 2016 bulan januari, penulis melanjutkan studi program pascasarjana (S2) di jurusan Teknik Lingkungan, institute Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, dan menyelesaikannya pada tahun 2018 dengan tesis berjudul “Strategi Penurunan Emisi Gas Metana (CH₄) dari Pengoperasian Tangki Septik Domestik dan Non Domestik Di Surabaya Timur”. Bagi pembaca yang memiliki saran dan kritik dapat menghubungi penulis melalui email nashalmubarak@gmail.com.