



TUGAS AKHIR - RE184804

PERENCANAAN *GREEN BELT* SEBAGAI PENYERAP KARBON DIOKSIDA (CO₂) DI KAWASAN TPA BENOWO

LAUDZA ADI NUGRAHA
0321154000033

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, M.T

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN

**PERENCANAAN GREEN BELT SEBAGAI PENYERAP
KARBON DIOKSIDA (CO₂) DI KAWASAN TPA BENOWO**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
LAUDZA ADI NUGRAHA
NRP. 0321154000033

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Ir. R Irwan Bagyo Santoso, M.T
NIP. 19650608 199303 1 003





TUGAS AKHIR - RE184804

**PERENCANAAN *GREEN BELT* SEBAGAI
PENYERAP KARBON DIOKSIDA (CO₂) DI
KAWASAN TPA BENOWO**

LAUDZA ADI NUGRAHA
0321154000033

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, M.T

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - RE184804

**GREEN BELT PLANNING AS ABSORBING
CARBON DIOXIDE (CO₂) IN BENOWO
LANDFILL AREA**

LAUDZA ADI NUGRAHA
0321154000033

Supervisor
Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, M.T

Department of Environmental Engineering
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Perencanaan *Green Belt* Sebagai Penyerap Karbon dioksida (CO₂) di Kawasan TPA Benowo

Nama Mahasiswa : Laudza Adi Nugraha
NRP : 0321154000033
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, M.T

ABSTRAK

Peningkatan timbulan sampah sejalan dengan pertumbuhan penduduk Kota Surabaya yang memiliki peningkatan 1,2% tiap tahunnya. Sampah yang ditimbun di TPA akan mengalami proses degradasi, baik secara aerobik ataupun anaerobik. Degradasi sampah di TPA menghasilkan Gas Rumah Kaca (GRK) yang didominasi oleh metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂). Metana memiliki daya rusak 25x lebih berbahaya dari karbon dioksida, namun jumlah karbon dioksida di udara ambien jauh lebih banyak dari metana. Berdasarkan Permen PU No.19/PRT/M/2012, kawasan TPA harus dikelilingi oleh zona penyangga, yang diaplikasikan dalam bentuk *Green Belt*. Sabuk hijau (*Green Belt*) merupakan areal vegetasi yang berada di sekeliling TPA yang mana salah satu fungsinya yakni untuk menyerap karbon dioksida.

Dalam tugas akhir ini dilakukan perencanaan *Green Belt* di kawasan TPA Benowo, Surabaya. Perencanaan didasarkan atas karbon dioksida yang diproduksi dari kegiatan TPA, yakni dari sektor sampah dan kendaraan. Perhitungan karbon dioksida sektor sampah dengan memproyeksikan sampah masuk ke TPA yang dikalikan dengan komposisi sampah hasil sampling selama 8 hari. Selanjutnya menghitung produksi karbon dioksida berdasarkan metode IPCC. Perhitungan karbon dioksida sektor transportasi dengan menghitung jumlah emisi berdasarkan jumlah dan jenis kendaraan yang telah diproyeksikan dengan data aktivitas berupa konsumsi BBM dan durasi operasional atau jarak tempuh. Hasil perhitungan karbon dioksida sektor sampah dan kendaraan kemudian dijumlah untuk menentukan perencanaan *green belt*. Dalam perencanaan ini juga dianalisis

dispersi karbon dioksida menggunakan metode model box dan penggunaan lahan.

Hasil yang diperoleh dari hasil perhitungan jumlah karbon dioksida dari sektor sampah sebesar 23.939,57 ton, sektor transportasi sebesar 4,33 ton pada tahun 2034. *Green belt* direncanakan menggunakan prinsip kesetimbangan massa dengan penanaman jenis tanaman pohon Trembesi dengan jumlah 486 pohon yang mengelilingi TPA Benowo dan *mangrove* dengan jenis *Avicennia alba* yang berjumlah 123.548 individu tanaman dan membutuhkan luas 12,35 hektar pada tahun 2034.

Kata Kunci: *Avicennia alba*, Dispersi, *Green Belt*, Karbon dioksida, Trembesi

Green Belt Planning as Absorbing Carbon dioxide in Benowo Landfill Area

Student Name : Laudza Adi Nugraha
NRP : 03211540000033
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, M.T

ABSTRACT

The increase in waste generation is in line with the population of Surabaya City which has a 1.2% increase each year. The garbage deposited in the landfill will undergo a degradation process, either aerobically or anaerobically. Degradation of waste in the landfill produces Greenhouse Gases (GHG) which are dominated by methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂). Methane has a more destructive force than carbon dioxide, but the amount of carbon dioxide in ambient air is far more than methane. Based on Permen PU No.19 / PRT / M / 2012, the landfill area must be surrounded by a buffer zone, which is applied in the form of a Green Belt. Green belt is an area of vegetation around the landfill where one of its functions is to absorb carbon dioxide.

In this final project, Green Belt planning is carried out in the TPA Benowo area, Surabaya. Planning is based on carbon dioxide produced from landfill activities, namely from the garbage and vehicle sectors. Calculation of the carbon dioxide waste sector by projecting waste into the landfill multiplied by the composition of the sampling waste for 8 days. Then calculate carbon dioxide production based on the IPCC method. Calculation of carbon dioxide in the transportation sector by calculating the number of emissions based on the number and type of vehicles that have been projected with activity data in the form of fuel consumption and operational duration or distance traveled. The results of the calculation of carbon dioxide in the waste, vehicle, and power sector are then added to determine the planning of the green belt. In this planning also analyzed the

dispersion of carbon dioxide using the model box method and land use.

The results obtained from the calculation of the amount of carbon dioxide from the waste sector amounted to 23,939.57 tons and the transportation sector amounted to 4.33 tons in 2034. The Green Belt was planned to use the principle of mass equilibrium by planting Trembesi which numbered 486 trees who circled Benowo landfill and *mangrove* species, namely *Avicennia alba* which numbered 123.548 plant stands and needed an area of 12,35 hectares in 2034.

Keywords: *Avicennia alba*, Carbon dioxide, Dispersion, Green Belt, , Trembesi

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT dan Rasulnya, Nabi Muhammad SAW karena atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada program studi Strata-1 (S-1) Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing hingga selesainya penulisan tugas akhir.
2. Ibu Dr. Ir. Ellina S. Pandebesie, M.T., Bapak Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT., dan Bapak Adhi Yuniarto, S.T, M.T, Ph.D selaku dosen pengarah tugas akhir yang telah memberikan banyak masukan dalam tugas akhir ini.
3. BAKESBANGPOL Surabaya dan Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau Kota Surabaya yang telah memberikan kesempatan memperoleh data-data untuk menunjang tugas akhir ini.
4. PT. Sumber Organik yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian di TPA Benowo.
5. Teman-teman surveyor yang telah membantu penulis dalam melaksanakan *sampling* di TPA Benowo
6. Rekan 1 dosen asistensi tugas akhir; Farhan, Balqis, dan Indah yang selalu bersama dalam menghadapi berbagai suka dan duka selama proses penyusunan tugas akhir
7. Widyanti, Govinda, Rizal, Dika, Bagas, Bima dan Anwar yang telah bersedia untuk bertukar pikiran perihal tugas akhir ini.
8. Teman-teman S-1 Teknik Lingkungan ITS angkatan 2015 yang selalu memberikan doa dan semangat.

Penulis juga menghaturkan terima kasih kepada orang tua dan adik-adik serta keluarga dan sanak saudara yang telah membantu penulis dalam memberikan dukungan moril dan materil dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan ilmu yang bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, 28 Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Definisi Green Belt	5
2.2 Fungsi <i>Green Belt</i>	5
2.3 Vegetasi Ruang Terbuka Hijau	6
2.3.1 Vegetasi Berdasarkan Massa, Tajuk, dan Struktur Tanaman.....	6
2.3.2 Spesies yang Direkomendasikan pada Subzona Penyangga di TPA.....	8
2.4 Tanaman Sebagai Organisme Penyerap Karbon dioksida	8
2.5 Mekanisme Fotosintesis.....	10
2.5.1 Reaksi Terang.....	10
2.5.2 Reaksi Gelap.....	11

2.6	Penentuan Jarak Subzona Penyangga.....	11
2.7	Persampahan Kota Surabaya.....	14
2.7.1	Timbulan Sampah Kota Surabaya.....	14
2.7.2	Komposisi Sampah Kota Surabaya.....	15
2.8	Produksi Gas dari <i>Landfill</i>	15
2.8.1	Komposisi Gas yang Timbul dari <i>Landfill</i>	15
2.8.2	Proses Degradasi Sampah	16
2.9	Emisi Karbon Dioksida.....	17
2.10	Perhitungan Emisi Karbon dioksida.....	18
2.10.1	Emisi Karbon dioksida dari Kendaraan Bermotor	18
2.10.2	Emisi Karbon dioksida dari Timbulan Sampah	20
2.11	Metode Proyeksi	21
2.12	WRPLOT.....	23
2.13	Penelitian Terdahulu	24
BAB III GAMBARAN UMUM DAERAH PERENCANAAN		25
3.1	Gambaran Umum Kota Surabaya.....	25
3.2	Gambaran Umum TPA Benowo	29
3.2.1	Batas Lokasi Tapak	29
3.2.2	Status Tanah	29
3.2.3	Kondisi Tata Guna Lahan Sekitar TPA Benowo.....	33
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		35
4.1	Kerangka Alur Perencanaan.....	35

4.2 Metode Pelaksanaan Perencanaan	39
4.2.1 Ide Tugas Akhir	39
4.2.2 Studi Literatur	40
4.2.3 Perizinan	40
4.2.4 Pengumpulan Data	40
4.2.5 Alat yang digunakan	42
4.3 Analisa dan Perencanaan	46
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	51
5.1 Analisis Komposisi dan Timbulan Sampah.....	51
5.2 Kendaraan Operasional Pengelolaan Sampah di TPA Benowo	59
5.3 Perhitungan Emisi Karbon dioksida.....	61
5.3.1 Proyeksi Karbon dioksida Sumber Timbulan Sampah.....	61
5.3.2 Proyeksi Karbon dioksida Sumber Kendaraan.....	64
5.3.3 Total Emisi Karbon dioksida	69
5.4 Perencanaan <i>Green Belt</i>	72
5.4.1 Perencanaan Tanaman untuk <i>Green Belt</i>	72
5.4.2 Perencanaan Jumlah Tanaman dan Luasan <i>Green Belt</i>	75
5.4.3 Analisis Dispersi Emisi TPA Benowo	87
5.4.4 Penggunaan Lahan Perencanaan <i>Green Belt</i>	96
5.5 Perencanaan Peremajaan <i>Green Belt</i>	97
5.6 Konversi Metana ke Karbon Dioksida	100

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	103
6.1 Kesimpulan.....	103
6.2 Saran.....	103
BAB VII DAFTAR PUSTAKA	105
BIODATA PENULIS	117

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesies yang Direkomendasikan Sebagai <i>Green Belt</i>	8
Tabel 2.2 Daya Serap Gas CO ₂ Berbagai Tipe Penutup Vegetasi	9
Tabel 2.3 Kemampuan Tanaman dalam Menyerap Karbon dioksida	10
Tabel 2.4 Tipologi TPA Sampah dan Penentuan Jarak Subzona pada Kawasan Sekitar TPA Sampah	12
Tabel 2.5 Komposisi Sampah Kota Surabaya	15
Tabel 2.6 Komposisi Gas di <i>Landfill</i>	16
Tabel 2.7 Konsumsi BBM Kendaraan Pengelola Sampah	19
Tabel 2.8 Faktor Emisi Kendaraan Pengelola Sampah	19
Tabel 2.9 Nilai DOC Komposisi Sampah	21
Tabel 2.10 Nilai MCF TPA	21
Tabel 4.1 Data yang dibutuhkan untuk Perencanaan	40
Tabel 5.1 Komposisi Sampah TPA Benowo	52
Tabel 5.2 Timbulan Sampah Masuk ke TPA Benowo Tahun 2013-2018	54
Tabel 5.3 Rasio Pertumbuhan Sampah TPA Benowo Tahun 2013-2018	54
Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Nilai Korelasi Masing- Masing Metode	55
Tabel 5.5 Proyeksi Timbulan Sampah Masuk ke TPA Benowo Tahun 2018-2034	56
Tabel 5.6 Komposisi Timbulan Sampah TPA Benowo Tahun 2018-2034 (1)	57

Tabel 5.6 Komposisi Timbulan Sampah TPA Benowo Tahun 2018-2034 (2)	58
Tabel 5.7 Data Sarana Kendaraan Pengelolaan Sampah Kota Surabaya	59
Tabel 5.8 Proyeksi Sarana Kendaraan Pengelolaan Sampah TPA Benowo	60
Tabel 5.9 Emisi Karbon dioksida Berdasarkan Komposisi Sampah	62
Tabel 5.10 Jarak Gerbang TPA ke Masing-Masing Terminal Sampah.....	64
Tabel 5.11 Emisi Karbon dioksida Berdasarkan Kendaraan Operasional Sampah TPA Benowo (1).....	66
Tabel 5.11 Emisi Karbon dioksida Berdasarkan Kendaraan Operasional Sampah TPA Benowo (2).....	67
Tabel 5.12 Total Emisi Karbon dioksida di TPA Benowo	69
Tabel 5.13 Karbon dioksida Setelah Diserap Pohon Trembesi.....	76
Tabel 5.14 Kebutuhan Individu dan Luasan <i>Green Belt</i>	78
Tabel 5.15 Persentase Distribusi Arah Angin WRPLOT.....	84
Tabel 5.16 Persentase Distribusi Arah Angin TPA Benowo	85
Tabel 5.17 Luasan <i>Green Belt</i> setiap Arah Mata Angin.....	86
Tabel 5.18 Ketebalan <i>Green Belt</i>	86
Tabel 5.19 Jumlah Box Memanjang dan Melebar	88
Tabel 5.20 Persebaran Emisi Tiap Mata Angin	90

Tabel 5.21 Sisa Konsentrasi CO ₂ Tiap Box Tahun 2024	92
Tabel 5.22 Sisa Konsentrasi CO ₂ Tiap Box Tahun 2029	93
Tabel 5.23 Sisa Konsentrasi CO ₂ Tiap Box Tahun 2034 (1)	94
Tabel 5.23 Sisa Konsentrasi CO ₂ Tiap Box Tahun 2034 (2)	95
Tabel 5.24 Pergantian Tanaman Secara Periodik	97
Tabel 5.25 Identifikasi Kerusakan <i>Mangrove</i> dan Pencegahan serta Penanggulangannya	98

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kelompok Tanaman.....	7
Gambar 2.2 Pertimbangan Penentuan Jarak Subzona di Kawasan Sekitar TPA Sampah.....	12
Gambar 2.3 Jarak Subzona pada TPA dengan Sistem LUT.....	13
Gambar 2.4 Jarak Subzona Pada TPA dengan Sistem LUS	14
Gambar 2.5 Proses Degradasi Sampah	16
Gambar 2.6 Konsentrasi Karbon dioksida Tahun 2006- 2019	18
Gambar 2.7 <i>Windrose</i>	23
Gambar 2.8 Hasil Pengukuran Karbon dioksida di TPA Benowo	24
Gambar 3.1 Peta Rencana Pola Ruang Kota Surabaya	27
Gambar 3.2 TPA Benowo.....	31
Gambar 3.3 Status TPA Benowo.....	34
Gambar 4.1 Kerangka Penelitian.....	39
Gambar 4.2 Timbangan Gantung	43
Gambar 4.3 Peralatan <i>Safety</i>	43
Gambar 4.4 Cangkul	44
Gambar 4.5 Wadah sampah	44
Gambar 4.6 Tampilan Kerja AutoCAD.....	45
Gambar 4.7 Tampilan Kerja WRPLOT	45
Gambar 4.8 Diagram Alir Perencanaan.....	46
Gambar 5.1 Diagram Hasil Perhitungan Rata-rata Komposisi Sampah TPA Benowo	51
Gambar 5.4 Total Emisi Karbon dioksida Sumber Sampah.....	70

Gambar 5.5 Total Emisi Karbon dioksida Sumber Kendaraan	70
Gambar 5.7 (a) Buah <i>Avicennia alba</i> (b) Daun <i>Avicennia alba</i> (c) Bunga <i>Avicennia alba</i> (d) Pohon <i>Avicennia alba</i>	75
Gambar 5.8 Data yang di input ke WRPLOT.....	79
Gambar 5.9 Distribusi Kecepatan Angin	79
Gambar 5.10 <i>Wind Rose</i> (arah datang angin).....	80
Gambar 5.11 <i>Wind Rose</i> (arah angin bertiup).....	81
Gambar 5.12 Arah dan Kecepatan Angin Bertiup di TPA Benowo	83
Gambar 5.13 Box Memanjang dan Melebar.....	88

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Surabaya merupakan kota metropolitan dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang pesat. Pertumbuhan jumlah penduduk yang pesat membawa beberapa permasalahan, salah satunya peningkatan jumlah timbulan sampah yang diangkut ke TPA. Pertumbuhan penduduk, perubahan gaya hidup konsumtif, serta urbanisasi merupakan aspek besar yang mempengaruhi peningkatan timbulan sampah. (Unnikrishan dan Anju, 2010). Jumlah sampah yang besar dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan serta bertambahnya beban TPA Benowo sebagai tempat pemrosesan akhir sampah.

Sampah yang ditimbun di TPA memiliki kontribusi yang signifikan terhadap pembentukan Gas Rumah Kaca (GRK). Potensi pembentukan GRK berkaitan dengan komposisi sampah khususnya sampah yang mudah terurai (*biodegradable*). Umumnya sampah di Indonesia didominasi oleh sampah organik yang merupakan sampah *biodegradable*. Sampah yang ditimbun di TPA akan mengalami dekomposisi secara aerobik dan anaerobik sehingga menghasilkan emisi yang didominasi metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂) yang mana keduanya dapat menyebabkan pemanasan global. (Friedrich dan Trois, 2011). Menurut US EPA (2006) dampak yang dihasilkan dari gas rumah kaca yakni meningkatnya muka air laut yang dapat mendatangkan banjir rob, berkurangnya jumlah gunung es karena mencair, berkurangnya ketersediaan air tawar, meningkatnya suhu di muka bumi, potensi berkurangnya keanekaragaman hayati dan berbagai dampak terhadap ekosistem.

Berdasarkan pengukuran karbon dioksida selama 24 jam yang dilakukan oleh Santoso (2013) di sekitar TPA Benowo, menghasilkan kesimpulan yakni karbon dioksida udara ambien di TPA Benowo melebihi baku mutu, dengan

konsentrasi tertinggi sebesar 520 ppm dari baku mutu sebesar 330 ppm. Tingginya kadar karbon dioksida diakibatkan oleh proses pengolahan sampah di TPA Benowo.

Dengan tingginya kadar karbon dioksida di sekitar TPA Benowo, maka upaya untuk mengatasi permasalahan tingginya kadar karbon dioksida dari sektor persampahan yang semakin meningkat adalah dengan adanya Ruang Terbuka Hijau (RTH) dalam bentuk zona penyangga yang memadai di sekitar TPA. Untuk mendukung fungsi subzona penyangga sebagai penahan untuk mencegah atau mengurangi dampak negatif keberadaan TPA sampah terhadap kawasan sekitarnya. (Permen PU Nomor 19 Tahun 2012). Di Surabaya sendiri, pada tahun 2016, walikota Surabaya juga telah mewacanakan pengembangan kawasan *Green Belt* di TPA Benowo seluas 37ha. (surabaya.tribunnews.com, diakses pada 1 Januari 2019 pukul 12.45)

TPA Benowo saat ini merupakan TPA dengan sistem *Sanitary Landfill*, namun pada operasionalnya masih menggunakan prinsip *Controlled Landfill*. Setiap harinya TPA Benowo menerima sampah dari Kota Surabaya sebesar 1.500 ton/hari. (Badan Lingkungan Hidup, 2012).

Pada tugas akhir ini, akan dilakukan analisis emisi karbon dioksida yang bersumber dari kegiatan di TPA Benowo dan perencanaan *Green Belt* sebagai penyerap CO₂. Perencanaan *Green Belt* berupa jenis tanaman, jumlah tanaman, luasan, dan peremajaan *Green Belt*. Diharapkan perencanaan ini dapat mengurangi dampak gas rumah kaca khususnya karbon dioksida yang dihasilkan dari kegiatan di TPA, sehingga dapat dijadikan referensi untuk pengembangan *Green Belt* di TPA Benowo.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang ada, permasalahan yang akan dibahas pada perencanaan ini adalah:

1. Bagaimana produksi CO₂ yang berasal dari timbulan sampah dan kendaraan
2. Bagaimana merencanakan jenis tanaman, jumlah tanaman, luasan, dan peremajaan *Green Belt*

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari perencanaan ini adalah:

1. Menghitung produksi CO₂ yang berasal dari timbulan sampah dan kendaraan
2. Merencanakan jenis tanaman, jumlah tanaman, luasan, dan peremajaan *Green Belt*

1.4 Ruang Lingkup

1. Wilayah analisis dan perencanaan adalah *Green Belt* di TPA Benowo
2. Data komposisi dan timbulan sampah di TPA Benowo sebagai bahan perhitungan produksi Karbon dioksida
3. Karbon dioksida yang dihitung berasal dari timbulan sampah dan kendaraan
4. Perencanaan berdasarkan aspek reduksi Karbon dioksida oleh *Green Belt*
5. Perencanaan *Green Belt* berupa jenis dan jumlah tanaman, luasan, serta rencana peremajaan tanaman
6. *Green Belt* direncanakan pada tahun 2034 sesuai dengan berakhirnya RTRW Surabaya 2014-2034

1.5 Manfaat

Adapun hasil dari perencanaan ini diharapkan memberi manfaat berupa:

1. Memberikan informasi mengenai emisi CO₂ di TPA Benowo
2. Memberikan usulan perencanaan *Green Belt* untuk pengembangan *buffer zone* TPA Benowo

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan secara komprehensif pemaparan dari literatur mengenai definisi dan fungsi *green belt*, jenis-jenis vegetasi, penyerapan karbon dioksida, persampahan kota Surabaya, proses pembentukan gas dari sampah, perhitungan emisi, dan metode proyeksi.

2.1 Definisi Green Belt

Green Belt atau yang biasa disebut dengan sabuk hijau merupakan RTH yang berfungsi sebagai daerah penyangga dan untuk membatasi perkembangan suatu penggunaan lahan (batas kota, pemisah kawasan, dll) atau membatasi aktivitas satu dengan aktivitas lainnya agar tidak saling mengganggu, serta pengamanan dari faktor lingkungan sekitarnya. (Permen PU No.5 Tahun 2008).

2.2 Fungsi Green Belt

Green belt memiliki unsur utama berupa vegetasi yang secara alamiah berfungsi sebagai pembersih atmosfer dengan menyerap polutan yang berupa gas dan partikel melalui daunnya. *Green belt* sebagai salah satu bentuk hutan kota memiliki fungsi menjaga kelangsungan hidup bumi, yakni sebagai media yang memiliki kemampuan mengurangi zat pencemar udara termasuk Karbon dioksida (CO₂) yang melayang di udara dan penghasil Oksigen (O₂).

Selain itu, *Green Belt* juga dapat berfungsi sebagai penapis cahaya silau, mengatasi penggenangan di daerah dengan drainase yang kurang baik, penahan angin, mengatasi intrusi air laut, penyerap dan penapis bau, dan mengatasi penggurunan. (Permen PU No.5 Tahun 2008)

2.3 Vegetasi Ruang Terbuka Hijau

2.3.1 Vegetasi Berdasarkan Massa, Tajuk, dan Struktur Tanaman

Elemen vegetasi / tanaman merupakan unsur yang dominan dalam RTH / Ruang Hijau Kota / *Urban Open Space*. Vegetasi dapat ditata sedemikian rupa sehingga mampu berfungsi sebagai pembentuk ruang, pengendalian suhu udara, memperbaiki kondisi tanah dan sebagainya. Vegetasi dapat menghadirkan estetika tertentu yang terkesan alamiah dari garis, bentuk, warna, dan tekstur yang ada dari tajuk, daun, batang, cabang, kulit batang, akar, bunga, buah maupun aroma yang ditimbulkan dari daun, bunga maupun buahnya.

Berdasarkan bentuk massa, tajuk dan struktur tanaman, Indrawati (2007) mengelompokkan tanaman menjadi:

a. Tanaman pohon

Tanaman pohon adalah jenis tanaman berkayu yang biasanya mempunyai batang tunggal dan dicirikan dengan pertumbuhan yang sangat tinggi. Tanaman berkayu adalah tanaman yang membentuk batang sekunder dan jaringan xylem yang banyak. Biasanya, tanaman pohon digunakan sebagai tanaman pelindung dan centre point. Flamboyan dan dadap merah termasuk jenis tanaman pohon. Namun demikian pengelompokan pohon lebih dicirikan oleh ketinggiannya yang mencapai lebih dari 8 meter.

Berdasarkan ukurannya, pohon dapat dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu :

1. Pohon Besar: memiliki ketinggian lebih dari 12 meter, dalam penataan lansekap berfungsi sebagai unsur penting yang secara fisik membagi ruang-ruang perkotaan dan perdesaan yang luas, yang tidak mungkin dibatasi oleh bangunan karena kendala permukaan tanah menjadi ruang-ruang yang lebih kecil.
2. Pohon Sedang: memiliki ketinggian antara 9-12 meter, dalam penataan lansekap berfungsi sebagai pengatur komposisi bersama-sama dengan tanaman semak serta berfungsi untuk membatasi ruang pada bidang vertikal.
3. Pohon Kecil / Perdu: memiliki ketinggian maksimal 4,5 meter, dalam penataan lansekap berfungsi untuk

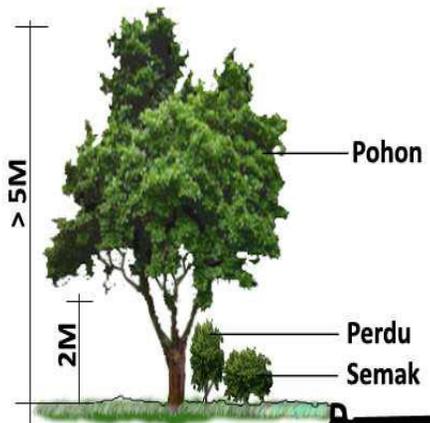
memberikan aksen visual dalam komposisi, sebagai pembatas atau latar depan yang bersifat transparan, sebagai akhiran dari ruang linear dan daya tarik bagi suatu area *Main Entrance*.

b. Tanaman perdu

Tanaman golongan perdu merupakan tanaman berkayu yang pendek dengan batang yang cukup kaku dan kuat untuk menopang bagian-bagian tanaman. Golongan perdu biasanya dibagi menjadi tiga, yaitu perdu rendah, perdu sedang, dan perdu tinggi. Bunga sikat botol, krossandra dan euphorbia termasuk dalam golongan tanaman perdu.

Fungsinya adalah :

1. Menghubungkan secara visual dua sisi komposisi menjadi satu kesatuan
2. Sebagai pengarah ke satu titik tujuan
3. Sebagai pembatas ruang vertikal, tetapi masih mampu memberikan pandangan terbuka ke atas



Gambar 2.1 Kelompok Tanaman

c. Semak

Semak adalah suatu habitus tumbuhan. Suatu tumbuhan dikatakan semak apabila dalam pertumbuhannya memerlukan kaitan atau objek lain agar ia dapat bersaing mendapatkan cahaya matahari. Semak dapat pula dikatakan tumbuhan yang merambat, memanjat, atau menggantung. Berbeda dengan epifit yang mampu sepenuhnya tumbuh lepas dari tanah, akar semak berada di tanah atau paling tidak memerlukan tanah sebagai sumber haranya.

2.3.2 Spesies yang Direkomendasikan pada Subzona Penyangga di TPA

Terdapat beberapa tumbuhan yang sering ditanam sebagai *Green Belt* di wilayah sekeliling TPA. Menurut Permen PU Nomor 19 Tahun 2012, beberapa tumbuhan *Green Belt* dapat dilihat pada **Tabel 2.1**

Tabel 2.1 Spesies yang Direkomendasikan Sebagai *Green Belt*

No.	Spesies	Nama Lokal	Famili
1	<i>Callophyllum Inophyllum L.</i>	Nyamplung, Bintangur laut	<i>Guttiferae</i>
2	<i>Dalbergia Latifolia Roxb</i>	Sonokeling	<i>Leguminosae</i>
3	<i>Michelia Champaca L.</i>	Cempaka Kuning	<i>Magnoliaceae</i>
4	<i>Mimusop Elengi L</i>	Tanjung	<i>Sapotaceae</i>
5	<i>Schleichera Trijuga Willd.</i>	Kesambi	<i>Sapindaceae</i>
6	<i>Swietenia Mahagoni Jacq.</i>	Mahoni	<i>Meliaceae</i>

Sumber: Permen PU Nomor 19 Tahun 2012

2.4 Tanaman Sebagai Organisme Penyerap Karbon dioksida

Pada dasarnya, proses fotosintesis merupakan kebalikan dari pernapasan. Proses fotosintesis mereaksikan (menggabungkan) karbon dioksida dan air menjadi gula dengan menggunakan energi cahaya matahari. Proses fotosintesis umumnya hanya berlangsung pada tumbuhan

yang berklorofil pada waktu siang hari asalkan ada sumber cahaya. (Harahap, 2012)

Secara sederhana fotosintesis ditampilkan dalam sebuah rumus kesetimbangan kimia seperti di bawah ini.



Karbon dalam bentuk karbon dioksida diserap oleh tanaman yang dikonversi menjadi karbohidrat, oksigen, dan uap air. Penanaman pohon menghasilkan absorbs karbon dioksida dari udara dan penyimpanan karbon, sampai karbon dilepaskan kembali akibat vegetasi tersebut busuk atau dibakar. Hal ini disebabkan karena pada RTH yang dikelola dan ditanam akan menyebabkan terjadinya penyerapan karbon dari atmosfer, kemudian sebagian kecil biomasnya dipanen dan atau masuk dalam kondisi masak tebang atau mengalami pembusukan.

Kemampuan tanaman dalam menyerap gas karbon dioksida bermacam-macam. Menurut Tinambunan (2006) hutan yang mempunyai berbagai macam tipe penutupan vegetasi memiliki kemampuan atau daya serap terhadap karbon dioksida yang berbeda. Tipe penutupan vegetasi tersebut berupa pohon, semak belukar, padang rumput, sawah. Daya serap berbagai macam tipe vegetasi terhadap karbon dioksida dapat dilihat pada **Tabel 2.2**

Tabel 2.2 Daya Serap Gas CO₂ Berbagai Tipe Penutup Vegetasi

No.	Tipe Penutupan	Daya Serap Gas CO ₂ (kg/ha.jam)	Daya Serap Gas CO ₂ (ton/ha.tahun)
1	Pohon	129,92	569,07
2	Semak belukar	12,56	55
3	Padang rumput	2,74	12
4	Sawah	2,74	12

Sumber: Tinambunan, 2006

Sementara, Kemampuan masing-masing jenis tanaman untuk menyerap karbon dioksida dapat dilihat pada **Tabel 2.3**

Tabel 2.3 Kemampuan Tanaman dalam Menyerap Karbon dioksida

No	Nama Lokal	Nama Ilmiah	Daya Serap CO ₂ (Kg/pohon/tahun)
1	Trembesi	<i>Samanea saman</i>	28.488,39 ^a
2	Beringin	<i>Ficus benyamina</i>	535,90 ^a
3	Krey payung	<i>Fellicium decipiens</i>	404,83 ^a
4	Mahoni	<i>Swettiana mahagoni</i>	295,73 ^a
5	Jati	<i>Tectona grandis</i>	135,27 ^a
6	Johar	<i>Cassia grandis</i>	116,25 ^a
7	Akasia	<i>Acacia auriculiformis</i>	48,68 ^a
8	Tanjung	<i>Mimusops elengi</i>	34,29 ^a
9	Akasia	<i>Acacia mangium</i>	15,19 ^a
10	Angsana	<i>Pterocarpus indicus</i>	11,12 ^a
11	Dadap merah	<i>Erythrina cristagalli</i>	4,55 ^a
12	Bakau Nipah	<i>Nypa fruticans</i>	16,07 ^b
13	Bakau Api-api	<i>Avicennia alba</i>	81,73 ^b
14	Bakau Gundul	<i>Rhizophora mucronata</i>	31,08 ^b
15	Bakau Perepat	<i>Sonneratia alba</i>	8,48 ^c
16	Bakau Api-api Putih	<i>Avicennia marina</i>	67,74 ^d
17	Bintaro	<i>Cerbera manghas</i>	849 ^e

Sumber: ^a Dahlan, 2007; ^b Rahman, 2016; ^c Dharmawan dan Siregar, 2010; ^d Bismark, dkk. 2008; ^e Purwaningsih, 2007

2.5 Mekanisme Fotosintesis

Fotosintesis terdiri dari 2 reaksi, reaksi terang dan gelap.

2.5.1 Reaksi Terang

Reaksi terang terjadi dalam membran tilakoid dan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia. Karena membutuhkan cahaya, reaksi kimia ini harus terjadi pada siang hari. Klorofil dan pigmen lain diantaranya beta-karoten yang berada dalam kelompok membran dalam tilakoid terlibat dalam reaksi terang. Masing-masing pigmen yang berbeda warna dapat menyerap warna yang sedikit berbeda dari cahaya dan menghasilkan energi ke molekul klorofil pusat untuk melakukan fotosintesis.

Bagian tengah dari struktur kimia dari molekul klorofil adalah cincin porfirin, yang terdiri dari cincin beberapa karbon dan nitrogen dengan ion magnesium di tengah. Energi yang dihasilkan melalui reaksi terang disimpan dengan membentuk zat kimia yang disebut ATP (adenosin trifosfat). ATP adalah suatu senyawa yang digunakan oleh sel untuk penyimpanan energi. Senyawa kimia ini terbuat dari adenin nukleotida yang terikat pada gula ribosa dan yang terikat dengan tiga gugus fosfat. Molekul ini sangat mirip dengan blok bangunan untuk DNA kita.

2.5.2 Reaksi Gelap

Reaksi gelap terjadi di stroma dalam kloroplas, dan mengubah CO₂ menjadi gula. Reaksi ini tidak memerlukan cahaya secara langsung, tapi membutuhkan produk dari hasil reaksi terang (ATP dan zat kimia lain yang disebut NADPH).

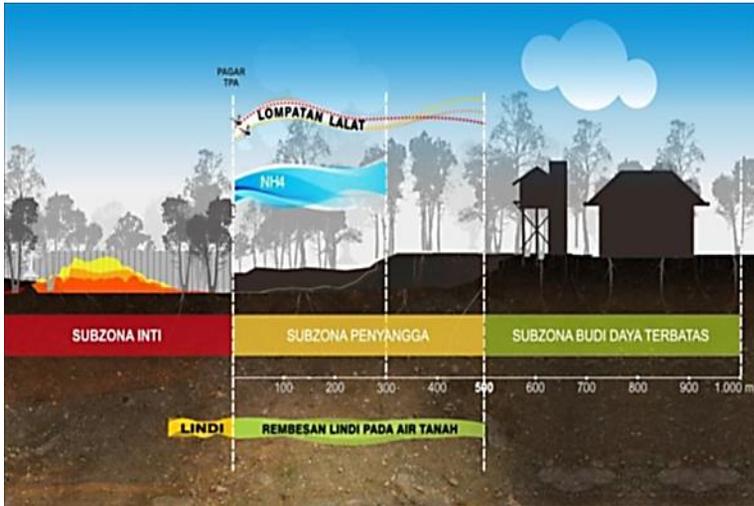
Reaksi gelap melibatkan siklus yang disebut siklus Calvin dimana CO₂ dan energi dari ATP digunakan untuk membentuk gula. Perhatikan baik-baik bahwa produk pertama fotosintesis adalah senyawa tiga karbon yang disebut gliseraldehida 3-fosfat. Dua di antaranya bergabung untuk membentuk molekul glukosa.

2.6 Penentuan Jarak Subzona Penyangga

Menurut Permen PU Nomor 19 Tahun 2012, dijelaskan bahwa penentuan subzona penyangga ditentukan dengan mempertimbangkan berbagai hal, diantaranya:

- a. bahaya meresapnya lindi ke dalam mata air dan badan air lainnya yang dipakai penduduk untuk kehidupan sehari-hari
- b. bahaya ledakan gas metan
- c. bahaya penyebaran penyakit melalui binatang vektor, misal lalat.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka ditetapkan jarak subzona penyangga yang dapat dilihat pada **Gambar 2.2**



Gambar 2.2 Pertimbangan Penentuan Jarak Subzona di Kawasan Sekitar TPA Sampah

Sumber: Permen PU Nomor 19 Tahun 2012

Tipologi TPA Sampah dan penentuan Jarak subzona penyangga dapat dilihat pada **Tabel 2.4**

Tabel 2.4 Tipologi TPA Sampah dan Penentuan Jarak Subzona pada Kawasan Sekitar TPA Sampah

Tipologi TPA Sampah		Sistem Pengelolaan	Jarak Subzona Penyangga (meter)*
TPA sampah baru	TPA sampah yang sedang direncanakan	LUT	0 - < 500
		LUS	0 - < 500
	TPA sampah yang belum beroperasi	LUT	0 - < 500
		LUS	0 - < 500
TPA sampah	TPA sampah	LUT	0 - < 500

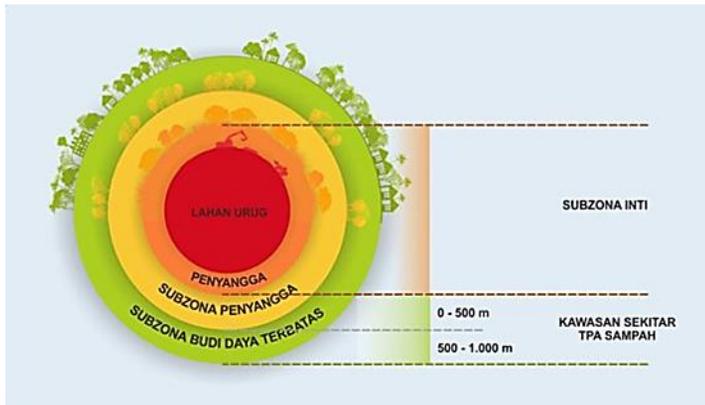
Tipologi TPA Sampah		Sistem Pengelolaan	Jarak Subzona Penyangga (meter)*)
lama	yang belum memiliki penyangga	LUS	0 - < 500
	TPA sampah yang sudah memiliki penyangga	LUT	0 - < 500
TPA sampah pasca layanan		LUS	0 - < 500
		LUT	0 - < 500

Sumber: Permen PU Nomor 19 Tahun 2012

Keterangan:

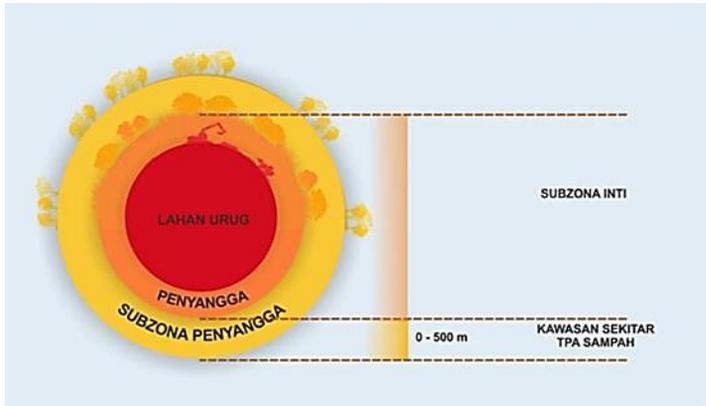
*) Jarak diukur dari batas terluar TPA sampah

Kawasan sekitar TPA dengan sistem LUT terdiri atas subzona penyangga dan subzona budi daya terbatas, sedangkan TPA dengan sistem LUS hanya terdiri dari subzona penyangga saja. Jarak subzona pada TPA LUT dapat dilihat pada **Gambar 2.3** dan TPA LUS pada **Gambar 2.4**



Gambar 2.3 Jarak Subzona pada TPA dengan Sistem LUT

Sumber: Permen PU Nomor 19 Tahun 2012



Gambar 2.4 Jarak Subzona Pada TPA dengan Sistem LUS

Sumber: Permen PU Nomor 19 Tahun 2012

2.7 Persampahan Kota Surabaya

2.7.1 Timbulan Sampah Kota Surabaya

Timbulan sampah yang akan dihasilkan di Kota Surabaya berasal dari kawasan perumahan (domestik), industri, kawasan komersil, wisata dan fasilitas umum lainnya. Timbulan sampah yang dikelola adalah timbulan sampah non B-3 (Bahan Berbahaya dan Beracun/*Hazardous Waste*). Laju timbulan sampah domestik adalah 3 L/orang/hari. Dengan penduduk di Kota Surabaya 3.074.490 jiwa, dengan timbulan sampah sebesar 2.790,89 ton/hari. Mayoritas sampah tersebut akan ditimbun di TPA Benowo, yakni sebesar 1.477 ton/hari (http://sipsn.menlhk.go.id/?q=3a-data-umum&field_f_wilayah_tid=1519&field_kat_kota_tid=10&field_periode_id_tid=2168, diakses pada 31 Januari 2019 pukul 05.38)

Menurut data dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya tahun 2016, Kinerja pengelolaan lingkungan hidup Pemerintah Kota Surabaya terkait “Optimalisasi Sistem Pengelolaan Persampahan Secara Terpadu Berbasis Peran Serta Masyarakat” dapat ditinjau dari upaya pemerintah dalam hal pengurangan sampah di sumber melalui 3R (*reduce, reuse, recycle*), bank sampah, rumah kompos dan pusat daur ulang

sampah. Jumlah timbunan sampah yang masuk ke TPA Benowo yang awalnya sebesar 2.913,18 ton/hari turun menjadi 571,61 ton/hari.

2.7.2 Komposisi Sampah Kota Surabaya

Menurut data yang dihimpun dari <http://sipsn.menlhk.go.id>, pada tahun 2017-2018, komposisi sampah kota Surabaya mayoritas adalah sisa makanan. Komposisi selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 2.5**

Tabel 2.5 Komposisi Sampah Kota Surabaya

Jenis Sampah	Persentase (%)
Sisa makanan	54,31
Kayu, ranting, dan daun	1,61
Kertas	14,63
Plastik	19,44
Logam	0,48
Kain dan Tekstil	1,47
Karet dan kulit	2,33
Kaca	1,12
Lainnya	4,61
Total	100

Sumber: <http://sipsn.menlhk.go.id> (diakses pada 7 Januari 2019 pukul 15.30)

2.8 Produksi Gas dari *Landfill*

2.8.1 Komposisi Gas yang Timbul dari *Landfill*

Produksi gas yang dihasilkan oleh sampah sangat bergantung kepada komposisi yang terdapat didalam sampah tersebut. Mayoritas gas yang timbul dari TPA berupa metana (CH₄) dan Karbon dioksida (CO₂). Terdapat pula gas lain yang terbentuk dalam jumlah yang kecil, seperti Nitrogen, Oksigen, Amonia, NMOCs, Sulfida, Hidrogen, dan Karbon monoksida. Komponen, presentase, dan karakteristik gas yang timbul di TPA dapat dilihat pada **Tabel 2.6**

Tabel 2.6 Komposisi Gas di Landfill

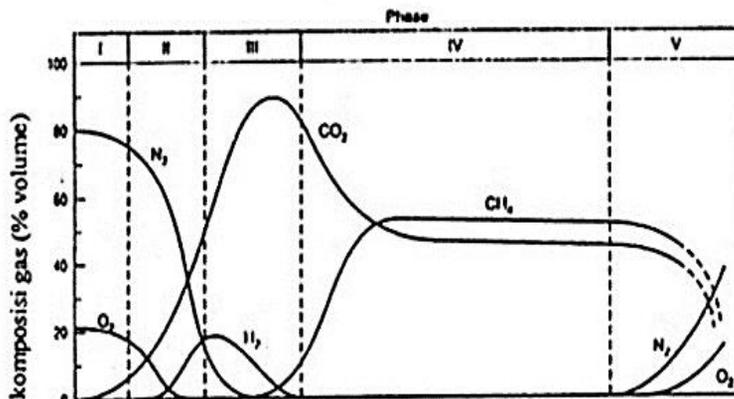
Komponen	Persentase dalam Volume(%)
Metana	45 - 60
Karbon dioksida	40 - 60
Nitrogen	2 - 5
Oksigen	0,1 - 1
Amonia	0,1 - 1
NMOCs(non-methane organic compounds)	0,01 - 0,6
Sulfida	0 - 1
Hidrogen	0 - 0,2
Karbon monoksida	0 - 0,2

Sumber: Tchobanoglous, dkk 1993

2.8.2 Proses Degradasi Sampah

Sampah yang ditimbun di dalam *landfill* akan mengalami berbagai proses degradasi secara biologis, kimiawi, dan fisik. (Wakadidar dkk, 2012). Berbagai macam reaksi di *landfill* terjadi karena berbagai faktor antara lain kondisi lahan, komposisi sampah, dan kondisi alam termasuk oksigen, kelembapan, temperatur, dan juga nutrient.

Sudrajat (2006) menjelaskan bahwa terdapat 5 tahapan yang dapat dilihat pada **Gambar 2.5**



Gambar 2.5 Proses Degradasi Sampah

Sumber: Tchobanoglous, dkk. 1993

1. **Proses Hidrolisis**

Pada proses ini terjadi dekomposisi bahan organik polimer menjadi monomer yang mudah larut serta dihasilkan asam amino, *volatile acid*, gliserol, dl. Lemak diuraikan oleh *lipolytic bacteria* dengan enzim lipase, karbohidrat diuraikan oleh *cellulotic bacteria* dengan enzim selulose, dan protein diuraikan oleh *preteolytic bacteria* dengan enzim protease.

2. **Proses Asidogenesis**

Pada proses ini terjadi dekomposisi monomer organik menjadi asam-asam organik (seperti asam format, asetat, butirrat, propionat, valeriat) dan alkohol oleh *acidogenic bacteria*. Selain itu dihasilkan CO₂, H₂, serta metanol.

3. **Proses Asetogenesis**

Pada proses ini, asam organik dan alkohol diubah menjadi asam asetat, format, methanol, CO₂, dan H₂ oleh *acetogenic bacteria*

4. **Proses Metanogenesis**

Pada proses ini asam asetat diubah menjadi CH₄, CO₂, dan H₂O oleh *metanogenic bacteria*. Hampir sekitar 70% gas metana dibentuk dari asam asetat sedangkan sisanya 30% dari asam format, CO₂, dan H₂.

5. **Proses Pematangan**

Pada proses pematangan, hanya tersisa senyawa karbon yang sukar terdegradasi dan laju produksi metan akan turun sehingga gas nitrogen dari atmosfer terdifusi kembali.

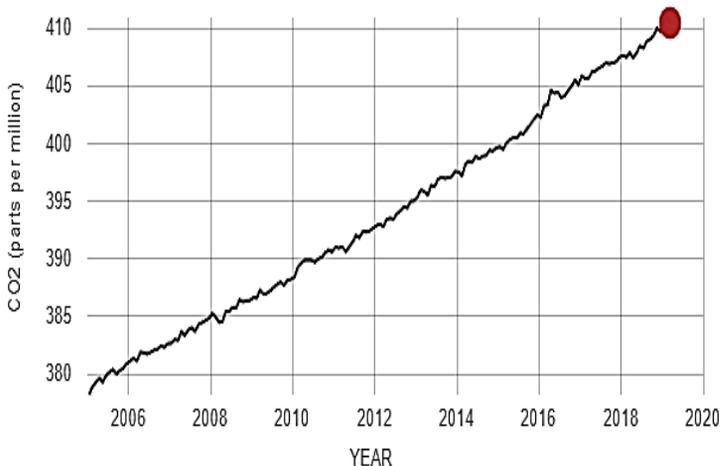
2.9 **Emisi Karbon Dioksida**

Gas karbon dioksida dapat menyerap radiasi infra merah yang dipancarkan oleh bumi sehingga radiasi inframerah ini tidak dapat lepas ke angkasa luar, sehingga karbon dioksida yang banyak di atmosfer menyebabkan perubahan iklim global.

Menurut Prawiwardoyo (1996), karbon dioksida yang masuk ke dalam atmosfer dapat berasal dari dua sumber, alami dan buatan. Sumber alami meliputi proses pernafasan

makhluk hidup di seluruh muka bumi serta degradasi bahan organik. Sedangkan sumber buatan meliputi pembakaran bahan bakar fosil, pembakaran hutan, dan perubahan tata guna lahan. Konsentrasi karbon dioksida di udara akan terus menerus meningkat dari tahun ke tahun sebesar 1,8 ppm atau 0,5% tiap tahunnya.

Menurut laporan dari NASA (2019) pada bulan Maret 2019 kadar karbon dioksida di atmosfer sudah mencapai 410 ppm. Terjadi kenaikan kadar karbon dioksida yang terus menerus yang dapat dilihat pada **Gambar 2.6**



Gambar 2.6 Konsentrasi Karbon dioksida Tahun 2006-2019

Sumber: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>
(diakses pada 18 April 2019, pukul 13.52)

2.10 Perhitungan Emisi Karbon dioksida

2.10.1 Emisi Karbon dioksida dari Kendaraan Bermotor

Terdapat dua jenis perhitungan kendaraan di TPA, yakni perhitungan untuk kendaraan pengangkut dan kendaraan berat. Perhitungan emisi kendaraan pengangkut yang digunakan dalam lingkungan TPA menggunakan data aktivitas berupa konsumsi BBM dan jarak tempuh kendaraan. Berikut perhitungan untuk kendaraan pengangkut:

Emisi CO₂ (ton/tahun) = jumlah BBM yang digunakan (l/km) x Faktor emisi CO₂ (g/l) x Faktor konversi (g/ton) x Jarak tempuh (km/hari) x Jumlah ritase x 365 hari

Sedangkan untuk kendaraan berat menggunakan data aktivitas berupa konsumsi BBM dan durasi operasional. Berikut perhitungan untuk kendaraan berat:

Emisi CO₂ (ton/tahun) = jumlah BBM yang digunakan (l/jam) x Faktor emisi CO₂ (g/l) x Faktor konversi (g/ton) x Durasi operasional (jam/hari) x 365 hari

Berikut adalah data aktifitas kendaraan berupa konsumsi BBM tiap kendaraan yang dapat dilihat pada **Tabel 2.7**

Tabel 2.7 Konsumsi BBM Kendaraan Pengelola Sampah

Jenis Kendaraan	Konsumsi BBM (l/km atau l/jam)
Truck Compactor	1,26 l/km ^a
Truck Arm roll	0,3 l/km ^b
Dump Truck	0,4 l/km ^c
Excavator	8,87 l/jam ^d
Buldozer	33,16 l/jam ^d
Wheel Loader	15,07 l/jam ^d
Backhoe Loader	15,3 l/jam ^e
Forklift	3 l/jam ^f

Sumber: ^a Nguyen, 2010; ^b www.goodyear.eu; ^c Anhar, 2010; ^d Klanfar, dkk. 2016; ^e www.liebherr.com; ^f www.yale.com

Sedangkan Faktor Emisi (FE) dari masing-masing kendaraan dapat dilihat [ada **Tabel 2.8**

Tabel 2.8 Faktor Emisi Kendaraan Pengelola Sampah

Jenis Kendaraan	Faktor Emisi (g/km atau g/jam)
Truck Compactor	2,6 g/km ^a
Truck Arm roll	2,6 g/km ^a
Dump Truck	2,6 g/km ^a
Excavator	2,59 g/jam ^b
Buldozer	1,66 g/jam ^c

Jenis Kendaraan	Faktor Emisi (g/km atau g/jam)
Wheel Loader	2,9 g/jam ^d
Backhoe Loader	2,9 g/jam ^d
Forklift	2,9 g/jam ^d

Sumber: ^a www.volvotrucks.com; ^b Malindu, dkk. 2015; ^c Ahn, dkk., 2010; ^d ECTA, 2011

2.10.2 Emisi Karbon dioksida dari Timbunan Sampah

Perhitungan emisi karbon dioksida menggunakan persamaan dalam IPCC 2006 sebagai berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 \text{ (ton)} = (\text{MSW}_T \times \text{MSW}_F \times \text{MCF} \times \text{DOC} \times \text{DOC}_F \times F \times \frac{16}{12} - R) \times (1 - \text{OX}) \times \left(\frac{1-F}{F} + \text{OX} \right) \times \frac{44}{16}$$

Keterangan:

MSW_T = timbunan sampah kota (ton/tahun)

MSW_F = fraksi timbunan sampah kota yang ditimbun di TPA (0,17 untuk Indonesia menurut IPCC, 1996)

MCF = faktor koreksi metan

DOC = *degradable organic content*

DOC_F = fraksi dari CH_4 di TPA (0,5 menurut US EPA, 2010)

F = *recovery* CH_4 (0,5 menurut IPCC)

OX = faktor oksidasi (0,1 menurut IPCC)

44 = MR dari CO_2

16 = MR dari CH_4

Degradable Organic Content (DOC) merupakan salah satu parameter utama dalam perhitungan emisi karbon dioksida dengan metode IPCC dan memiliki perbedaan nilai untuk masing-masing komposisi sampah. DOC adalah karakteristik dari sampah untuk menentukan seberapa banyak gas karbon dioksida dihasilkan dari proses degradasi sampah. Indonesia belum memiliki nilai spesifik mengenai DOC, sehingga digunakan DOC *default* IPCC untuk perhitungan. DOC masing-masing karakteristik sampah dapat dilihat pada **Tabel 2.9**

Tabel 2.9 Nilai DOC Komposisi Sampah

Jenis Sampah	Nilai DOC
Sampah makanan	0,15
Sampah Kebun	0,17
Kertas	0,4
Kayu	0,3
Tekstil	0,4
Pempalut/popok	0,24

Sumber: IPCC, 2006

Selain DOC, *Methane Correction Factor* (MCF) menjadi hal yang penting dalam perhitungan emisi karbon dioksida dari degradasi sampah. MCF merupakan nilai yang mendeskripsikan tingkat dan karakteristik TPA. Terdapat 4 jenis kategori TPA berdasarkan nilai MCF yang dapat dilihat pada **Tabel 2.10**

Tabel 2.10 Nilai MCF TPA

Tipe TPA	Nilai	Keterangan
Managed	1	Memiliki salah satu dari kriteria yaitu memiliki lapisan penutup, dikompaksi, atau sampah bertingkat
Unmanaged deep (>5m waste)	0,8	Tidak memenuhi kriteria dan dalam
Unmanaged Shallow (< 5m waste)	0,4	Tidak memenuhi kriteria dan dangkal
Uncategorized	0,6	Tidak dapat dikategorikan

Sumber: IPCC, 2006

2.11 Metode Proyeksi

Proyeksi jumlah kendaraan diperlukan untuk mengetahui beban emisi CO₂ di masa yang akan mendatang. Dengan mengetahui beban emisi CO₂ di masa yang akan datang dapat diketahui apakah RTH eksisting masih mampu menyerap emisi yang ada.

Metode proyeksi yang digunakan sebagai berikut:

a. Metode Aritmatik

Metode ini sesuai untuk daerah dengan perkembangan penduduk yang selalu naik secara konstan, dan dalam kurun waktu yang pendek. Perhitungan proyeksi dengan metode Aritmatik dapat dihitung dengan yaitu rumus sebagai berikut :

$$P_n = P_o + r(dn)$$

Dimana :

P_n = jumlah penduduk pada akhir tahun periode

P_o = jumlah penduduk pada awal proyeksi

r = rata-rata pertambahan penduduk tiap tahun

dn = kurun waktu proyeksi

b. Metode Geometri

Proyeksi dengan metoda ini menganggap bahwa perkembangan penduduk secara otomatis berganda, dengan pertambahan penduduk . Metoda ini tidak memperhatikan adanya suatu saat terjadi perkembangan menurun dan kemudian mantap, disebabkan kepadatan penduduk mendekati maksimum. Perhitungan proyeksi penduduk dengan metode Geometri dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_n = P_o + (1 + r)^{dn}$$

Dimana :

P_o = Jumlah Penduduk mula-mula

P_n = Penduduk tahun n

dn = kurun waktu

r = rata-rata prosentase tambahan penduduk pertahun

c. Metode Least Square

Metode ini digunakan untuk garis regresi linier yang berarti bahwa data perkembangan penduduk masa lalu menggambarkan kecenderungan garis linier, meskipun perkembangan penduduk tidak selalu bertambah. Dalam persamaan ini data yang dipakai jumlahnya harus ganjil. Perhitungan proyeksi penduduk dengan metode Least Square dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_n = a + (b t)$$

Dimana :

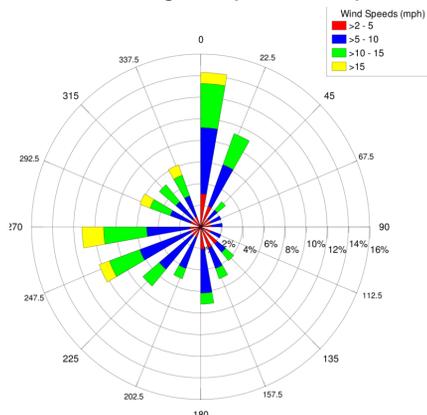
- t = tambahan tahun terhitung dari tahun dasar
- a = $\frac{(\sum p)(\sum t^2) - (\sum t)(\sum p.t)}{n(\sum t^2) - (\sum t)^2}$
- b = $\frac{n(\sum p.t) - (\sum t)(\sum p)}{n(\sum t^2) - (\sum t)^2}$

Dari ketiga metode tersebut dipilih dengan nilai koefisien korelasi (r) yang mendekati 1 menggunakan rumus:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\{[n(\sum y^2) - (\sum y)^2][n(\sum x^2) - (\sum x)^2]\}^{1/2}}$$

2.12 WRPLOT

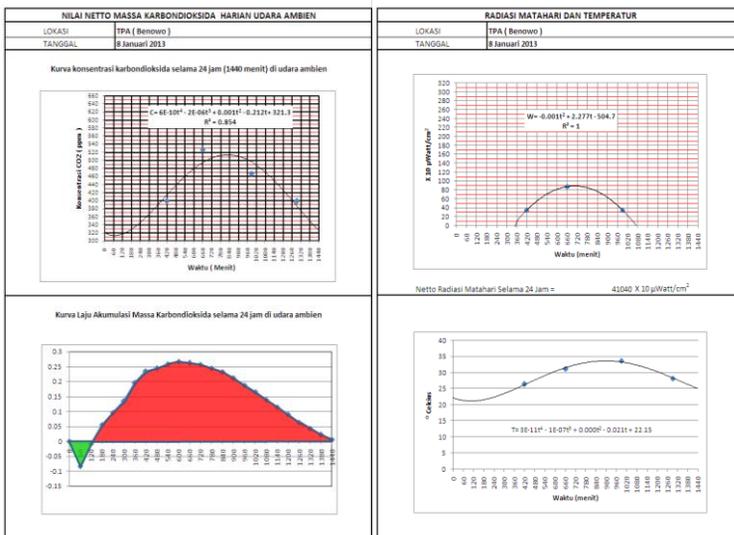
WRPLOT View adalah program yang memiliki kemampuan untuk mempresentasikan data kecepatan angin dalam bentuk mawar angin (*windrose*) sebagai data meteorologi. WRPLOT memberikan gambaran kejadian angin pada kecepatan tertentu dari berbagai arah, persentase kecepatan angin, kecepatan angin minimum dan maksimum. Mawar angin menampilkan distribusi kecepatan angin dalam satuan (knots) dan (m/s). Distribusi tersebut di tandai dengan pengaturan warna yang berbeda di setiap kecepatan angin pada lokasi dan jangka waktu tertentu. Tampilan hasil mawar angin dapat dilihat pada **Gambar 2.7**



Gambar 2.7 Windrose

2.13 Penelitian Terdahulu

Terdapat penelitian terkait pengukuran karbon dioksida di sekitar TPA Benowo selama 24 jam yang dilakukan oleh Santoso (2013). Kesimpulan dari penelitian tersebut yakni TPA Benowo mengemisikan karbon dioksida, dengan kadar tertinggi sebesar 520 ppm pada pukul 14.00. Pengukuran Selengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 2.8**



Gambar 2.8 Hasil Pengukuran Karbon dioksida di TPA Benowo

BAB III

GAMBARAN UMUM DAERAH PERENCANAAN

3.1 Gambaran Umum Kota Surabaya

Kota Surabaya terletak diantara 07° 12' - 07° 21' Lintang Selatan dan 112° 36' - 112° 54' Bujur Timur, merupakan kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta. Batas-batas wilayah Kota Surabaya adalah sebagai berikut:

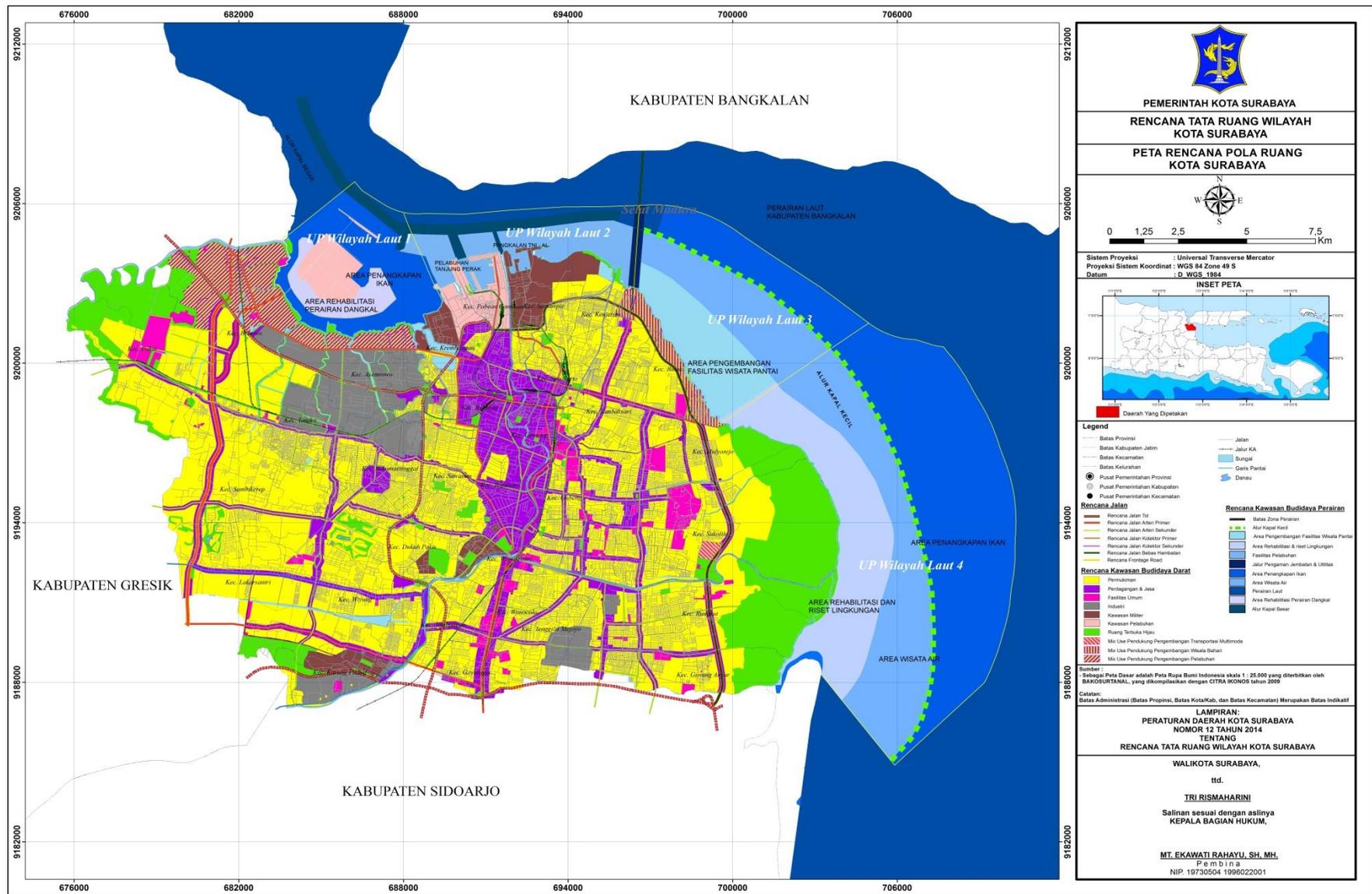
- Batas Utara : Selat Madura
- Batas Selatan : Kabupaten Sidoarjo
- Batas Timur : Selat Madura
- Batas Barat : Kabupaten Gresik

Temperatur Kota Surabaya cukup panas, yaitu rata-rata antara 22,60°C – 34,10°C, dengan tekanan udara rata-rata antara 1005,2 – 1013,9 milibar dan kelembaban antara 42% - 97%. Kecepatan angin rata-rata perjam mencapai 12 – 23 km, curah hujan rata-rata antara 120 – 190 mm. (<http://ciptakarya.pu.go.id/profil/profil/barat/jatim/surabaya.pdf> diakses pada 7 Januari 2019 pukul 22.16)

Wilayah Kota Surabaya dibagi dalam 31 kecamatan dan 163 kelurahan dengan jumlah penduduk sampai dengan tahun 2016 mencapai 2.599.796 jiwa. Dengan luas wilayah 326,36 km², dengan kepadatan penduduk rata-rata adalah 8.463 jiwa per km². (Surabaya Dalam Angka, 2017)

Peta rencana pola ruang Kota Surabaya dapat dilihat pada **Gambar 3.1**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



Gambar 3.1 Peta Rencana Pola Ruang Kota Surabaya

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

3.2 Gambaran Umum TPA Benowo

Tempat Pembuangan Akhir TPA Benowo merupakan salah satu areal tempat pembuangan akhir sampah sebagian Kota Surabaya yang terletak di Kelurahan Romokalisari yang berbatasan langsung dengan Kabupaten Gresik, dengan luas lahan kurang lebih 37 ha, termasuk daerah pengembangan seluas 3,43 Ha. Saat ini pengelolaan timbunan sampah di TPA Benowo dibagi dalam enam zona/terminal, yakni terminal IA, IB selatan, IB utara, IIA, IIB utara, dan IIB selatan, sedangkan zona IC sudah tidak aktif dan keadaannya saat ini sudah terdegradasi menjadi tanah. Peta TPA Benowo dapat dilihat pada **Gambar 3.2**

3.2.1 Batas Lokasi Tapak

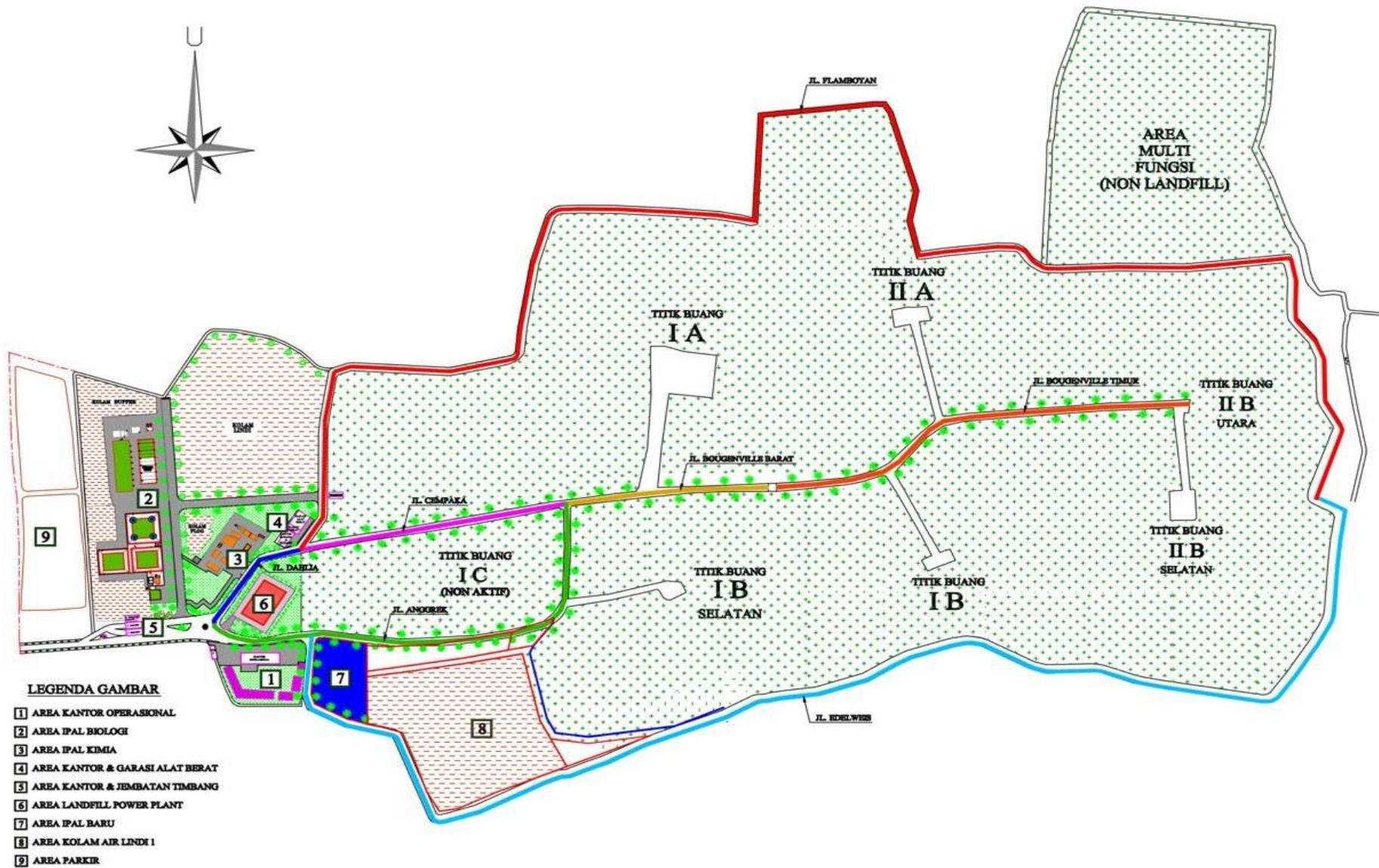
Batas lokasi tapak yang merupakan luasan dan ruang rencana untuk TPA Benowo saat ini adalah meliputi :

- Sebelah Utara : Sebagian besar berupa tambak garam dan tambak ikan milik penduduk atau lahan pemukiman penduduk berkepadatan rendah
- Sebelah Selatan : Rencana kawasan stadion Surabaya Barat
- Sebelah Timur : Tambak ikan dan garam milik penduduk
- Sebelah Barat : Jalan Tambakdono

3.2.2 Status Tanah

Status lahan TPA Benowo saat ini sudah sepenuhnya dimiliki oleh Pemerintah Kota Surabaya, tetapi untuk kebutuhan lahan penimbunan sampah dan area terbuka hijau untuk mereduksi bau dan kebutuhan meningkatkan estetika lokasi yang direncanakan berjarak 500 m hingga 2 km sekeliling TPA maka dibutuhkan luas daerah yang lebih besar lagi untuk dibebaskan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



Gambar 3.2 TPA Benowo
 Sumber: Dinas Kebersihan dan Pertamanan, 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

3.2.3 Kondisi Tata Guna Lahan Sekitar TPA Benowo

Penggunaan tanah di wilayah perencanaan terdiri dari industri dan pergudangan, permukiman, fasilitas umum, tambak ikan dan tambak garam, rel kereta api, serta sungai dan saluran drainase.

- **Industri dan Pergudangan**

Daerah industri dan pergudangan banyak ditemui dan merupakan kegiatan yang mendominasi daerah sekitar TPA Benowo, khususnya yang terletak di sebelah Timur jalan tol PT. MASPION IV merupakan daerah industri dan pergudangan yang letaknya paling dekat dengan TPA Benowo.

- **Pemukiman**

Daerah perumahan di wilayah sekitar TPA Benowo sebagian besar merupakan perumahan kampung yang lokasinya menempati sempadan sungai dan memanfaatkan tanah kosong yang ada.

- **Fasilitas Umum**

Fasilitas umum yang terdapat pada wilayah studi diantaranya adalah masjid dan tanah lapangan. Fasilitas umum ini terletak di perkampungan penduduk di daerah Tambakdono dan Benowo.

- **Ruang Terbuka Hijau**

Ruang terbuka yang ada di wilayah studi berupa tanah kosong (tambak), di sepanjang tepian Kali Lamong yang berlokasi di Kelurahan Tambakdono, Pakal dan Benowo. Berdasarkan RT/RW Kota Surabaya, wilayah sepanjang tepian Kali Lamong direncanakan sebagai kawasan konservasi atau ruang terbuka hijau.

- **Perikanan dan Tambak**

Daerah perikanan dan tambak banyak dijumpai dan menjadi batas TPA Benowo dengan pemanfaatan wilayah dikelola oleh masyarakat setempat. Bentuk daerah ini berupa rawa dan tambak ikan atau tambak garam, dimana banyak ditemui di sekitar lokasi TPA bagian Selatan, Barat, Timur dan Utara. Pada masa-masa tertentu masyarakat di daerah ini memanfaatkan lahan tersebut sebagai lahan tambak garam.

- **Jalan**

Jalan arteri, yaitu Jl. Tambakdono, Jl. Pakal dan Jl. Tandes – Benowo, Jalan Tol Surabaya – Gresik, mulai dari Jl. Margomulyo sampai dengan Romokalisari. Rumija berkisar antara 40 m hingga 80 m, dimana Rumija sebesar 40 m berada disekitar km 6 dan Rumija sebesar 80 m di sekitar gerbang tol Romokalisari.

- **Sungai dan Saluran Drainase**

Penggunaan tanah untuk untuk prasarana berupa sungai dan saluran drainase di wilayah TPA Benowo terdiri dari Kali Lamong, Kali Sememi, Saluran Benowo, Saluran Rejosari dan saluran irigasi tambak ikan atau tambak garam. (Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Surabaya, 2008)

3.2.4 Status TPA Benowo

Status TPA Benowo berdasarkan data yang dihimpun dari data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2019, terdapat izin yang dimiliki oleh TPA Benowo. Kemudian TPA Benowo memiliki sisa umur 14 tahun, selengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 3.3**

Nama TPA/TPST: TPA Benowo
Ijin Lingkungan: Ada
Penjelasan Ijin Lingkungan: AMDAL No. 660.1/29/Kep/436.7.2/2015
Penanggung Jawab: Pemerintah Kota Surabaya
Tahun Mulai Beroperasi: 2001
Luas TPA: 37.40Ha
Luas Terpakai: 37.40Ha
Jumlah Sampah Yang Dikelola: 1477.00Ton/hari
Sisa Umur TPA (Tahun): 14

Gambar 3.3 Status TPA Benowo

Sumber: <http://sipsn.menlhk.go.id/?q=content/tpa-tpst-156> (diakses pada 17 Juli 2019 pukul 15.38)

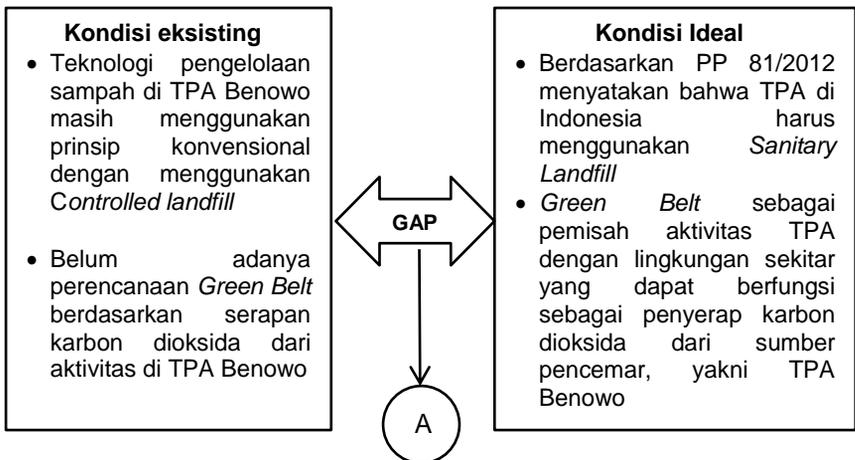
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Kerangka Alur Perencanaan

Kerangka alur perencanaan tugas akhir ini berupa rangkaian kegiatan yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini. Tujuan dari perencanaan ini adalah untuk merencanakan *green belt* di wilayah sekitar TPA Benowo. Untuk mencapai tujuan perencanaan, dibutuhkan kerangka alur agar perencanaan dapat berjalan secara sistematis, ringkas, dan logis.

Pada dasarnya, kegiatan dalam proses pengelolaan sampah di TPA mengeluarkan emisi berupa karbon dioksida, seperti degradasi sampah secara aerobik dan gas buang kendaraan bermotor. Namun, polutan yang dihasilkan dari setiap sumber akan berbeda jumlahnya. Melalui pendekatan IPCC, jumlah polutan yang diproduksi dapat dikuantifikasi sehingga dapat direncanakan kebutuhan *green belt* untuk menyerap karbon dioksida yang dihasilkan.

Secara garis besar, perencanaan ini akan dilaksanakan sesuai bagan alir yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1**



A



Rumusan Masalah

- Bagaimana produksi karbon dioksida(CO₂) yang berasal dari timbulan sampah dan kendaraan
- Bagaimana merencanakan jenis tanaman, jumlah tanaman, luasan, dan peremajaan *Green Belt*



Tujuan

- Menghitung produksi karbon dioksida (CO₂) yang berasal dari timbulan sampah dan kendaraan
- Merencanakan jenis tanaman, jumlah tanaman, luasan, dan peremajaan *Green Belt*



Ide Penelitian

Merencanakan *Green Belt* berupa jenis tanaman, jumlah tanaman, luasan, dan peremajaan *green belt* di wilayah sekitar TPA Benowo berdasarkan serapan karbon dioksida yang bersumber dari degradasi sampah dan emisi kendaraan bermotor



B

B

Penentuan Ruang Lingkup Perencanaan

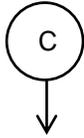
Penentuan ruang lingkup perencanaan:

1. Wilayah analisis dan perencanaan adalah *Green Belt* di TPA Benowo
2. Data komposisi dan timbulan sampah di TPA Benowo sebagai bahan perhitungan produksi Karbon dioksida
3. Karbon dioksida yang dihitung berasal dari timbulan sampah dan kendaraan
4. Perencanaan berdasarkan aspek reduksi Karbon dioksida oleh *Green Belt*
5. Perencanaan *Green Belt* berupa jenis dan jumlah tanaman, luasan, serta rencana peremajaan tanaman
6. *Green Belt* direncanakan pada tahun 2034 sesuai dengan berakhirnya RTRW Surabaya 2014-2034

Studi Literatur

- Definisi dan fungsi *Green Belt*
- Jenis Vegetasi
- Daya serap karbon dioksida oleh tanaman
- Komposisi sampah
- Emisi karbon dioksida dari sampah dan kendaraan

C



Perizinan

- Perizinan ke Badan Kesatuan Bangsa dan Politik (BAKESBANGPOL) Surabaya untuk meminta surat rekomendasi penelitian ke dinas terkait
- Perizinan ke Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau (DKRTH) Surabaya untuk meminta surat rekomendasi penelitian di TPA Benowo dan meminta data timbulan sampah
- Perizinan ke Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Surabaya untuk meminta data arah dan kecepatan angin
- Perizinan ke PT.Sumber Organik selaku pengelola TPA Benowo untuk perizinan penelitian komposisi sampah dan meminta data-data yang dibutuhkan



Pengumpulan Data

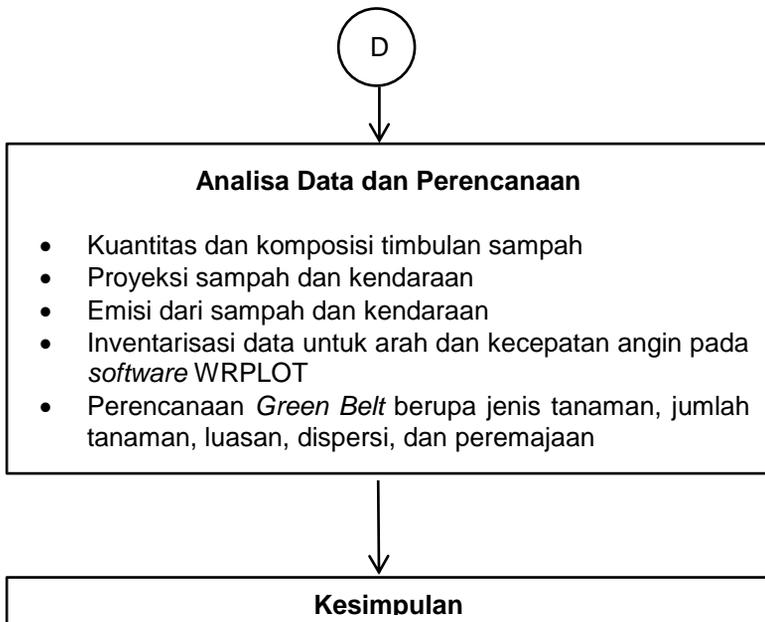
Data primer:

- Komposisi sampah

Data sekunder:

- Jumlah timbulan sampah
- Jumlah sarana kendaraan sampah
- Faktor emisi CO₂ sampah dan kendaraan
- Peta TPA Benowo
- Data arah dan kecepatan angin





Gambar 4.1 Kerangka Penelitian

4.2 Metode Pelaksanaan Perencanaan

4.2.1 Ide Tugas Akhir

Kota Surabaya memiliki TPA yang menampung sampah dari kota Surabaya sebesar 1.500 ton/hari. Bukan hanya aspek ketersediaan lahan saja yang harus difikirkan, namun juga dari aspek remediasi lingkungan. Oleh karena itu, terdapat wacana dari walikota Surabaya untuk mengembangkan *Green Belt* seluas 37ha di kawasan TPA Benowo. Timbulan sampah menghasilkan gas yang didominasi oleh metana dan karbon dioksida, dimana karbon dioksida dapat diserap oleh tanaman. Terdapat pula aktivitas kendaraan (truk *arm roll*, *buldozer*, *back hoe* dll) yang juga menimbulkan emisi karbon dioksida. Karena itu, perlu adanya perencanaan *Green Belt* agar karbon dioksida dapat diminimalisir keberadaannya.

4.2.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan teori yang kuat untuk melaksanakan tugas akhir ini. Literatur yang digunakan berupa jurnal (nasional dan internasional), *text book*, thesis, disertasi, serta peraturan perundang-undangan. Literatur yang digunakan untuk menunjang perencanaan ini yaitu literatur terkait definisi dan fungsi *Green Belt*, jenis vegetasi, daya serap karbon dioksida oleh tanaman, komposisi sampah, serta produksi karbon dioksida oleh timbulan sampah dan kendaraan

4.2.3 Perizinan

Perizinan ditujukan kepada instansi-intansi terkait seperti Bakesbangpol Kota Surabaya, Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau Kota Surabaya, Dinas Lingkungan Hidup dan Pengelola TPA Benowo. Perijinan dilakukan untuk keperluan pengambilan data dan survey lapangan.

4.2.4 Pengumpulan Data

Untuk menunjang perencanaan ini, dikumpulkan data yang relevan untuk dianalisis sehingga dapat mencapai tujuan perencanaan. Data terdiri dari data primer yang dianalisis langsung di lapangan dan data sekunder yang bersumber dari dinas terkait ataupun penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Pengumpulan data direncanakan akan dilakukan pada bulan Februari-April 2019. Adapun data yang diperlukan pada perencanaan ini dapat dilihat pada **Tabel 4.1**

Tabel 4.1 Data yang dibutuhkan untuk Perencanaan

Data primer	Data sekunder
Komposisi sampah TPA Benowo	Timbulan sampah masuk ke TPA Benowo tahun 2013-2018
	Data sarana kendaraan pengelola sampah tahun 2019
	Faktor emisi CO ₂ sampah dan kendaraan
	Peta TPA Benowo
	Arah dan kecepatan angin di SPU Sukomanunggal tahun 2013

1. Pengumpulan Data Primer

Data primer merupakan data-data yang langsung dikumpulkan oleh perencana. Data primer dapat diperoleh baik di lapangan melalui observasi maupun penelitian. Data primer yang diteliti oleh perencana adalah **Komposisi sampah di TPA Benowo**. Data komposisi sampah diambil dengan menganalisis sampel timbulan sampah yang berpedoman pada SNI 19-3964-1994 tentang Metoda Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan Sampah Perkotaan. Pengambilan sampel, pemilahan, penimbangan, dan pencatatan dilakukan di TPA Benowo, tepatnya di terminal I B.

2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari berbagai instansi terkait. Data sekunder yang digunakan dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

a) Data timbulan sampah

Data timbulan sampah didapat dari DKRTH Surabaya. Data timbulan sampah yang didapat merupakan data timbulan sampah yang masuk ke TPA Benowo dari tahun 2013 hingga 2018.

b) Data sarana kendaraan pengelola sampah

Data sarana kendaraan pengelola sampah didapat dari DKRTH Surabaya. Data kendaraan yang didapat berupa kendaraan pengangkut sampah dan alat berat tahun 2019.

c) Faktor Emisi

Faktor emisi (FE) merupakan satuan emisi yang ditimbulkan oleh masing-masing sumber. Faktor emisi digunakan untuk menentukan total emisi CO₂ yang ditimbulkan oleh masing-masing sumber. Pengali FE berbeda-beda untuk tiap-tiap sumber emisi. Untuk sumber emisi CO₂ sampah, FE yang digunakan mengacu kepada IPCC yang membedakan FE berdasarkan komposisi sampah dan jenis TPA. Perhitungan sumber emisi CO₂ kendaraan, masing-masing kendaraan memiliki nilai FE masing-masing. Kemudian FE akan dikalikan dengan data aktivitas

kendaraan, berupa jarak yang ditempuh untuk kendaraan pengangkut sampah atau durasi operasional untuk alat berat. Hasil kali tersebut menunjukkan emisi CO₂ yang ditimbulkan dari sumber kendaraan.

d) Peta TPA Benowo

Peta TPA Benowo didapatkan dari DKRTH. Peta TPA Benowo digunakan untuk mengetahui kondisi TPA Benowo secara keseluruhan dan untuk memudahkan perencanaan

e) Data Arah dan Kecepatan

Data arah dan kecepatan angin didapat dari DLH Surabaya. Data arah dan kecepatan angin yang digunakan dari SPU terdekat, yakni SPU Sukomanunggal tahun 2013. Selanjutnya dilakukan inventarisasi arah dan kecepatan angin untuk diolah di *software* WRPLOT untuk membuat *windrose* yang menggambarkan arah dan kecepatan angin dominan

4.2.5 Alat yang digunakan

Alat yang digunakan dalam perencanaan kali ini yaitu:

a) Timbangan digital

Timbangan gantung digunakan untuk mengukur berat masing-masing komposisi sampah. Timbangan gantung yang digunakan adalah timbangan digital koper yang mampu mengangkat beban hingga 50 kg. Pemilihan timbangan digital koper karena mempertimbangkan berbagai hal, yaitu tingkat akurasi yang lebih tinggi, dapat mengunci angka hasil penimbangan, dan model dari timbangan yang ergonomis di tangan untuk proses penimbangan. Timbangan digital dapat dilihat pada **Gambar 4.2**



Gambar 4.2 Timbangan Gantung

b) Peralatan Safety

Peralatan *safety* diperlukan untuk memilah sampah di TPA Benowo. Peralatan *safety* sangat diperlukan untuk menghindari diri kita dari potensi bahaya yang timbul dari tumpukan sampah. Peralatan *safety* dapat dilihat pada **Gambar 4.3**



Gambar 4.3 Peralatan Safety

c) **Cangkul**

Cangkul digunakan untuk mempermudah perencanaan memilah sampah dari tumpukan sampah, yang dapat dilihat pada **Gambar 4.4**



Gambar 4.4 Cangkul

d) **Wadah sampah**

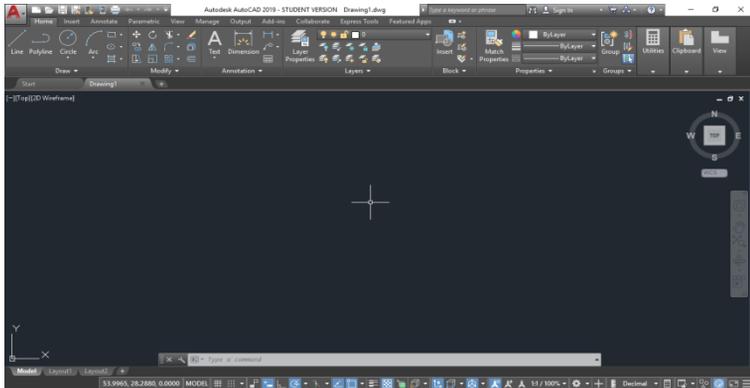
Wadah sampah yang digunakan untuk mewadahi sampah berdasarkan komposisinya yaitu karung plastik, yang dapat dilihat pada **Gambar 4.5**



Gambar 4.5 Wadah sampah

e) Software AutoCAD

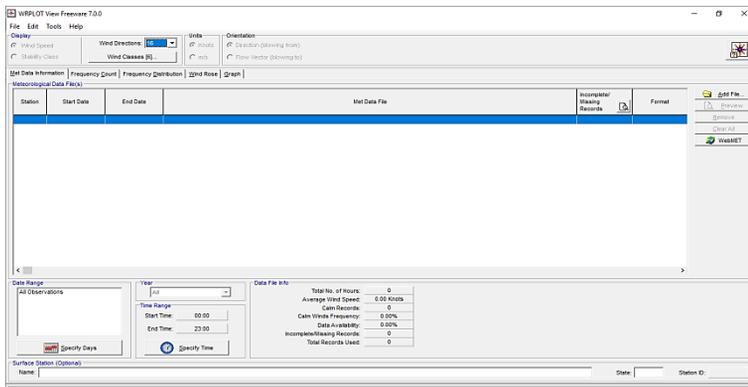
Software AutoCAD digunakan untuk merencanakan layout *Green Belt*, berikut tampilan kerja dari software AutoCAD yang dapat dilihat pada **Gambar 4.6**



Gambar 4.6 Tampilan Kerja AutoCAD

f) Software WRPLOT 7.0

Software WRPLOT digunakan untuk melihat distribusi arah dan kecepatan angin di wilayah perencanaan TPA Benowo, tampilan kerja WRPLOT 7.0 dapat dilihat pada **Gambar 4.7**



Gambar 4.7 Tampilan Kerja WRPLOT

4.3 Analisa dan Perencanaan

Pada tahap ini dilakukan analisis dari data primer dan sekunder yang telah didapatkan lalu dilakukan perencanaan dengan diagram alir yang dapat dilihat pada **Gambar 4.8**



Gambar 4.8 Diagram Alir Perencanaan

a) Menghitung komposisi sampah TPA Benowo

Melakukan perhitungan komposisi sampah dengan mengacu pada SNI 19-3964-1994, yang mana sampah diambil terlebih dahulu dengan alat berat dan diletakkan di tempat pemilahan, kemudian ditimbang hingga mencapai 100kg. lalu dipilah-pilah berdasarkan komposisi sampahnya. Pemilahan berdasarkan komposisi sampahnya mengacu kepada Tchobanoglous, dkk. (1993) yaitu: sampah makanan, kertas, kardus, plastic, kain, karet, kulit, sampah kebun, kayu, kaca, logam, popok/pembalut, dll. Komposisi sampah disajikan dalam bentuk tabel.

b) Menghitung proyeksi timbulan sampah

Data timbulan dan komposisi kemudian diproyeksikan sesuai dengan tahun perencanaan selama 15 tahun. Proyeksi sampah menggunakan data yang tercatat di DKRTH, yakni data timbulan sampah masuk ke TPA Benowo mulai tahun 2013 hingga 2018. Data tersebut kemudian dihitung pertumbuhan sampah rata-rata tiap tahunnya kemudian dihitung menggunakan metode proyeksi, yaitu metode aritmatika, geometri, dan *least square*, kemudian dipilih dari ketiganya yang memiliki nilai korelasi paling mendekati 1. Perhitungan proyeksi disajikan dalam bentuk tabel.

c) Menghitung emisi dari timbulan sampah

Hasil proyeksi sampah beserta komposisinya kemudian dihitung emisi karbon dioksida yang terbentuk. Perhitungan emisi menggunakan perhitungan IPCC dengan komposisi sampah yang menimbulkan emisi karbon dioksida menurut IPCC yaitu sampah makanan, sampah kebun, kertas, kayu, tekstil, dan popok/pembalut. Perhitungan emisi disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

d) Menghitung proyeksi kendaraan pengelola sampah

Data kendaraan akan diproyeksikan hingga tahun perencanaan. Proyeksi kendaraan di TPA mengacu kepada proyeksi jumlah sampah yang masuk ke TPA. Perhitungan proyeksi disajikan dalam bentuk tabel.

e) Menghitung emisi kendaraan pengelola sampah

Data kendaraan hasil proyeksi kemudian dihitung emisi karbon dioksida dengan metode IPCC. Data aktivitas yang digunakan berupa konsumsi BBM dan jarak tempuh/durasi operasional kendaraan. Perhitungan emisi disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

f) Menghitung total emisi karbon dioksida

Emisi dari ketiga sumber kemudian dijumlahkan untuk mengetahui total emisi karbon dioksida dari kegiatan di TPA Benowo. Total emisi disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

g) Membuat *wind rose* dari arah dan kecepatan angin pada *software* WRPLOT

Dilakukan inventarisasi data arah dan kecepatan angin di SPU Sukomanunggal tahun 2013 kedalam WRPLOT untuk mengetahui arah dominan dari angin di wilayah TPA Benowo. Output dari aplikasi WRPLOT berupa grafik arah dan kecepatan angina yang disajikan dalam bentuk mawar angin (*wind rose*).

h) Merencanakan jenis tanaman

Merencanakan jenis tanaman didasarkan pada kemampuan adsorpsi tanaman, kecocokan lingkungan dengan tanaman, dan ketersediaan tanaman.

i) Merencanakan *Green Belt*

Merencanakan *Green Belt* berupa jumlah tanaman dan luas. Perencanaan menggunakan prinsip kesetimbangan massa antara produksi dan serapan karbon dioksida dengan efisiensi penyerapan ideal sebesar 100%. Perencanaan ini juga memperhitungkan dispersi karbon dioksida dan juga memperhatikan penggunaan lahan di wilayah TPA Benowo.

j) Merencanakan peremajaan tanaman

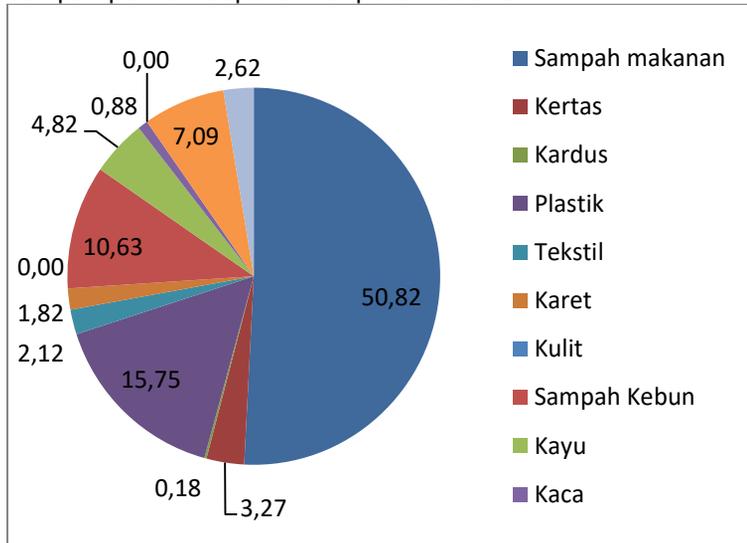
Peremajaan tanaman direncanakan untuk menjaga kualitas tanaman untuk menyerap emisi karbon dioksida dalam kondisi yang optimal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Komposisi dan Timbulan Sampah

Analisis komposisi dilakukan di TPA Benowo selama 8 hari berturut-turut di TPA Benowo, tepatnya di Titik buang 1 B dengan melakukan pemilahan sampah. Sampling dilakukan untuk mengetahui komposisi sampah yang ditimbun di TPA Benowo. Komposisi sampah mengacu kepada komposisi sampah di dalam buku *Solid Waste Management* karya Tchobanoglous, 1993, meliputi sampah makanan, kertas, kardus, plastik, tekstil, karet, kulit, sampah kebun, kayu, kaca, logam, popok/pembalut, dll. Komposisi sampah rata-rata di TPA Benowo dapat dilihat pada **Gambar 5.1** dan komposisi sampah per hari dapat dilihat pada **Tabel 5.1**



**Gambar 5.1 Diagram Hasil Perhitungan Rata-rata Komposisi
Sampah TPA Benowo**

Tabel 5.1 Komposisi Sampah TPA Benowo

No	Komposisi	Hari ke - (dalam %)								Rata-rata
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Sampah makanan	52,50	48,15	40,99	52,6	53,20	50,90	54,02	54,24	50,82
2	Kertas	1,73	3,59	0,00	6,21	4,10	5,70	4,35	0,46	3,27
3	Kardus	0,47	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,37	0,18
4	Plastik	10,49	28,79	16,58	9,89	13,10	11,40	22,17	13,59	15,75
5	Tekstil	0,40	4,23	2,30	5,44	1,12	2,30	0,00	1,20	2,12
6	Karet	0,18	4,34	0,00	3,12	0,00	4,60	0,00	2,28	1,82
7	Kulit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	Sampah Kebun	24,20	3,12	15,38	3,50	9,22	11,30	7,66	10,63	10,63
9	Kayu	1,23	3,52	13,43	6,11	6,21	4,40	1,37	2,26	4,82
10	Kaca	2,82	0,93	0,77	0,29	1,42	0,40	0,40	0,00	0,88
11	Logam	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	Popok/pembalut	4,57	0,65	5,36	10,2	8,10	5,80	9,30	12,75	7,09
13	lain-lain	1,41	2,46	5,20	2,64	3,53	3,20	0,32	2,22	2,62
Total		100	100	100	100	100	100	100	100	100

Sumber: Hasil Sampling

Dari Tabel 5.1 dapat dilihat bahwa persentase terbesar sampah yang ditimbun di TPA Benowo adalah sampah makanan dengan rata-rata sebesar 50,82%, terbesar kedua sampah plastik sebesar 15,75%. Hal ini sejalan dengan penelitian dari Nikmah dan Warmadewanthi (2013) dengan judul penelitian “Prediksi Potensi Pencemaran Pengolahan Sampah dengan Metode Gasifikasi *Fluidized Bed* (Studi Kasus TPA Benowo, Surabaya)” yang menyatakan bahwa komposisi sampah terbesar di TPA Benowo berasal dari sampah makanan dan disusul oleh sampah plastik. Sedangkan terbesar ketiga sampah kebun 10,63% dan yang terkecil adalah kulit dan logam sebesar 0%. Sampah makanan masih menjadi sampah terbesar yang dibuang ke TPA karena masyarakat Kota Surabaya khususnya dan masyarakat Indonesia pada umumnya masih memiliki kesadaran diri yang rendah untuk menghabiskan makanan yang tersaji. Alasan lainnya yaitu karena kondisi geografis Indonesia yang sangat luas dan berupa kepulauan dengan infrastruktur yang belum memadai, sehingga makanan harus menempuh jarak yang cukup lama pada proses pendistribusian ke konsumen, sehingga tidak jarang makanan sudah tidak layak untuk dikonsumsi sebelum sampai ke konsumen. Logam dan kulit menjadi merupakan dua komposisi yang sangat jarang ditemukan di TPA, mengingat logam dan kulit memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi, yang menyebabkan kedua komposisi tersebut sudah terpilah sebelum sampah sampai ke TPA.

Data pendukung lainnya yaitu data timbulan sampah yang masuk ke TPA Benowo. Data timbulan sampah didapat dari Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau Kota Surabaya. Data timbulan sampah yang didapat merupakan inventarisasi data tahun 2013-2018. Data timbulan sampah yang masuk ke TPA Benowo dapat dilihat pada **Tabel 5.2**

Tabel 5.2 Timbulan Sampah Masuk ke TPA Benowo Tahun 2013-2018

No	Tahun	Jumlah (ton)
1	2013	509.047
2	2014	531.403
3	2015	539.164
4	2016	575.099
5	2017	590.221
6	2018	608.396

Sumber: Data DKRTH Surabaya, 2019

Kemudian dihitung rasio pertumbuhan sampah yang masuk ke TPA Benowo dari data yang dihimpun, rata-rata pertumbuhan sampah dapat dilihat pada **Tabel 5.3**.

Tabel 5.3 Rasio Pertumbuhan Sampah TPA Benowo Tahun 2013-2018

No	Tahun	Jumlah (ton)	Pertumbuhan		Rasio Pertumbuhan Sampah
			Sampah (ton)	%	
1	2013	509.047	0,000	0,000	0,000
2	2014	531.403	22.356	4,392	0,044
3	2015	539.164	7.761	1,460	0,015
4	2016	575.099	35.935	6,665	0,067
5	2017	590.221	15.122	2,629	0,026
6	2018	608.396	18.175	3,079	0,031
JUMLAH		3.353.330	99.349	18,22	0,182
Rata-rata Pertumbuhan Sampah					0,030

Dari data timbulan sampah dan rasio pertumbuhan sampah masuk ke TPA Benowo tahun 2013-2018 dilakukan proyeksi timbulan sampah untuk mengetahui prediksi sampah

yang masuk ke TPA Benowo pada tahun perencanaan, yakni pada tahun berakhirnya RTRW Surabaya eksisting, tahun 2034. Terdapat 3 metode proyeksi, yang dapat digunakan untuk memprediksi sampah yang akan masuk ke TPA Benowo, yaitu metode aritmatika, geometri, dan *least square*. Dipilihnya salah satu dari ketiga metode tersebut dengan cara menguji nilai korelasinya yang paling mendekati nilai 1. Perhitungan selengkapnya terdapat pada lampiran 2, sementara nilai korelasi dapat dilihat pada **Tabel 5.4**

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Nilai Korelasi Masing-Masing Metode

No	Metode	Nilai Korelasi (r)
1	Aritmatika	0,420575883
2	Geometri	0,990180132
3	<i>Least Square</i>	0,631938991

Hasil perhitungan nilai korelasi menunjukkan bahwa metode Geometri merupakan metode yang memiliki nilai korelasi yang paling mendekati 1 untuk proyeksi timbulan sampah. Berikut adalah contoh perhitungan proyeksi timbulan sampah pada tahun 2019:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah sampah 2019} &= \text{jumlah sampah 2018} \times (1 + \text{rata-rata} \\
 &\quad \text{pertumbuhan sampah})^{2019-2018} \\
 &= 608.396 \text{ ton} \times (1 + 0,03)^{2019-2018} \\
 &= 626.396 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Perhitungan proyeksi timbulan sampah dapat dilihat pada **Tabel 5.5**

Tabel 5.5 Proyeksi Timbulan Sampah Masuk ke TPA Benowo Tahun 2018-2034

No	Tahun	Jumlah Sampah (ton)
1	2018	608.396
2	2019	626.648
3	2020	645.448
5	2022	684.757
6	2023	705.300
7	2024	726.459
8	2025	748.253
9	2026	770.701
10	2027	793.823
11	2028	817.638
12	2029	842.168
13	2030	867.434
14	2031	893.458
15	2032	920.262
16	2033	947.870
17	2034	976.307

Berdasarkan data dalam Tabel 5.5, dapat diketahui bahwa timbulan sampah yang masuk ke TPA Benowo pada tahun perencanaan (tahun 2034) yakni sebesar 976.307 ton. Timbulan sampah berdasarkan komposisi sampah dapat dilihat pada **Tabel 5.6**

Tabel 5.6 Komposisi Timbulan Sampah TPA Benowo Tahun 2018-2034 (1)

No	Tahun	Jumlah Sampah (ton)	Sampah makanan	Kertas	Kardus	Plastik	Tekstil
			50,82%	3,27%	0,18%	15,75%	2,12%
1	2019	608.396	309.213	19.887	1.114	95.828	12.919
2	2020	626.648	318.489	20.483	1.147	98.703	13.306
3	2021	645.448	328.044	21.098	1.181	101.664	13.705
4	2022	664.812	337.886	21.731	1.217	104.714	14.117
5	2023	684.757	348.023	22.383	1.253	107.856	14.540
6	2024	705.300	358.464	23.054	1.291	111.091	14.976
7	2025	726.459	369.217	23.746	1.330	114.424	15.426
8	2026	748.253	380.294	24.458	1.370	117.857	15.888
9	2027	770.701	391.703	25.192	1.411	121.393	16.365
10	2028	793.823	403.455	25.948	1.453	125.035	16.856
11	2029	817.638	415.559	26.726	1.497	128.786	17.362
12	2030	842.168	428.026	27.528	1.541	132.649	17.882
13	2031	867.434	440.867	28.354	1.588	136.629	18.419
14	2032	893.458	454.094	29.204	1.635	140.728	18.972
15	2033	920.262	467.716	30.080	1.684	144.950	19.541
16	2034	947.870	481.748	30.983	1.735	149.298	20.127

Tabel 5.6 Komposisi Timbunan Sampah TPA Benowo Tahun 2018-2034 (2)

No	Tahun	Jumlah Sampah (ton)	Karet	Sampah Kebun	Kayu	Kaca	Popok/pembalut	lain-lain
			1,82%	10,63%	4,82%	0,88%	7,09%	2,62%
1	2019	608.396	11.043	64.647	29.304	5.344	43.145	15.954
2	2020	626.648	11.374	66.586	30.183	5.504	44.439	16.433
3	2021	645.448	11.716	68.584	31.088	5.669	45.772	16.926
4	2022	664.812	12.067	70.642	32.021	5.839	47.145	17.434
5	2023	684.757	12.429	72.761	32.982	6.014	48.560	17.957
6	2024	705.300	12.802	74.944	33.971	6.195	50.017	18.495
7	2025	726.459	13.186	77.192	34.990	6.381	51.517	19.050
8	2026	748.253	13.582	79.508	36.040	6.572	53.063	19.622
9	2027	770.701	13.989	81.893	37.121	6.769	54.654	20.210
10	2028	793.823	14.409	84.350	38.235	6.972	56.294	20.817
11	2029	817.638	14.841	86.881	39.382	7.182	57.983	21.441
12	2030	842.168	15.286	89.487	40.564	7.397	59.723	22.084
13	2031	867.434	15.745	92.172	41.780	7.619	61.514	22.747
14	2032	893.458	16.217	94.937	43.034	7.848	63.360	23.429
15	2033	920.262	16.704	97.785	44.325	8.083	65.261	24.132
16	2034	947.870	17.205	100.719	45.655	8.326	67.218	24.856

5.2 Kendaraan Operasional Pengelolaan Sampah di TPA Benowo

Kota Surabaya memiliki sarana operasional berupa kendaraan untuk menunjang pengelolaan sampah untuk selanjutnya akan diolah di TPA Benowo. Sarana pengelolaan sampah milik Kota Surabaya dapat dilihat pada **Tabel 5.7**

Tabel 5.7 Data Sarana Kendaraan Pengelolaan Sampah Kota Surabaya

No	Jenis	Jumlah Sarana Kendaraan
1	Truk Compactor	54
2	Truk Armroll	90
3	Dump Truck	23
4	Excavator	7
5	Buldozer	7
6	Wheel Loader	3
7	Backhoe Loader	1
8	Forklift	1

Sumber: Data DKRTH Surabaya, 2019

Kemudian dilakukan perhitungan proyeksi kendaraan dengan contoh perhitungan truk Compactor pada tahun 2020:

$$\begin{aligned}
 \text{Truk Compactor tahun 2020} &= \frac{\text{Timbulan sampah 2020}}{\text{Timbulan sampah 2019}} \times \text{Truk} \\
 &\quad \text{Compactor tahun 2019} \\
 &= \frac{645.448 \text{ ton}}{626.648 \text{ ton}} \times 54 \text{ kendaraan} \\
 &= 56 \text{ kendaraan}
 \end{aligned}$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel**

5.8

Tabel 5.8 Proyeksi Sarana Kendaraan Pengelolaan Sampah TPA Benowo

No	Tahun	Truck Compactor	Truck Armroll	Dump Truck	Excavator	Buldozer	Wheel Loader	Backhoe Loader	Forklift
1	2019	54	90	23	7	7	3	1	1
2	2020	56	93	24	7	7	3	1	1
3	2021	57	95	24	7	7	3	1	1
4	2022	59	98	24	7	7	3	1	1
5	2023	61	101	24	7	7	3	1	1
6	2024	63	104	24	7	7	3	1	1
7	2025	64	107	24	7	7	3	1	1
8	2026	66	111	24	7	7	3	1	1
9	2027	68	114	24	7	7	3	1	1
10	2028	70	117	24	7	7	3	1	1
11	2029	73	121	24	7	7	3	1	1
12	2030	75	125	24	7	7	3	1	1
13	2031	77	128	24	7	7	3	1	1
14	2032	79	132	24	7	7	3	1	1
15	2033	82	136	24	7	7	3	1	1
16	2034	84	140	24	7	7	3	1	1

5.3 Perhitungan Emisi Karbon dioksida

5.3.1 Proyeksi Karbon dioksida Sumber Timbunan Sampah

Perhitungan proyeksi karbon dioksida menggunakan metode IPCC dengan tingkat ketelitian tier 2 dengan data aktivitas komposisi sampah TPA Benowo hasil sampling. Metode IPCC dipilih karena dapat memprediksi produksi karbon dioksida yang timbul dari timbunan sampah dengan tingkat ketelitian yang lebih spesifik, karena produksi karbon dioksida didasarkan pada komposisi sampah yang ada di TPA Benowo. Dalam perhitungan kali ini, MCF (*Methane Correction Factor*) yang digunakan bernilai 1, atau untuk tipe TPA *managed*. Hal ini dikarenakan TPA Benowo merupakan TPA dengan tipe *Controlled Landfill* yang memiliki tanah/membrane penutup untuk menutup tumpukan sampah, memiliki IPAL, dan memiliki pengolah gas metan. Berikut contoh perhitungan produksi emisi karbon dioksida dari sampah makanan di tahun 2019:

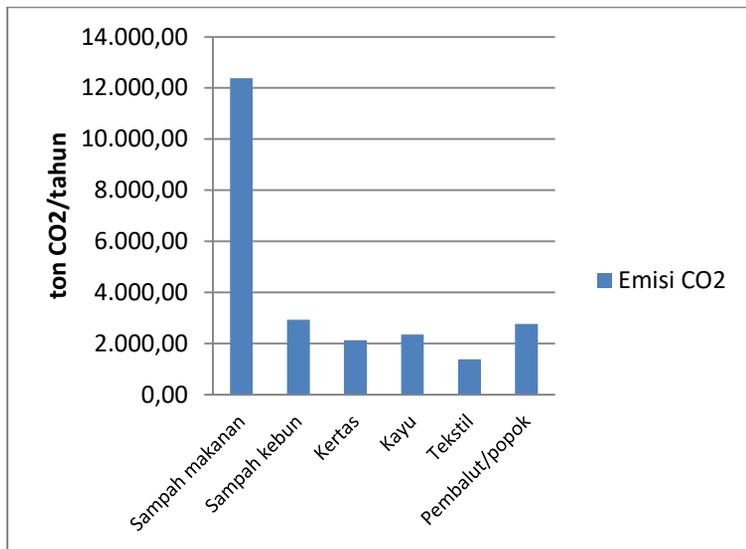
$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 \text{ (ton)} &= (\text{MSW}_T \times \text{MSW}_F \times \text{MCF} \times \text{DOC} \times \\ &\text{DOC}_F \times F \times \frac{16}{12} - R) \times (1 - \text{OX}) \times \left(\frac{1-F}{F} + \right. \\ &\left. \text{OX} \right) \times \frac{44}{16} \\ &= (309.213 \text{ ton} \times 0,17 \times 1 \times 0,15 \times 0,5 \times \\ &0,5 \times \frac{16}{12} - 0) \times (1 - 0,1) \times \left(\frac{1-0,5}{0,5} + 0,1 \right) \times \\ &\frac{44}{16} \\ &= 7.950,64 \text{ ton CO}_2 \end{aligned}$$

Perhitungan emisi karbon dioksida tiap komposisi selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 5.9**

Tabel 5.9 Emisi Karbon dioksida Berdasarkan Komposisi Sampah

No	Tahun	Produksi Karbon dioksida (Ton)						Total
		Sampah makanan	Sampah kebun	Kertas	Kayu	Tekstil	Pembalut/ popok	
1	2019	7.950,64	1.883,87	1.363,55	1.506,94	885,79	1.774,97	15.365,76
2	2020	8.189,16	1.940,39	1.404,46	1.552,15	912,36	1.828,22	15.826,73
3	2021	8.434,84	1.998,60	1.446,59	1.598,72	939,73	1.883,07	16.301,55
4	2022	8.687,89	2.058,56	1.489,99	1.646,68	967,92	1.939,56	16.790,61
5	2023	8.948,54	2.120,32	1.534,70	1.696,08	996,96	1.997,75	17.294,34
6	2024	9.217,00	2.183,93	1.580,74	1.746,97	1.026,87	2.057,68	17.813,18
7	2025	9.493,50	2.249,45	1.628,16	1.799,38	1.057,68	2.119,41	18.347,58
8	2026	9.778,31	2.316,93	1.677,00	1.853,36	1.089,41	2.182,99	18.898,01
9	2027	10.071,67	2.386,44	1.727,31	1.908,96	1.122,09	2.248,49	19.464,96
10	2028	10.373,83	2.458,03	1.779,14	1.966,23	1.155,76	2.315,94	20.048,93
11	2029	10.685,05	2.531,78	1.832,51	2.025,22	1.190,43	2.385,42	20.650,41
12	2030	11.005,61	2.607,73	1.887,49	2.085,98	1.226,14	2.456,99	21.269,94
13	2031	11.335,79	2.685,97	1.944,12	2.148,56	1.262,93	2.530,70	21.908,06
14	2032	11.675,88	2.766,55	2.002,44	2.213,02	1.300,82	2.606,62	22.565,33
15	2033	12.026,16	2.849,55	2.062,51	2.279,41	1.339,84	2.684,82	23.242,30
16	2034	12.386,95	2.935,03	2.124,39	2.347,79	1.380,04	2.765,37	23.939,57

Dari Tabel 5.9 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan produksi karbon dioksida seiring dengan meningkatnya timbunan sampah yang diangkut ke TPA Benowo tiap tahunnya. Pada tahun 2019 produksi karbon dioksida sebesar 15.365,76 ton dan pada tahun 2034 sebesar 23.939,57 ton. Grafik produksi emisi karbon dioksida pada tahun perencanaan (2034) masing-masing komposisi sampah selengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 5.2**



Gambar 5.2 Emisi Karbon dioksida Sumber Sampah Tahun 2034

Komposisi sampah dengan emisi karbon dioksida terbesar adalah sampah makanan dengan produksi karbon dioksida sebesar 12.386,95 ton. Hal ini dikarenakan sampah makanan adalah sampah yang mendominasi komposisi sampah di TPA Benowo. Sampah kebun menjadi terbesar kedua dengan 2.935,03 ton karbon dioksida dan kayu menjadi terbesar ketiga dengan 2.347,79 ton karbon dioksida.

Walaupun popok/pembalut memiliki presentase komposisi sampah yang lebih tinggi dibanding sampah kayu, namun produksi karbon dioksida dari popok/pembalut lebih kecil. Hal ini dikarenakan popok/pembalut memiliki ikatan atom karbon yang lebih sedikit dibanding sampah kayu.

5.3.2 Proyeksi Karbon dioksida Sumber Kendaraan

Perhitungan produksi karbon dioksida menggunakan metode IPCC dengan tingkat ketelitian tier 2. Data aktivitas yang dijadikan acuan adalah konsumsi bahan bakar, jarak tempuh, dan/atau durasi penggunaan kendaraan. Kendaraan pengangkut sampah beroperasi rata-rata 2 kali ritase/hari. Jarak yang diukur untuk kendaraan pengangkut sampah adalah jarak dari gerbang masuk TPA Benowo ke terminal peletakan sampah dan sebaliknya. Berikut jarak yang ditempuh ke masing-masing terminal peletakan sampah yang dapat dilihat pada **Tabel 5.10**

Tabel 5.10 Jarak Gerbang TPA ke Masing-Masing Terminal Sampah

Terminal	Jarak (km)
IA	0,353
IB Selatan	0,383
IB	0,502
IIA	0,616
IIB Utara	0,642
IIB Selatan	0,655
Rata-rata	0,555

Sumber: *Google Earth, 2019*

Berdasarkan hasil pengukuran jarak pada Tabel 5.10 tersebut kemudian diketahui jarak dari gerbang TPA ke terminal sampah, dengan jarak untuk jalan arah keluar diasumsikan sama dengan jarak arah masuk. Berikut contoh

perhitungan emisi karbon dioksida untuk kendaraan pengangkut sampah, yaitu truk compactor pada tahun 2019:

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 \text{ Truk Compactor} &= \text{Jumlah kendaraan tahun 2019} \times \\ &\text{konsumsi BBM (l/km)} \times \text{faktor} \\ &\text{emisi (g/l)} \times \text{faktor pengali (ton/g)} \times \\ &\text{jarak tempuh di TPA (km)} \times \text{jumlah} \\ &\text{ritase (/hari)} \times 365 \text{ hari} \\ &= 54 \text{ kendaraan} \times 1,26 \text{ l/km} \times 2,6 \\ &\text{g/l} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times (0,555 \text{ km} \times 2) \times 2 \\ &\text{ritase} \times 365 \text{ hari} \\ &= 0,143 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Terdapat sedikit perbedaan dalam perhitungan emisi karbon dioksida pada kendaraan berat, yang mana perhitungan konsumsi BBM didasarkan pada durasi operasional alat berat tersebut. Alat berat beroperasi selama 15 jam/hari yang dimulai dari pukul 05.00 pagi hingga 20.00 malam. Berikut contoh perhitungan emisi alat berat excavator tahun 2019:

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 \text{ Excavator} &= \text{Jumlah kendaraan tahun 2019} \times \\ &\text{konsumsi BBM (l/jam)} \times \text{faktor emisi} \\ &\text{(g/jam)} \times \text{faktor pengali (ton/g)} \times \\ &\text{jarak tempuh di TPA (km)} \times \text{durasi} \\ &\text{operasional (jam/hari)} \times 365 \text{ hari} \\ &= 7 \text{ kendaraan} \times 8,87 \text{ l/jam} \times 2,59 \\ &\text{g/jam} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 15 \text{ jam/hari} \times 2 \\ &\text{ritase} \times 365 \text{ hari} \\ &= 0,880 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel**

5.11

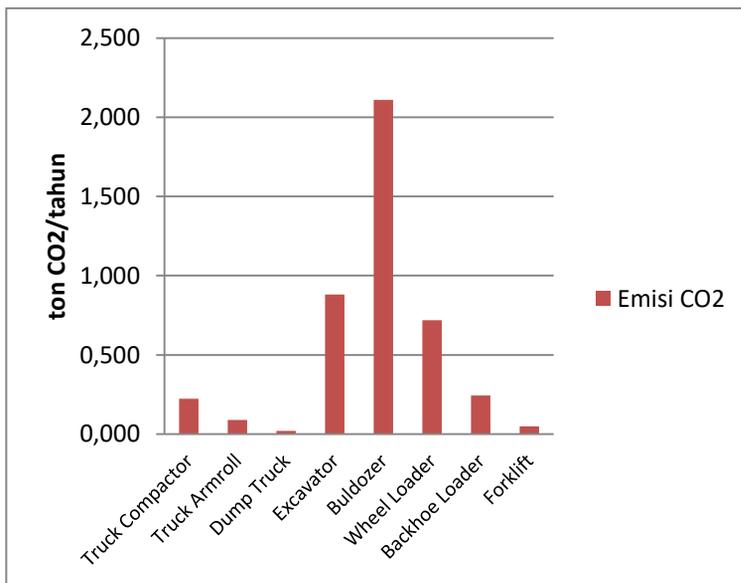
Tabel 5.11 Emisi Karbon dioksida Berdasarkan Kendaraan Operasional Sampah TPA Benowo (1)

No	Tahun	Produksi Karbon dioksida (ton)				
		Truck Compactor	Truck Armroll	Dump Truck	Excavator	Buldozer
1	2019	0,143	0,057	0,019	0,880	2,110
2	2020	0,149	0,059	0,020	0,880	2,110
3	2021	0,151	0,060	0,020	0,880	2,110
4	2022	0,157	0,062	0,020	0,880	2,110
5	2023	0,162	0,064	0,020	0,880	2,110
6	2024	0,167	0,066	0,020	0,880	2,110
7	2025	0,170	0,068	0,020	0,880	2,110
8	2026	0,175	0,070	0,020	0,880	2,110
9	2027	0,181	0,072	0,020	0,880	2,110
10	2028	0,186	0,074	0,020	0,880	2,110
11	2029	0,194	0,076	0,020	0,880	2,110
12	2030	0,199	0,079	0,020	0,880	2,110
13	2031	0,204	0,081	0,020	0,880	2,110
14	2032	0,210	0,083	0,020	0,880	2,110
15	2033	0,218	0,086	0,020	0,880	2,110
16	2034	0,223	0,089	0,020	0,880	2,110

Tabel 5.11 Emisi Karbon dioksida Berdasarkan Kendaraan Operasional Sampah TPA Benowo (2)

No	Tahun	Produksi Karbon dioksida (ton)			
		Wheel Loader	Backhoe Loader	Forklift	Total Emisi CO2 (ton/tahun)
1	2019	0,718	0,243	0,048	4,218
2	2020	0,718	0,243	0,048	4,226
3	2021	0,718	0,243	0,048	4,230
4	2022	0,718	0,243	0,048	4,237
5	2023	0,718	0,243	0,048	4,245
6	2024	0,718	0,243	0,048	4,252
7	2025	0,718	0,243	0,048	4,256
8	2026	0,718	0,243	0,048	4,264
9	2027	0,718	0,243	0,048	4,271
10	2028	0,718	0,243	0,048	4,279
11	2029	0,718	0,243	0,048	4,289
12	2030	0,718	0,243	0,048	4,297
13	2031	0,718	0,243	0,048	4,304
14	2032	0,718	0,243	0,048	4,312
15	2033	0,718	0,243	0,048	4,322
16	2034	0,718	0,243	0,048	4,330

Dari Tabel 5.11 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan produksi karbon dioksida seiring dengan meningkatnya jumlah kendaraan operasional tiap tahunnya. Pada tahun 2019 produksi karbon dioksida sebesar 4,218 ton dan pada tahun 2034 sebesar 4,330 ton. Grafik produksi emisi karbon dioksida pada tahun perencanaan (2034) masing-masing jenis kendaraan selengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 5.3**



Gambar 5.3 Emisi Karbon dioksida Sumber Kendaraan Tahun 2034

Kendaraan operasional sampah dengan emisi karbon dioksida terbesar adalah Buldozer dengan emisi sebesar 2,110 ton CO₂. Hal ini dikarenakan Buldozer memiliki faktor emisi yang paling tinggi diantara kendaraan lainnya, walaupun jumlahnya tidak sebanyak kendaraan pengangkut sampah. Excavator menjadi terbesar kedua dengan 0,880 ton CO₂ dan Wheel loader menjadi terbesar ketiga dengan 0,718 ton CO₂.

Walaupun kendaraan pengangkut seperti truk compactor, truk armroll, dan dump truk memiliki jumlah armada yang lebih banyak dibanding kendaraan operasional lain, namun jumlah karbon dioksida yang diemisikan lebih rendah. Hal ini diakibatkan karena jarak yang ditempuh truk di TPA terbilang cukup dekat.

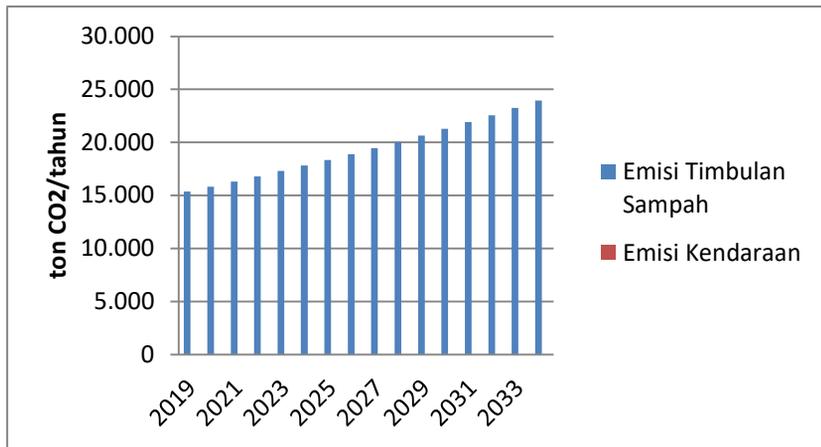
5.3.3 Total Emisi Karbon dioksida

Emisi karbon dioksida dari sumber sampah dan kendaraan selanjutnya dijumlahkan berdasarkan tahunnya. Total emisi karbon dioksida dapat dilihat pada **Tabel 5.12**

Tabel 5.12 Total Emisi Karbon dioksida di TPA Benowo

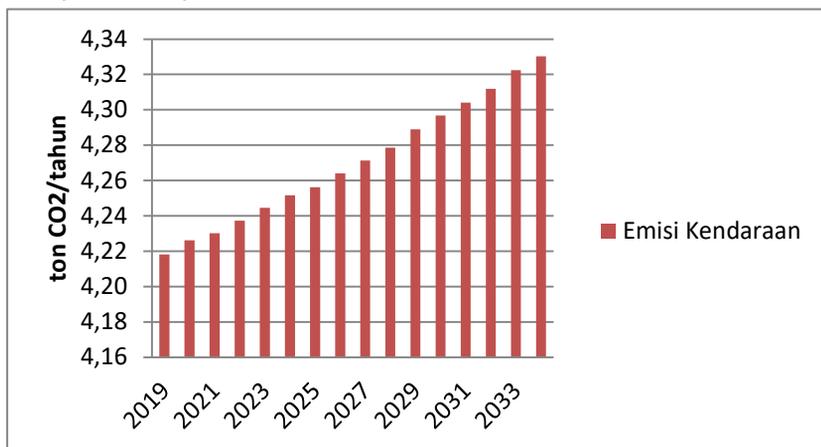
No	Tahun	Produksi Karbon dioksida (ton)		
		Sumber Sampah	Sumber Kendaraan	Total
1	2019	15.365,76	4,22	15.369,97
2	2020	15.826,73	4,23	15.830,96
3	2021	16.301,55	4,23	16.305,78
4	2022	16.790,61	4,24	16.794,85
5	2023	17.294,34	4,24	17.298,59
6	2024	17.813,18	4,25	17.817,43
7	2025	18.347,58	4,26	18.351,83
8	2026	18.898,01	4,26	18.902,27
9	2027	19.464,96	4,27	19.469,23
10	2028	20.048,93	4,28	20.053,21
11	2029	20.650,41	4,29	20.654,70
12	2030	21.269,94	4,30	21.274,24
13	2031	21.908,06	4,30	21.912,37
14	2032	22.565,33	4,31	22.569,64
15	2033	23.242,30	4,32	23.246,62
16	2034	23.939,57	4,33	23.943,90

Grafik pertumbuhan emisi karbon dioksida dapat dilihat pada **Gambar 5.4**



Gambar 5.4 Total Emisi Karbon dioksida Sumber Sampah

Karena emisi kendaraan terlalu kecil bila dibandingkan dengan emisi timbulan sampah, maka total emisi kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.5



Gambar 5.5 Total Emisi Karbon dioksida Sumber Kendaraan

Berdasarkan Tabel 5.12, Gambar 5.2, dan 5.3 dapat diketahui bahwa produksi karbon dioksida dari timbunan sampah jauh lebih besar daripada sumber kendaraan. Hal ini dikarenakan kuantitas timbunan sampah di TPA Benowo sangat besar, dalam sehari timbunan sampah yang masuk dapat mencapai 1.500 ton. Selain itu, sistem operasional TPA Benowo yang masih menggunakan prinsip *controlled landfill* (timbunan sampah tidak dirug setiap hari) memperbesar peluang sampah untuk kontak langsung dengan oksigen, yang menyebabkan terjadinya degradasi secara aerobik. Menurut Pranoto (2002), proses pengolahan secara aerobik berarti proses yang memerlukan oksigen. Mikroorganisme yang bersifat aerobik membutuhkan oksigen untuk beberapa reaksi biokimia, yaitu untuk mengoksidasi bahan organik, sintesis sel, dan oksidasi sel, dengan hasil berupa karbon dioksida, air, dan energi.

Berdasarkan tabel 5.12 juga dapat disimpulkan bahwa emisi terbesar yang bersumber dari TPA Benowo adalah emisi yang ditimbulkan dari timbunan sampah. Persentase emisi timbunan sampah pada tahun perencanaan sebesar 99,98% dibanding kendaraan yang hanya sebesar 0,02%. Hal ini tentu menjadi catatan bagi pemerintah Kota Surabaya dan pengelola TPA Benowo untuk menyempurnakan sistem operasional menjadi *sanitary landfill*, yang mana tumpukan sampah setiap hari dilakukan pengurangan dengan tanah untuk meminimalisir potensi terbentuknya gas karbon dioksida yang dapat memicu efek gas rumah kaca.

Namun, perhitungan emisi karbon dioksida dalam perencanaan ini masih menggunakan asumsi-asumsi atau pendekatan-pendekatan. Perencana menyarankan agar perencanaan ataupun penelitian selanjutnya menggunakan pengukuran emisi karbon dioksida secara *real* dengan menggunakan Karbon dioksida (CO₂) meter. Perencana juga menyarankan pengukuran dilakukan selama 24 jam untuk mengetahui emisi karbon dioksida keseluruhan dalam 1 hari, terutama pada pengukuran karbon dioksida di tumpukan sampah.

5.4 Perencanaan *Green Belt*

5.4.1 Perencanaan Tanaman untuk *Green Belt*

Permen PU No.5 tahun 2008 yang menyebutkan bahwa *Green belt* merupakan RTH yang berfungsi sebagai daerah penyangga dan untuk membatasi perkembangan suatu penggunaan lahan (batas kota, pemisah kawasan, dan lain-lain) atau membatasi aktivitas satu dengan aktivitas lainnya agar tidak saling mengganggu, serta pengamanan dari faktor lingkungan sekitarnya.

Luasan perencanaan sangat bergantung kepada jenis tanaman yang direncanakan sebagai *Green Belt*. Pemilihan jenis tanaman yang akan ditanam sebagai *Green Belt* mempertimbangkan berbagai hal, yaitu kecocokan tanaman dengan lingkungan, daya serap karbon dioksida, dan kemudahan dalam peremajaannya. Dari ketiga pertimbangan tersebut, maka perencana merencanakan untuk menanam pohon Trembesi (*Samanea saman*) sebagai pohon yang mengelilingi keliling TPA Benowo dan tanaman *mangrove* dengan spesies *Avicennia alba* untuk dijadikan sebagai *Green Belt* di luar wilayah TPA Benowo.

Alasan pemilihan pohon Trembesi yakni karena pohon Trembesi merupakan pohon yang dapat tumbuh dan berkembang dengan cepat, sehingga dapat berfungsi secara optimal. Hal ini sesuai dengan pendapat dari Dahlan (2010) yang menyatakan bahwa Trembesi merupakan tanaman yang cepat tumbuh (*fast growing species*). Menurut penelitian dari Staples dan Elevitch (2006), kecepatan pertumbuhan pohon Trembesi dapat mencapai 1,5 meter/tahun.

Ditinjau dari penyerapan karbon dioksida, pohon Trembesi dapat tumbuh hingga 25 meter, sehingga dispersi karbon dioksida diharapkan dapat terserap oleh pohon Trembesi. Selain itu, pohon Trembesi merupakan pohon dengan penyerapan karbon dioksida terbaik, yakni dengan penyerapan sebesar 28.488,39 kg/pohon.tahun (Dahlan 2010). Adanya pohon Trembesi diharapkan luasan *Green Belt* akan direncanakan seminimal mungkin, mengingat pembebasan

lahan merupakan salah satu kendala dalam perencanaan *Green Belt*.

Gambar pohon Trembesi dapat dilihat pada **Gambar 5.6**



Gambar 5.6 Pohon Trembesi

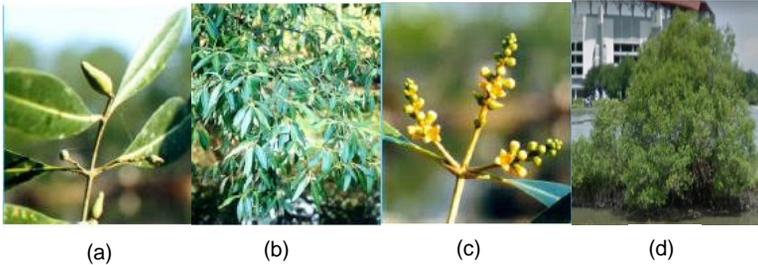
Sumber: Haska, 2011

Sementara alasan pemilihan *Avicennia alba* sebagai *Green Belt* karena mengingat kondisi tanah di wilayah TPA Benowo memiliki salinitas yang tinggi, *Avicennia alba* merupakan *mangrove* yang paling tahan terhadap salinitas tinggi. Hal ini sesuai dengan observasi dari Noor,dkk (2006) yang menunjukkan bahwa *Avicennia alba* merupakan jenis *mangrove* yang paling banyak terdapat pada pantai yang tergenang air laut. Selain itu, *Avicennia alba* juga memiliki keistimewaan, hal ini berdasarkan penelitian dari Supriharyono (2007) bahwa *Avicennia alba* memiliki akar berupa akar pasak yang dapat memisahkan garam dan menjadikannya menguap pada proses transpirasi di daun. Hal ini yang menjadikan *Avicennia alba* dapat hidup pada lingkungan dengan salinitas tinggi. Sesuai dengan Muzaki,dkk. (2012) *Avicennia alba* tumbuh dan berkembang dengan baik pada salinitas yang mendekati tawar hingga 90‰. *Avicennia alba* juga merupakan *mangrove* yang marak ditemui di Kota Surabaya.

Ditinjau dari penyerapan karbon dioksida, *Avicennia alba* merupakan salah satu *mangrove* dengan daya serap karbon dioksida tertinggi diantara *mangrove* lain. Menurut penelitian dari Rahman (2016) *Avicennia alba* merupakan salah satu *mangrove* dengan daya serap karbon dioksida yang tinggi, dengan serapan karbon dioksida mencapai 263,85 ton/ha dengan kerapatan tanaman 3228 individu/ha. Apabila dihitung penyerapan karbon dioksida tiap individu *Avicennia alba* dengan membagi daya serap tiap hektar dengan jumlah individu tiap hektarnya, maka didapat angka 0,0817 ton CO₂/individu.tahun atau sebesar 81,7 kg CO₂/individu.tahun.

Avicennia alba juga memiliki beberapa manfaat yang baik untuk manusia. Menurut Noor,dkk (2006) batang dan akar *Avicennia alba* dapat digunakan sebagai kayu bakar dan bahan bangunan bermutu rendah, selain itu akarnya dapat membantu pengikatan sedimen dan mempercepat proses pembentukan daratan. Hal ini berguna untuk perluasan lahan TPA Benowo apabila lahan TPA eksisting sudah tidak memadai, mengingat lahan sekitar TPA Benowo merupakan tambak dengan kondisi tanah yang berair dan banyak sedimen.

Manfaat *Avicennia alba* bagi manusia tidak berhenti sampai disitu, apabila lahan yang akan ditanami masih difungsikan sebagai tambak terutama tambak ikan, tentu akan memberikan efek positif bagi petambak. Menurut Muzaki, dkk (2012) *Avicennia alba* dapat dijadikan area memijah, mencari makan dan bersarang bagi biota air, yang menyebabkan tingginya keanekaragaman dan kelimpahan jenis potensial ekonomi seperti ikan. *Avicennia alba* dapat dilihat pada **Gambar 5.7**



Gambar 5.7 (a) Buah *Avicennia alba* (b) Daun *Avicennia alba* (c) Bunga *Avicennia alba* (d) Pohon *Avicennia alba*

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2019 dan http://www.wetlands.or.id/mangrove/mangrove_species.php?id=11 (diakses pada 28 April 2019, pukul 14.29)

5.4.2 Perencanaan Jumlah Tanaman dan Luasan *Green Belt*

Pada perencanaan ini direncanakan pengembangan wilayah untuk penanaman *Green Belt* hingga tahun 2034 atau berakhirnya RTRW Surabaya. Menurut Staples dan Elevitch (2006), tiap-tiap pohon Trembesi membutuhkan ruang sekitar 6 m x 6 m agar dapat tumbuh dengan optimal, maka direncanakan penanaman tiap individu pohon Trembesi ditanam dengan jarak 6 meter mengelilingi TPA Benowo yang memiliki keliling 2908 m (*Google earth, 2019*) *Avicennia alba* direncanakan seluas 1m x 1m, sesuai dengan Wibisono, dkk (2006) yang menyatakan bahwa jarak penanaman ideal adalah 1m x 1m. Dengan luas tanam masing-masing bibit adalah 1 m², maka dalam 1 ha jumlah *Avicennia alba* yang ditanam mencapai 10.000 individu.

Perhitungan kebutuhan individu pohon Trembesi didasarkan pada keliling TPA Benowo dan jarak tanam pohon Bintaro, contoh perhitungan pohon Trembesi adalah sebagai berikut:

$$\text{Jumlah individu} = \frac{\text{Keliling TPA Benowo}}{\text{Jarak tanam pohon Trembesi} + 1}$$

$$= \left(\frac{2.908 \text{ m}}{6 \text{ m}} \right) + 1$$

$$= 486 \text{ pohon Trembesi}$$

Dengan adanya pohon Trembesi sebanyak 486 pohon Trembesi dan masing-masing pohon dapat menyerap karbon dioksida sebesar 28.488,39 kg/pohon.tahun, maka perhitungan serapan pohon Trembesi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Serapan CO}_2 &= \text{jumlah pohon Trembesi} \times \text{serapan} \\ &\quad \text{tiap pohon} \\ &= 486 \text{ pohon} \times 28.488,39 \\ &\quad \text{kg/pohon.tahun} \\ &= 13.845.357,54 \text{ kg/tahun} = 13.845,36 \\ &\quad \text{ton/tahun} \end{aligned}$$

Dengan asumsi TPA Benowo tidak berubah kelilingnya dalam 25 tahun mendatang, maka perhitungan sisa karbon dioksida yang belum terserap dapat dilihat pada **Tabel 5.13**

Tabel 5.13 Karbon dioksida Setelah Diserap Pohon Trembesi

No	Tahun	Produksi Karbon dioksida (ton)	Serapan trembesi	Sisa Karbon dioksida
1	2019	15.369,97	13.845,36	1.524,61
2	2020	15.830,96	13.845,36	1.985,60
3	2021	16.305,78	13.845,36	2.460,42
4	2022	16.794,85	13.845,36	2.949,49
5	2023	17.298,59	13.845,36	3.453,23
6	2024	17.817,43	13.845,36	3.972,07
7	2025	18.351,83	13.845,36	4.506,47
8	2026	18.902,27	13.845,36	5.056,91
9	2027	19.469,23	13.845,36	5.623,87
10	2028	20.053,21	13.845,36	6.207,85

No	Tahun	Produksi Karbon dioksida (ton)	Serapan trembesi	Sisa Karbon dioksida
11	2029	20.654,70	13.845,36	6.809,34
12	2030	21.274,24	13.845,36	7.428,88
13	2031	21.912,37	13.845,36	8.067,01
14	2032	22.569,64	13.845,36	8.724,28
15	2033	23.246,62	13.845,36	9.401,26
16	2034	23.943,90	13.845,36	10.098,54

Perhitungan kebutuhan individu dan luasan dari *Green Belt* di wilayah luar TPA mengacu kepada emisi karbon dioksida yang dihasilkan yang sudah dikurangi dengan serapan *barrier* di keliling TPA. Contoh perhitungan kebutuhan individu dan luasan *Green Belt* di wilayah luar TPA tahun 2019 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah individu} &= \frac{\text{Sisa emisi 2019}}{\text{Penyerapan tiap individu}} \\
 &= \frac{1.524,61 \text{ ton}}{0,0817 \text{ ton/individu}} \\
 &= 18.625 \text{ individu}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luasan } \textit{Green Belt} &= \frac{\text{Jumlah individu}}{\text{Jumlah individu per hektar}} \\
 &= \frac{18.625 \text{ individu}}{10.000 \text{ individu/hektar}} \\
 &= 1,87 \text{ hektar}
 \end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan jumlah pohon dan luasan *Green Belt* selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 5.14**

Tabel 5.14 Kebutuhan Individu dan Luasan *Green Belt*

No	Tahun	Sisa Karbon dioksida	Individu	Luas (Hektar)
1	2019	1.524,61	18.652	1,87
2	2020	1.985,60	24.292	2,43
3	2021	2.460,42	30.101	3,01
4	2022	2.949,49	36.085	3,61
5	2023	3.453,23	42.248	4,22
6	2024	3.972,07	48.595	4,86
7	2025	4.506,47	55.133	5,51
8	2026	5.056,91	61.867	6,19
9	2027	5.623,87	68.804	6,88
10	2028	6.207,85	75.948	7,59
11	2029	6.809,34	83.307	8,33
12	2030	7.428,88	90.887	9,09
13	2031	8.067,01	98.694	9,87
14	2032	8.724,28	106.735	10,67
15	2033	9.401,26	115.017	11,50
16	2034	10.098,54	123.548	12,35

Dalam perencanaan *Green Belt* di TPA Benowo ini, didasarkan pada arah dan kecepatan angin dominan di wilayah TPA Benowo. Data arah dan kecepatan angin yang digunakan adalah data dari Sistem Pemantauan Kualitas Udara Kecamatan Sukomanunggal pada tahun 2013. Data dari Kecamatan Sukomanunggal dipilih karena memiliki jarak yang paling dekat dengan TPA Benowo, yakni berjarak sekitar 9,94 km (*Google Earth*, 2019). Data yang digunakan tahun 2013 karena setelah itu Sistem Pemantauan Kualitas Udara Kecamatan Sukomanunggal tidak berfungsi sebagaimana mestinya hingga saat ini dan tidak ada perubahan iklim yang ekstrem dalam rentang tahun 2013 hingga 2019. Data 1 tahun pada tahun 2013 sudah cukup untuk mewakili arah dan kecepatan angin dominan di wilayah TPA Benowo karena telah melewati 2 musim, yakni musim hujan dan musim kemarau.

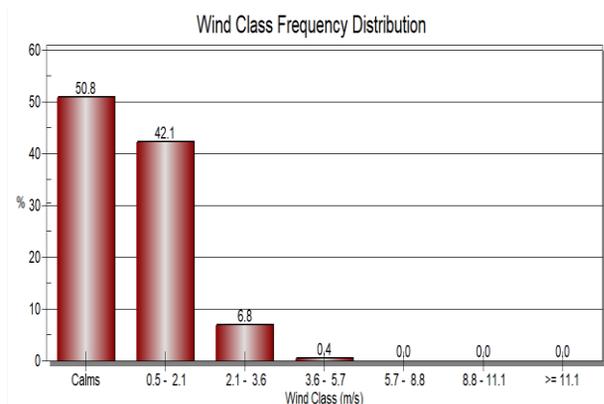
Data yang berhasil diolah oleh WRPLOT dapat dilihat pada **Gambar 5.8**

Data File Info	
Total No. of Hours:	8762
Average Wind Speed:	0.59 m/s
Calm Records:	4423
Calm Winds Frequency:	50.48%
Data Availability:	99.41%
Incomplete/Missing Records:	52
Total Records Used:	8710

Gambar 5.8 Data yang di input ke WRPLOT

Data yang berhasil diinput tidak dapat diolah 100% oleh WRPLOT, dikarenakan adanya 52 data yang tidak tersedia. Hal ini disebabkan oleh adanya data-data arah dan kecepatan angin yang tidak terekam oleh Sistem Pemantauan Kualitas Udara Sukomanunggal. Dalam gambar 5.7 juga dapat dilihat rata-rata kecepatan dari wilayah TPA Benowo, yakni sebesar 0,59 m/s.

Data tersebut kemudian diolah oleh WRPLOT hingga membentuk distribusi persebaran arah dan kecepatan angin. Distribusi kecepatan angin dapat dilihat pada **Gambar 5.9**

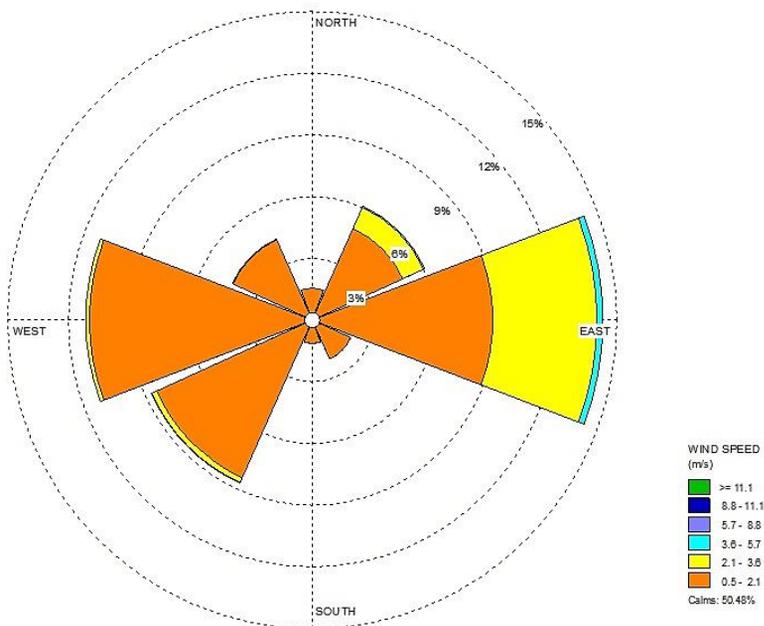


Gambar 5.9 Distribusi Kecepatan Angin

Dari gambar 5.9 dapat dilihat bahwa kecepatan angin dominan adalah kecepatan angin kelas *calms*, yakni antara 0,0

– 0,5 m/s sebesar 50,8%, kemudian disusul oleh rentang kecepatan 0,5 - 2,1 m/s sebesar 42,1%, dan rentang 2,1 – 3,6 m/s sebesar 6,8%. Kecepatan dengan distribusi paling sedikit adalah kecepatan rentang 3,6 - 5,7 m/s dengan 0,4%.

Selain menginformasikan distribusi kecepatan, WRPLOT juga menginformasikan arah dan kecepatan dominan dari data yang di input. Data arah dan kecepatan terangkum dalam diagram mawar angin atau biasa disebut dengan *wind rose*, yang dapat dilihat pada **Gambar 5.10**

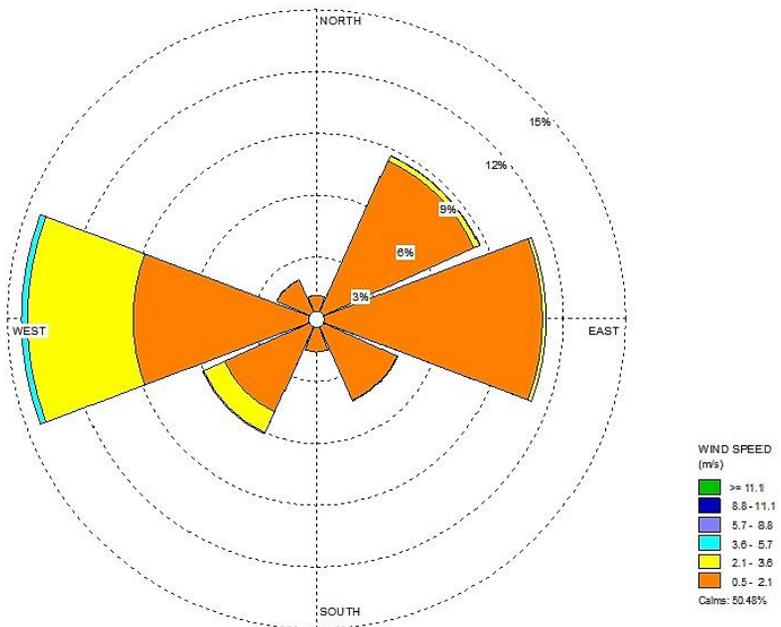


Gambar 5.10 Wind Rose (arah datang angin)

Berdasarkan gambar 5.10, dapat diketahui bahwa angin dominan berasal dari arah timur dan disusul oleh angin yang berasal dari arah barat. Hal ini dikarenakan pada musim kemarau angin dominan bertiup dari arah timur sedangkan pada saat musim hujan angin dominan bertiup dari arah barat.

Angin yang berhembus dari arah tenggara diakibatkan oleh elevasi wilayah di daerah Barat Daya lebih tinggi daripada wilayah di TPA Benowo, sehingga menyebabkan suhu di daerah Barat Daya TPA Benowo lebih rendah. Hal ini sesuai dengan sifat angin yakni angin bertiup dari tekanan tinggi (suhu rendah) ke tekanan yang lebih rendah (suhu tinggi).

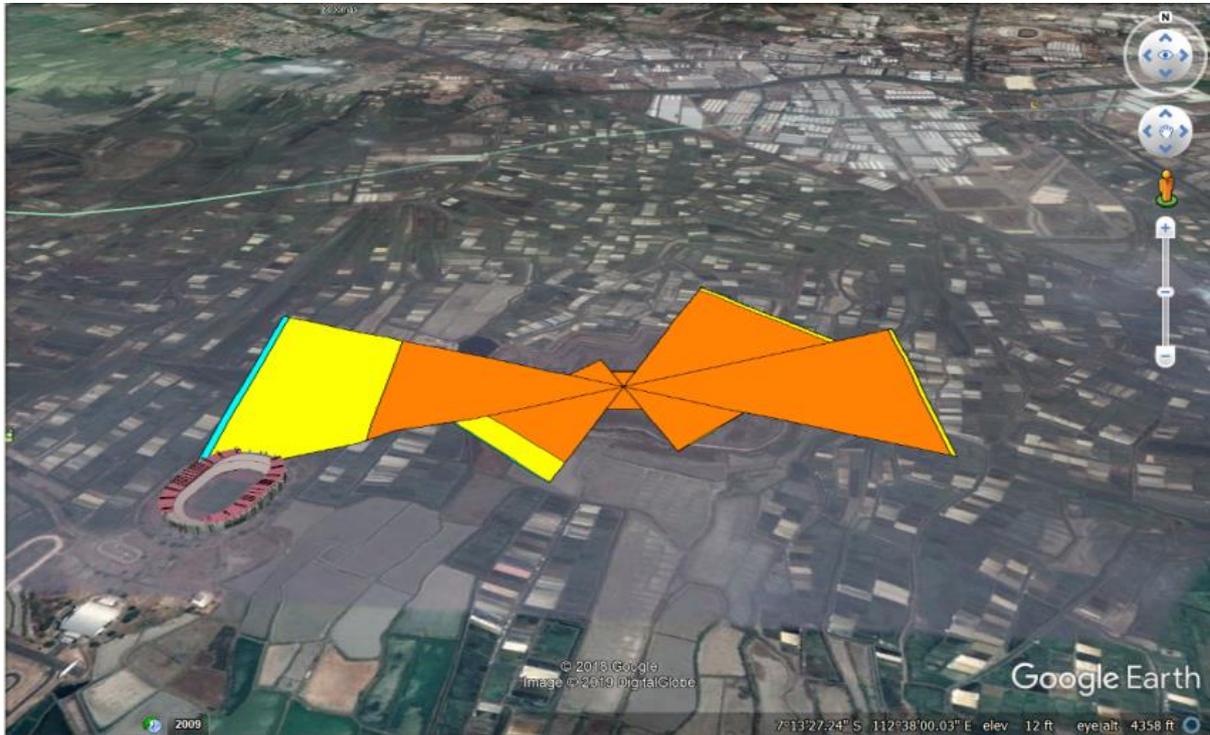
Dalam perencanaan *Green Belt* dibutuhkan *wind rose* yang menyatakan arah angin bertiup. Hal ini dikarenakan sifat dari emisi karbon dioksida yang ringan sehingga mengikuti arah angin bertiup. *Wind Rose* untuk arah angin bertiup dapat dilihat pada **Gambar 5.11**



Gambar 5.11 Wind Rose (arah angin bertiup)

Arah angin bertiup dengan arah yang berbeda dengan arah angin datang, karena angin bergerak lurus dan membentuk sudut 0° . *Wind rose* tersebut kemudian

diaplikasikan di TPA Benowo melalui aplikasi *Google Earth* yang dapat dilihat pada Gambar 5.12



Gambar 5.12 Arah dan Kecepatan Angin Bertiup di TPA Benowo

Dari gambar 5.12 dapat dilihat bahwa arah angin dominan bergerak ke arah timur, tepatnya ke arah tambak ikan dan tambak garam milik penduduk. Disusul angin yang menuju ke arah barat, tepatnya juga ke arah tambak ikan dan tambak garam milik penduduk. Dari gambar 5.11 dan 5.12 dapat diketahui persentase distribusi arah angin dalam persen. Persentase distribusi arah angin dapat dilihat pada **Tabel 5.15**

Tabel 5.15 Persentase Distribusi Arah Angin WRPLOT

Arah Mata Angin	Persentase (%)
Utara	1%
Timur Laut	8,5%
Timur	11%
Tenggara	4,5%
Selatan	1,5%
Barat Daya	6%
Barat	14%
Barat Laut	2%
TOTAL	48,5%

Persentase total yang ditunjukkan oleh *software* WRPLOT tidak menunjukkan hasil 100%, maka dilakukan perhitungan untuk menghitung persentase masing-masing arah dari persentase total. Berikut adalah contoh perhitungan dari arah utara:

$$\begin{aligned}
 \text{Utara} &= \frac{\text{Persentase arah utara}}{\text{Persentase total}} \times 100\% \\
 &= \frac{1\%}{48,5\%} \times 100\% \\
 &= 2,1\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel**

5.16

Tabel 5.16 Persentase Distribusi Arah Angin TPA Benowo

Arah Mata Angin	Persentase (%)
Utara	2,1%
Timur Laut	17,5%
Timur	22,7%
Tenggara	9,3%
Selatan	3,1%
Barat Daya	12,4%
Barat	28,9%
Barat Laut	4,1%
TOTAL	100%

Dari tabel 5.16 juga dapat dilihat bahwa luasan terbesar dari *Green belt* berada di sebelah barat dari TPA Benowo dengan luasan 28,9% dari luasan total yang direncanakan. Kemudian disusul oleh wilayah sebelah timur TPA Benowo dengan 22,7%. Sedangkan wilayah dengan luasan yang paling sedikit adalah wilayah sebelah utara dari TPA Benowo dengan 2,1% dari luas keseluruhan perencanaan. Tabel 5.16 dijadikan sebagai acuan dalam merencanakan luasan *Green Belt* berdasarkan arah angin dominan.

Perencanaan *Green Belt* direncanakan setiap 5 tahun sesuai Repelita (Rencana Pembangunan Lima Tahun) yakni pada tahun 2024, 2029, dan 2034. Contoh perhitungan luasan *Green Belt* ke arah utara tahun 2024 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Luasan } \textit{Green Belt} \text{ Utara } 2024 &= \text{Distribusi arah angin ke utara} \times \text{luas } \textit{Green Belt} \text{ 2024} \\ &= 2,1\% \times 4,86 \text{ ha} \\ &= 0,1 \text{ hektar} \end{aligned}$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel**

5.17

Tabel 5.17 Luasan *Green Belt* setiap Arah Mata Angin

Arah	Persen Luas	Luas (ha)		
		2024	2029	2034
Utara	2,1%	0,10	0,17	0,25
Timur Laut	17,5%	0,85	1,46	2,17
Timur	22,7%	1,10	1,89	2,80
Tenggara	9,3%	0,45	0,77	1,15
Selatan	3,1%	0,15	0,26	0,38
Barat Daya	12,4%	0,60	1,03	1,53
Barat	28,9%	1,40	2,40	3,57
Barat Laut	4,1%	0,20	0,34	0,51
Total	100,0%	4,86	8,33	12,35

Ketebalan *mangrove* tiap arah angin berbeda-beda sesuai dengan perhitungan luasan dengan panjang TPA, perhitungan ketebalan *mangrove* sebagai berikut:

Panjang TPA Benowo bagian utara = 512,9 m
 Luas *Green Belt* utara tahun 2024 = 0,1 ha = 1000 m²
 Ketebalan *Green Belt* = Luas/panjang TPA
 = 1000 m² / 512,9 m
 = 1,9 m

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel**

5.18

Tabel 5.18 Ketebalan *Green Belt*

Arah	Keliling Lahan (m)	Ketebalan <i>Green Belt</i> (m)		
		2024	2029	2034
Utara	512,9	2,0	3,3	5,0
Timur Laut	292,0	29,2	50,0	74,2
Timur	401,7	27,4	47,0	69,8
Tenggara	193,3	23,3	40,0	59,3
Selatan	491,7	3,1	5,2	7,8
Barat Daya	266,6	22,6	38,7	57,3
Barat	588,9	23,8	40,8	60,6
Barat Laut	161,5	12,4	21,3	31,5

5.4.3 Analisis Dispersi Emisi TPA Benowo

Emisi karbon dioksida yang ditimbulkan dari tumpukan sampah akan bergerak menuju atmosfer dan akan berubah konsentrasinya dikenal dengan dispersi karbon dioksida. Perubahan konsentrasi karbon dioksida diakibatkan oleh reaksi kimia, fisika, dan biologis. Model yang digunakan dalam perencanaan kali ini adalah dispersi model box, karena didalam model box memperhitungkan berbagai reaksi yang ada di dalam box tersebut. Faktor-faktor yang menentukan besaran box yaitu kecepatan rata-rata dan arah angin dominan.

Kecepatan angin rata-rata dan arah angin dominan menentukan luasan box, dimana luasan box merupakan kuadrat hasil kali antara kecepatan rata-rata dengan waktu. Waktu yang digunakan selama 6 detik, sesuai dengan kemampuan alat CO₂ meter melakukan pembacaan konsentrasi CO₂. Perhitungan luasan box sebagai berikut:

Kecepatan angin rata-rata	= 0,97 m/s
Arah dominan	= Barat
Waktu	= 6 detik
Dimensi box	= 0,97 m/s x 6 s
	= 5,82 m

Model box selalu membentuk segiempat sama sisi, maka sisi panjangnya sama dengan sisi lebarnya, yaitu 5,82 m. Contoh perhitungan jumlah box memanjang dan melebar arah utara tahun 2024 adalah sebagai berikut:

Panjang lahan utara	= 512,9 m
Jumlah box memanjang	= panjang lahan/panjang box
	= 89 buah
Ketebalan Green Belt utara 2024	= 2 m
Jumlah box melebar	= ketebalan Green Belt / lebar box
	= 1 buah

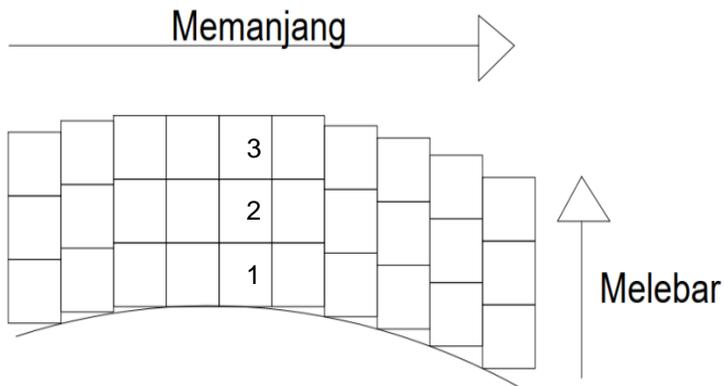
Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel**

5.19

Tabel 5.19 Jumlah Box Memanjang dan Melebar

Arah	2024		2029		2034	
	Mema njang	Meleb ar	Memanj ang	Meleb ar	Memanj ang	Meleb ar
Utara	88	1	88	1	88	1
Timur Laut	50	5	50	8	50	12
Timur	69	4	69	8	69	11
Tenggara	33	4	33	6	33	10
Selatan	84	1	84	1	84	1
Barat Daya	45	3	45	6	45	9
Barat	101	4	101	7	101	10
Barat Laut	27	2	27	3	27	5

Ilustrasi box yang memanjang dan melebar dapat dilihat pada Gambar 5.13



Gambar 5.13 Box Memanjang dan Melebar

Fungsi dari menghitung jumlah box memanjang yaitu untuk mendistribusikan emisi secara merata ke semua box pertama pada arah tertentu, sedangkan fungsi menghitung jumlah box melebar adalah untuk mengetahui di box nomor berapa konsentrasi emisi dapat terserap seluruhnya. Apabila konsentrasi emisi karbon dioksida belum terserap seluruhnya sampai box terakhir pada suatu arah tertentu, maka dilakukan penambahan luasan *Green Belt* sebagai evaluasi perhitungan luasan sebelumnya.

Persebaran emisi ke masing-masing arah mata angin dijadikan sebagai konsentrasi masuk (C in) pada box pertama, yaitu box yang paling dekat dengan TPA Benowo. Di dalam box terdapat penyerapan karbon dioksida oleh *Green Belt* yang sudah direncanakan, sehingga reaksi di dalam box adalah:

$$\boxed{\text{C out} \quad = \quad \text{C in} - \text{serapan}}$$

Ket:

C out = Konsentrasi CO₂ keluar box
 C in = Konsentrasi CO₂ masuk box
 Serapan = Serapan CO₂ oleh *Green Belt*

Persentase arah angin diperhitungkan untuk membagi total emisi ke setiap arah mata angin. Contoh perhitungan persentase emisi yang bergerak ke arah utara tahun 2024 sebagai berikut:

Total emisi tahun 2024 = 17.817,43 ton/tahun
 = 3.389.922 mg / 6 detik

Persentase arah angin ke utara = 2,1%
 Emisi ke arah utara tahun 2024 = Total emisi 2024 x persentase arah angin utara
 = 3.389.922 mg x 2,1%
 = 69.895,31 mg / 6 detik

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel**

5.20

Tabel 5.20 Persebaran Emisi Tiap Mata Angin

Arah	Persen Luas	Emisi CO2 (mg/6 s)		
		2024	2029	2034
Utara	2,1%	69.895,31	81.025,50	93.928,59
Timur Laut	17,5%	594.110,09	688.716,77	798.393,01
Timur	22,7%	768.848,36	891.280,53	1.033.214,49
Tenggara	9,3%	314.528,87	364.614,76	422.678,65
Selatan	3,1%	104.842,96	121.538,25	140.892,88
Barat Daya	12,4%	419.371,83	486.153,02	563.571,54
Barat	28,9%	978.534,27	1.134.357,04	1.315.000,26
Barat Laut	4,1%	139.790,61	162.051,01	187.857,18
Total	100,0%	3.389.922,30	3.929.736,88	4.555.536,61

Konsentrasi yang keluar dari box pertama akan menjadi konsentrasi yang masuk ke box kedua, begitu seterusnya. Sementara perhitungan serapan masing-masing box ditentukan dari seberapa banyak jumlah tanaman yang berada dalam 1 buah box. Box pertama berisi 1 buah pohon Trembesi, sementara box selanjutnya berisi 34 tanaman *mangrove Avicennia alba* karena luasan 1 box seluas 33,87 m². Perhitungan serapan box pertama dan box selanjutnya adalah sebagai berikut:

Box 1

Serapan Trembesi = 28.488,39 kg/pohon.tahun
 = 5.420,16 mg/6s
 Serapan box 1 = serapan Trembesi x 1 pohon
 = 5.420,16 mg/6s
 Sisa CO₂ utara 2024 = emisi utara-(serapan box 1 x jumlah box memanjang)
 = 69.895,31 – (5.420,16 x 88)
 = -829.479 mg

Box 2

Serapan *Mangrove* = 81,74 kg/pohon.tahun
 = 15,55 mg/6s

Serapan box 2 dst	= serapan <i>Mangrove</i> x 34 pohon
	= 15,55 mg/6s x 34 pohon
	= 528,7 mg/6s
Sisa CO ₂ utara 2024	= emisi utara-(serapan box 1 x jumlah box memanjang)
	= 69.895,31 – (528,7 x 88)
	= -876.004 mg

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 5.21** sampai **5.23**

Tabel 5.21 Sisa Konsentrasi CO₂ Tiap Box Tahun 2024

Arah	C in (mg)	Serapan		C out				
		Box 1 (mg)	Box 2, dst (mg)	1	2	3	4	5
Utara	69.895,31	5420,16	528,7	-829479				
Timur Laut	594.110,09	5420,16	528,7	83102,09	56667,09	30232,09	3797,094	-22637,9
Timur	768.848,36	5420,16	528,7	63657,32	27177,02	-9303,28	-45783,6	
Tenggara	314.528,87	5420,16	528,7	-22736,4	-40183,5	-57630,6	-75077,7	
Selatan	104.842,96	5420,16	528,7	-753650				
Barat Daya	419.371,83	5420,16	528,7	-40535,4	-64326,9	-88118,4		
Barat	978.534,27	5420,16	528,7	-53701,9	-107101	-160499	-213898	
Barat Laut	139.790,61	5420,16	528,7	-136154	-150429			

Tabel 5.22 Sisa Konsentrasi CO₂ Tiap Box Tahun 2029

Arah	C in (mg)	Serapan		C out								
		Box 1 (mg)	Box 2, dst (mg)	1	2	3	4	5	6	7	8	
Utara	81.025,50	5420,16	528,7	- 818349								
Timur Laut	688.716,77	5420,16	528,7	177708,8	151273,8	124838,8	98403,77	71968,77	45533,77	19098,77	- 7336,23	
Timur	891.280,53	5420,16	528,7	186089,5	149609,2	113128,9	76648,59	40168,29	3687,99	- 32792,3	- 69272,6	
Tenggara	364.614,76	5420,16	528,7	27349,48	9902,382	- 7544,72	- 24991,8	- 42438,9	-59886			
Selatan	121.538,25	5420,16	528,7	- 736955								
Barat Daya	486.153,02	5420,16	528,7	26245,82	2454,316	- 21337,2	- 45128,7	- 68920,2	- 92711,7			
Barat	1.134.357,04	5420,16	528,7	102120,9	48722,18	- 4676,52	- 58075,2	- 111474	- 164873	- 218271		
Barat Laut	162.051,01	5420,16	528,7	- 113893	- 128168	- 142443						

Tabel 5.23 Sisa Konsentrasi CO₂ Tiap Box Tahun 2034 (1)

Arah	C in (mg)	Serapan		C out					
		Box 1 (mg)	Box 2, dst (mg)	1	2	3	4	5	6
Utara	93.928,59	5420,16	528,7	-805.445					
Timur Laut	798.393,01	5420,16	528,7	287.385	260.950	234.515	208.080	181.645	155.210
Timur	1.033.214,49	5420,16	528,7	328.023	291.543	255.063	218.583	182.102	145.622
Tenggara	422.678,65	5420,16	528,7	85.413	67.966	50.519	33.072	15.625	-1.822
Selatan	140.892,88	5420,16	528,7	-717.601					
Barat Daya	563.571,54	5420,16	528,7	103.664	79.873	56.081	32.290	8.498	-15.293
Barat	1.315.000,26	5420,16	528,7	282.764	229.365	175.967	122.568	69.169	15.771
Barat Laut	187.857,18	5420,16	528,7	-88.087	-102.362	-116.637	-130.912	-145.187	

Tabel 5.23 Sisa Konsentrasi CO₂ Tiap Box Tahun 2034 (2)

Arah	C in (mg)	Serapan							
		Box 1 (mg)	Box 2, dst (mg)	7	8	9	10	11	12
Utara	93.928,59	5420,16	528,7						
Timur Laut	798.393,01	5420,16	528,7	128775	102340	75905	49470	23035	-3400
Timur	1.033.214,49	5420,16	528,7	109142	72661	36181	-299	-36780	
Tenggara	422.678,65	5420,16	528,7	-19269	-36716	-54163	-71611		
Selatan	140.892,88	5420,16	528,7						
Barat Daya	563.571,54	5420,16	528,7	-39085	-62876	-86668			
Barat	1.315.000,26	5420,16	528,7	-37628	-91027	-144426	-197824		
Barat Laut	187.857,18	5420,16	528,7						

Dapat dilihat dari tabel 5.21 sampai 5.23 terdapat nilai dengan tanda minus. Tanda minus menunjukkan bahwa serapan karbon dioksida pada box tersebut lebih besar daripada emisinya. Dari semua box yang ada, tidak terdapat box dengan angka positif pada box yang terakhir, bahkan terdapat bagian yang sudah mendapat nilai negatif sebelum box terakhir. Hal ini menunjukkan bahwa perencanaan *green belt* di TPA Benowo dapat mengurangi konsentrasi karbon dioksida yang ditimbulkan oleh kegiatan di TPA Benowo apabila ditinjau dari dispersi karbon dioksidanya.

Namun dalam perencanaan ini pohon yang digunakan yakni pohon Trembesi memiliki daya serap secara general pada usia 15 tahun, pada penelitian selanjutnya dapat meneliti daya serap pohon Trembesi berdasarkan usia pohon. Selain itu, akan lebih baik jika perencanaan menggunakan pohon dengan jenis yang lebih beragam.

5.4.4 Penggunaan Lahan Perencanaan *Green Belt*

Penanaman *Green Belt* membutuhkan lahan yang akan terus bertambah seiring dengan meningkatnya emisi yang timbul. Analisis penggunaan lahan perlu dilakukan untuk mengetahui status lahan di wilayah perencanaan *Green Belt*. Pada tahun 2034 direncanakan lahan yang direncanakan akan ditanami tanaman seluas 12,35 hektar atau 123.500 m². Dari lahan tersebut, terdapat beberapa status lahan yang berbeda. Status lahan yang mendominasi wilayah sekitar TPA Benowo yakni lahan dengan status hak pakai, hak guna bangunan, dan lahan yang belum terdaftar. Menurut Undang-undang agrarian nomor 5 tahun 1960 tentang peraturan dasar pokok-pokok agraria, pengertian hak milik adalah hak turun-temurun, terkuat, terpenuh yang dapat dipunyai orang atas tanah. Bukti kepemilikan atas tanah dibuktikan dengan sertifikat tanah. Sementara pengertian hak guna bangunan adalah hak untuk mendirikan dan mempunyai bangunan-bangunan atas tanah yang bukan miliknya sendiri, dengan jangka waktu izin paling lama 30 tahun dan dapat diperpanjang.

Pada perencanaan *Green Belt* tahun 2034, penanaman *Green Belt* berada pada status tanah hak milik

seluas 48.093,29 m², hak guna bangunan seluas 10.334,88 m², serta lahan yang belum terdaftar seluas 66.571,79 m².

5.5 Perencanaan Peremajaan *Green Belt*

Perencanaan peremajaan tanaman penting untuk dilakukan agar daya serap tanaman tetap terjaga pada level yang optimal. Beberapa cara peremajaan tanaman *mangrove* menurut (Wibisono, dkk. 2006) adalah sebagai berikut:

- **Penyulaman**

Kegiatan mengganti tanaman yang mati dengan bibit baru yang sehat dan seumur dilakukan agar presentase tumbuh di lapangan meningkat. Menurut penelitian dari Staples dan Elevitch (2006), umur efektif pohon Trembesi dalam menyerap karbon dioksida adalah yaitu 15-20 tahun, yang artinya setelah umur 20 tahun pohon trembesi akan diganti dengan pohon yang baru. Sedangkan untuk *mangrove Avicennia alba* memiliki umur produktif dalam menyerap karbon dioksida selama 15 tahun. apabila tanaman yang ditanam sudah berumur 5 tahun untuk pohon Trembesi dan 1 tahun untuk *mangrove Avicennia alba*, maka pergantian tanaman secara periodik dapat dilihat pada **Tabel 5.24**

Tabel 5.24 Pergantian Tanaman Secara Periodik

No	Tahun	Pohon Trembesi	<i>Avicennia Alba</i>
1	2019		
2	2020		
3	2021		
4	2022		
5	2023		
6	2024		
7	2025		
8	2026		
9	2027		
10	2028		

No	Tahun	Pohon Trembesi	<i>Avicennia Alba</i>
11	2029		
12	2030		
13	2031		
14	2032		
15	2033		✓
16	2034	✓	

- **Pembersihan Gulma**

Pembersihan gulma dilakukan agar tidak terjadi pagar keliling *mangrove* oleh gulma yang menyebabkan *mangrove* mati tertutup gulma

- **Pengendalian Hama**

Hewan ternak, tritip dan kutu loncat adalah hama yang seringkali menyerang tanaman *mangrove*. Berikut adalah identifikasi kerusakan tanaman dan penanganannya dari hama yang dapat dilihat pada **Tabel 5.25**

Tabel 5.25 Identifikasi Kerusakan *Mangrove* dan Pencegahan serta Penanggulangannya

Penyebab Kerusakan	Identifikasi Kerusakan	Pencegahan dan Penanggulangan
Ternak (kerbau, sapi, kambing)	Dalam jumlah besar, ternak akan merusak tanaman bila melewati lokasi penanaman. Selain memakan daun, ternak juga sering mencabut tanaman	<ul style="list-style-type: none"> • Memagari tanaman dengan kawat bronjong. Selain kawat, bamboo dan pandan dapat digunakan untuk melindungi <i>mangrove</i> dari serangan hewan ternak • Mengandangkan ternak sehingga

Penyebab Kerusakan	Identifikasi Kerusakan	Pencegahan dan Penanggulangan
		tidak berkeliaran di lokasi <i>mangrove</i>
Tritip	Melekat dan menyerang batang/akar dan merusak kulit <i>mangrove</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Membersihkan tritip secara manual • Mengamati pertumbuhan tritip yang ada di sekitar tanaman, jika jumlahnya bertambah signifikan maka jadwal penanaman dapat ditunda sementara
Kutu loncat	Menyerang daun	Menyiram daun secara teratur dengan air payau atau air tambak

Sumber: Wibisono, dkk. 2006

- **Permudaan**

Menurut Mulia dan Sumardjani (2010) cara peremajaan *mangrove* adalah dengan melakukan permudaan. Permudaan adalah cara untuk melestarikan *mangrove* dengan cara memangkas *mangrove* yang telah ditanam dengan tetap menyisakan *mangrove* induk.

5.6 Konversi Metana ke Karbon Dioksida dalam PLTSa

Gas metana di TPA Benowo sudah dimanfaatkan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Benowo. Saat ini, kapasitas terpasang dari PLTSa Benowo yaitu 2 mWh. Dari kapasitas PLTSa dapat diketahui kebutuhan gas metana yang dibutuhkan, dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_t = \frac{P_g \times 3600}{H_p}$$

Keterangan

P_g = Daya yang dihasilkan (kW)

Q_t = Produksi metan (m^3/jam)

H_o = Nilai kalori metan (kJ/m^3)

Berdasarkan penelitian dari Naranayan dkk (2007) nilai kalor metan yaitu berkisar antara 16.785 hingga 20.495 kJ/m^3 . Dengan asumsi kapasitas PLTSa tidak bertambah hingga tahun 2034, maka contoh perhitungan kebutuhan gas metan untuk PLTSa sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_t &= \frac{P_g \times 3600}{H_o} \\ &= \frac{2000 \text{ kw} \times 3600}{16.785 \text{ kJ}/m^3} \\ &= 429 \text{ m}^3/jam \\ &= 156.585 \text{ m}^3/tahun \end{aligned}$$

Dalam mekanisme produksi listrik PLTSa, terdapat proses pemurnian untuk memisahkan gas metan dari gas-gas lain, termasuk GRK lain yakni karbon dioksida. Dengan menggunakan perbandingan massa molekul relatif (MR) gas

metan dikonversi menjadi karbon dioksida dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{CO}_2 &= Q_t \times \frac{\text{MR Karbon dioksida}}{\text{MR metana}} \\ &= 156.585 \text{ m}^3/\text{tahun} \times \frac{44}{16} \\ &= 430.608,75 \text{ m}^3/\text{tahun}\end{aligned}$$

Gas karbon dioksida yang dikeluarkan oleh pembangkit melalui cerobong dengan asumsi kapasitas PLTSa tetap sebesar 430.608,75 m³/tahun. Jika massa jenis yang dimiliki oleh karbon dioksida dalam keadaan STP sebesar 1,98 kg/m³, maka perhitungan massa karbon dioksida pertahun sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Massa CO}_2 &= \text{Volume CO}_2 \times \text{Massa jenis} \\ &= 430.608,75 \text{ m}^3/\text{tahun} \times 1,98 \text{ kg/m}^3 \\ &= 852.605,325 \text{ kg CO}_2 \\ &= 852,605 \text{ ton CO}_2\end{aligned}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari perencanaan *Green Belt* TPA Benowo ini adalah sebagai berikut:

1. Proyeksi emisi karbon dioksida (CO₂) dari perhitungan dengan menggunakan metode IPCC Guidelines 2006 untuk tahun 2034 memiliki total emisi CO₂ sebesar 23.943,90 ton dengan emisi dari timbunan sampah sebesar 23.939,57 ton dan sumber kendaraan sebesar 4,33 ton
2. Jenis tanaman yang dipilih untuk *Green Belt* adalah pohon Trembesi dengan jumlah 486 pohon dan *Mangrove* dengan spesies *Avicennia alba*, dengan jumlah 123.548 individu dan luas 12,35 hektar pada tahun 2034 dengan penyerapan 100%.

6.2 Saran

Saran dari perencanaan *Green Belt* TPA Benowo ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian terkait daya serap pohon Trembesi berdasarkan usia pohon Trembesi, agar terlihat perbedaan serapan tiap umurnya.
2. Pada perencanaan selanjutnya dapat menggunakan jenis pohon dengan jenis yang lebih beragam.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VII

DAFTAR PUSTAKA

- Ahn, Changbum, dkk. 2010. **Emission from Freight Transport Operations**. Nottingham: Nottingham University Press
- Anhar, M. Rizki. 2010. **Analisa Kelayakan Investasi Penambahan Unit Dump Truck di PT. Masdar Mega Mas**. Jakarta: Binus Press
- Badan Lingkungan Hidup. 2012. **Laporan Status Lingkungan Hidup Kota Surabaya 2012**. Surabaya
- Badan Pusat Statistik. 2018. **Surabaya Dalam Angka 2017**. Surabaya: BPS Surabaya
- Bismark, M. dkk. 2008. **Keragaman dan Potensi Jenis serta Kandungan Karbon Hutan *Mangrove* di Sungai Subelem Siberut, Sumatera Barat**. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam
- Dahlan, E.N. 2007. **Studi Kemampuan Tanaman dalam Menjerap dan Menyerap Timbal Emisi dari Kendaraan Bermotor**. Bogor: IPB Press
- Dahlan, E.N. 2010 **Trembesi Dahulunya Asing namun Sekarang Tidak Lagi**. Bogor: IPB Press
- Dharmawan, I.W.S dan Siregar C.A. 2008. **Karbon Tanah dan Perdugaan Karbon Tegakan *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. Di Ciasem, Purwakarta**. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam
- Dinas Pertamanan dan Kebersihan Kota Surabaya. 2008. **Data DKP Surabaya**: Surabaya
- Ditjen Cipta Karya. 2019. **Profil Kota Surabaya**. <URL: <http://ciptakarya.pu.go.id/profil/profil/barat/jatim/surabaya.pdf>> (diakses pada 24 April 2019 pukul 10.10)
- ECTA. 2011. **Guidelines for Measuring and Managing CO₂ Emission from Freight Transport Operations**.

- Friedrich , E dan Trois,C. **Quantification of Greenhouse Gas Emissions from Waste Management Processes for Municipalities**. Waste Management 31 pp. 1585–1596
- Goodyear. 2019. **Truck Emission**, <URL: https://www.goodyear.eu/pl_pl/images/truck-fuel-economy_tcm1330-81819.pdf> (diakses pada 23 April 2019 pukul 11.15)
- Haska, H.P. dkk. 2011. **Pohon Trembesi Sebagai Alternatif Terbaik untuk Mensukseskan Target Penurunan Emisi Karbon di Indonesia**. Bogor: IPB Press
- Harahap. 2012. **Fisiologis Tumbuhan: Suatu Pengantar**. Medan: Unimed Press
- I-News** (Jawa Timur). 2018. 20 Agustus.
- Indrawati, 2007. **Ruang Terbuka Hijau**, Surakarta.
- Intergovernmental Panel of Climate Change. 1996. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual**.
- Intergovernmental Panel of Climate Change. 2006. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (vol.2-3)**
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5. Waste**.
- Jinca, M.Y, dkk. 2009. **Pencemaran Udara Karbon monoksida dan Nitrogenoksida Akibat Kendaraan Bermotor pada Ruas Jalan Padat Lalu Lintas di Kota Makassar**. Makassar: Simposium Makassar
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2019. **Sistem informasi Pengelolaan Sampah Nasional, Kota Surabaya**, <URL:http://sipsn.menlhk.go.id/?q=3a-komposisi-sampah&field_f_wilayah_tid=1519&field_kat_kota_tid=All&field_periode_id_tid=All> (diakses pada 6 Januari 2019 pukul 19.05)
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2019. **Sistem informasi Pengelolaan Sampah Nasional, Kota Surabaya**, <<http://sipsn.menlhk.go.id/?q=content/tpa-tpst-156>> (diakses pada 17 Juli 2019 pukul 15.38)

- Klanfar, Mario, dkk. 2016. **Fuel Consumption and Engine Load Factors of Equipment in Quarrying of Crushed Stone**. *Tehnički vjesnik* 23, 1(2016), 163-169
- Liebherr. 2019. **Wheel Loader Consumption**, <URL: <https://www.liebherr.com/en/int/latest-news/news-press-releases/detail/xpower-wheel-loader-consumption-figures-now-available-in-liebherr-fuel-saving-calculator.html>> (diakses pada 23 April 2019 pukul 10.47)
- Mackie, K.R dan Cooper, C.D.2009.**Landfill Gas Emission Prediction Using Voronoi Diagrams And Importance Sampling**.*Environmental Modelling & Software* 24 pp.1223–1232.
- Malindu, Sandanayake, dkk. 2015. **Environmental Emissions of Construction Equipment Usage in Pile Foundation Construction Process**. Melbourne: Conference Paper DOI 10.1007/978-3-662-46994-1_28
- Mulia, F. dan Sumardjani, L. 2010 **Pengusahaan Hutan Mangrove**. Medan: USU Press
- Muzaki, Farid Kamal., dkk. 2012. **Mengenal Mangrove Surabaya**. Surabaya: Pusat Studi Kelautan LPPM ITS
- NASA. 2019. **Carbon dioxide**, <URL: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>> (diakses pada 18 April 2019 pukul 13.52)
- Nguyen,T.T. dkk. 2010. **Fuel Consumption Estimation for Kerbside Municipal Solid Waste (MSW) Collection Activities**. *Waste Manag Res.* 2010 Apr;28(4):289-97. doi: 10.1177/0734242X09337656.
- Nikmah, L. dan Warmadewanthi I.D.A.A. 2013. **Prediksi Potensi Pencemaran Pengolahan Sampah dengan Metode Gasifikasi *Fluidized Bed* (Studi Kasus TPA Benowo, Surabaya)**. Surabaya: Jurnal Teknik Pomits Vol.2 No.1
- Noor, Y.K.,dkk. 2006. **Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia**. Bogor: PHKA/WI-IP
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 5 Tahun 2008
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19 Tahun 2012

- PT.Sumber Organik. 2014. **Benowo Landfill Site Project, Surabaya**, <URL: <http://sumberorganik.com/project.html>> (diakses pada 30 Januari 2019 pukul 22.22)
- Pranoto, S. I. 2002. **Proses Biokimia DEWATS**, Yogyakarta: DEWATS LPTP BORDA
- Prawirowardoyo. 1996. **Meteorologi**. Bandung: ITB Press
- Purwaningsih. 2007 **Kemampuan Serapan Karbon dioksida pada Tanaman Hutan Kota di Kebun Raya Bogor**. Bogor: IPB Press
- Staples, W.S dan Elevitch, C.R. 2006. **Samanea saman (rain tree)**. Hawaii; Species Profiles for Pacific Island Agroforestry
- Rahman. 2016. **Pengelolaan Ekosistem Mangrove untuk Ruang Terbuka Hijau Sebagai Mitigasi Gas Rumah Kaca**. Bogor: IPB Press
- Stockman, dkk. 2013. **The Knowns: Knowns Unknown and Unknowns of Sequestration of Soil Organic Carbon**. Agriculture Ecosystems&Environment 164, 80-99
- Supriharyono. 2007. **Konservasi Ekosistem Sumber Daya Hayati**. Yogyakarta: Pustaka Pelajar
- Tchobanoglous G, dkk. 1993. **Integrated Solid Waste Management**, Engineering Principles and Management Issues. New York: McGraw-Hill, Inc. pp. 381-417.
- Tinambunan R. S. 2006. **Analisis kebutuhan ruang terbuka hijau di kota Pekanbaru**. Bogor. IPB Press
- Tribun News** (Surabaya). 2017. 28 Februari.
- Truck, Volvo. 2019. **Truck Emission**, <URL: https://www.volvotrucks.com/content/dam/volvo/volvo-trucks/markets/global/pdf/our-trucks/Emis_eng_10110_14001.pdf> (diakses pada 23 April 2019 pukul 10.55)
- Undang-undang agrarian nomor 5 tahun 1960 tentang Dasar-dasar Pokok Agraria
- Unnikrishnan dan Anju. 2010. **Energy Recovery in Solid Waste Management Through CDM in India and Other Countries**. India: Resources, Conservation, and Recycling. Pp. 630-640

- US Environmental Protection Agency. 2010. **Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for Biogenic Emissions from Selected Source Categories: Solid Waste Disposal Wastewater Treatment Ethanol Fermentation.** America: Environmental Protection Agency
- Wakadidar, K. dkk,. 2012. **Influence of Sewage and Leachate on Biochemical Potential of Waste Biomass.** J Bioremed & Biodegrad S8-002
- Wibisono, I.T.C.,dkk, 2006. **Panduan Praktis Rehabilitasi Pantai; Suatu Pengalaman Merehabilitasi Kawasan Pesisir.** Bogor: Wetlands International Indonesia Programme
- Yale. 2019. **Internal Combustion Truck,** <URL: <https://www.yale.com/emea/en-gb/our-products/product-overview/internal-combustion-trucks/diesel-lpg-forklift-truck-2000-3500kg/>> (diakses pada 23 April 2019 pukul 10.30)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1
DOKUMENTASI



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 2
PERHITUNGAN NILAI KORELASI PROYEKSI SAMPAH

Tahun	Jumlah Timbulan Sampah	Metode Aritmatik				
		selisih tahun data tiap tahun (X)	selisih total data tiap tahun (Y)	XY	X ²	Y ²
2013	509.047	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2014	531.403	1,000	22.356,000	22.356,000	1,000	499.790.736,000
2015	539.164	2,000	7.761,000	15.522,000	4,000	60.233.121,000
2016	575.099	3,000	35.935,420	107.806,260	9,000	1.291.354.410,576
2017	590.221	4,000	15.121,580	60.486,320	16,000	228.662.181,696
2018	608.396	5,000	18.175,000	90.875,000	25,000	330.330.625,000
Jumlah	3.353.330	15,000	99.349,000	297.045,580	55,000	2.410.371.074,273
r						0,420575883

Tahun	Jumlah Penduduk	Metode Geometrik				
		No. Data Tiap Tahun (X)	Jumlah Penduduk Tiap Tahun dalam LN (Y)	XY	X ²	Y ²
2013	509.047	1	13,140	13,140	1,000	172,667
2014	531.403	2	13,183	26,367	4,000	173,799
2015	539.164	3	13,198	39,593	9,000	174,181
2016	575.099	4	13,262	53,049	16,000	175,889
2017	590.221	5	13,288	66,441	25,000	176,578
2018	608.396	6	13,319	79,911	36,000	177,385
Jumlah	3.353.330	21	79,390	278,502	91,000	1.050,498
r						0,990180132

Tahun	Jumlah Timbulan Sampah	Metode Least Square				
		No. Data Tiap Tahun (X)	Jumlah Timbulan Sampah Tiap Tahun (Y)	XY	X ²	Y ²
2013	509.047	1	238.536,000	238.536,000	1,000	56.899.423.296,000
2014	531.403	2	531.403,000	1.062.806,000	4,000	282.389.148.409,000
2015	539.164	3	539.164,000	1.617.492,000	9,000	290.697.818.896,000
2016	575.099	4	575.099,420	2.300.397,680	16,000	330.739.342.884,336
2017	590.221	5	590.221,000	2.951.105,000	25,000	348.360.828.841,000
2018	608.396	6	608.396,000	3.650.376,000	36,000	370.145.692.816,000
Jumlah	3.353.330	21	3.082.819,420	11.582.176,680	90,000	1.679.232.255.142,340
r						0,631938991

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Laudza Adi Nugraha, atau biasa dipanggil Laudza. Lahir di Cirebon pada 17 September 1997. Penulis mengenyam pendidikan wajibnya di SDN Bima Cirebon (2003-2009), SMPN 4 Cirebon (2009-2012), dan SMAN 2 Cirebon (2012-2015), kemudian penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan Institut Teknologi

Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 0321154000033.

Selama masa perkuliahan, penulis berkontribusi sebagai staf ahli bidang Pengembangan Tingkat Lanjut, divisi Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan FTSP ITS dan didaulat menjadi Ketua Panitia *Leadership Organizing Trainee* HMTL tahun 2018 serta aktif dalam berbagai kegiatan pelatihan yaitu Pengembangan Pengader Seluruh ITS, Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Dasar, dan *Leadership Organizing Trainee* HMTL 2017. Penulis dapat dihubungi via email laudzaadin@gmail.com



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5949886, Fax: 031-5928387

PTA-S1-TL-03
TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018/2019

Kode/SKS: RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 02

FORMULIR TUGAS AKHIR PTA-03
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Seminar Proposal Tugas Akhir

Hari, tanggal : Kamis 24-Jan-19
Pukul : 14.30-16.00 WIB
Ruang : TL 102
Judul : Perencanaan Green Belt di Kawasan TPA Benowo
Nama : Laudza Adi Nugraha
NRP. : 03211540000033
Topik : Perencanaan

Nilai TOEFL 447


Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Proposal Tugas Akhir
①	Delapani Rospes. Dok komposisi → mgk. Hudu.
②	* perbaiki harga pembelian. * asumsi: → lebih sedikit.
③	pelebaran Fraksi: * Chta → * Konsal cor? * pers. pembelian.

Dosen Pembimbing menyerahkan formulir PTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan:

1. Proposal Tugas Akhir diterima
2. Seminar Tugas Akhir harus diulang
3. Proposal Tugas Akhir ditolak/ganti judul

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. R. Irwan R. Santoso, MT.





KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Laudza Adi Nugraha
NRP : 0321154000033
Judul : Perencanaan Green Belt Sebagai Penerimaan
Karbon Dioxide (CO₂) di Kawasan TPA Benowo

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	5/3-2019	Revisi Metodologi	
2.	12/3-2019	Produksi CO ₂ dari sampah dan kendaraan	
3.	26/3-2019	Proyeksi CO ₂ hingga tahun perencanaan	
4.	16/4-2019	Serapan CO ₂ oleh tanaman	
5.	17/4-2019	Kebutuhan Luasan Green Belt	
6.	21/4-2019	Perencanaan berdasarkan arah angin	
7.	24/6-2019	Dispersi Karbon dioksida dengan model Box	
8.	24/7-2019	POMMITS	

Surabaya, 2 Juli 2019
Dosen Pembimbing

Dr. Ir. R. Irwan Bagyo, I, MT.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2018-2019

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 5 Juli 2019
Pukul : 09.00-11.00
Lokasi : TL 105
Judul : Perencanaan *Green Belt* Sebagai Penyerap Karbon dioksida (CO₂) di Kawasan TPA Benowo

Nilai TOEFL 447

Nama : Laudza Adi Nugraha
NRP. : 03211540000033
Topik : Perencanaan

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
	<p>1. penulisan & gambar.</p> <p>2.</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Jr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.



FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama : Laudza Adi Nugraha
NRP : 03211540000033
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Green Belt Sebagai Penyerap Karbon Dioksida di Kawasan TPA Senowo

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Perbaiki penulisan dan gambar	Sudah diperbaiki
2.	Dasar kualitas udara /CO ₂ di lokasi	Sudah ditambahkan di hal. 24
3.	Asumsi pertumbuhan dan reduksi sampah	Sudah ditambahkan di hal. 14
4.	Tambahkan CO ₂ yang berasal dari konversi C ₁₄	Sudah ditambahkan di hal. 100
5.	Tambahkan umur TPA	Sudah ditambahkan di hal. 34
6.	Kebutuhan luasan Green belt	Sudah ditambahkan di hal. 86
7.	Buat gambar potongan memanjang dan melintang	Sudah ditambahkan di lampiran 3

Dosen Pembimbing,


Dr. Irwan Bayu S. MT.
19650508 198303 1 001

Mahasiswa Yes.,


Laudza Adi Nugraha