

# Rancang Bangun *Green Belt* Untuk Pengendalian Pencemaran Debu di Kawasan Industri Terboyo

Nurandani Hardyanti, Haryono Setiyo Huboyo, Matthew Darmawan\*

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro;

## ABSTRAK

Pencemaran udara adalah masuknya atau bercampurnya unsur-unsur berbahaya ke atmosfer yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, gangguan kesehatan manusia pada umumnya, dan penurunan kualitas lingkungan. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah pencemaran udara adalah dengan merencanakan *Green Belt*. *Green Belt* atau Sabuk hijau adalah kawasan bebas bangunan atau ruang terbuka hijau di sekitar kawasan sumber pencemar yang berguna sebagai penyaring fisik pencemar udara serta aspek lain seperti estetika, fungsi peneduh dan penunjang keanekaragaman hayati. Oleh karena itu, perencanaan *Green Belt* menjadi penting sebagai aspek yang dapat mengendalikan tingkat pencemaran udara, khususnya pencemaran debu, pada lokasi perencanaan yang ditargetkan, khususnya Kawasan Industri Terboyo. Berdasarkan sampling yang dilakukan, angka konsentrasi debu menunjukkan angka yang cukup tinggi yaitu 801,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dengan desain *Green Belt* jenis pohon Acacia mampu menurunkan konsentrasi debu mulai dari efisiensi 15,84% pada tahun tanam dan meningkat pesat setiap tahunnya. Efisiensi optimal *Green Belt* akan tercapai pada tahun ke-2 dengan laju 71,40% dan akan mampu mencapai efisiensi maksimum pada tahun ke-5 dengan laju 87,92%.

**Kata kunci:** Pencemaran udara, Sabuk Hijau, Pengendalian pencemaran debu, Pohon akasia, Ruang terbuka hijau.

## ABSTRACT

Air pollution is the entry or mixing of hazardous elements into the atmosphere which can cause environmental damage, disturbances to human health in general and reduce environmental quality. One of the solutions to tackle air pollution problems is to plan a Green Belt. Green belt is a building-free zone or green open space around the pollutant source area which is useful as a physical filter for air pollutants as well as other aspects such as aesthetics, shading functions, and biodiversity support. Therefore, planning a Green Belt is important as an aspect that can control the level of air pollution, especially dust pollution, at the targeted planning location, especially Terboyo Industrial Area. Based on the sampling carried out, the dust concentration figure shows a high number, namely 801.6  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ . With the Acacia tree species Green Belt design, it can reduce dust concentrations starting from an efficiency of 15.84% in the planting year and increasing rapidly each year. The optimum efficiency of the Green Belt will be achieved in the 2nd year with the rate of 71.40% and it will be able to reach the maximum efficiency in the 5th year with the rate of 87.92%.

**Keywords:** Air pollution, Green Belt, Dust pollution control, Acacia tree, Green open space

**Citation:** Hardyanti, N., Huboyo, H.S., Darmawan, M. (2021). Rancang Bangun Green Belt Untuk Pengendalian Pencemaran Debu di Kawasan Industri Terboyo (Jalan Kaligawe). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(3), 681-689, doi: 10.14710/jil.19.3.681-689.

## 1. Latar Belakang

Green belt atau yang biasa dipanggil Sabuk hijau merupakan suatu daerah vegetasi yang bertujuan untuk digunakan sebagai pemisah secara fisik untuk daerah perkotaan dan pedesaan yang berwujud zona bebas bangunan atau ruang terbuka hijau yang berada di luar/mengelilingi daerah yang direncanakan, atau daerah pusat aktivitas/kegiatan yang berpotensi menghasilkan polusi (Anggraeni, 2005). Senada dengan itu dalam pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan RTH di Kawasan Perkotaan (2008) disebutkan bahwa Sabuk Hijau 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.

Pencemaran udara menjadi permasalahan yang cukup serius di wilayah perkotaan baik yang dikategorikan sebagai kota metropolitan, besar, menengah, bahkan kecil. Wilayah perkotaan menjadi pusat dari pertumbuhan ekonomi di Indonesia, sehingga hal ini mendorong urbanisasi, peningkatan kebutuhan permukiman/perumahan, jasa lingkungan seperti sanitasi, pengelolaan persampahan, hingga sektor energi dan transportasi yang berpotensi

\* Penulis korespondensi: matthewdarmawan99@gmail.com

menimbulkan permasalahan lingkungan terkait polusi udara.

Udara sebagai sumber daya alam yang mempengaruhi kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya harus dijaga dan dipelihara kelestarian fungsinya melalui pengendalian pencemaran udara untuk pemeliharaan kesehatan dan kesejahteraan manusia serta perlindungan bagi makhluk hidup lainnya. Tingkat pencemaran udara adalah nilai yang menyatakan kondisi kualitas udara pada suatu tempat dan waktu tertentu. Menentukan suatu zat yang masuk ke udara itu dalam taraf sangat berbahaya, berbahaya, atau tidak berbahaya, digunakan suatu standar mutu kandungan zat-zat yang dianggap masih layak untuk kehidupan, yang masih diperbolehkan berada di udara. (Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara)

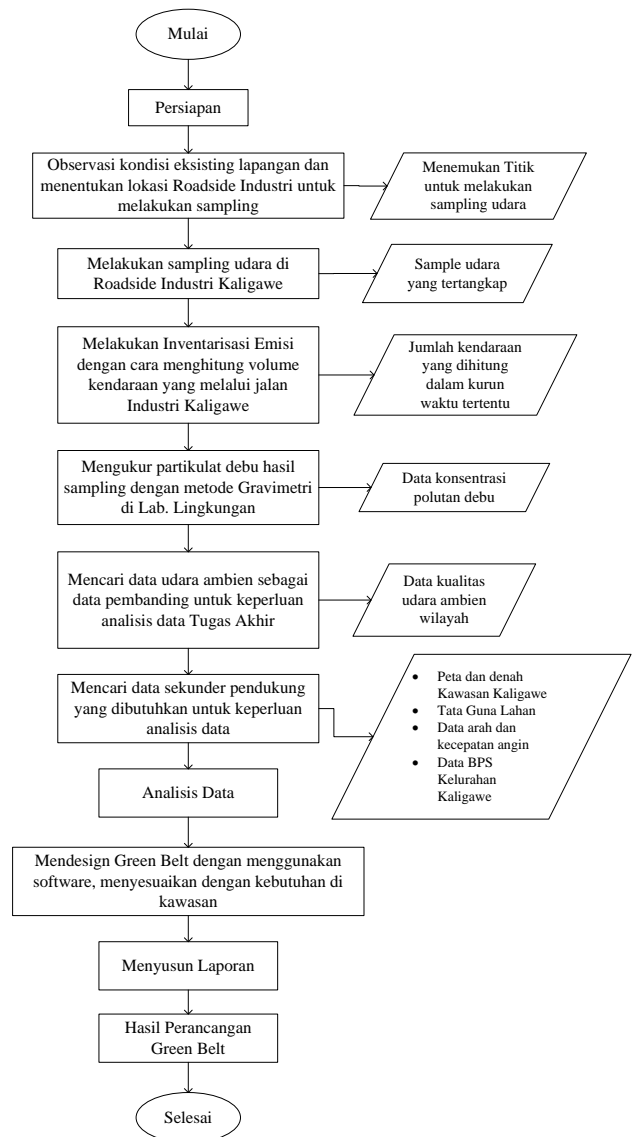
Melihat situasi yang ada di Kota Semarang, terkhususnya di Kaligawe, banyak sekali kegiatan yang ada di sana. Salah satunya adalah sebagai jalur transportasi kendaraan berat berbahan bakar diesel yang menghasilkan emisi yang cukup mengkhawatirkan untuk lingkungan, terutama dalam sektor kualitas udara baik dari timbal (Pb) hingga partikulat debu (PM). Partikulat sendiri merupakan bentuk yang terdispersi padatan dan cairan dengan ukuran molekul tunggal antara 0,01 mikrometer hingga 10 mikrometer (Soedomo, 2001). Maka dari itu, penelitian dan perencanaan ini bertujuan untuk dapat memberi inovasi rancang bangun green belt di kawasan Kaligawe yang dapat mendukung kualitas udara di Kawasan Industri Terboyo dalam fungsi sebagai salah satu filter fisik partikulat debu.

## 2. Metodologi

Perencanaan dimulai dari persiapan, observasi kondisi eksisting lapangan, melakukan sampling partikulat debu untuk menemukan data primer, melakukan traffic counting sebagai data pendukung, melakukan pengukuran partikulat debu pada Laboratorium Lingkungan, mengumpulkan data sekunder, menganalisis data dimana data primer dan data sekunder akan diolah, dan pada akhirnya memiliki output desain green belt yang dibutuhkan di lapangan.

Perencanaan ini tentunya membutuhkan beberapa software untuk dapat mendesain green belt antara lain Microsoft Excel, AutoCAD, ArcGIS, Google Earth, dan Simulasi ANSYS.

Perencanaan berlokasi di Jalan Kaligawe (khususnya di Kawasan Industri Terboyo), dengan melakukan sampling udara secara *insitu* di roadside Jalan Kaligawe untuk mengukur kualitas udara sesaat, khususnya parameter debu. Metode analisis menggunakan prosedur perencanaan *Green Belt* berdasarkan *Central Pollution Control Board, Ministry of Environment & Forests, Govt. of India* (2000) seperti tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Metodologi Perencanaan

Dalam menentukan berapa besar daya penyisihan polutan debu oleh green belt dan berapa banyak kebutuhan jumlah pohon yang digunakan pada Green Belt, diperlukan juga modelling perhitungan matematis dengan menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Central Pollution Control Board di bawah ini:

$$\lambda = k \times \rho \times \left(\frac{Vd}{Uc}\right) \tag{1}$$

Dengan menggunakan rumus bantuan perhitungan deposisi kering pada udara yaitu:

$$Vd = \frac{Vs}{1 - e^{-Vs \left( \frac{ra + 1}{\frac{1}{rd} + \frac{1}{ru} + \frac{1}{rt}} \right)}} \tag{2}$$

Untuk menemukan kecepatan deposisi kering tersebut, dibutuhkan beberapa variable antara lain kecepatan pengendapan ( $Vs$ ), Ketahanan aerodinamis

(ra), Ketahanan difusi Brownian (rdb), Ketahanan efek inersia (rii), dan ketahanan dampak turbulensi (rti).

Kecepatan pengendapan disebut dengan *Settlement Velocity* yang memberikan perkiraan mengenai kecepatan partikulat dapat mengendap pada suatu media, dalam kasus ini yaitu vegetasi/*Green Belt*. Hukum yang digunakan pada rumus ini yaitu hukum Stokes yang mana dikatakan bahwa perhitungan ini berlaku untuk partikulat yang berukuran hingga 50  $\mu\text{m}$ . Kecepatan pengendapan dapat ditemukan dengan menggunakan rumus:

$$V_s = \frac{d_p^2 \cdot g \cdot (\rho_p - \rho_a) \cdot C_c}{18 \cdot \mu_a} \quad (3)$$

dimana

$$C_c = 1 + \frac{\lambda_a}{d_p} \left( 2,514 + 0,8e^{-\frac{0,55 \cdot d_p}{\lambda_a}} \right) \quad (4)$$

Secara sederhana, ketahanan aerodinamis (ra) merupakan gaya yang diberikan oleh udara terhadap objek (dalam kasus ini vegetasi) yang sejajar dan berlawanan arah dengan aliran relatif yang berkontak dengan vegetasi. Adapun rumus untuk mencari ketahanan aerodinamis yaitu sebagai berikut:

$$r_a = \frac{1}{k \cdot U_x} \left( \ln \frac{z}{z_0} - \psi h \right) \quad (5)$$

Dimana menurut (Whipple, 2004) untuk menentukan kecepatan gesekan yaitu dengan menggunakan rumus:

$$U_x = \left( \frac{\tau}{\rho} \right)^{1/2} \quad (6)$$

Untuk menentukan tegangan geser, diperlukan formula sebagai berikut:

$$\tau' = \frac{F}{A} \quad (7)$$

$$F = P \times A \times C_d \quad (8)$$

Dapat ditentukan nilai tekanan angin dengan menggunakan rumus berikut menurut (Kurt, 2002) :

$$P = 0,00256 \times 47,88 \times U \quad (9)$$

Maka dapat disederhanakan bahwa,

$$\tau' = P \times C_d$$

Dimana koefisien geser pohon / *drag coefficient* memiliki nilai 0,55 (Bitog et al., 2011)

Tahap berikutnya yaitu menghitung ketahanan difusi *Brownian* atau secara umum disebut dengan *Brownian Diffusion Resistance* (Rdb). Difusi *Brownian* merupakan suatu pergerakan partikulat tersuspensi pada udara yang terjadi secara acak, salah satu contoh dari pergerakan difusi *Brownian* ini yaitu pada saat kita melihat suatu cahaya yang masuk ke dalam ruang gelap, dan dapat terlihat pergerakan debu yang terjadi pada udara yang tersorot cahaya. Ketahanan pada difusi *Brownian* ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut dimana digunakan konstanta p dengan nilai 2/3 menurut (Giardina & Buffa, 2018)

$$r_{db} = \frac{1}{U_x \cdot Sc^{-p}} \quad (10)$$

Berdasarkan rumus diatas maka dapat ditemukan bahwa membutuhkan nilai bilangan Schmidt yang mana memiliki rumus:

$$Sc = \frac{\nu a}{D} \quad (11)$$

Dimana,

$$D = \frac{K_B \cdot T \cdot C_c}{3 \cdot \pi \cdot \mu_a \cdot d_p} \quad (12)$$

Efek inersia merupakan proses dimana suatu fluida yang bergerak mengalami gaya inersia dimana memiliki kecenderungan untuk mengalami pergerakan memutar atau mengitari suatu poros. Terkait ketahanan ini artinya bahwa angin memiliki kecenderungan untuk bertahan dari adanya gaya inersia ini pada fluida yang bergerak. Untuk menghitung ketahanan efek inersia pada permukaan yang kasar (karena Green Belt adalah vegetasi yang memiliki permukaan yang kasar), dapat menggunakan rumus yaitu:

$$r_{ii} = \frac{1}{U_x \left( \frac{St^2}{St^2 + 1} \right)} \quad (13)$$

dimana

$$St = \frac{V_s \cdot U_x^2}{g \cdot \nu_a} \quad (14)$$

**Tabel 1** Tabel Konstanta Kekasaran Permukaan ( $z_0$ )

Deskripsi Lahan	$z_0$
Sangat halus, es, atau lumpur	0,00001 m
Laut terbuka	0,0002 m
Laut berombak	0,0005 m
Permukaan bersalju	0,003 m
Rerumputan halus	0,008 m
Rerumputan kasar	0,010 m
Lapangan kosong	0,03 m
Lahan perkebunan	0,05 m
Sedikit pohon	0,10 m
Banyak pohon, sedikit gedung	0,25 m
Pepohonan lebat	0,5 m
Pinggiran kota, sedikit bangunan	1,5 m
Tengah kota, banyak Gedung tinggi	3,0 m

Sumber: (Manwell et al., 2002)

Turbulensi udara merupakan suatu proses dimana pergerakan udara terjadi secara acak dan disebabkan oleh adanya perubahan temperatur dan juga tekanan. Ketahanan dampak turbulensi ini menunjukkan ketahanan partikulat pada udara terhadap adanya peristiwa turbulensi pada fluida, atau dalam kasus ini, udara. Ketahanan dampak turbulensi ini dapat ditemukan dengan menggunakan perhitungan rumus:

$$r_{ti} = \frac{1}{U_x \cdot m \cdot \tau_+^n} \quad (15)$$

dimana

$$\tau_+ = \tau \frac{U_x^2}{v_a} \quad (16)$$

$$\tau = \frac{d_p^2 \cdot \rho_p \cdot C_c}{18 \cdot \mu_a} \quad (17)$$

Dalam menentukan estimasi densitas dedaunan pada pohon dan sekelompok vegetasi dalam suatu area. Menurut (Jain Manjari et al., 2010) dalam penelitiannya terkait estimasi densitas dedaunan pada pohon dan sekelompok vegetasi dalam suatu area, perlu adanya perhitungan menggunakan rumus:

$$\rho_t = \frac{N \cdot ASA}{Volume\ keseluruhan\ pohon} \quad (18)$$

$$\rho_c = \frac{(n \cdot N) \cdot ASA}{Volume\ keseluruhan\ GB} \quad (19)$$

Dengan ditemukannya semua variabel diatas, maka dapat ditemukan nilai penyisihan green belt yang direncanakan dengan menggunakan rumus Persamaan (1).

Untuk menambah validasi perhitungan dan mendukung perencanaan *Green Belt* ini, diperlukan analisis statistik terkait data dalam perencanaan ini dengan menggunakan pendekatan Uji Normalitas, Uji Homogenitas, dan Uji ANOVA.

1) Uji Normalitas

Uji normalitas ini menggunakan statistik uji *Shapiro-Wilk* bertujuan untuk mengetahui bahwa data berdistribusi normal atau tidak.

- Hipotesis
  - $H_0$ : Residual data number of trees berdistribusi normal
  - $H_1$ : Residual data number of trees tidak berdistribusi normal
- Taraf Signifikansi  
Jika nilai signifikansi  $\alpha = 5\%$ , maka dinyatakan distribusi normal
- Statistik Uji

2) Uji Homogenitas Varian

Tujuan dari uji homogenitas adalah untuk mengetahui data homogeny atau tidak dengan menggunakan uji *Levene*

- Hipotesis

- $H_0$ : Varian dari residual homogen
- $H_1$ : Varian dari residual tidak homogen

- Taraf Signifikansi  
Jika nilai signifikansi  $\alpha = 5\%$ , maka dinyatakan data mempunyai varian homogen

- Statistik Uji

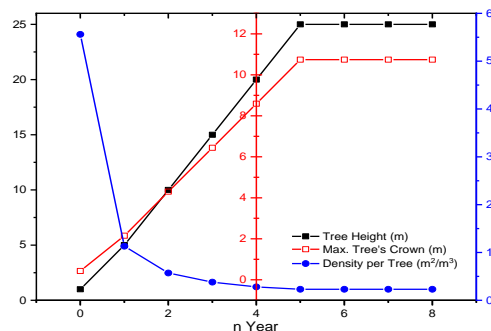
3) Uji One Way Anova

- Hipotesis
  - $H_0$ : Perlakuan (pembebasan lahan) tidak memberikan pengaruh terhadap number of trees
  - $H_1$ : Perlakuan (pembebasan lahan) memberikan pengaruh terhadap number of trees
- Taraf Signifikansi  
 $\alpha = 5\%$
- Statistik Uji

3. Hasil dan Pembahasan

Dengan terbatasnya lahan pada lokasi perencanaan, maka desain *Green Belt* tidak dapat dibuat secara universal dengan ketebalan yang sama dan harus disesuaikan dengan ketersediaan lahan eksisting yang ada. Kinerja *Green Belt* dari tahun tanam pasti berbeda dengan tahun setelahnya yang mana pohon/vegetasi *Green Belt* yang ditanam pasti akan mengalami pertumbuhan sesuai karakteristik yang dimiliki oleh jenis vegetasi yang dipilih.

Gambar 2 menunjukkan grafik rekapitulasi kinerja *Green Belt*. Untuk vegetasi terpilih pada desain ini (*Acacia mangium*), yang sudah terbukti efektif untuk menyisihkan polutan partikel debu berdasarkan (Al-hakim, 2014) yang telah melakukan penelitian mengenai efektivitas penyisihan debu oleh spesies pohon akasia. Berdasarkan (Krisnawati, 2011), tanaman Akasia memiliki ciri-ciri/kriteria seperti ditunjukkan di Tabel 2.



Gambar 2 Grafik Densitas per Vegetasi (Tiap Tahun)

**Tabel 2** Kriteria Vegetasi *Acacia mangium*

Karakteristik	Satuan	Jumlah
Tinggi batang	m	7 – 30
Diameter batang	m	≤ 0,5
Panjang daun	cm	< 25
Lebar daun	cm	< 10

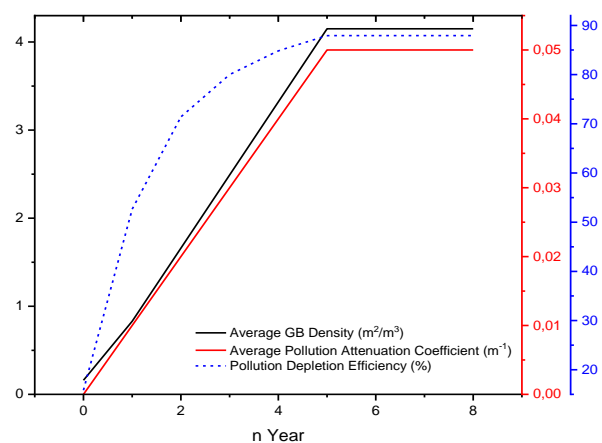
Sumber: (Krisnawati, 2011)

Pohon ditanam pada tahun tanam memiliki ketinggian 1 m dan mengalami pertumbuhan yang sangat pesat setiap tahunnya yaitu mampu bertumbuh setinggi 5 m setiap tahunnya dan dapat mencapai pertumbuhan maksimum yaitu pada tahun ke 5 dengan ketinggian 25 m. Dengan adanya perbedaan ketinggian dari tahun ke tahun ini, tentunya efisiensi penyisihan polutan akan berbeda pula setiap tahunnya dan akan selalu mengalami peningkatan yang cukup besar, densitas *Green Belt* juga akan berubah, dimana akan mengalami peningkatan setiap tahunnya dengan bertambah tingginya pohon.

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa rata-rata densitas *green belt* mengalami peningkatan setiap tahunnya yaitu dimulai dari tahun tanam yang memiliki densitas *green belt* rata-rata sebesar 0,16 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> dan mengalami densitas puncak di tahun ke-5 keatas sebesar 4,15 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Secara perencanaan, didesain bahwa tahun ke 2 sudah memiliki efisiensi

yang cukup baik sebesar 71,41% dan masih dapat meningkat lagi sampai potensi efisiensi maksimum penyisihan partikulat sebesar 87,92% pada tahun ke-5 sampai seterusnya.

Berdasarkan perencanaan sebaran pohon dan *Green Belt*, nampak bahwa *Green Belt* mengitari wilayah industri terboyo dengan fungsi mampu memfiltrasi partikulat debu pada udara yang berjalan menuju luar wilayah industri atau permukiman. Sebaran pohon ini mengitari wilayah Industri Terboyo dan terdiri dari total 159.500 pohon *Acacia mangium*.



**Gambar 3** Grafik Densitas Rata-Rata dan Efisiensi Penyisihan Polutan *Green Belt* (Tiap Tahun)

**Tabel 3** Deskripsi dari Densitas Rata-rata dan Efisiensi Penyisihan Polutan *Green Belt* (Tiap Tahun)

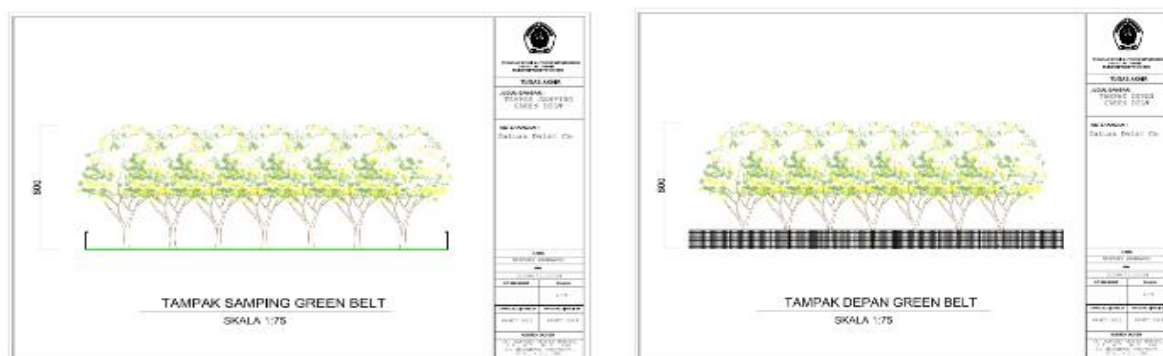
Descriptive Statistics					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Average GB Density	9	.16	4.15	2.7844	1.57339
Average Pollution Attenuation Coefficient	9	.00	.05	.0333	.01936
Pollution Depletion Efficiency	9	15.84	87.92	72.9344	24.40260
Valid N (listwise)	9				



**Gambar 4** Peta Sebaran *Green belt*



**Gambar 5** Peta Perencanaan Zona *Green belt*

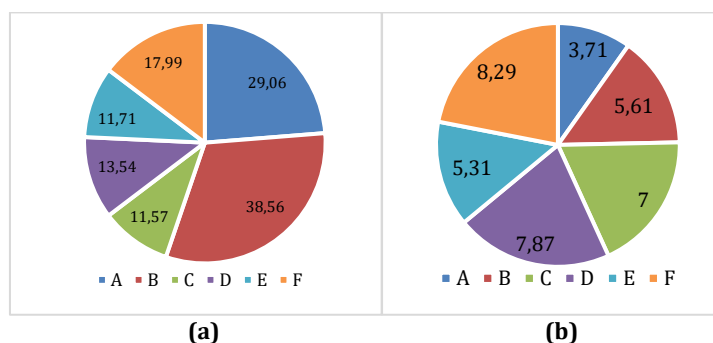


(a) (b)  
Gambar 6 (a) Tampak Samping Green belt; (b) Tampak Depan Green belt

Tabel 4 Output Uji Normalitas

	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for num_of_trees	.135	12	.200*	.965	12	.846

\*. This is a lower bound of the true significance.  
a. Lilliefors Significance Correction



Gambar 7 (a) Luas Area Subzone Green Belt (Tanpa Pembebasan Lahan); (b) Luas Area Non-Subzone Green Belt (Perlu Pembebasan Lahan)

Tabel 5 Output Uji Homogenitas

Residual for num_of_trees	Test of Homogeneity of Variances			
	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
	.037	1	10	.851

Hasil uji normalitas dan homogenitas residual ditunjukkan di Tabel 4.

Pada analisis statistik deskriptif variabel densitas rata-rata Green Belt (*average GB Density*) yang tersaji pada Tabel 3, diperoleh kesimpulan bahwa rata rata dari dari tahun ke-0 sampai tahun ke-8 sebesar 2,7844 m<sup>2</sup>/m. Kemudian diperoleh juga ukuran persebaran datanya sebesar 1,57339 yang berarti lebih kecil dari nilai mean sehingga tidak ada perbedaan yang cukup

besar pada data *Average GB Density* dari tahun ke-0 sampai tahun ke-8.

Pada variabel penurunan polutan (*pollution depletion efficiency*) diperoleh kesimpulan bahwa rata rata dari *pollution depletion efficiency* dari tahun ke-0 sampai tahun ke-8 sebesar 72,9344%. Kemudian diperoleh juga ukuran persebaran data *pollution depletion efficiency* sebesar 24,40260 yang berarti lebih kecil dari nilai mean sehingga tidak ada

perbedaan yang cukup besar pada data *pollution depletion efficiency* dari tahun ke-0 sampai tahun ke-8.

Uji Normalitas:

- Daerah Kritis  
Tolak  $H_0$  jika nilai sig (Shapiro Wilk)  $< \alpha$  (5%)
- Keputusan  
Nilai sig Shapiro Wilk (0.846)  $> \alpha$  (0.05), sehingga  $H_0$  diterima
- Kesimpulan  
Pada taraf signifikansi  $\alpha = 5\%$   $H_0$  diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa residual data *number of trees* berdistribusi normal, sehingga untuk melakukan pengujian ANOVA menggunakan One way ANOVA.

Uji Homogenitas:

- Daerah Kritis  
Tolak  $H_0$  jika nilai sig  $< \alpha$  (5%)
- Keputusan  
Nilai sig (0.851)  $> \alpha$  (0.05), sehingga  $H_0$  diterima
- Kesimpulan  
Pada taraf signifikansi  $\alpha = 5\%$   $H_0$  diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa varian dari residual homogen.

Karena pada data *Green Belt* memenuhi asumsi normalitas dan asumsi homogenitas untuk melakukan pengujian ANOVA menggunakan One way ANOVA.

- Daerah Kritis  
Tolak  $H_0$  jika nilai sig  $< \alpha$  (5%)
- Keputusan

Nilai sig (0.005)  $< \alpha$  (0.05), sehingga  $H_0$  ditolak

- Kesimpulan:  
Pada taraf signifikansi  $\alpha = 5\%$   $H_0$  ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa perlakuan atau adanya pembebasan lahan memberikan pengaruh terhadap number of trees pada *green belt*.

Dari hasil analisis di atas, dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 bahwa pada jumlah pohon di Kawasan *Green Belt (number of trees)* dipengaruhi oleh adanya pembebasan lahan, sehingga jumlah pohon pada *Green Belt* yang sudah tidak memerlukan pembebasan lahan akan berbeda dengan jumlah pohon pada *Green Belt* yang memerlukan pembebasan lahan.

Dengan total kebutuhan lahan sebanyak 160,22 Ha lahan, maka dapat ditemukan persentase lahan *Green Belt* pada Kawasan Industri Terboyo yang memiliki total luas lahan 734 Ha yaitu seluas:

$$\begin{aligned} \% \text{ Area Green Belt} &= (160,22 \text{ Ha} / 734 \text{ Ha}) \times 100\% \\ &= 21,83 \% \end{aligned}$$

(Memenuhi persyaratan luasan pada Perda Kota Semarang No. 14 Tahun 2011)

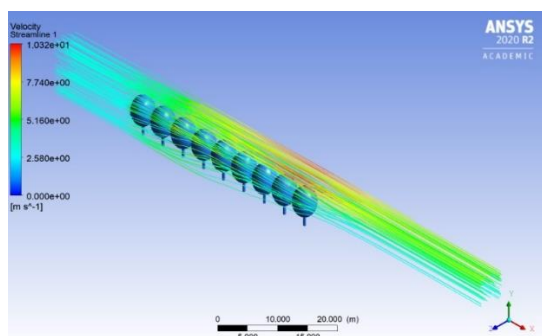
Dengan demikian dapat ditemukan bahwa luasan yang dibutuhkan dalam perencanaan ini sudah selaras dan memenuhi kriteria yang ditentukan pada Peraturan Daerah No. 14 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Semarang 2011 – 2031 yaitu seluas 21,83% dimana telah memenuhi persyaratan yang diharuskan memiliki luasan 10% minimal dari total keseluruhan wilayah industri.

**Tabel 6** Output Uji Anova

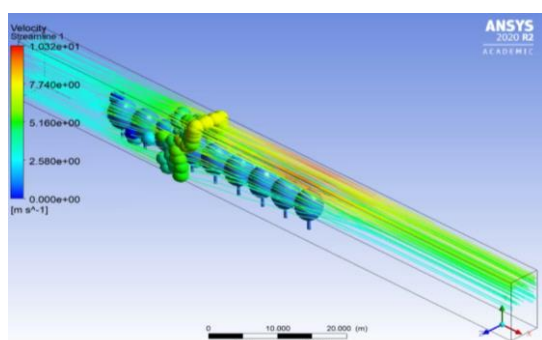
num_of_trees	ANOVA				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	186031125.333	1	186031125.333	12.444	.005
Within Groups	149493537.333	10	14949353.733		
Total	335524662.667	11			

**Tabel 7** Total Kebutuhan Lahan *Green Belt*

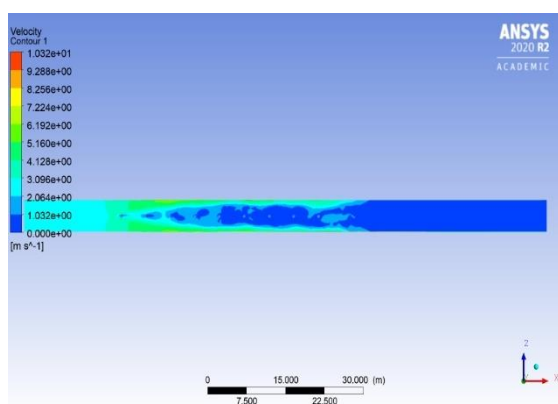
Zone	Area (Ha)	Num. of Trees
Subzone	122,44	103374
Non-Subzone	37,79	56126
<b>Total</b>	<b>160,22</b>	<b>159500</b>



Gambar 8 Simulasi Perpindahan Angin dan Massa



Gambar 9 Simulasi Penahanan Partikulat pada Green Belt



Gambar 10 Pengurangan Kecepatan Angin pada Green Belt (Tampak Bawah)

Menurut (Leenders et al., 2011) dalam penelitiannya ditemukan bahwa satu pohon/vegetasi berpengaruh terhadap kecepatan angin yaitu terjadi pengurangan 15% setiap melalui vegetasi secara umum. Untuk memvalidasi pergerakan angin pada *green belt* yang direncanakan, maka dilakukan juga simulasi menggunakan software ANSYS 2020 untuk menemukan pergerakan angin dan partikulat pada kanopi *green belt* yang direncanakan.

Berdasarkan Gambar 8, Gambar 9 di atas, maka dapat ditemukan bahwa terjadi pengendapan partikulat yang terjadi pada Green Belt. Dapat juga

dilihat pada Gambar 10, bahwa hal ini diikuti dengan terjadinya perubahan kecepatan angin dalam Green Belt yang mana tampak pada kontur kecepatan angin yang diambil dari tampak bawah Green Belt dimana pengurangan kecepatan angin akan semakin besar apabila angin melalui pohon yang semakin banyak.

#### 4. Kesimpulan

Kualitas udara untuk parameter debu di lokasi perencanaan menunjukkan angka yang cukup tinggi yaitu 801,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Berdasarkan perhitungan fluks massa debu partikulat didapatkan luas total Green Belt yang dibutuhkan adalah 160,22 Ha dan berpengaruh terhadap kualitas udara lokal dengan kemampuan menurunkan massa polutan debu dengan laju efisiensi penipisan polutan pada 0 tahun (tahun tanam) sebesar 15,84% dan meningkat pesat setiap tahunnya. Efisiensi optimum *Green Belt* tercapai pada tahun ke-2 yaitu sebesar 71,40% dan dapat mencapai efisiensi maksimum pada tahun ke-5 yaitu sebesar 87,92%.

#### NOMENKLATUR

- A = luas per objek pohon ( $\text{m}^2$ )
- ASA = luas permukaan rata-rata pada daun ( $\text{m}^2$ )
- $C_c$  = factor koreksi *Cunningham*
- $C_d$  = koefisien geser pohon/*drag coefficient* = 0,55 (Bitog et al., 2011)
- D = difusivitas *brownian* pada partikulat ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
- $d_p$  = diameter partikulat =  $10 \mu\text{m} = 10 \times 10^{-6} \text{m}$
- e = bilangan euler (konstanta) = 2,71828
- F = beban angin (N)
- g = percepatan gravitasi =  $9,81 \text{ m/s}^2$
- $K_B$  = konstanta *Boltzmann* =  $1,38 \times 10^{-23} \text{ (J/K)}$
- k =  $\rho_c / \rho_t$  (konstan)
- $k'$  = konstanta *von karman* = 0,4
- m = konstanta = 0,1 (Giardina & Buffa, 2018)
- N = jumlah daun per pohon = 2.608 helai (*Omnicalculator by Dominik Czernia*)
- n = konstanta = 3 (Giardina & Buffa, 2018)
- $n'$  = jumlah pohon
- P = tekanan angin ( $\text{N}/\text{m}^2$ )
- p = konstanta berdasarkan kekasaran permukaan =  $2/3$  untuk lahan bervegetasi (Giardina & Buffa, 2018)
- ra = ketahanan aerodinamis ( $\text{s}/\text{m}$ )
- rdb = ketahanan difusi *Brownian* ( $\text{s}/\text{m}$ )
- rii = ketahanan dampak inersia ( $\text{s}/\text{m}$ )
- rti = ketahanan dampak turbulensi ( $\text{s}/\text{m}$ )
- Sc = bilangan *Schmidt*
- St = bilangan *Stokes*
- T = temperatur udara pada lokasi perencanaan (K)
- U = kecepatan angin rata-rata ( $\text{m}/\text{s}$ )
- $U_c$  = rata-rata kecepatan angin dalam *Green Belt* ( $\text{m}/\text{s}$ )
- $U_x$  = kecepatan gesekan/*friction velocity* ( $\text{m}/\text{s}$ )
- $V_d$  = kecepatan deposisi kering ( $\text{m}/\text{s}$ )
- $V_s$  = kecepatan pengendapan ( $\text{m}/\text{s}$ )
- z = ketinggian objek (m)
- $z_0$  = kekasaran permukaan (m)
- $\lambda_a$  = jalur udara bebas rata-rata =  $0,067 \times 10^{-6} \text{m}$  (Giardina & Buffa, 2018)
- $\mu_a$  = viskositas dinamis udara =  $1,82 \times 10^{-5} \text{ (kg/ms)}$



$\rho_p$  = massa jenis partikulat debu = 1680 kg/m<sup>3</sup> (Yang et al., 2015)  
 $\rho_a$  = massa jenis udara = 1,225 kg/m<sup>3</sup>  
 $\rho_t$  = densitas dedaunan per pohon (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)  
 $\rho_c$  = densitas dedaunan keseluruhan kanopi/*Green Belt* (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)  
 $\tau'$  = tegangan geser/*shear stress* (N/m<sup>2</sup>)  
 $\tau_+$  = waktu relaksasi partikel non-dimensi  
 $\tau$  = waktu relaksasi partikel (s)  
 $\nu_a$  = viskositas kinematis udara = 1,51 x 10<sup>-5</sup> (m<sup>2</sup>/s)  
 $\Psi_h$  = koreksi stabilitas/*stability correction*

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-hakim, A. H. (2014). Evaluasi Efektivitas Tanaman dalam Mereduksi Polusi Berdasarkan Karakter Fisik Pohon Pada Jalur Hijau Jalan Padjajaran Bogor. *Skripsi*, 84.
- Anggraeni, M. (2005). *Green Belt dan Hubungannya dengan Kualitas Hidup Masyarakat di Perkotaan*.
- Bitog, J. P., Lee, I. B., Hwang, H. S., Shin, M. H., Hong, S. W., Seo, I. H., Mostafa, E., & Pang, Z. (2011). A wind tunnel study on aerodynamic porosity and windbreak drag. *Forest Science and Technology*, 7(1), 8–16. <https://doi.org/10.1080/21580103.2011.559939>
- Giardina, M., & Buffa, P. (2018). A new approach for modeling dry deposition velocity of particles. *Atmospheric Environment*, 180(September 2017), 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.02.038>
- Jain Manjari, Kuriakose Giby, & Balakrishnan Rohini. (2010). Evaluation of methods to estimate foliage density in the understorey of a tropical evergreen forest. *Current Science*, 98(4), 508–515.
- Krisnawati, H. (2011). Acacia mangium Willd.: ekologi, silvikultur dan produktivitas. *Acacia Mangium Willd.: Ekologi, Silviculture Dan Produktivitas, November 2014*. <https://doi.org/10.17528/cifor/003479>
- Kurt. (2002). *Wind Load*. <http://k7nv.com/notebook/topics/windload.html>
- Leenders, J. K., Sterk, G., & Van Boxel, J. H. (2011). Modelling wind-blown sediment transport around single vegetation elements. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(9), 1218–1229. <https://doi.org/10.1002/esp.2147>
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2002). *Wind Energy Explained*. Wiley.
- Soedomo, M. (2001). *Pencemaran Udara*.
- Whipple, K. X. (2004). III. Flow Around Bends: Meander Evolution 1. *Surface Processes and Landscape Evolution*, 1–9.
- Yang, X., Lee, J., Zhang, Y., Wang, X., & Yang, L. (2015). Concentration, size, and density of total suspended particulates at the air exhaust of concentrated animal feeding operations. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 65(8), 903–911. <https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1032446>