

**EFEKTIFITAS REDUKSI POLUSI UDARA DENGAN METODE  
VERTICAL GARDEN  
(THE EFFECTIVENESS OF AIR POLLUTION REDUCTION WITH  
VERTICAL GARDEN METHOD)**

**Nanny Kusminingrum**

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan,  
Jl. A.H. Nasution No. 264, Bandung  
e-mail: nanny.kusminingrum@pusjatan.pu.go.id

Diterima: 1 November 2016; direvisi: 16 November 2016; disetujui: 7 Desember 2016

**ABSTRAK**

*Kontribusi gas buang kendaraan bermotor sebagai sumber polusi udara di kota-kota besar mencapai 60-70%, sedangkan dari cerobong asap industri berkisar 10-15%. Sisanya berasal dari sumber pembakaran lain, misalnya dari rumah tangga, pembakaran sampah, atau kebakaran hutan. Kendaraan bermotor menghasilkan pencemaran gas buang karbon monoksida (CO), Nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), Sulphur Dioksida (SO<sub>2</sub>), hidrokarbon (HC) dan tetraethyl lead. Salah satu cara untuk mengatasi masalah pencemaran udara di perkotaan dengan lahan sempit, ialah dengan penanaman tanaman jalan model vertical garden. Vertical garden merupakan usaha pertamanan dengan memanfaatkan potensi ketinggian dan lahan semaksimal mungkin, sehingga jumlah tanaman persatuan luas lebih banyak. Tujuan penulisan makalah ini adalah untuk mengkaji efektifitas reduksi polutan NO<sub>x</sub> oleh tanaman semak dengan metoda vertical garden pada median jalan. Metoda yang digunakan ialah kajian literatur yang meliputi: reduksi polutan NO<sub>x</sub> oleh tanaman semak, kajian vertical garden, serta kajian lapangan tentang bentuk, ukuran dan tata letak vertical garden. Hasil kajian menunjukkan jenis tanaman Taiwan Beauty, Kingkip dan Pacing merupakan tanaman yang paling efektif mereduksi NO<sub>x</sub>. Tanaman Taiwan beauty dapat mengurangi polutan NO<sub>x</sub> sebesar 48,5 % sampai 65,2 % pada konsentrasi NO<sub>x</sub> eksisting 0,05 ppm sampai 0,1 ppm. Untuk volume ruang 6.150 m<sup>3</sup> diperlukan 15,375 m<sup>3</sup> tanaman dengan metoda vertical garden. Apabila bentuk yang dipilih adalah segi empat, dengan ukuran lebar= 1,50 m, tinggi= 1,50 m dan ketebalan= 0,60 m, maka pada median sepanjang 100 m, diperlukan 12 buah rangka vertical garden.*

**Kata kunci:** vertical garden, tanaman semak, polusi udara, NO<sub>x</sub>, kendaraan bermotor

**ABSTRACT**

*In major cities, vehicle emission contribution to air pollution reached 60-70%, while industrial pollution is only 10-15%, the rest comes from other combustion sources, such as domestic/household activities, waste burning, forest fires, etc. Motor vehicles generated Carbon Monoxide (CO), Nitrogen Oxide (NO<sub>x</sub>), Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>), Hydrocarbon (HC) and tetraethyl lead. One of the solutions that can be taken to cope with the urban air pollution problem in narrow areas is road greening using vertical garden method. Vertical garden is a way of maximising the use of land with vegetation, by utilising the potentials of heights, hence the number of crops per unit area is much higher. The study aims to review the effectiveness of NO<sub>x</sub> pollutant reduction by shrubs on road median by the method of vertical garden. The methods used include: the literature review of pollutant NO<sub>x</sub> reduction by shrubs and vertical garden, and also conducted field study of vertical garden on shape, size and layout. The results showed that Taiwan Beauty, Serissa Foetida (Kingkip) and Costum Molartianus (Pacing) are the most effective plants to reduce Nox. Taiwan beauty can reduce air pollution ranging from 48.5 % to 65.2 % on the existing NO<sub>x</sub> concentration of 0.05 ppm to 0.1 ppm. At the space volume of 6,150 m<sup>3</sup> requires 15.375 m<sup>3</sup> plants with vertical garden method. If rectangular median with the width, height and thickness are 1.50 m, 1.50 m and 0.60 respectively, so that only 12 pieces of vertical garden frameworks are required.*

**Keywords:** vertical garden, shrubs, air pollution, NO<sub>x</sub>, motor vehicle

## PENDAHULUAN

Udara merupakan faktor yang penting dalam kehidupan, namun dengan meningkatnya pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri, kualitas udara telah mengalami perubahan. Perubahan lingkungan udara pada umumnya disebabkan pencemaran udara, yaitu masuknya zat pencemar berbentuk gas dan partikel kecil/aerosol ke dalam udara (Soedomo 2001). Masuknya zat pencemar ke dalam udara dapat secara alamiah atau disebabkan oleh kegiatan manusia, misalnya aktifitas transportasi.

Kementerian Lingkungan hidup (Martuti 2013) menyebutkan, polusi udara dari kendaraan bermotor bensin menyumbang 70 % karbon monoksida (CO), 100 % plumbum (Pb), 60 % hidrokarbon (HC), dan 60 % oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>). Bahkan, beberapa daerah yang tinggi kepadatan lalu lintasnya menunjukkan beberapa bahan pencemar di indikasikan telah melampaui ambang batas yang ditetapkan dalam PP nomor 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara (Indonesia 1999).

Pada beberapa daerah perkotaan, kendaraan bermotor menghasilkan 85% dari seluruh pencemaran udara yang terjadi. Kendaraan bermotor ini merupakan pencemar bergerak yang menghasilkan pencemar CO, hidrokarbon yang tidak terbakar sempurna, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> dan partikel debu. Pencemaran udara yang lazim dijumpai pada berbagai tempat khususnya di kota-kota besar antara lain adalah: Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) yaitu senyawa jenis gas yang terdapat di udara bebas, sebagian besar merupakan gas nitrogen monoksida(NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) serta berbagai jenis oksida dalam jumlah yang lebih sedikit. Berbagai jenis NO<sub>2</sub> dapat dihasilkan dari proses pembakaran Bahan Bakar Minyak (BBM) dan bahan bakar fosil lainnya pada suhu tinggi. Emisi NO<sub>x</sub> adalah pelepasan gas NO<sub>x</sub> ke udara. Menurut Soedomo (2001), bahwa bagian terbesar oksida-oksida nitrogen terbentuk di daerah perkotaan, yang paling utama dari senyawa ini adalah NO (*nitric oxide*), juga di emisikan dalam jumlah yang cukup besar ke atmosfer. Aktifitas yang menimbulkan oksida-

oksida nitrogen antara lain adalah kendaraan bermotor.

Udara yang tercemar dengan gas dan partikel dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang berbeda tingkatan dan jenisnya, tergantung dari macam, ukuran dan komposisi kimiawinya. Gangguan tersebut terutama terjadi pada fungsi faal dari organ tubuh seperti paru-paru dan pembuluh darah, atau menyebabkan iritasi pada mata dan kulit (Soedomo 2001).

Menurut Syarifudin (2013) pada saat ini kesadaran akan lingkungan yang bersih, nyaman dan aman sudah semakin meningkat. Hal ini menunjukkan harus ada solusi yang tepat untuk mereduksinya. Soedomo (2001) mengatakan bahwa terdapat lima katagori mitigasi dampak oksida nitrogen terhadap lingkungan, yaitu: a) kontrol emisi kendaraan bermotor, b) kontrol pusat kombusi stasioner, c) penghindaran reseptor dari daerah yang tercemar, d) Peralatan kontrol gas, absorpsi, adsorpsi dan *converter katalitic*, serta e) kontrol lingkungan.

Kontrol lingkungan terhadap polusi udara, dapat juga dilakukan dengan tanaman seperti yang disampaikan oleh Ismiyati et al. (2014), menyatakan bahwa salah satu hal yang perlu mendapatkan perhatian serius, yaitu penanaman pohon dipinggir jalan dengan lalu lintas padat, serta di sudut-sudut kota, dapat mengurangi polusi udara

Demikian pula Fakuara (1987), menyatakan bahwa perlu dilakukan usaha-usaha yang mengarah kepada pencegahan atau berkurangnya pencemaran polusi udara. Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah pencemaran udara adalah penghijauan atau ruang terbuka hijau, hal tersebut dapat melalui media tanaman yang berbentuk jalur hijau, kebun, pekarangan dan hutan kota yang dapat berfungsi sebagai paru-paru kota

Untuk lokasi/area pada pinggir jalan sering ditanami jenis pohon, sedangkan untuk median jalan sering terlihat ditanami tanaman jenis perdu, semak atau penutup tanah. Pemilihan jenis tanaman yang digunakan sangat bervariasi, dapat dilihat dari fungsinya, keindahannya, kemudahan diperoleh/didapat ataupun kemurahan harganya.

Tahun 1995 sampai dengan tahun 1998 Pusat litbang Jalan dan Jembatan sudah melakukan penelitian berbagai jenis pohon, jenis perdu, jenis semak ataupun kombinasinya terhadap reduksi polutan NO<sub>x</sub>, CO, dan SO<sub>x</sub> akibat kendaraan bermotor. Dari penelitian tersebut telah diperoleh jenis-jenis tanaman yang direkomendasikan sebagai tanaman pereduksi polusi udara. Pada kenyataannya jenis-jenis tanaman tersebut sudah banyak diaplikasikan sebagai tanaman pinggir jalan maupun untuk penataan lansekap jalan, namun belum banyak diketahui fungsi gandanya dalam mereduksi polusi udara.

Untuk lokasi-lokasi dengan lahan sempit seperti di perkotaan, penanaman tanaman jalan dapat dilakukan melalui pola tanam *vertical* atau lebih dikenal dengan *vertical garden*. *Vertical garden* merupakan usaha pertamanan dengan memanfaatkan lahan semaksimal mungkin, dengan memanfaatkan potensi ketinggian, sehingga jumlah tanaman persatuan luas lebih banyak.

Tujuan penulisan makalah ini adalah untuk mengkaji efektifitas reduksi polusi udara oleh tanaman semak dengan metoda *vertical garden* pada median jalan.

## KAJIAN PUSTAKA

Dalam kajian pustaka ini, akan dibahas mengenai: *urban farming*, polusi udara, berbagai fungsi tanaman, dan *vertical garden*.

### *Urban farming* di beberapa negara

Menurut Widyawati (2013), perkembangan aplikasi *urban farming* di beberapa negara sangat beragam tergantung banyak hal, seperti: budaya, sosial-ekonomi, dan kondisi ekologisnya. Model rancangan yang muncul dari imajinasi masyarakat yang tertarik dalam pengembangan *urban farming*, antara lain *vertical design*. Desain ini sangat bermanfaat, mengingat: lokasi produksi yang dekat dengan konsumen, sehingga dapat meminimalkan biaya transportasi.

Desain ini dapat memberi ilham tata peletakan tanaman di lingkungan jalan, terutama untuk lahan yang sempit yang tidak memungkinkan mendapatkan area penanaman. Khususnya dalam rencana penanaman yang

bertujuan untuk mengurangi polusi pada lingkungan jalan, desain ini dapat memperluas luas daun tanaman yang kontak dengan udara, karena tata peletakannya adalah *vertical garden*.

### Polusi udara

Udara merupakan faktor yang penting dalam kehidupan, namun dengan meningkatnya pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri, kualitas udara telah mengalami perubahan. Perubahan lingkungan udara pada umumnya disebabkan pencemaran udara, yaitu masuknya zat pencemar (berbentuk gas-gas dan partikel kecil/aerosol) ke dalam udara.

Kegiatan perkotaan yang meliputi kegiatan sektor-sektor permukiman, transportasi, komersial, industri, pengelolaan limbah padat, dan sektor penunjang lainnya merupakan kegiatan yang potensial dalam merubah kualitas udara perkotaan. Pembangunan fisik kota dan berdirinya pusat-pusat industri disertai dengan melonjaknya produksi kendaraan bermotor, mengakibatkan peningkatan kepadatan lalu lintas yang merupakan salah satu sumber pencemar udara.

Dari berbagai sektor yang potensial dalam mencemari udara, pada umumnya sektor transportasi memegang peran yang sangat besar dibandingkan dengan sektor lainnya. Di kota-kota besar, kontribusi gas buang kendaraan bermotor sebagai sumber polusi udara mencapai 60-70%. Sedangkan kontribusi gas buang dari cerobong asap industri hanya berkisar 10-15%, sisanya berasal dari sumber pembakaran lain, misalnya dari rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan, dan lain-lain (Hardiyanti 2012).

Kendaraan bermotor merupakan sumber pencemaran dengan dihasilkannya gas : karbon monoksida (CO), Nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) , Sulphur oksida (SO<sub>2</sub>) , hidrokarbon (HC) dan *tetraethyl lead* yang merupakan bahan logam timah yang ditambahkan ke dalam bensin berkualitas rendah untuk meningkatkan nilai oktan guna mencegah terjadinya letupan pada mesin (Soedomo 2001).

Pada prinsipnya, mitigasi dapat dilakukan pada sumber polusi nya ataupun pada penerimaanya, seperti contoh berikut:

1) Beberapa mitigasi yang telah dilakukan pada sumber polusinya, diantaranya:

- a. Pemasangan bahan pada knalpot kendaraan dengan bahan pereduksi seperti Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ). Titanium dioksida sebagai fotokatalis banyak dilakukan dalam bentuk lapisan tipis, yaitu dengan mengimmobilisasikan  $\text{TiO}_2$  pada bermacam-macam material pendukung, diantaranya fiber, gelas silica dan plat titanium (Nurdin 2007).
  - b. Demikian pula Basuki (2007) telah melakukan penelitian untuk mereduksi HC dan  $\text{SO}_2$  pada sumber polusi dengan menggunakan metode adsorpsi melalui penyisipan katalis  $\text{TiO}_2$  pada karbon aktif sebagai media adsorpsi polutan pada emisi gas buang. Media karbon aktif tersebut ditempatkan pada knalpot uji yang disambung dengan knalpot asli kendaraan bermotor berbahan bakar bensin. Hasil menunjukkan bahwa media karbon aktif yang disisipi  $\text{TiO}_2$  lebih optimal dalam menurunkan konsentrasi gas HC dan  $\text{SO}_2$  dibandingkan dengan tanpa penyisipan  $\text{TiO}_2$ .
- 2) Mitigasi pada penerima polusi udara melalui kontrol perbaikan lingkungan sudah banyak dilakukan, diantaranya:
- a. Pada tahun 1999 dan 2002 Puslitbang Jalan dan Jembatan telah melakukan penelitian mengenai reduksi polusi udara dengan teknologi fotokatalis berbahan  $\text{TiO}_2$ . Pada penelitian tersebut menggunakan pelat dan cat tembok berbahan  $\text{TiO}_2$ . Hasil penelitian tersebut menyebutkan bahwa cat tembok dengan kandungan  $\text{TiO}_2$  23,3% dapat mereduksi kandungan  $\text{NO}_x$  sebesar 40% (Marthias dan Sunandar 1999).
  - b. Penelitian di laboratorium Puslitbang Jalan dan Jembatan, dengan penggunaan  $\text{TiO}_2$  pada penambahan Titanium 75 % dengan ketebalan lapisan 3 mm, penambahan Titanium 50 % dengan ketebalan lapisan 3 mm dan penambahan Titanium 25 % dengan ketebalan lapisan 5 mm yang dilapisi pada konblok, dapat mereduksi  $\text{NO}_x$  sebesar 0,464 ppm sampai dengan 0,479 ppm (Solihin 2011).
- 3) Berbagai fungsi tanaman secara umum, fungsi pengendalian iklim yang dilakukan tanaman terhadap elemen lansekap dan komponen yang lainnya (Flora Indonesia 2012), adalah sebagai berikut:
    - a. Pengendali Suara  
Beberapa jenis tanaman dapat meredam suara dengan cara mengabsorpsi gelombang suara oleh daun, cabang, dan ranting. Contohnya tanaman yang bertajuk tebal dan massa daun padat.
    - b. Pengendali angin  
Pengendalian angin yang dilakukan tanaman dapat menciptakan iklim mikro yang nyaman untuk aktivitas manusia. Secara umum, tanaman mampu menurunkan kecepatan angin hingga 75-85 %.
    - c. Filtrasi dan meningkatkan kualitas udara  
Tanaman pohon atau perdu dengan tajuk yang rapat, secara fisik dapat menahan debu dan abu yang beterbangan.
    - d. Peneduh dan pengendali suhu  
Tanaman menyerap radiasi matahari dan memantulkannya sehingga radiasi yang sampai di permukaan tanah menjadi berkurang.
    - e. Penyerap dan Penapis Bau  
Tanaman dapat menyerap bau secara langsung, atau tanaman akan menahan gerakan angin yang bergerak dari sumber bau (Grey dan Deneke 1978; Flora Indonesia 2012). Akan lebih baik lagi hasilnya, jika tanaman yang ditanam dapat mengeluarkan bau harum yang dapat menetralkan bau busuk dan menggantinya dengan bau harum.
    - f. Mengatasi Penggenangan  
Daerah hilir yang sering digenangi air perlu ditanami dengan jenis tanaman yang mempunyai kemampuan evapotranspirasi yang tinggi. Jenis tanaman yang memenuhi kriteria ini adalah tanaman yang mempunyai jumlah daun yang banyak, sehingga mempunyai stomata (mulut daun) yang banyak pula.
    - g. Penyerap Timbal

- h. Penyerap gas CO<sub>2</sub> dan penghasil oksigen.

Dengan begitu banyaknya manfaat tanaman sebagai media yang mampu mereduksi polusi udara akibat transportasi darat, dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki kondisi lingkungan.

### **Vertical garden**

Pada dasarnya, pola tanam *vertical garden* memanfaatkan lahan semaksimal mungkin dengan memanfaatkan potensi ketinggian, sehingga jumlah tanaman persatuan luas, lebih banyak.

Manfaat *vertical garden* pada umumnya untuk menciptakan ruang hijau, mengurangi panas suhu udara, membuat penampilan lebih indah (estetik), menurunkan temperatur, menyediakan kualitas udara yang lebih baik dengan mengurangi tingkat CO<sub>2</sub> dan menambah oksigen, serta menyerap zat-zat berbahaya dari udara (Yeh 2012). Menurut Lestari (2012), ada berbagai tipe *vertical garden*, yaitu:

- 1) Sistim bingkai bertingkat

Pembuatan *vertical garden* jenis ini dapat dilakukan dengan cara sederhana dengan membuat bingkai dalam tingkatan tingkatan keatas yang ditujukan akan menjadi tempat pot sebagai media tanam dari tumbuhan. Dengan pembuatan beberapa pot yang sesuai dengan ukuran tingkatan yang dibuat, dengan mengisi tanah dan kompos sebagai media tanam, maka sudah dapat menanam tanaman yang diinginkan.

- 2) Sistim bingkai gantung

Bagian bagian dari sistim bingkai gantung ini adalah bingkai, backboard yang bisa dibuat dari papan atau tripleks yang ditempelkan pada bagian belakang bingkai, kemudian kain karpet untuk menahan kompos dan kemudian lembaran penutup yang terbuat dari kawat penahan. Penanaman tanaman dapat dilakukan dengan cara membuat lubang pada titik tanaman yang akan ditanam sesuai dengan pola yang diinginkan.

- 3) Sistim modular

Sebuah modul terdiri dari:

- a. bingkai bagian luar dari bahan metal (*outer metal*),

- b. bagian bawah (*tray row*) untuk tempat penanaman tanaman

- c. penutup bawah lubang dan saluran sistim pengairan

- d. Sistim modular ini adalah cara yang bisa dilakukan dengan lebih cepat karena modul ini telah banyak dijual dalam bentuk kotak yang sudah jadi dan siap untuk dipakai, dimana mulai dari tempat penanaman tanaman dan sistim irigasi sudah lengkap tersedia dalam modulnya.

- 4) Sistim Karpet

Untuk sistim ini, digunakan untuk *vertical garden* dalam bentuk besar. Bagian sistim ini terdiri dari bingkai terbuat dari metal atau dari kayu yang tahan terhadap aliran air. Lembaran penyokong, terbuat dari bahan plastik (*PVC*) atau menggunakan *wire mesh* atau sejenis *stainless steel*. Lembaran penggantung, menggunakan lapisan kain tipis dari bahan karpet atau kain sintetis sebagai penahan tanah.

Dari ke empat sistim *vertical garden* tersebut, dapat dilakukan beberapa variasi sesuai dengan tujuan penanaman, fungsi, kemudahan diperoleh bahan, dan kemudahan dalam pembuatannya serta perawatannya.

### **HIPOTESIS**

Metode *vertical garden* dapat memperluas bidang kontak tanaman dengan udara, sehingga dapat meningkatkan efektifitas dalam mereduksi polusi udara.

### **METODOLOGI**

Langkah-langkah yang dilakukan, meliputi:

- 1) Menginventarisasi hasil penelitian reduksi polusi udara oleh tanaman (Kusminingrum et al. 1999), sebagai berikut:

- a. Jenis tanaman yang di inventarisir, yaitu jenis semak yang sesuai untuk penanaman pada cara *Vertical garden*
- b. Melakukan identifikasi jenis-jenis tanaman semak yang mempunyai:
  - i. Reduksi NO<sub>x</sub> nya tinggi
  - ii. Cocok ditanam di lingkungan jalan
  - iii. Mudah pemeliharaan
  - iv. Tahan udara panas
- c. Tahapan pelaksanaan penelitian yang telah dilakukan untuk mendapatkan

reduksi NO<sub>x</sub> oleh jenis semak sebagai berikut:

- i. Disiapkan 17 (tujuh belas) jenis semak, dapat dilihat pada Lampiran 11
  - ii. Diukur tinggi tanaman dan volume kerimbunan daun
  - iii. Dimasukkan ke dalam ruangan kaca berukuran 2m x 2m x 2m
  - iv. Dihembuskan gas buang kendaraan sehingga konsentrasi di dalam ruangan : 1 x ambang batas (rata-rata 0,05 ppm), 1,5 kali ambang batas dan 2 kali ambang batas yang diijinkan untuk NO<sub>x</sub>
  - v. Diukur besaran konsentrasi NO<sub>x</sub> pada ruangan ada tanaman dibandingkan dengan kontrol (tanpa tanaman)
  - vi. Di evaluasi dan di analisa selisih konsentrasi NO<sub>x</sub> pada ruangan ada tanaman dibandingkan dengan kontrol (tanpa tanaman).
- 2) Pengembangan studi terdahulu (butir 1 di atas)
- Dilakukan pengembangan tata cara penanaman, dengan metoda *Vertical garden* (*Vertical garden*), melalui tahapan:
- a. Kajian literature mengenai manfaat dari *vertical garden*
  - b. Mengevaluasi hasil kajian literatur
  - c. Menghitung jumlah rangka *vertical garden* dalam suatu area, dengan tahapan :

- i. Tentukan panjang ruang yang akan ditanami,
  - ii. Ukur lebar ruang,
  - iii. Tetapkan tinggi ruang = 3 m,
  - iv. Hitung volume ruang = panjang x lebar x tinggi,
  - v. Hitung volume kebutuhan kerimbunan tanaman semak = 0,25 % x volume ruang,
  - vi. Tentukan bentuk dan ukuran rangka *vertical garden* yang dipilih,
  - vii. Hitung volume tiap rangka *vertical garden* yang telah dipilih,
  - viii. Hitung banyaknya rangka yang diperlukan pada area terpilih (volume kebutuhan kerimbunan tanaman semak dibagi volume rangka yang dipilih),
  - ix. Tentukan rencana peletakan tanaman.
- d. Terpilihnya tipe dan bentuk rangka *vertical garden* dan jenis tanaman untuk median jalan.

## HASIL DAN ANALISA

### Hasil inventarisasi dan identifikasi tanaman semak dalam mereduksi polutan NO<sub>x</sub>

Secara lengkap reduksi 17 (tujuh belas) jenis semak terhadap polutan NO<sub>x</sub> dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Reduksi polutan NOx oleh tanaman pada berbagai konsentrasi ruang

No.	Jenis Tanaman	Konsentrasi Rata-Rata Ruangan						Reduksi Rata- Rata
		(0,05 ppm)		(0,08 ppm)		(0,1 ppm)		
		(ppm)	(%)	(ppm)	(%)	(ppm)	(%)	
1.	Taiwan beauty	0,0326	65,2	0,0437	54,63	0,0485	48,5	56,11
2.	Kingkip	0,0299	59,8	0,0427	53,38	0,0497	49,7	54,29
3.	Pacing	0,0258	51,6	0,0430	53,75	0,0534	53,4	52,92
4.	Es lilin hijau	0,0293	58,6	0,0392	49,00	0,0336	33,6	47,07
5.	Kriminil hijau	0,0264	52,8	0,0345	43,13	0,0378	37,8	44,58
6.	Plumbago	0,0205	41,0	0,0324	40,50	0,0497	49,7	43,73
7.	Pentas	0,0199	39,8	0,0355	44,38	0,0418	41,8	41,99
8.	Rumput gajah	0,0155	31,0	0,0353	44,13	0,0455	45,5	40,21
9.	Philodendron	0,0188	37,6	0,0271	33,88	0,0475	47,5	39,66
10.	Paku-pakuan	0,0209	41,8	0,0329	41,13	0,0361	36,1	39,68
11.	Babayeman merah	0,0182	36,4	0,0315	39,38	0,0396	39,6	38,46
12.	Mutiara	0,0154	30,8	0,0386	48,25	0,0302	30,2	36,42
13.	Kriminil merah	0,0101	20,2	0,0368	46,00	0,0415	41,5	35,90
14.	Graphis merah	0,0209	41,8	0,0292	36,50	0,0241	24,1	34,13
15.	Myana	0,0143	28,6	0,0297	37,13	0,0286	28,6	31,44
16.	Maranta	0,0127	25,4	0,0315	39,38	0,0256	25,6	30,13
17.	Gelang	0,0079	15,8	0,0247	30,88	0,0388	38,8	28,49

Di bawah ini disajikan gambar lima jenis semak yang mempunyai daya reduksi tertinggi dibandingkan tanaman yang lainnya:

- 1) Es lilin hijau (*Chlorophytum bichetii*),

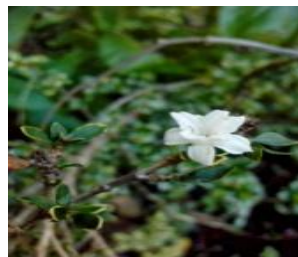
Jenis ini mampu mereduksi NOx antara 33,6 – 58,60 %, pada perbandingan volume kerimbunan daun dengan volume ruang sebesar 0,25 %.



**Gambar 2.** Tanaman Es lilin hijau (*Chlorophytum bichetii*)

- 2) Kingkip (*Serissa foetida*)

Jenis ini dapat mereduksi NOx sebesar 49,7 – 59,80 %, pada perbandingan volume kerimbunan daun dengan volume ruang sebesar 0,25 %



**Gambar 3.** Tanaman Kingkip (*Serissa foetida*)

- 3) Kriminil hijau (*Alternanthera ficoidea*)

Jenis ini mampu mereduksi polusi NOx sebesar 37,8 – 52,80 %, pada perbandingan volume kerimbunan daun dengan volume ruang sebesar 0,25 %



**Gambar 4.** Tanaman Kriminil hijau (*Alternanthera ficoidea*)

Sifat tanaman ini adalah sangat mudah beradaptasi di segala macam kondisi lingkungan, pemeliharaannya mudah, tahan terhadap kekurangan air, hama dan penyakit.



- 4) Taiwan beauty (*Cuphea hyssophylla*)  
 Jenis ini mampu mereduksi polusi NO<sub>x</sub> sebesar 48,5 – 65,20 %, pada perbandingan volume kerimbunan daun dengan volume ruang 0,25 %. Tanaman ini mudah dibentuk, mudah beradaptasi, dan tahan terhadap serangan hama (Petani Muda Bogor 2010).



Sumber: Tamanindahpesona.blogspot.com

**Gambar 5.** Tanaman Taiwan beauty (*Cuphea hyssophylla*)

- 5) Rumput gajah (*Pennisetum purpureum*)  
 Jenis rumput ini mampu mereduksi polusi NO<sub>x</sub> sebesar 31,0 – 45,5 %, pada perbandingan volume kerimbunan daun



**Gambar 6.** Tanaman Rumput gajah (*Pennisetum purpureum*)

Jenis penutup tanah ini, dapat dikombinasikan dengan tanaman pereduksi polusi udara lainnya yang berwarna, sehingga dapat meningkatkan keindahan selain fungsinya juga sebagai pereduksi polusi udara.

- 6) Untuk tanaman pereduksi polusi udara yang termasuk ke dalam 10 pereduksi tertinggi (lihat Tabel 1), tetapi ada yang tidak

disarankan sebagai tanaman *Vertical garden*, seperti:

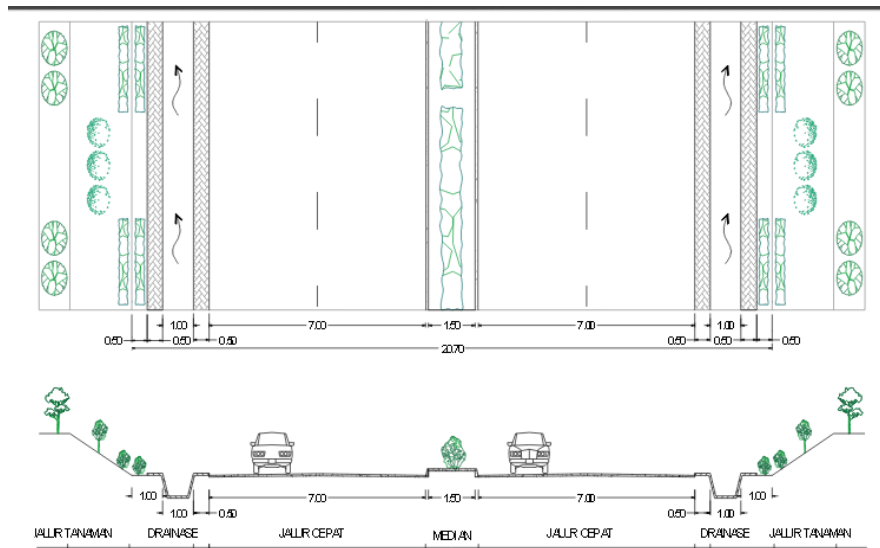
- Pacing dan Plumbago, karena tanaman ini kurang bisa bertahan dalam cuaca panas.
- Pentas, karena batangnya tinggi, sehingga agak sulit ditanam dan ditata dengan cara *vertical garden*.
- Philodendron, karena daunnya besar-besar, tangkainya panjang, maka tidak cocok ditanam dengan cara *vertical garden*.
- Paku-pakuan, karena daunnya panjang, sulit ditata dengan cara *vertical garden*.

### Pengembangan *vertical garden*

- Alternatif pemilihan *vertical garden*  
 Keuntungan *vertical garden* menurut Verticalgardenindonesia.com (2015), yaitu:
  - Penggunaan lahan yang jauh lebih sedikit dari taman konvensional yang biasa digunakan.
  - Dapat dibangun dimana saja.
  - Tanaman yang digunakan merupakan tanaman yang mudah ditemukan dan mudah dikembangkan. Tinggal menyesuaikan penempatannya, apakah pada area yang memerlukan sinar matahari penuh atau tidak.
  - Pemeliharaan sangat mudah.
  - Pemupukan bisa diatur bersamaan dengan saat penyiraman,
  - Menjadi sumber udara bersih untuk lingkungan sekitarnya.
  - Menambah nilai estetika lingkungan di sekitarnya.

*Vertical garden* ini dapat di aplikasikan pada lingkungan jalan, dimana menurut Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Indonesia 2006), pada pasal 50 dinyatakan bahwa pohon pada sistem jaringan jalan di dalam kota dapat ditanam di batas ruang manfaat jalan, median, atau di jalur pemisah.





Sumber: Indonesia (2012)

**Gambar 7.** Jalur tanaman pada jalan bermedian dengan lereng

Untuk peletakan *vertical garden* pada median jalan harus mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 05/PRT/M/2012 (Indonesia 2012) (lihat Gambar 7) yaitu untuk :

- 1) *Vertical garden* pada median
 

Apabila lebar median lebih kecil dari 1,50 m, pengaturan jarak tanam adalah 0,5 m dari tepi garis jalan, dan tinggi tanaman maksimum adalah 1,0 m, dengan ketentuan tidak ada bagian dari cabang tanaman yang menghalangi badan jalan

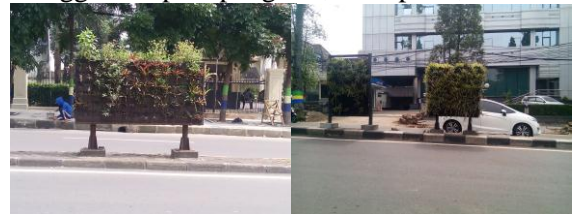
Pada median terbuka untuk belokan, tinggi tanaman maksimum adalah 0,5 m agar pengemudi mempunyai daerah bebas pada garis pandang dan harus diatur 2,5 m sebelum bukaan median, untuk menghindari hambatan samping ketika kendaraan membelok. Jarak tanam, minimum adalah 0,5 m dari garis tepi jalan.



**Gambar 8.** Median terbuka pada belokan, Lokasi: jalan Diponegoro-Bandung

*Vertical garden*, bentuk dan ukurannya dapat bervariasi (lihat Gambar 8), contoh :

- a. Untuk bentuk segi empat, lebar x tinggi = 1,50 m x 1,50 m atau 2,0 m x 1,0 m  
Tinggi kaki penopang = 0,5 sampai 0,7 m.



**Gambar 9.** Contoh *vertical garden* bentuk segi empat. Lokasi: (a) jalan Diponegoro-Bandung, (b). Jalan Dago-Bandung

- b. Untuk bentuk belah ketupat, lebar x tinggi = 2,0 m x 2,20 m, dengan tinggi kaki penopang = 0,30 m



**Gambar 10.** Contoh *vertical garden* bentuk belah ketupat. Lokasi: Jalan Diponegoro-Bandung

- c. Bentuk silinder dengan diam 0,40 m, dan tinggi rangka 2,0 m sampai 2,20 m. Contoh *vertical garden* bentuk silinder, dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Contoh *vertical garden* bentuk silinder. Lokasi: Jalan Diponegoro-Bandung

Contoh tata letak *vertical garden* pada median, dapat dilihat pada Gambar 12 berikut.



**Gambar 12.** Contoh (a) dan (b), berbagai bentuk *vertical garden*, Lokasi: Jalan Diponegoro-Bandung

Sehubungan dengan ketentuan tata letak pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor.05/PRT/M/2012 (Indonesia 2012), maka tinggi rangka *vertical garden* dari permukaan bahu jalan harus menyesuaikan sesuai aturan tersebut.

Pada Gambar 8 (b), tebal *vertical garden* masih berada pada koridor lebar median jalan, sehingga tidak ada ranting atau daun yang mengganggu pengguna jalan (pengendara). Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Wong et al. (2010), bahwa tebal *vertical garden* adalah 0,3 m (satu sisi).

- 2) *Vertical garden* dan tanaman pot pada median jalan



**Gambar 13.** Penanaman pada median dengan cara *vertical garden* dan Pot, Lokasi: Jalan Dago – Bandung

## PEMBAHASAN

Penelitian tentang *vertical garden* di luar negeri telah banyak dilakukan. Wong et al. (2010) telah melakukan penelitian tentang 8 variasi *vertical greenery system* (*vertical garden*) yang diletakkan pada dinding di Hort Park-Singapura dengan tinggi dinding 8 m dan masing-masing lebar adalah 4 m dan tebal 0,3 m. Hasilnya menunjukkan bahwa *vertical garden* mampu mengurangi temperatur thermal (*potential thermal*) permukaan dinding gedung sebesar 11,58 °C.

Demikian juga beberapa contoh penelitian tentang *green roofs*. Kumar, R dan Kaushik, S.C. (2005) membahas mengenai evaluasi kinerja *green roof* untuk perhitungan suhu bangunan dan Wong et al. (2002) mengenai analisis biaya siklus hidup dari *rooftop gardens*.

Beberapa hasil penelitian tentang *vertical garden* di Indonesia, Widiastuti, Prianto, dan Setia Budi (2014) telah melakukan penelitian penggunaan aspek penghijauan pada bangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu permukaan dinding interior dengan *vertical garden* lebih rendah 2,1 °C bila dibandingkan dengan permukaan dinding tanpa vegetasi. Prianto (2013) pun melakukan aplikasi *green wall* pada gedung dengan uji cobanya berupa rumah miniatur dengan ukuran 1,0 m x 1,0 m x 1,0 m, hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan *green wall* mampu menurunkan suhu udara rata-rata dalam ruangan sebesar 0,8 °C

atau sebesar 3 % lebih dingin dibandingkan suhu udara eksteriornya. Penelitian Rawuli, A. (2013) menyimpulkan bahwa konfigurasi taman vertikal terhadap penurunan suhu rumah tinggal sebesar 2 °C sampai 3 °C dan meningkatkan kelembaban udara 10 % sampai 20 %

Pada umumnya *vertical garden* banyak digunakan pada tembok dinding rumah, selain untuk membuat penampilan lebih indah (estetik), menghidupkan suasana, menurunkan temperatur, mengurangi tingkat CO<sub>2</sub> dan menambah oksigen serta menyerap zat-zat berbahaya dari udara (Yeh 2012).

Dari hasil kajian pustaka, belum diperoleh data kuantitas reduksi gas berbahaya di lingkungan jalan berkaitan dengan *vertical garden*.

Berdasarkan berbagai macam *vertical garden* yang telah disampaikan, juga terdapat syarat-syarat yang harus di ikuti dalam penanaman pada median jalan. Mengevaluasi cara menanam yang dijelaskan dimuka, maka cara yang paling cocok untuk median jalan adalah cara bingkai gantung. Cara ini memiliki beberapa keuntungan, yaitu:

- 1) Memungkinkan seluruh daun-daun tanaman tersusun menutupi sebagian besar rangka yang telah dibuat. Hal ini memaksimalkan kontak daun dengan udara, sehingga reduksi polusi udara oleh daun tanaman menjadi lebih baik.
- 2) Untuk penggunaan ukuran median yang sama, volume kerimbunan daun per satu rangka *vertical garden* dapat lebih besar dibandingkan dengan volume daun dalam pot.

Sistim *vertical garden* terpilih tersebut, cocok diaplikasikan pada jalan Arteri sekunder. Karena menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor.05/PRT/M/2012 (Indonesia 2012), penanaman pohon pada median jalan bebas hambatan, tidak dibenarkan.

Untuk tipe berbagai median, dapat mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor.19/PRT/M/2011 (Indonesia 2011). Pada Peraturan tersebut dikatakan bahwa untuk median yang ditinggikan pada jalan raya, lebar median paling kecil adalah 1,50 m dengan lebar bahu dalam = 0,5 m, sehingga memungkinkan menempatkan *vertical garden*.

Demikian juga pada median yang ditinggikan sampai 1,10 m, maka lebar median paling kecil adalah 2,0 m dengan lebar bahu dalam 0,75 m.

### **Pemilihan bentuk rangka *vertical garden***

Rangka *vertical garden* dapat dibuat dengan bentuk tertentu, sesuai dengan desain yang direncanakan. Hal penting, adalah mengacu pada peraturan yang ada, sehingga tidak mengganggu atau menimbulkan kecelakaan bagi pengguna jalan.

### **Pemilihan jenis tanaman semak**

Hasil penelitian Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, diperoleh variasi reduksi polutan NO<sub>x</sub> dari 17 jenis semak yang dapat dipilih untuk penerapan *cara vertical garden* tersebut (lihat Tabel 1). Dari tabel tersebut terdapat tiga jenis tanaman yang mempunyai daya pereduksi NO<sub>x</sub> tertinggi (> 50 %) yaitu *Taiwan Beauty*, Kingkip, dan Pacing.

Menurut Timur dan Karaca (2013) bahwa *vertical garden* mempunyai berbagai keuntungan lain, diantaranya: berfungsi sebagai *buffer* kebisingan, mengurangi tingkat CO<sub>2</sub> dan meningkatkan O<sub>2</sub>, serta memitigasi meningkatnya pengaruh *Urban Heat Island*.

*Vertical garden* dengan tanaman semak pereduksi polusi udara (Kusminingrum et al. 1999) pada Lampiran 1, bisa dikombinasikan dengan jenis tanaman yang sudah biasa digunakan pada cara *Vertical garden*, contoh:

- 1) Lili paris (*Chlorophytum comosum*).  
Tanaman ini memiliki daya tahan yang baik terhadap terik matahari langsung, namun tetap bisa tumbuh optimal di tempat yang terlindungi dari sinar matahari (Yadi 2016; Zuhri 2016), sangat mudah dalam perawatan, dan dapat berkembang dengan mudah.
- 2) Bromelia (lihat Gambar 14)  
Tanaman ini berdaun tebal, sehingga cukup kuat terhadap terik matahari

### **Contoh penentuan jumlah tanaman pereduksi udara yang dibutuhkan untuk suatu area**

Dibawah ini dijelaskan contoh perhitungan untuk menentukan jumlah tanaman yang dibutuhkan.

- a. Panjang ruang yang akan ditanami = 100 m

- b. Lebar ruang sampai dengan pejalan kaki = 20,50 m (lihat Gambar 7)
- c. Tinggi ruang = 3 m
- d. Volume ruang = 6.150 m<sup>3</sup>
- e. Volume kebutuhan kerimbunan tanaman semak = 0,25 % x 6.150 m<sup>3</sup> = 15, 375 m<sup>3</sup>
- f. Bentuk rangka *vertical garden* yang dipilih adalah bentuk segi empat, dengan ukuran: lebar = 1,5 m, tinggi = 1,5 m dan tebal = 0,6 m (lihat Gambar 9.b.)
- g. Volume rangka *vertical garden* yang telah dipilih (butir f) = 1,5 m X 1,5 m X 0,6 m = 1,35 m<sup>3</sup>
- h. Banyaknya rangka yang diperlukan pada area terpilih (butir e dibagi butir g) = (15,375 : 1,35) x 1 rangka ~ 12 rangka.

Bila dipilih tanaman Taiwan beauty (lihat Tabel 1), dengan konsentrasi rata-rata ruangan eksisting = 0,05 ppm, reduksi NO<sub>x</sub> oleh 12 rangka *vertical garden* tersebut sebesar 0,0326 ppm (65,2 %). Bila konsentrasi rata-rata ruangan eksisting = 0,08 ppm, maka reduksi NO<sub>x</sub> sebesar 0,0437 ppm (54,63 %), dan bila konsentrasi rata-rata ruangan eksisting = 0,1 ppm, maka reduksi NO<sub>x</sub> sebesar 0,0485 ppm (48,5 %). Sedangkan tata letak penempatan pada median jalan, harus mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor. 05/ PRT /M /2012 (Indonesia 2012).

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan di atas, pemilihan cara tanam dengan metode *vertical garden* dapat membantu menambah volume daun tanaman yang kontak dengan udara, sehingga lebih efektif dalam meningkatkan reduksi polusi udara. Cara ini dapat diterapkan pada median jalan dengan sistem bingkai gantung.

Jenis tanaman yang disarankan adalah tanaman semak yang mampu mereduksi NO<sub>x</sub> cukup tinggi, tahan terhadap terik matahari, tidak terlalu cepat tumbuh, mudah pemeliharaan, dan bukan tanaman merambat. Terdapat tiga jenis tanaman yang mempunyai daya pereduksi NO<sub>x</sub> rata-rata tertinggi (> 50 %) yaitu *Taiwan Beauty*, Kingkip, dan Pacing.

### Saran

*Vertical garden* disarankan diaplikasikan pada jalan raya perkotaan terutama pada jalan Arteri sekunder dan atau kolektor sekunder.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang telah memfasilitasi penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, Kris Tri, 2007. "Penurunan Konsentrasi HC Dan SO<sub>2</sub> Pada Emisi Kendaraan Bermotor Dengan Menggunakan Tio<sub>2</sub> Lokal Yang Disisipkan Karbon Aktif". *Prosiding PPI*. Yogyakarta: IAEA.
- Fakuara. Y. 1987. *Konsepsi Pengembangan Hutan Kota*. Bogor: Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan IPB.
- Flora Indonesia, 2012. *Manfaat tanaman dalam hutan kota*.
- Hardiyanti, Tutut. 2012. *Pencemaran udara oleh transportasi*. I'Environmentalis'M
- Indonesia. Kementerian Lingkungan Hidup. 1983. Ambang batas polusi udara yang diijinkan. Kenapa tidak menggunakan peraturan menteri?? Atau ISPU ([http://www.cets-uui.org/BML/Udara/ISPU/ISPU%20\(Indeks%20Standar%20Pencemar%20Udara\).htm](http://www.cets-uui.org/BML/Udara/ISPU/ISPU%20(Indeks%20Standar%20Pencemar%20Udara).htm))
- . Presiden Republik Indonesia. 1999. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 41 tahun 1999 tentang Pengendalian pencemaran udara. Jakarta: Sekretaris Negara.
- . Presiden Republik Indonesia *Peraturan Pemerintah Indonesia nomor 34 tahun 2006 tentang Jalan*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- . Kementerian Pekerjaan Umum. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum nomor 05/PRT/M/2012 tentang Pedoman penanaman pohon pada system jaringan jalan*. Jakarta: Kementerian PU.
- . Kementerian Pekerjaan Umum. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum nomor 19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan teknis jalan dan kriteria perencanaan teknis jalan*. Jakarta: Kementerian PU.
- Ismiyati, Devi Marlita dan Delida Saidah. 2014. "Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor". *Jurnal Manajemen Transportasi dan Logistik*. 01, (03): 241-247.

- Kumar, R. and Kaushik., S.C. 2005. "Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings". *Journal Building and Environment*. 40(11): 1505-1511.
- Kusminingrum, N., Endang, D., Yeni, S., Setiarti, A dan Tugiarti, T. 1999. *Pemilihan tanaman untuk mereduksi polusi udara (NOx, CO dan SO<sub>2</sub>). Pedoman Teknis*. (Pd.11/T/BM/1999). Bandung: Puslitbang Jalan.
- Lestari, Riani Dewi. 2012. *Macam-macam Inspirasi vertical garden*. <http://economy.okezone.com/read/2012/01/17/472/558678/macam-macam-inspirasi-vertical-garden>. (diunduh Agustus 2016).
- Martuti, Tri N., K. 2013. "Peranan tanaman terhadap pencemaran udara di jalan protokol kota Semarang". *Biosantifika* 5 (1): 42.
- Nurdin, M. 2007. "Degradasi Fotoelektro-katalitik pada Potassium Hydrogen Phtalate". *Jurnal Teknologi Pengolahan Limbah*: 10 (2): 47 – 52.
- Prianto, E. 2013. Aplikasi green wall pada gedung pemerintah dalam menciptakan kenyamanan di kota semarang: sebuah studi awal. *Riptek*. 7(1): 1-14.
- Rawuli, A. 2013. *Taman vertikal sebagai sistem pendingin udara alami pada pemukiman perkotaan Malang*. Laporan penelitian. Malang: Universitas Brawijaya.
- Soedomo, Moestikahadi. 2001. *Pencemaran Udara*. Bandung: ITB.
- Solihin, A. 2011. *Penyusunan Naskah Ilmiah Litbang Teknologi Jalan Ramah Lingkungan (Teknologi Paving Blok)*. Laporan penelitian. Bandung: Pusat litbang jalan dan Jembatan.
- Syarifudin. 2013. "Pencemaran lingkungan dalam perspektif fiqih". *Hukum Islam*, Vol. XIII No. 1 Juni 2013:40-63.
- Tamanindahpesona.blogspot.com. diunduh September 2016
- Timur, Ozgur Burhan and Karaca, Elif, 2013. "Vertical garden". In *Advances in Landscape Architecture*, (ed.) Edited by Murat Özyavuz. Rijeka: In Tech.
- Widiastuti, R., Prianto, E., dan Setia Budi, W., 2014. "Kenyamanan termal bangunan dengan vertical garden berdasarkan standard kenyamanan MOM dan WIESEBORN". *Riptek*. 8 (1): 1-12
- Widyawati, Nugraheni. 2014. *Urban farming, gaya bertani spesifik kota*. Yogyakarta; Penerbit Andi .
- Wong., N.H., Tay, S.F., Wong, R., Ong, C.L., and Sia, A., 2003 "Life cycles cost analysis of rooftop gardens in Singapore". *Journal Building and environment* 38 (2003) 499 – 509.
- Wong.N.H., Tan, A.Y.K., Chen,Y., Sekar, K., Tan, P.Y., Chan, D., Chiang, K. dan Wong, C., 2010. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Journal Building and Environment*. 45(3): 663-672.
- Petani Muda Bogor. [www.petanimudabogor.com](http://www.petanimudabogor.com). diunduh September 2016.
- Yadi, 2016. Cara membuat taman vertical garden. <http://berlinhappens.com/cara-membuat-taman-vertikal-garden-sendiri-di-rumah-dengan-mudah/> (Accessed Agustus 2016).
- Yeh, Y.P. 2012. *Green Wall-The Creative Solution in Response to the Urban Heat Island Effect..* [http://www.nodai.ac.jp/cip/iss/english/9th\\_iss/fullpaper/3-1-4nchu-yupengyeh.pdf](http://www.nodai.ac.jp/cip/iss/english/9th_iss/fullpaper/3-1-4nchu-yupengyeh.pdf)
- Zuhri, Eddy Istiyan. 2016. *Membuat Vertical Garden Taman Rumah Minimalis*. <http://gambardesainproperti.com/membuat-vertical-garden-taman-rumah-minimalis/>. (accessed September, 2016).