
ANALISIS KEBUTUHAN LUASAN HUTAN KOTA BERDASARKAN PENYERAPAN CO₂ ANTROPOGENIK DI KOTA KUPANG

Philipi de Rozari* dan Suwari**

Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto Penfui Kupang
Email: *phderozari@yahoo.com; **suwari_chem68@yahoo.com

Abstract

The main purpose of the research is to analyze the needs of urban forest in the Kupang City based on the sink of CO₂ anthropogenic. Primary data collected through field surveys and laboratory analysis of leaf samples using carbohydrate method. Case studies and literature are used to obtain secondary data from relevant agencies or literature, especially the results of studies with similar cases. The results showed that increasing emission of CO₂ anthropogenic. Total emissions of CO₂ anthropogenic come from the use of fuel oil and gas and electricity consumption was 393,498.003 tons/year, in 2015 increased to 490,673.45 tons/year, and in 2025 reached 710,928.38 tons/year. Urban forest area in the city today in many forms of 969.35 ha or 5.38%, but from the region of the pure function as urban forest is only 177 ha or 0.98%. Based on the absorption of CO₂, the needs of urban forest area in the city at this time are sufficient, but based on Government Regulation number 63/2002 that establishes urban forest land area of at least 10% of the area of the city, the area available has not yet qualified. CO₂ absorption of 9 tree species studied vary between tree species, depending on the mass of net carbohydrates, leaf area, and number of leaves per tree. Plants that have high the absorptive capacity of CO₂ are the jackfruit and the banyan tree with value of 453.95 and 428.48 kg/tree/year, respectively, while the lowest is flamboyant with 0.12 kg/tree/year of CO₂ absorption.

Keywords: CO₂ anthropogenic, green open space, kupang city, urban forest.

1. Pendahuluan

Kota Kupang sebagai ibu kota propinsi Nusa Tenggara Timur telah mengalami perkembangan pesat pada berbagai bidang yang ditandai dengan munculnya pemukiman-pemukiman baru, pusat-pusat perbelanjaan, sarana transportasi, dan berbagai infrastruktur penunjang lainnya. Kondisi ini membawa tekanan dan dampak negatif terhadap kualitas lingkungan, seperti menurunnya tutupan lahan dan ketersediaan oksigen serta air, sebaliknya terjadi peningkatan emisi gas karbon dioksida (CO₂) sebagai gas rumah kaca.

Jumlah penduduk Kota Kupang tahun 2010 mencapai 336.239 jiwa dan luas wilayah 18.027 Ha. Laju pertumbuhan penduduk rata-rata 2,25 % pertahun dengan kepadatan 1865 jiwa/km² memerlukan perluasan pemukiman sehingga

menyebabkan berubahnya fungsi kawasan bervegetasi menjadi kawasan terbangun. Kondisi ini menyebabkan terganggunya sistem hidrologi yang ditandai dengan meningkatnya *run off* dan berkurangnya luasan serapan air sehingga debit air yang terbuang ke sungai atau laut meningkat. Efek lain yang lebih membahayakan adalah meningkatnya emisi CO₂. Peningkatan konsentrasi gas CO₂ di atmosfer telah menjadi permasalahan lingkungan global saat ini, karena meningkatnya gas CO₂ berdampak pada perubahan iklim global. Pengaruh buruk pemanasan global adalah cuaca menjadi lebih ekstrem, meningkatnya evapotranspirasi, meningkatnya suhu udara dan permukaan laut serta mudah terjadinya kebakaran hutan dan kelangkaan air (wikipedia, 2005). Tingkat kegawatan perubahan iklim global tersebut berimplikasi pada pentingnya

usaha kearah pengurangan emisi CO₂ serta penyerapan CO₂ di atmosfer (Dahlan, 1992; Nasihin, 2003; Indopedia, 2006).

Konsentrasi CO₂ di atmosfer dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan disebabkan sebagian besar oleh aktivitas manusia (antropogenik). Pemberi kontribusi utama berasal dari pembakaran bahan bakar fosil meliputi gas dan bahan bakar untuk kendaraan bermotor, konsumsi listrik, industri dan kekuatan tanaman. Kontribusi dari sektor tersebut diperkirakan sekitar 65 % dari total emisi di seluruh dunia. Selain itu, 14% berasal dari aktivitas pertanian, 18% kerusakan hutan, aktivitas domestik dan penguraian sampah (Anonymous, 2008). Salah satu upaya untuk menjaga dan mengendalikan konsentrasi gas CO₂ adalah dengan menambah luasan ruang terbuka hijau (RTH) hutan kota. RTH hutan kota merupakan bagian dari RTH kota. RTH kota terdiri dari RTH hutan kota berupa areal bervegetasi pohon yang dikukuhkan sebagai kawasan hutan kota dan ruang terbuka hijau non hutan kota yang berupa hutan, kebun, sawah, semak dan rumput (Dahlan, 2004).

Saat ini luasan RTH Kota Kupang terdiri atas 5 buah taman kota (luas 124 ha), jalur hijau jalan dan sungai (49,40 ha), dan 2 buah hutan kota (16,28 ha) (www1.menlh.go.id/, 2009). Dengan semakin meningkatnya jumlah emisi gas CO₂ sementara luasan RTH semakin menurun, maka dibutuhkan hutan kota. Hal ini dimaksudkan agar ameliorasi iklim, produksi O₂ dan sistem hidrologis dapat berfungsi dengan baik dan penambahan gas CO₂ di atmosfer dapat ditekan serendah mungkin.

Menurut Andjelicus (2009), RTH Kota Kupang sebagai bagian dari ruang terbuka belum mendapat perhatian yang memadai dalam pembangunannya. Hal ini dapat terlihat dari belum adanya rencana dan pedoman dalam kegiatan pembangunan sebuah RTH dan sering terjadi alih fungsi lahan RTH untuk kegiatan yang lebih menguntungkan dari sisi ekonomis. Hasil penelitian Andjelicus (2009) juga menunjukkan bahwa kondisi RTH Kota Kupang baik dari segi luasan maupun lokasinya belum tertata baik, padahal masih banyak lahan kosong berupa semak belukar dan padang rumput yang dapat dimanfaatkan menjadi salah satu potensi pemenuhan RTH. Hal ini mendorong pentingnya menganalisis kebutuhan RTH hutan Kota Kupang sebagai penyerap CO₂ antropogenik.

2. Metodologi

Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif, yaitu prosedur pemecahan masalah yang diselidiki dengan menggambarkan atau melukiskan keadaan obyek penelitian pada saat sekarang berdasarkan fakta-fakta yang tampak atau sebagaimana adanya secara kuantitatif. Tahapan penelitian mencakup (1) penentuan kondisi *eksisting* emisi gas CO₂ dan estimasi konsentrasi gas CO₂ di masa yang akan datang, (2) identifikasi jenis tumbuhan penyusun hutan kota, (3) analisis daya penyerapan CO₂ (*carbon sink*) oleh berbagai bentuk ruang terbuka hijau (RTH) hutan kota, dan (4) penentuan jumlah kebutuhan luasan hutan kota sebagai penyerap CO₂. Penelitian di lakukan di Kota Kupang, mencakup kecamatan Kelapa Lima, Oebubu, Alak, dan Maulafa. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

Bahan dan Alat

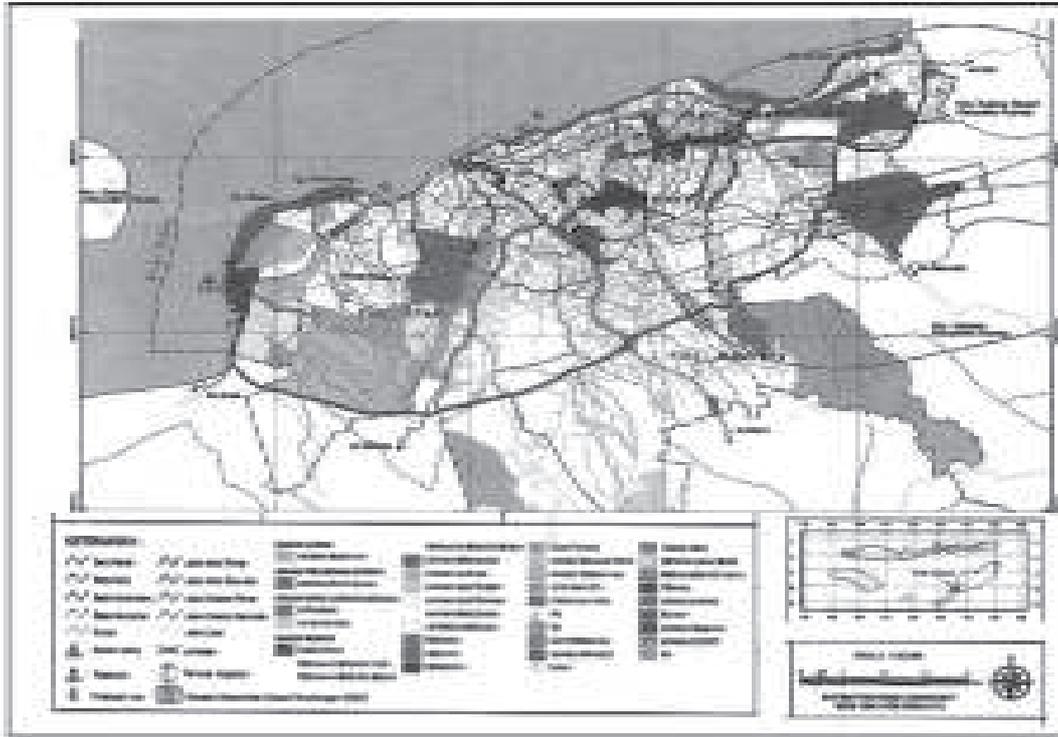
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel daun, akuades, HCl, NaOH, Ba(OH)₂, alkohol, pereaksi Cu, fenol merah, pereaksi Nelson, ZnSO₄, kertas saring, cutex, RTRW dan RTH Kota Kupang, data jumlah konsumsi energi Kota Kupang. Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi: seperangkat peralatan gelas untuk analisis kimia, neraca analitik, penangas air, mortar, cawan porselin, oven, dan spektrofotometer Cecil.

Metode pengumpulan data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan melalui survei lapangan dan analisis di laboratorium. Data-data sekunder diperoleh dari berbagai instansi terkait dan penelusuran literatur, seperti hasil penelitian dan dokumentasi ilmiah terkait lainnya. Data sekunder yang dikumpulkan mencakup jumlah penduduk, konsumsi listrik, konsumsi bahan bakar minyak dan gas (BBMG) di Kota Kupang.

Metode Analisis Data

Tingkat emisi CO₂ antropogenik yang bersumber dari konsumsi listrik dan penggunaan bahan bakar minyak dan gas (BBMG) dianalisis menggunakan nilai faktor emisi CO₂ yang ditetapkan oleh *Energy Information Administration* (EIA) tahun 2000, DEFRA (2001) dan *The National Energy*



Gambar 1. Lokasi penelitian

Foundation (NEF) tahun 2005, sedangkan daya serap CO₂ oleh berbagai tanaman dianalisis dengan metode pengukuran akrbohidrat.

- 1) Emisi CO₂ dari Konsumsi Listrik
Pendekatan yang digunakan untuk menentukan emisi CO₂ dari konsumsi listrik adalah berdasarkan jumlah konsumsi listrik di Kota Kupang dan faktor emisi gas CO₂. Total emisi CO₂ dihitung dari konsumsi listrik/tahun pengamatan dikali faktor emisi (gram CO₂/kWh). Nilai faktor emisi adalah nilai emisi CO₂ dari konsumsi listrik yang ditetapkan oleh *Energy Information Administration* (2000), yaitu 756,51 gram CO₂/kWh. Maka, nilai total emisi adalah total emisi CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan energi listrik yang berada pada 4 kecamatan (Kelapa Lima, Oebubu, Alak, dan Maulafa), yaitu:
Total emisi CO₂ = Total kWh x 756,51 gram CO₂/kWh
- 2) Emisi CO₂ dari Konsumsi Premium
Perhitungan emisi CO₂ dari premium/bensin dilakukan melalui pendekatan jumlah konsumsi

- dan nilai faktor emisi. Jumlah emisi bahan bakar premium pada 4 kecamatan dihitung berdasarkan jumlah konsumsi untuk seluruh SPBU yang ada di Kota Kupang. Nilai konsumsi premium diperoleh dari Pertamina cabang Kupang. Faktor emisi ini ditetapkan oleh *The National Energy Foundation* (2005), yaitu 2,31 kg CO₂/liter.
Total emisi CO₂ = Total konsumsi premium (liter) x 2,31 kg CO₂/liter
- 3) Emisi CO₂ dari Konsumsi Solar
Jumlah emisi CO₂ dari konsumsi solar dihitung berdasarkan total konsumsi bahan bakar solar dikalikan faktor emisi CO₂ dari konsumsi solar yang ditetapkan oleh *The National Energy Foundation* (2005), yaitu 2,68 kg CO₂/liter.
Total emisi CO₂ = Total konsumsi solar (liter) x 2,68 kg CO₂/liter
 - 4) Emisi CO₂ dari Konsumsi Minyak Tanah
Penentuan jumlah emisi CO₂ yang bersumber dari pemakaian minyak tanah di Kota Kupang dilakukan berdasarkan jumlah konsumsi minyak tanah dikalikan dengan faktor emisi minyak tanah. Faktor emisi yang ditetapkan oleh *The*

National Energy Foundation (2005) untuk minyak tanah adalah 2,52 kg CO₂/liter.

Total emisi CO₂ = Total konsumsi minyak tanah (liter) x 2,52 kg CO₂/liter

- 5) Emisi CO₂ dari Konsumsi Bahan Bakar Gas
 Jumlah emisi CO₂ dari konsumsi bahan bakar gas dihitung berdasarkan total konsumsi bahan bakar gas (BBG) dikalikan faktor emisi CO₂ dari konsumsi solar yang ditetapkan oleh *The National Energy Foundation (2005)*, yaitu 1,51 kg CO₂/kg.

Total emisi CO₂ = Total konsumsi BBG (kg) x 1,51 kg CO₂/kg

- 6) Kebutuhan BBMG dan Prediksi Kebutuhan Masa Mendatang

Data yang digunakan adalah data penggunaan bahan bakar minyak dan gas (BBMG) yang diambil dari PT. Pertamina. Dengan memperhatikan jumlah populasi penduduk Kota Kupang saat ini dan perkembangannya pada tahun mendatang, maka dapat dihitung penggunaan BBMG (premium, solar, minyak tanah, minyak diesel, dan LPG) per jiwa dengan persamaan berikut,

Penggunaan BBMG

Kebutuhan BBMG = $\frac{\text{Jumlah Penduduk}}{\text{per kapita}}$

- 7) Analisis Daya Sink Gas CO₂ Berbagai Jenis Tanaman dengan Metode Karbohidrat

Untuk keperluan pengukuran daya penyerapan gas CO₂, dilakukan penentuan kadar karbohidrat pada contoh daun tanaman yang diukur pada pukul 05.00 pagi dan 10.00 pagi. Sebanyak 3 contoh daun dari dua pohon setiap jenis tanaman diambil dengan gunting kemudian difiksasi dengan merendamnya dalam alkohol 70% selama 15 menit. Contoh daun kemudian dijemur di panas matahari, setelah kering dioven pada suhu 70°C selama 2 hari. Contoh kemudian digiling sampai halus. Sebanyak 20 gram tepung daun dimasukkan dalam wadah gelas kemudian ditambah dengan 20 mL HCl 0,7 N dan dihidrolisis selama 2,5 jam dalam penangas air. Saring dalam labu ukur 100 mL lalu tambahkan beberapa tetes phenol merah dan larutan NaOH 1 N sampai terjadi perubahan larutan dari biru menjadi merah muda. Kemudian tambahkan 5 mL ZnSO₄ 5% dan 5 mL Ba(OH)₂ 0,3 N, kemudian diencerkan dengan akuades hingga volume 100 mL. Setelah disaring, larutan supernatan yang

sudah jernih diambil dengan pipet 1 mL kemudian disimpan dalam gelas kimia. Sederetan larutan standar yang mengandung 0, 5, 10, 15, 20 dan 25 mg karbohidrat dibuat kemudian ditambahkan pereaksi Cu sebanyak 2 mL dan dipanaskan dalam penangas air selama 10 menit lalu didinginkan. Setelah itu, tambahkan pereaksi Nelson dan 20 mL air pada tiap larutan standar, lalu dikocok dan dibiarkan selama 20 menit. Larutan contoh dan standar kemudian diukur dengan spektrofotometer CeCil pada panjang gelombang optimum. Dipilih satu larutan standar yang memberikan rata-rata absorbansi yang paling mendekati absorbansi larutan contoh. Kandungan karbohidrat dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar karbohidrat} = \left(\frac{A}{S} \times \frac{100}{0,2} \times \frac{20}{1} \times 100\% \right)$$

dengan: A = nilai rata-rata serapan larutan contoh

S = nilai rata-rata serapan larutan standar

Persamaan-persamaan yang digunakan untuk menentukan daya serap gas CO₂ oleh berbagai jenis tanaman adalah sebagai berikut:

CO₂ sink per luas daun (D) = massa CO₂/luas daun (dari 20 gram contoh)

CO₂ sink per satuan luas per jam (Dt) = D/t

CO₂ sink per daun = Dt x luas per lembar daun

CO₂ sink per pohon per jam (Dn) = Dt x "d x luas per lembar daun

CO₂ sink per pohon per tahun (Dy) = [{Dnx t} + {Dn x (A-t) x 0,46}] x 365

dengan :

L = luas rata-rata daun per 20 g bobot basah daun

P = jumlah daun per pohon

JD = jumlah daun per 20 g bobot basah daun

Δt = 4jam

A = nilai rata-rata lama penyinaran maksimum per hari (jam/hari)

t = nilai rata-rata penyinaran aktual per hari (jam/hari)

0,46 = tetapan perbandingan rata-rata per hari laju fotosintesis pada hari mendung dan cerah

365 = jumlah hari dalam 1 tahun

- 8) Analisis Kebutuhan Luasan Hutan Kota Untuk menganalisis kebutuhan luasan hutan kota sebagai penyerap CO₂ antropogenik digunakan persamaan (Bernatzky, 1978) berikut:

$$aV + bW + cX + dY + eZ$$

$$L = \frac{K}{aV + bW + cX + dY + eZ}$$

- dengan, L : Luas hutan kota
 a : Jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan seorang manusia (g/jam)
 b : Jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran premium (g/liter)
 c : Jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran solar (g/liter)
 d : Jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran minyak tanah (g/liter)
 e : Jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran LPG (g/g)
 V : Jumlah penduduk (jiwa)
 W : Jumlah konsumsi bensin (liter/jam)
 X : Jumlah konsumsi solar (liter/jam)
 Y : Jumlah konsumsi minyak tanah (liter/jam)
 Z : Jumlah konsumsi oksigen (g/jam)
 K : Kemampuan hutan dalam menyerap CO₂ (75 kg/jam/ha).

3. Hasil dan Pembahasan

Kondisi Umum Kota Kupang

Kota Kupang dengan luas 180,27 km² atau 18.027 ha terdiri atas 4 kecamatan dan 45 kelurahan secara administratif berbatasan langsung dengan Kabupaten Kupang. Wilayah Kota Kupang sebelah utara berbatasan dengan Teluk Kupang, sebelah selatan berbatasan dengan Kecamatan Kupang Barat Kabupaten Kupang, sebelah timur berbatasan dengan Kecamatan Kupang Tengah dan Kupang barat Kabupaten Kupang, dan sebelah barat berbatasan dengan Kecamatan Kupang Barat Kabupaten Kupang dan Selat Semau. Luas wilayah Kota Kupang menurut kecamatan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas wilayah Kota Kupang menurut kecamatan

No.	Kecamatan	Luas (km ²)	Persentase terhadap luas Kota Kupang
1	Alak	86,91	48,21
2	Maulafa	54,80	30,40
3	Oebobo	20,32	11,27
4	Kelapa Lima	18,24	10,12

Sumber: BPS Kota Kupang (2010)

Kota Kupang terletak pada daerah dataran dan perbukitan dengan kemiringan antara 0 - 2 % pada bagian barat, sedangkan pada bagian selatan merupakan wilayah berbukit dengan kemiringan > 15%. Daerah tertinggi terletak di bagian selatan, yaitu 100 – 350 meter di atas permukaan laut (dpl), sedangkan daerah terendah pada bagian utara kota, terletak pada 0 – 50 meter dpl. Udara Kota Kupang cukup panas dengan rerata suhu bulanan 32,3 °C dan kelembaban udara sekitar 75%. Suhu udara maksimum terjadi pada bulan Oktober (35,2 °C) dan suhu udara minimum terjadi pada bulan Juli (20,1 °C). Rata-rata curah hujan di Kota Kupang sangat rendah, yaitu 200 – 300 mm/bulan atau 1597 mm/tahun. Curah hujan tertinggi pada bulan Februari (851,4 m³) dan terendah adalah bulan Oktober (3,0 m³) (BPS Kota Kupang, 2010).

Jumlah Penduduk Kota Kupang dari tahun 2005 sampai tahun 2010 mengalami perkembangan yang berbeda-beda setiap tahunnya. Data jumlah penduduk Kota Kupang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah penduduk Kota Kupang

No.	Tahun	Jumlah Penduduk
1	2005	264.050
2	2006	275.060
3	2007	282.035
4	2008	286.306
5	2009	324.803
6	2010	336.239

Sumber: BPS Kota Kupang (2005 – 2011)

Kepadatan penduduk Kota Kupang pada tahun 2005 sebesar 1465 jiwa/km², tahun 2006 sebesar 1526 jiwa/km², tahun 2007 sebesar 1564 jiwa/km², tahun 2008 mencapai 1588 jiwa/km², tahun 2009 menjadi 1802 jiwa/km², dan pada tahun 2010 melonjak menjadi 1865 jiwa/km². Peningkatan jumlah penduduk di Kota Kupang akan menimbulkan berbagai dampak berantai dan saling berkaitan dengan yang lain, misalnya penambahan penduduk akan mengakibatkan berkurangnya ketersediaan sumber daya alam dan lingkungan, air bersih, sanitasi lingkungan, ketersediaan pendidikan, lapangan kerja dan fasilitas lainnya, yang pada akhirnya akan menimbulkan beban bagi lingkungan hidup dan secara otomatis daya dukung lingkungan akan semakin berat sehingga pada akhirnya akan terjadi degradasi lingkungan dan dampak sosial ekonomi.

Tabel 3. Penggunaan lahan Kota Kupang

No.	Penggunaan Lahan	Luas (ha)	%
I	Kawasan Terbangun		
	1. Permukiman	2650,00	14,70
	2. Perdagangan	234,35	1,30
	3. Pemerintahan	216,30	1,20
	4. Pendidikan	275,67	1,52
	5. Industri	475,35	2,64
	6. Pergudangan	20,62	0,10
	7. Terminal	4,02	0,02
	8. Pelabuhan	80,10	0,44
	9. Bandara	590,00	3,30
	Sub Total	4546,41	25,22
II	Kawasan belum terbangun		
	1. Kuburan	81,87	0,45
	2. Hutan	766,10	4,25
	3. Sawah	441,25	2,45
	4. Kebun	296,88	1,65
	5. Tegalan/ladang	17,06	0,09
	6. Semak belukar	9145,90	50,73
	7. Rumput/tanah kosong	2705,85	15,01
	8. Pasir	35,00	0,20
	Sub Total	13480,60	74,78

Sumber: Andjelicus (2009)

Penggunaan lahan di Kota Kupang meningkat secara nyata yang ditunjukkan oleh meningkatnya penggunaan lahan untuk permukiman, ruko, dan lahan terbangun lainnya. Akibatnya banyak terjadi alih fungsi sawah, kebun, dan ruang terbuka hijau lainnya menjadi lahan permukiman dan lahan terbangun lainnya. Kawasan terbangun lebih terpusat di bagian pusat kota dan timur kota, karena kawasan timur kota dilintasi jaringan jalan arteri primer, sekunder, dan kolektor. Data tentang penggunaan lahan terbangun dan tidak terbangun, disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan data (Tabel 3), kawasan Kota Kupang memiliki lahan belum terbangun terutama semak belukar dan lahan kosong yang cukup luas, yakni sekitar 50% khususnya pada wilayah selatan, tenggara dan barat daya kota. Lahan-lahan kosong ini semestinya dapat dimanfaatkan menambah luasan ruang terbuka hijau untuk menambah keindahan dan kenyamanan kota.

Ruang Terbuka Hijau dan Hutan Kota

Jenis vegetasi di wilayah Kota Kupang didominasi oleh savana dengan sedikit hutan campuran berkombinasi dengan hutan sejenis. Vegetasi tipe ekosistem savana terutama mendominasi daerah pantai, sedangkan hutan campuran dan hutan sejenis terdapat di daerah perbukitan. Vegetasi yang mempunyai nilai penting bagi masyarakat Kota Kupang adalah pohon lontar. Lontar banyak dimanfaatkan oleh masyarakat Kota Kupang untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, daunnya dimanfaatkan untuk kerajinan rumah tangga, sementara batangnya dimanfaatkan untuk bangunan rumah. Hasil sadapan dari pangkal buah lontar digunakan untuk membuat minuman dan pembuatan gula.

Sesuai peruntukannya, hutan kota di Kota Kupang meliputi ruang hijau pertamanan kota, ruang hijau rekreasi kota, ruang hijau stadion olah raga, ruang hijau pemakaman, ruang hijau pertanian, ruang jalur hijau (*green belt*), ruang hijau kebun dan halaman di lingkungan perumahan, perkantoran, pertokoan, pabrik, dan terminal.

Potensi RTH Kota Kupang diperkirakan seluas 4310 ha, sehingga jumlah luasan RTH yang dapat dibangun adalah 6773,91 ha atau 37,02% dari luas wilayah. Dalam rencana RTRW Kota Kupang tahun

2005-2015, RTH kota dialokasikan sebesar 5501,83 ha atau sekitar 30,52 dari luas wilayah, sementara dalam implementasinya baru mencapai 1934,3 ha atau 10,73% pada tahun 2005 dan pada tahun 2008 menjadi 2363,91 ha atau 13,11%. Secara keseluruhan, jumlah jenis tumbuhan/vegetasi penyusun hutan kota di Kota Kupang sekitar 77 jenis.

Beban Emisi CO₂ Antropogenik

1) Beban Emisi CO₂ dari Konsumsi Listrik

Tingkat konsumsi listrik di Kota Kupang periode 2005 – 2008 mengalami peningkatan rata-rata 6,54% per tahun. Pada tahun 2005, jumlah konsumsi listrik adalah 109.549.359 kWh dan pada tahun 2008 tingkat konsumsi listrik menjadi 132.143.572 kWh. Konsumsi listrik per tahun di Kota Kupang selama periode 2005 – 2008 disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Konsumsi listrik di Kota Kupang

No.	Tahun	Konsumsi (kWh)
1	2005	109.549.359
2	2006	123.658.608
3	2007	126.647.591
4	2008	132.143.572

Sumber: BPS NTT (2006-2009)

Berdasarkan nilai faktor emisi CO₂ dari konsumsi listrik yang ditetapkan oleh *Energy Information Administration* (2000), yaitu 454 gram CO₂/kWh, maka dapat dihitung nilai total emisi CO₂ yang dihasilkan dari pemakaian listrik di Kota Kupang tahun 2008, yang hasilnya disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Prediksi konsumsi listrik dan emisi CO₂ di Kota Kupang

No.	Tahun	Konsumsi (kWh)	Emisi CO ₂ (ton/tahun)
1	2008	132.143.572	99.967,93
2	2010	149.993.150	113.471,32
3	2015	205.889.827	155.757,71
4	2020	282.617.045	213.802,62
5	2025	387.937.545	293.478,64

2) Beban Emisi CO₂ dari Konsumsi Premium

Kebutuhan bahan bakar minyak berupa premium di Kota Kupang pada kondisi normal berkisar 40 – 45 kL/hari. Penjualan premium dan solar dilakukan oleh 11 stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU) yang tersebar di seluruh Kota Kupang. Data penggunaan bahan bakar minyak dan gas (BBMG) untuk Kota Kupang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Pemakaian bahan bakar minyak dan gas di Kota Kupang

Tahun (kL)	Premium	Solar (kL)	M. Tanah (kL)
2004	37.539,000	56.147,000	25.800,000
2005	37.105,860	75.905,650	25.399,100
2008	48.201,960	41.260,080	26.691,556
2009	52.066,200	38.051,520	26.806,780

Sumber: Pertamina cabang Kupang (2010)

Sektor transportasi adalah sektor dengan jumlah pemakaian BBM terbesar untuk jenis premium, yaitu mencapai 99,97% dari jumlah pasokan premium Kota Kupang. Untuk jenis BBM solar, sektor listrik adalah sektor dengan pemakaian BBM dengan pemakaian dalam jumlah relatif besar, yaitu mencapai 51,06 % dan disusul dengan transportasi (44,58%). Rata-rata penggunaan bahan bakar minyak per orang sebanyak 160,30 liter/orang/tahun untuk premium, 117,15 liter/orang/tahun untuk solar, dan 82,53 liter/orang/tahun untuk minyak tanah.

Jumlah beban emisi bahan bakar premium pada tahun 2009 dihitung berdasarkan jumlah konsumsi premium untuk 11 SPBU yang ada di Kota Kupang dikalikan dengan faktor emisi yang ditetapkan oleh *The Energy Foundation* (2005), yaitu 52.066.200 liter/tahun x 2,31 kg CO₂/liter atau 120.272,922 ton CO₂/tahun.

3) Beban Emisi CO₂ dari Konsumsi Solar

Penggunaan solar di Kota Kupang mengalami penurunan dari 41.260.080 liter pada tahun 2008 menjadi 38.051.520 pada tahun 2009. Berdasarkan data penggunaan solar tahun 2009, dapat diperkirakan beban emisi CO₂ dengan mengalikan total konsumsi bahan bakar solar dengan faktor emisi

CO₂ dari konsumsi solar yang ditetapkan oleh *The Energy Foundation* tahun 2005, yaitu 38.051.520 liter/tahun x 2,68 kg CO₂/liter x 10⁻³ ton/kg atau 101.978,074 ton CO₂/tahun.

4) **Beban Emisi CO₂ dari Konsumsi Minyak Tanah dan Bahan Bakar Gas**

Pemakaian minyak tanah di Kota Kupang terbesar adalah sektor rumah tangga, yaitu mencapai 99,61% dari total konsumsi minyak tanah dan 0,39% sisanya adalah untuk industri. Penyaluran minyak tanah di Kota Kupang dilakukan melalui 13 agen dan 441 pangkalan dari depot Tenau. Besarnya beban emisi CO₂ yang bersumber dari pemakaian minyak tanah di Kota Kupang ditentukan berdasarkan jumlah konsumsi minyak tanah dikalikan dengan faktor emisi minyak tanah, yaitu 26.806.780 liter/tahun x 2,52 kg CO₂/liter x 10⁻³ ton/kg atau 67.553,086 ton CO₂/tahun.

Konsumsi bahan bakar gas (LPG) di Kota Kupang mengalami peningkatan signifikan selama 2 tahun terakhir. Pada tahun 2008, konsumsi LPG sebanyak 723,869 ton atau 2,528 kg/orang/tahun dan pada tahun 2009 menjadi 2467,544 ton atau 7,59 kg/orang/tahun, sehingga rata-rata penggunaan LPG selama dua tahun terakhir adalah 5,059 kg/orang/tahun. *Proxy* jumlah emisi CO₂ dari konsumsi bahan bakar gas dihitung berdasarkan total konsumsi bahan bakar gas (BBG) dikalikan faktor emisi CO₂ dari konsumsi BBG, yaitu 2.467.544 kg/tahun x 1,51 kg CO₂/kg atau 3.725,991 ton/tahun.

Daya Penyerapan CO₂ (carbon sink) Berbagai Bentuk RTH

Perubahan lahan berpengaruh pada penambahan atau pengurangan emisi CO₂. Analisis penyerapan CO₂ berguna untuk mendapatkan informasi mengenai kemampuan RTH menyerap CO₂ di Kota Kupang. Pendekatan yang dilakukan untuk penghitungan penyerapan CO₂ dilakukan dengan cara menentukan luas penutupan lahan daerah-daerah yang bervegetasi. Untuk kepentingan inventarisasi gas rumah kaca khususnya CO₂, IPCC membagi tataguna lahan (*land-use*) atas 6 kategori, yaitu (1) lahan hutan, (2) lahan pertanian dan perkebunan, (3) padang rumput, (4) lahan basah (sungai, danau, rawa, dan situ), (5) lahan terbangun, dan (6) lahan lainnya. Berdasarkan pedoman IPCC

memungkinkan untuk menghitung perubahan stok karbon dari perubahan lahan secara sederhana berdasarkan ketersediaan data yang minimal. Data minimal tersebut adalah luas lahan untuk masing-masing kategori. Data sebaran penutupan lahan di Kota Kupang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Luas dan persentase tipe penutupan lahan di Kota Kupang

No.	Tipe Penutupan Lahan	Luas (ha)	Persentase
1	Ladang/tegalan	17,06	0,09
2	Sawah	441,25	2,45
3	Semak	9145,09	50,73
4	Rumput	2705,85	15,01
5	Vegetasi Rapat/hutan	766,10	4,25
6	Vegetasi Jarang ^{*)}	662,75	3,67

^{*)} *Tanaman tahunan yang berumur relatif muda (< 20 tahun), terdiri atas kebun (296,88 ha), pemakaman (81,87 ha), jalur hijau (30,25 ha), sempadan sungai (165,75 ha) dan sempadan pantai (88 ha)*

Jenis vegetasi di wilayah Kota Kupang didominasi oleh savana dengan sedikit campuran berkombinasi dengan hutan sejenis. Vegetasi tipe ekosistem savana terutama mendominasi daerah pantai, sedangkan hutan campuran dan hutan sejenis terdapat di daerah perbukitan. Vegetasi yang mempunyai nilai penting bagi masyarakat Kota Kupang adalah pohon lontar. Lontar banyak dimanfaatkan oleh masyarakat Kota Kupang untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, daunnya dimanfaatkan untuk kerajinan rumah tangga, sementara batangnya dimanfaatkan untuk bangunan rumah. Hasil sadapan dari pangkal buah lontar digunakan untuk membuat minuman dan pembuatan gula.

Berdasarkan luasan lahan untuk masing-masing kategori penutupan lahan dapat dihitung daya penyerapan gas CO₂ (CO₂ sink) beberapa tipe penutupan lahan di Kota Kupang, yang hasilnya disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Daya penyerapan CO₂ di beberapa tipe penutupan lahan di Kota Kupang

No. Tipe Penutupan Lahan	Daya Penyerapan Gas CO ₂	
	(ton CO ₂ /jam)	(ton CO ₂ /tahun)
1 Ladang/tegalan	2,559	11.208,420
2 Sawah	1,209	5.295,529
3 Semak belukar	114,862	503.097,007
4 Rumpun	7,414	32.474,647
5 Vegetasi rapat/hutan	99,532	435.964,527
6 Vegetasi jarang	86,157	377.369.850
Total	311,733	1.365.409,980

$$dY = 2,52 \times 10^3 \text{ g CO}_2/\text{L} \times 26.806,780 \text{ kL/tahun} = 7.711.527,600 \text{ g/jam}$$

$$eZ = 1,51 \text{ g CO}_2/\text{g} \times 2467,544 \text{ kg/tahun} = 425.341,48 \text{ g/jam}$$

$$K = 75.000 \text{ g/jam/ha}$$

Berdasarkan data perkiraan jumlah karbondioksida yang dihasilkan proses metabolisme manusia dan pembakaran BBM, maka dengan menggunakan metode kemampuan hutan kota dalam menyerap CO₂, diperoleh kebutuhan luasan hutan kota di Kota Kupang sebagai berikut:

$$(13.099.304,99 + 13.729.785,30 + 11.641.330,40 + 7.711.527,60 + 425.341,48)$$

$$L = \frac{\text{Total}}{K} = \frac{46.166.288,77}{75.000}$$

$$L = 615,56 \text{ ha}$$

Analisis Kebutuhan RTH Hutan Kota

Persamaan yang digunakan untuk menganalisis kebutuhan luasan hutan kota sebagai penyerap CO₂ di Kota Kupang saat ini adalah:

$$aV + bW + cX + dY = eZ$$

$$L = \frac{aV + bW + cX + dY}{K}$$

$$aV = 40,33 \text{ g CO}_2/\text{orang/jam} \times 324.803 \text{ jiwa} = 13.099.304,99 \text{ g/jam}$$

$$bW = 2,31 \times 10^3 \text{ g CO}_2/\text{L} \times 52.066,200 \text{ kL/tahun} = 13.729.785,30 \text{ g/jam}$$

$$cX = 2,68 \times 10^3 \text{ g CO}_2/\text{L} \times 38.051,520 \text{ kL/tahun} = 11.641.330,40 \text{ g/jam}$$

Luasan hutan kota di Kota Kupang saat ini dalam berbagai wujud (taman kota, lapangan olah raga, kawasan pemakaman, jalur hijau, hutan kota, dan lainnya) sebesar 969,35 ha atau 5,38%, namun dari jumlah tersebut kawasan yang murni berfungsi sebagai hutan kota hanya 177 ha atau 0,98%. Ditinjau dari kebutuhan luasan hutan kota saat ini sebagai penyerap CO₂, kebutuhan luasan hutan kota di Kota Kupang sudah mencukupi, namun berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 63 tahun 2002 yang menetapkan luasan lahan hutan kota sekurang-kurangnya 10% dari luasan kota, maka luasan yang tersedia masih belum memenuhi syarat.

Tabel 9. Massa karbohidrat pada daun hasil sampling

Nama Indonesia	Nama Ilmiah	Massa Karbohidrat (g)		
		05.00	10.00	Selisih
Dadap	<i>Erythrina variegata</i> L.	1,80	2,59	0,79
Beringin	<i>Ficus benjamina</i>	1,63	2,45	0,82
Asam	<i>Tamarindus indica</i> L.	1,95	2,02	0,07
Flamboyan	<i>Delonix regia</i> Raf.	2,89	3,53	0,64
Johar	<i>Cassia siamea</i> Lamk.	1,89	2,97	1,08
Angsana	<i>Pterocarpus indicus</i> Willd	1,43	1,96	0,53
Mahoni	<i>Swietenia mahagoni</i> Jack.	1,92	2,44	0,52
Bunga kupu-kupu	<i>Bauhinia acuminata</i> L.	2,65	3,22	0,57
Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	1,75	1,92	0,17

Daya Serap CO₂ Berbagai Jenis Tanaman

Untuk menentukan daya serap CO₂ oleh berbagai jenis tanaman/pohon hutan kota yang terdapat di Kota Kupang, maka dilakukan sampling daun dari beberapa jenis pohon sebelum tanaman melakukan fotosintesis (pukul 05.00 pagi) dan pada saat tanaman sedang melakukan fotosintesis (pukul 10.00 pagi) untuk menentukan selisih massa karbohidrat selama proses fotosintesis. Persentase karbohidrat yang dihasilkan selama proses fotosintesis dapat digunakan untuk menentukan massa CO₂ yang diserap oleh tanaman, di mana massa CO₂ yang digunakan dalam fotosintesis berbanding lurus dengan jumlah karbon dalam karbohidrat. Hasil penelitian kadar karbohidrat pada daun dari 9 jenis tanaman yang disampling di beberapa lokasi hutan kota di Kota Kupang disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9 menunjukkan bahwa massa karbohidrat hasil sampling daun pukul 10.00 lebih besar dibandingkan massa karbohidrat hasil sampling daun pada pukul 05.00. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju fotosintesis mengalami peningkatan dalam selang waktu 4 jam tersebut, yang disebabkan oleh meningkatnya intensitas cahaya. Pada pukul 05.00 tanaman belum aktif melakukan proses fotosintesis sehingga massa karbohidratnya menjadi lebih rendah dibandingkan massa karbohidrat pada pukul 10.00. Fakta lain yang teramati, bahwa setiap jenis tanaman memberikan massa karbohidrat yang berbeda baik pada hasil sampling pukul 05.00 maupun pada hasil sampling pukul 10.00 meskipun sampling daun yang dianalisis mempunyai berat sama, hal tersebut menunjukkan bahwa laju fotosintesis setiap jenis tanaman berbeda-beda. Selisih massa karbohidrat atau massa karbohidrat bersih/20 g contoh daun menunjukkan banyaknya karbohidrat yang dihasilkan dari proses fotosintesis selama 4 jam dari pukul 06.00 sampai pukul 10.00 pagi.

Daya serap CO₂ (*sink* CO₂) untuk setiap jenis tanaman dapat ditentukan berdasarkan data massa karbohidrat bersih dengan menggunakan faktor gravimetri, yaitu $6 \times \text{Mr. CO}_2 \times \text{massa karbohidrat} / \text{Mr. C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ atau 1,47 x massa karbohidrat.

Pohon yang paling banyak menyerap CO₂ dan paling banyak menghasilkan karbohidrat adalah johan (*Cassia siamea* Lamk.) dengan massa 1,08 gram, diikuti dengan beringin (*Ficus benjamina*), dadap (*Erythrina variegata* L.), dan flamboyan (*Delonix regia* Raf.) masing-masing dengan massa karbohidrat

0,82, 0,79 dan 0,64 gram, sedangkan tanaman yang menghasilkan massa karbohidrat dan daya serap CO₂ paling rendah adalah pohon asam (*Tamarindus indica* L.) dengan massa karbohidrat bersih 0,07 gram.

Berdasarkan data tabel 9 dan hasil penentuan besaran luas daun dari 20 g contoh daun, luas per lembar daun, jumlah pohon per daun, dan jumlah daun per 20 gram bobot basah daun dapat dihitung daya serap CO₂ per cm², per daun dan per pohon dan hasilnya disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Daya serap gas CO₂ oleh tanaman hutan kota di Kota Kupang

Nama Jenis	Daya Serap CO ₂		
	(10 ⁻⁴ g cm ⁻² jam ⁻¹)	(10 ⁻³ g daun ⁻¹ jam ⁻¹)	(kg pohon ⁻¹ tahun ⁻¹)
Dadap	1,60	2,25	67,16
Beringin	0,93	4,23	428,48
Asam	0,35	3,49	2,67
Flamboyan	1,48	2,59	0,12
Johar	1,72	4,23	0,88
Angsana	0,71	3,57	45,20
Mahoni	0,79	2,11	118,01
Bunga kupu-kupu	0,81	2,12	193,63
Nangka	0,34	5,46	453,95

Massa karbohidrat dan massa CO₂ yang tinggi tidak selalu menghasilkan daya serap CO₂ yang tinggi (Tabel 9 dan 10), karena faktor luas daun sebagai faktor pembatas tidak sama pada setiap jenis tanaman. Pohon johan memiliki massa karbohidrat dan massa CO₂ tertinggi di antara 9 jenis tanaman yang dianalisis, massa karbohidrat pohon johan 1,08 gram dan massa CO₂ 1,58 gram, namun pohon johan memiliki daya serap per pohon terendah kedua setelah flamboyan. Daya serap CO₂ per cm² daun dipengaruhi oleh massa karbohidrat dan luas daun contoh (luas daun dari 20 gram contoh daun yang diteliti). Tumbuhan yang memiliki daya serap CO₂ per cm² yang tinggi adalah johan, dadap, dan flamboyan, sedangkan yang paling rendah adalah nangka dan asam.

Pohon nangka dan beringin mempunyai daya serap CO₂ per pohon yang tinggi, yaitu masing-masing sebesar 453,95 dan 428,48 kg per pohon per

tahun, sedangkan daya serap CO₂ terendah adalah flamboyan sebesar 0,12 kg pohon⁻¹ tahun⁻¹. Tingginya daya serap CO₂ pohon nangka dan beringin disebabkan jumlah daunnya banyak, daya serap CO₂ per cm² dan luas daunnya tinggi. Oleh karena itu untuk mengantisipasi peningkatan emisi CO₂ akibat peningkatan jumlah penduduk dan pemakaian BBM yang dapat dilakukan adalah dengan mengoptimalkan fungsi hutan kota dengan menambah luasan atau memilih jenis-jenis tanaman yang memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap CO₂ dan menghasilkan O₂, seperti pohon beringin, nangka, mahoni, bunga kupu-kupu, dan angsana.

4. Simpulan dan Saran

Simpulan

1. Luasan hutan kota yang ada saat ini di Kota Kupang adalah 177 ha (0,98%). Berdasarkan kajian jumlah emisi gas CO₂ yang terus bertambah sementara luasan ruang terbuka hijau terus menurun, maka luasan hutan kota sebagai *sink* CO₂ antropogenik dari pemakaian listrik dan BBM perlu ditambah.
2. Total emisi gas CO₂ antropogenik bersumber dari empat jenis penggunaan bahan bakar minyak dan gas serta konsumsi listrik di Kota Kupang adalah 393.498,003 ton/tahun, tahun 2015 meningkat menjadi 490.673,45 ton/tahun, dan pada tahun 2025 meningkat menjadi 710.928,38. Peningkatan emisi gas CO₂ antropogenik merupakan akibat peningkatan

konsumsi listrik dan BBM yang seiring dengan bertambahnya populasi penduduk.

3. Daya serap gas CO₂ dari 9 jenis pohon yang diteliti bervariasi antar jenis pohon, bergantung pada massa karbohidrat bersih, luas daun, dan jumlah daun per pohon. Tanaman yang memiliki daya serap gas CO₂ yang tinggi adalah pohon nangka dan beringin masing-masing sebesar 453,95 dan 428,48 kg per pohon per tahun, sedangkan daya serap CO₂ terendah adalah flamboyan sebesar 0,12 kg pohon⁻¹ tahun⁻¹.
4. Saat ini luasan hutan kota di Kota Kupang yang tersedia dalam berbagai wujud mampu memenuhi kebutuhan luasan hutan kota sebagai penyerap CO₂ antropogenik. Luas hutan kota yang tersedia saat ini dalam berbagai wujud adalah 969,35 ha atau 5,38%, sedangkan kebutuhan berdasarkan *sink* CO₂ hanya 641,43 ha atau 3,56%, namun berdasarkan PP No. 62 tahun 2002 luasan hutan kota yang dibutuhkan adalah seluas 1802,7 ha.

Saran

1. Untuk mengurangi dan mengantisipasi peningkatan emisi CO₂ di Kota Kupang perlu dilakukan optimalisasi fungsi hutan kota dengan menambah luasan atau memilih jenis-jenis tanaman dengan daya serap CO₂ yang tinggi.
2. Dibutuhkan penelitian lanjutan terutama untuk mensimulasi jumlah pohon yang dibutuhkan dan luasan optimal hutan kota menggunakan pendekatan sistem dinamik.

Daftar Pustaka

- Andjelicus, P.J. 2009. *Prinsip-Prinsip Perancangan Ruang Terbuka Hijau Di Kota Kupang*. Tesis. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Anonimous. 2008. Forest Sinks. Article. <http://www.climatechange.gov.au/land/forest-sinks.html>. diakses tanggal 2 Maret 2010.
- Anonimous. 2009. <http://www1.menlh.go.id/detail> . diakses tanggal 4 Maret 2010.
- BAPPEDA. 2003. *Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Kupang 2005-2015*. Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Kupang, Kupang.
- Bernatzky, A. 1978. *Tree Ecology and Preservation*. Elsevier Science Co., Amsterdam.
- BPHMIGAS. 2008. *Komoditas dan Pemasaran Bahan Bakar Minyak*. <http://www.bphmigas.go.id>. diakses tanggal 20 Agustus 2010.
- BPS. 2006-2011. *Kota Kupang dalam Angka*. Badan Pusat Statistik Kota Kupang, Kupang.

-
- BPS. 2006-2009. *Nusa Tenggara Timur dalam Angka*. Badan Pusat Statistik Nusa Tenggara Timur, Kupang.
- Dahlan, E.N. 1992. *Hutan Kota untuk Pengelolaan dan Peningkatan Kualitas Lingkungan Hidup*. Asosiasi Pengusaha Hutan Indonesia, Jakarta.
- Dahlan, E.N. 2004. *Membangun Kota Kebun Bernuansa Hutan Kota*. IPB Press, Bogor.
- DEFRA. 2001. Conversion. <http://www.natenergy.org.uk/convert.htm>. diakses tanggal 4 Maret 2010.
- EIA. 2000. CO₂ emission. <http://www.cneaf/electricity/page/co2./co2report.html>. diakses tanggal 4 Maret 2010.
- Indopedia. 2006. Carbon dioxide. http://www.indopedia.org/carbon_dioxide.htm. diakses tanggal 2 September 2010.
- IPCC. 2006. Climate Change. <http://www.climatechange/IPCC/report/land>. diakses tanggal 2 September 2010.
- Nasihin, I. 2003. *Studi Pembangunan Hutan Kota di Kota Kuningan Jawa Barat*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- NEF. 2005. CO₂ Calculator. <http://www.nef.org.uk/energyadvice/co2calculator.htm>. diakses tanggal 2 September 2010.
- Wikipedia. 2005. Effect of Global Warming. http://www.wikipedia.org/wiki/effect_of_global_warming. diakses tanggal 4 Maret 2010.