

Minimalisasi Beban Parasitik pada Sistem Pendingin Utama Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Yoga Putra Andrian¹, I Made Astina¹

¹Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara
Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 20, Bandung, Indonesia 40132
Phone: +62-22-2504243, Fax: +62-22-2534099
Email : yogandrian@gmail.com

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) merupakan suatu bentuk pemanfaatan panas bumi secara tidak langsung yang ada saat ini. Pemberdayaan panas bumi pada PLTP dapat dilakukan dengan minimalisasi beban parasitik pada sistem pendingin utama PLTP. Dalam makalah ini PLTP yang dijadikan objek penelitian berlokasi di Gunung Salak, Bogor, Jawa Barat. Parameter studi meliputi penerapan VFD (*Variable Frequency Drive*) pada sistem pendinginan utama yaitu pompa pendingin utama dan motor penggerak kipas pada menara pendingin. Hal ini bertujuan untuk menyesuaikan kebutuhan pendinginan dengan fluktuasi temperatur basah lingkungan, sehingga memperoleh penghematan daya listrik yang digunakan pada sistem PLTP. Proses awal penelitian adalah melakukan pemodelan termodinamika sistem PLTP untuk memperoleh tingkat keadaan dari setiap sistem di PLTP. Pemodelan penerapan VFD dilakukan untuk mengatur kecepatan motor penggerak pompa air pendingin utama dan motor penggerak kipas menara pendingin sesuai dengan kebutuhan air pendinginannya. Dari hasil pemodelan yang telah dilakukan, penerapan VFD pada kedua komponen pendingin sistem PLTP dapat memperoleh penghematan total sebesar 959 kW dari daya total 65 MW untuk temperatur basah lingkungan 10,21°C.

Keywords: panas bumi, pemodelan, sistem pendingin utama, VFD, fluktuasi temperatur

Pendahuluan

Panas bumi merupakan jenis energi terbarukan yang mempunyai potensi sangat besar di Indonesia. Pemanfaatan panas bumi dapat dibedakan secara tidak langsung dan secara langsung. Pemanfaatan panas bumi secara langsung diaplikasikan pada kolam pemandian air panas di daerah pegunungan. Sementara itu pemanfaatan panas bumi secara tidak langsung dapat diterapkan pada sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi [1].

Pembangkit listrik tenaga panas bumi menggunakan uap panas yang berasal dari dalam perut bumi. Uap panas dari dalam bumi dijadikan fluida kerja untuk menghasilkan energi kinetik yang menggerakkan turbin, dan turbin memutar generator untuk menghasilkan daya listrik [2]. Listrik yang dihasilkan selain dijual kepada Perusahaan Listrik Negara (PLN) juga digunakan untuk keperluan *internal* PLTP seperti kebutuhan perkantoran dan sumber energi listrik yang digunakan oleh komponen pada sistem pembangkit. Menara pendingin merupakan salah satu sistem di PLTP yang menggunakan listrik dengan jumlah yang besar. Komponen-komponen pada

menara pendingin yang menggunakan daya yang besar diantaranya motor listrik penggerak kipas (*fan*) dan motor listrik penggerak pompa air pendingin utama (MCWP) [3].

Dalam makalah ini akan dilakukan pemberdayaan pada sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi studi kasus PLTP Gunung Salak. Kegiatan ini dilakukan untuk meminimalisasi daya parasitik pada sistem pembangkit sehingga mengurangi penggunaan daya listrik *internal* sistem. Pemberdayaan akan diterapkan pada sistem menara pendingin dengan mengaplikasikan instrumen elektronik VFD (*Variable Frequency Drive*) pada komponen motor penggerak kipas dan MCWP. Instrumen VFD dapat mengubah kecepatan putar motor listrik dengan cara mengatur frekuensi arus stator yang masuk.

Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyusunan makalah ini terdiri atas beberapa tahapan.

Studi literatur

Tahap ini mencari informasi dari buku-buku maupun internet tentang hal-hal yang berhubungan dengan analisis kasus yang akan diteliti.

Pengumpulan data

Data yang dibutuhkan adalah data kondisi operasi PLTP Gunung Salak pada kondisi desain yang diperoleh dari buku manual sistem.

Pemodelan

Dari data-data yang telah didapatkan dapat dibuat pemodelan termodinamika dan perhitungan pada setiap tingkat keadaan pada sistem PLTP dengan menggunakan *worksheet* dan bantuan perangkat lunak sifat-sifat termofisika fluida untuk menghitung tingkat keadaan sistem

Prediksi

Setelah perhitungan dan pemodelan dari sistem PLTP diperoleh kemudian dilakukan prediksi daya keluar untuk variasi jumlah laju massa uap yang masuk dan prediksi kondisi operasi saat terjadi perubahan temperatur lingkungan PLTP.

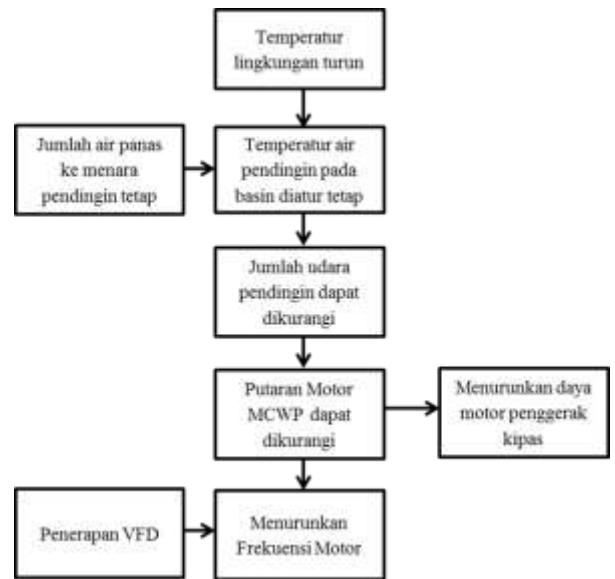
Analisis termodinamika

Dari hasil pemodelan dan prediksi dilakukan analisis dari hasil yang telah didapatkan yaitu analisis pada penggunaan VFD pada menara pendingin PLTP

Hasil dan Pembahasan

Aplikasi VFD pada Motor Listrik Kipas Menara Pendingin

Metode ini menerapkan VFD pada motor listrik penggerak kipas menara pendingin. Besar daya yang dibutuhkan oleh kipas menara pendingin diatur oleh VFD sesuai kebutuhan pendinginan dan temperatur basah lingkungan. Hal ini mungkin dilakukan untuk penghematan daya listrik. Gambar 1 menjelaskan algoritma prediksi kondisi operasi yang terjadi pada sistem air pendingin utama ketika terjadi penurunan temperatur lingkungan



Gambar1. Prediksi kondisi operasi ketika VFD diaplikasikan pada motor listrik penggerak kipas menara pendingin.

Persamaan-persamaan yang digunakan pada pemodelan ini adalah persamaan Merkel dan persamaan potensial entalpi Markel. Kalor yang dilepaskan oleh air panas diterima seluruhnya oleh udara pendingin, secara matematis dituliskan pada persamaan (1) dan (2) [4].

$$q = LC_p(T_{w,in} - T_{w,out}) = G(h_{a,out} - h_{a,in}) \quad (1)$$

$$q = KA(h_w - h_a) = \frac{h_c A}{C_{pm}} \left(\frac{h_{i,in} + h_{i,out}}{2} + \frac{h_{a,in} + h_{a,out}}{2} \right) \quad (2)$$

Dimana

q = Laju perpindahan panas

L = Laju massa air masuk ke menara pendingin

C_p = Kalor jenis air pada tekanan konstan

$T_{w,in}$ = Temperatur air masuk

$T_{w,out}$ = Temperatur air keluar

$h_{i,in}$ = Entalpi udara pada temperatur air masuk

$h_{i,out}$ = Entalpi udara pada temperatur air keluar

G = Laju massa udara pendingin masuk ke menara pendingin

$h_{a,in}$ = Entalpi udara masuk

$h_{a,out}$ = Entalpi udara keluar

K = Koefisien perpindahan panas total

h_c = Koefisien konveksi

A = Luas area perpindahan panas

C_{pm} = Kalor jenis udara lembab

Tabel 1. Data masukan aplikasi VFD motor listrik penggerak kipas menara pendingin

Data	Nilai	Satuan
Laju massa air masuk (L)	4788,16	kg/s
Kalor jenis spesifik air (C_p)	4,19	kJ/kg·K
Temp air panas masuk (T_{win})	43	°C
Range (R)	16	°C
Temp air dingin keluar (T_{wout})	27	°C
Temp bola basah masuk ($T_{wb\ in}$)	21	°C
Temp bola kering masuk ($T_{db\ in}$)	23	°C
Kelembaban relative	80	%

Dari persamaan (1) dan (2) dapat ditentukan nilai $h_c A / C_p m$ dengan memasukkan data-data dari pemodelan operasi diatas.

$$\frac{h_c A}{C_p m} = \frac{L \times C_p \text{air} \times R}{(\frac{h_{i,in} + h_{i,out} + h_{a,in} + h_{a,out}}{2})} \quad (3)$$

$$\frac{h_c A}{C_p m} = 2658,76 \text{ kg/s}$$

Setelah nilai $\frac{h_c A}{C_p m}$ diketahui, jumlah udara pendingin yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (4).

$$G = \frac{q}{h_{i,in} + h_{i,out} - 2h_{a,in} - \frac{q}{h_c A}} \quad (4)$$

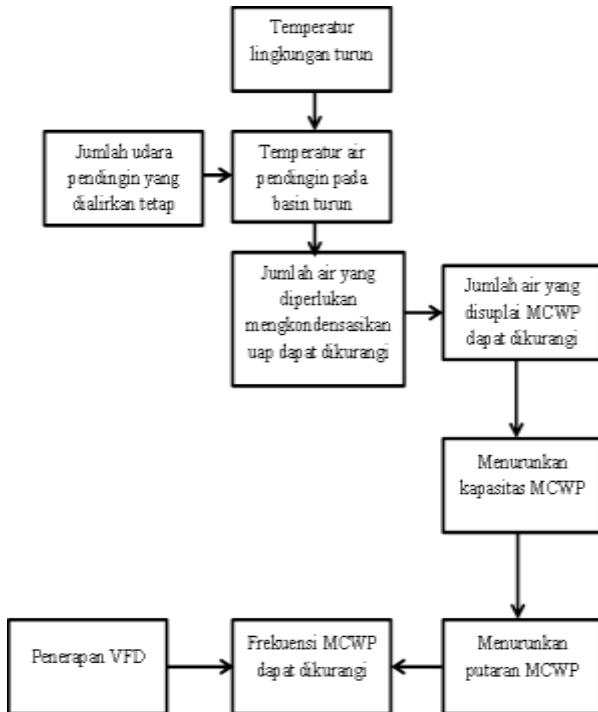
Setelah memperoleh prediksi laju udara pendingin yang dibutuhkan dari setiap temperatur udara basah lingkungan dapat ditentukan kondisi operasi kipas menara pendingin dengan menggunakan persamaan (3) sampai (5) diatas. Pada variasi temperatur bola basah 10–23°C, hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi operasi kipas menara pendingin pada variasi temperatur bola basah udara

T_{wb} in (°C)	Laju udara (kg/s)	P_{fan} masing (kW)	P_{fan} (kW)	P motor total (kW)	Penghe matan (kW)
10,21	1716,2	65,22	353,84	358,35	612,02
11,71	1834,9	69,72	377,64	383,07	587,30
13,21	1980,1	75,25	417,56	413,46	556,91
14,71	2159,6	82,07	439,00	450,93	519,44
16,21	2391,0	90,86	469,26	499,23	471,14
17,71	2694,6	102,39	546,50	562,58	407,79
19,21	3117,8	118,48	618,16	650,98	319,38
20,71	3737,8	142,04	717,96	780,43	189,93
22,21	4739,9	180,12	833,34	989,67	-19,29
23,71	6633,9	252,10	920,88	1385,16	-414,78

Aplikasi VFD pada Motor Listrik Pompa Air Pendingin Utama (MCWP)

VFD diterapkan pada pompa air pendingin utama atau MCWP. MCWP merupakan salah satu pemakai daya yang besar dalam komponen menara pendingin. VFD merupakan salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengurangi pemakaian daya MCWP. Prediksi kondisi operasi yang terjadi pada sistem air pendingin utama saat terjadi penurunan temperatur lingkungan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Prediksi kondisi operasi ketika VFD diaplikasikan pada pompa air pendingin utama

Gambar 2 menjelaskan proses yang terjadi apabila VFD diterapakan pada motor penggerak kipas menara pendingin. Temperatur lingkungan turun namun jumlah air panas yang dialirkan kedalam menara pendingin tetap. Pada kondisi biasa daya kipas tetap sehingga jumlah udara yang dihisap tetap. Hal ini akan menyebabkan temperatur air dingin yang keluar lebih rendah. Pada aplikasi VFD ini, temperatur air dingin yang keluar dijaga konstan dengan mengatur jumlah udara yang diperlukan. Pengaturan jumlah udara dilakukan dengan cara mengatur putaran kipas. Putaran kipas dapat diubah-ubah dengan mengatur frekuensi arus stator yang masuk oleh VFD.

Persamaan selanjutnya digunakan untuk mencari daya motor. Daya motor digunakan untuk mengoperasikan pompa/MCWP diperoleh dengan persamaan (5). [5]

$$P_m = \frac{Pair}{\eta_p \cdot \eta_m} = \frac{\rho Q g H}{\eta_p \cdot \eta_m} \quad (5)$$

Dimana :

- ρ = Massa jenis air
- Q = Kapasitas aliran air
- g = Percepatan gravitasi
- H = Head aliran
- $Pair$ = Daya air
- P_m = Daya motor
- η_p = Efisiensi pompa
- η_m = Efisiensi motor

Beberapa data yang digunakan sebagai masukan pada aplikasi VFD di pompa air pendingin utama/MCWP, diambil data hasil pemodelan operasi diberikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data masukan aplikasi VFD pada pompa air pendingin utama/MCWP

Data	Nilai	Satuan
Laju massa air masuk (L)	4788,16	kg/s
Kalor jenis spesifik air (C_p)	4,19	kJ/kg·K
Temp air panas masuk ($T_{w_{in}}$)	43	°C
Range (R)	16	°C
Laju udara pendingin (G)	4647,52	kg/s
Temp bola basah masuk ($T_{wb_{in}}$)	21	°C
Temp bola kering masuk ($T_{db_{in}}$)	23	°C
Kelembaban relatif	80	%

Nilai $\frac{h_c A}{C_p m}$ diperoleh dari perhitungan aplikasi VFD pada motor penggerak kipas menara pendingin sebelumnya, yaitu:

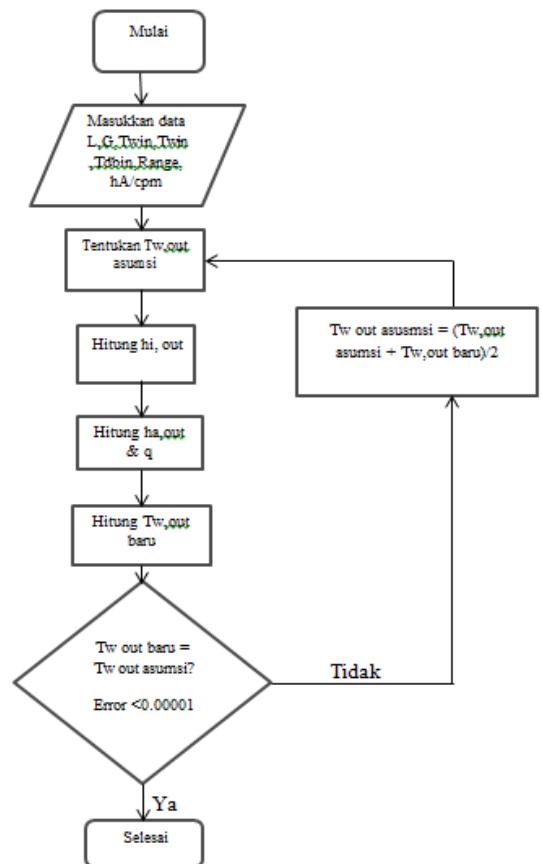
$$\frac{h_c A}{C_p m} = 2658,76 \text{ kg/s}$$

Selanjutnya dapat ditentukan temperatur air pendingin yang keluar dari menara pendingin dengan menggunakan persamaan (6) dan (7) [5].

$$T_{w,out} = T_{w,in} - \frac{q}{L_c p} = T_{w,in} - \frac{G \times (h_{a,out} - h_{a,in})}{L_c p} \quad (6)$$

$$h_{a,out} = \frac{G h_{a,in} + \frac{h_c A}{2 C_p m} (h_{i,in} + h_{i,out} - h_{a,in})}{G + \frac{h_c A}{2 C_p m}} \quad (7)$$

Temperatur air pendingin yang keluar dari menara pendingin tidak dapat langsung ditentukan saat terjadi perubahan kondisi lingkungan, namun memerlukan proses iterasi. Gambar 3 memperlihatkan diagram alir untuk melakukan iterasi temperatur air pendingin yang keluar dari menara pendingin.



Gambar 3. Diagram alir proses iterasi perhitungan temperatur air pendingin

Variasi temperatur bola basah lingkungan ditentukan pada range 10°C–23°C. Temperatur air pendingin dan kapasitas pompa/MCWP disimulasikan dengan variasi temperatur bola basah, pada

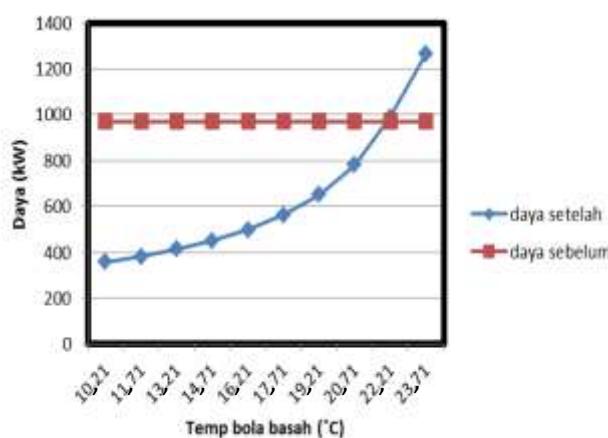
kelembaban relatif udara tetap sebesar 80% RH. Hasil prediksi temperatur air pendingin dan kapasitas pompa/MCWP dengan menggunakan persamaan-persamaan pada temperatur bola basah lingkungan yang bervariasi ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kondisi operasi pompa/MCWP pada variasi temperatur bola basah udara

T_{wb} (°C)	$T_{w,out}$ (°C)	Daya motor terbaru (kW)	Daya motor sebelum (kW)	Penghematan (kW)
10,21	24,46	659,56	1038	378,43
11,71	24,89	686,39	1038	351,60
13,21	25,37	718,72	1038	319,27
14,71	25,86	755,17	1038	282,82
16,21	26,39	799,13	1038	238,86
17,71	26,94	851,54	1038	186,45
19,21	27,53	914,76	1038	123,23
20,71	28,16	992,42	1038	45,57
22,21	28,83	1091,62	1038	-53,62
23,71	29,54	1189,77	1038	-151,77

Analisis Aplikasi VFD pada Motor Listrik Kipas Menara Pendingin

Dari perhitungan penggunaan VFD pada motor listrik kipas menara pendingin, hubungan antara konsumsi daya dengan temperatur basah lingkungan yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 4.



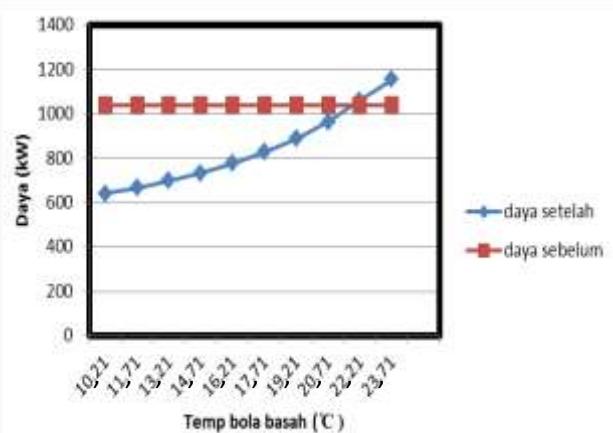
Gambar 4. Hubungan konsumsi daya sebelum dan sesudah penerapan VFD pada motor listrik kipas menara pendingin terhadap temperatur bola basah

Pada Gambar 4 dapat dilihat hubungan konsumsi daya terhadap temperatur bola basah lingkungan sebelum dan sesudah diterapkan VFD pada motor listrik penggerak kipas menara pendingin. Daya motor keadaan operasi/aktual masih dalam keadaan konstan disetiap temperatur karena tidak adanya

penyesuaian putaran motor terhadap temperatur basah lingkungan sehingga daya yang dikonsumsi konstan yaitu sebesar 970,37 kW. Sementara daya motor setelah penerapan VFD mengalami peningkatan dari temperatur 10,21°C–23,71°C tetapi besarnya kurang dari motor tanpa VFD. Pada temperatur 22,21°C total konsumsi daya kembali ke keadaan operasi/aktual seperti yang diperlihatkan pada gambar di atas. Oleh karena itu temperatur yang dapat dijadikan peluang untuk penghematan daya berada diantara 10,21°C sampai 20,71°C.

Analisis Aplikasi VFD pada Motor Listrik Pompa Air Pendingin Utama (MCWP)

Hubungan konsumsi daya setelah dan sebelum penerapan VFD pada motor listrik pompa air pendingin utama dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan konsumsi daya sebelum dan sesudah penerapan VFD pada motor listrik MCWP

Pada Gambar 5 dapat dilihat peluang penghematan daya yang dapat dilakukan juga terletak pada temperatur 10,21°C–20,71°C. Hal ini karena pada temperatur 22,21°C dan setelahnya, konsumsi daya pada motor listrik MCWP telah kembali pada keadaan operasi/aktual.

Kesimpulan

Dari perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan yang dapat diambil antara lain:

1. Pengoperasian motor listrik penggerak kipas dan MCWP yang dijalankan pada kecepatan tetap akan membuat boros daya listrik dibandingkan dengan motor dengan VFD.
2. Temperatur basah lingkungan mempengaruhi konsumsi daya pada motor penggerak MCWP dan motor penggerak kipas menara pendingin.
3. Penghematan pada motor penggerak kipas menara pendingin dapat dilakukan pada

- temperatur $10,21^{\circ}\text{C}$ – $22,21^{\circ}\text{C}$ dengan besar penghematan daya yang dapat diperoleh antara $189,93 \text{ kW}$ – 612 kW .
4. Penghematan pada motor penggerak MCWP dapat dilakukan pada temperatur $10,21^{\circ}\text{C}$ – $20,71^{\circ}\text{C}$ dengan besar penghematan daya yang dapat diperoleh antara $45,57 \text{ kW}$ – $378,43 \text{ kW}$.

Daftar Pustaka

1. Nenny Saptadji, Energi Panas Bumi (Geothermal Energy), Departemen Teknik Perminyakan FTTM ITB, Bandung, 2009.
2. Nenny Miryani Saptadji, Energi Panas Bumi: Kebijakan, Teknologi, Lingkungan, Tantangan dan Solausi, Departemen Teknik Perminyakan FTTM ITB, Bandung, 2009.
3. Pall Valdimarson, Goethermal Power Plant Cycle and Main Component, dipresentasikan pada Short Course on Geothermal Drilling, Resource Development and Power Plants Santa Tecla, El Salvador, 16-22 Januari, 2011.
4. Effendi Hafidz, Optimasi main cooling water, Tugas Akhir, Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2009.
5. Asmoro Agung, Studi Modifikasi Sistem Kondensor dan cooling tower untuk meningkatkan daya turbin, Tugas Akhir, Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2009.
6. Ronald Dipipo, *Geothermal Power Plants, Principal, Application, Case studies, and environmental impact*, Edisi 2, Massachusetts, 2005.