

KANDUNGAN TENAGA DAN EMISSI KARBON DALAM BAHAN BINAAN
RUMAH KEDIAMAN DI SUMATERA BARAT, INDONESIA

HENDRINO

UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

KANDUNGAN TENAGA DAN EMISSI KARBON DALAM BAHAN BINAAN
RUMAH KEDIAMAN DI SUMATERA BARAT, INDONESIA

HENDRINO

Tesis ini dikemukakan sebagai memenuhi
syarat penganugerahan ijazah
Doktor Falsafah (Senibina)

Fakulti Alam Bina
Universiti Teknologi Malaysia

MEI 2017

DEDIKASI

Khas untuk ibu bapa tercinta, Hj Syamsimar (Alm) dan Nasiruddin (Alm)

Isteri : Hj.Triuspita Djufri,

Anak : Ghazian Lutfhi.ST.

Kakak : H.Herius Nasir, Hendriyosa SE (Alm),

Adik : Heraldi, Yopi Hendra, Robby Ridha Putra.

Mertua : H. Djufri, dan Hj Arnida Djufri.

Ipar : Hj. Zulyatmi, Hj. Ademaiza SE, dr.Ira Raya Fani.Spg, H. Jhon Arif.SE.
Irfansyah.SIP.MT.

PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi kesyukuran kehadiran Allah s.w.t. atas limpahan dan rahmatnya yang telah diberikan di sepanjang penyiapan kajian ini. Terima kasih saya ucapkan kepada Prof Madya Dr. Mohd Zin Bin Kandar, selaku penyelia tesis ini atas segala motivasi, inspirasi, bimbingan, bantuan, pandangan serta tunjuk ajar yang amat bernilai sepanjang pengajian PhD dan penyiapan tesis ini dengan jayanya. Kepada Chairman Examiner Prof SR DR Mohd Razali Bin Mahmud. Internal Examiner Prof Madya DR.Eka Sediadi. External Examiner Prof DR.Naib bin Ibrahim University Teknologi Mara (UiTM) Malaysia, juga kepada rakan-rakan yang telah memberikan bantuan, panduan, pendapat dan berkongsi pengalaman bersama.

Tidak lupa terima kasih juga atas bantuan daripada Dr. Ardiansyah Syahroom Msc, Dr. Harisa Weni Msc, Muhamad Fadly Arif, Dr. Sr. Norazam.Msc, Dr. Sr. Mohd Saidin bin Misnan dan semua Pegawai Fakulti Alam Bina UTM. Ketua Badan Pembina Yayasan Pendidikan Bung Hatta Drs H. Hasan Basri Durin (Alm). Wakil Ketua Badan Pembina Yayasan Pendidikan Bung Hatta Drs H. Zuyen Rais MS. Ketua Badan Pelaksana Yayasan Pendidikan Bung Hatta Prof. Dr. Ir. Fahkri Ahmad. Msc. Wakil Ketua Prof. Dr. Muchayar. MPd. Sekretaris Dr. Hasnul Fikri MPd. Rektor Universitas Bung Hatta Prof. Dr. Niki Lukviarman. SE. Pembantu Rektor I. DR. Ir. Hendra Suherman MT, Pembantu Rektor II Dra Susi Herawati, Msc. Kepala BAAK Universitas Bung Hatta Ir. Hendra Kusuma MP. Dekan FTSP. Ir.Hendri Warman MT. Ketua Jurusan Arsitektur Ir. Elfida Agus. MTP. Direktur Pasca Sarjana Universitas Bung Hatta Dr. Zaitul, SE.MBA. Prof Dr.Ir.Nasfrizal Carlo.MT. Dr. Ir. Eko Alvares. MSA, serta semua pihak yang telah membantu dalam penyiapan tesis ini. Terima kasih saya juga kepada individu atas sokongan bahan kajian tapak, sumbangan nasihat serta pandangan yang bernas sepanjang pelaksanaan kajian ini.

ABSTRACT

Indonesia is ranked the sixth largest producer of greenhouse gas emissions and is committed to reduce carbon emissions by 29% in the year 2030. Its construction industry has been identified as one of the major factor of global warming and climate change resulting from the carbon emissions in manufacturing building products, transportation and construction installations, which is known as embodied energy in building materials. The aim of this research is to identify the embodied energy and embodied carbon of main building materials used in housing projects in Padang City, West Sumatera Province, Indonesia. A two-storey bungalow building which was being constructed was chosen as the pilot study to investigate embodied energy of construction materials. The embodied energy was investigated by examining the manufacturing process of construction material and its transportation distance to the site. The research was then expanded for five buildings of similar type of which the embodied energy of construction materials was identified and analysed. The subsequent calculation and analysis shows that the embodied energy in construction materials is 2.662 GJ/m² and the embodied carbon of CO₂ is 0.502 tCO₂/m² of floor area. The findings are lower than on terraced housing in Malaysia, which was at 4.46 GJ/m². Steel was identified possessing the highest embodied energy of 1.052 GJ/m² of floor area with carbon emission of 0.192 tCO₂/m², while plywood possesses the lowest embodied energy of 0.043 GJ/m² of floor area with embodied carbon of 0.002 tCO₂/m². The significance of the research is in identifying the proportion of embodied energy in main building materials used in Padang City, West Sumatera Province. This can be a guideline for the architects and contractors in making choices of construction materials with low embodied energy in order to support the effort made by government of the Republic of Indonesia to lower CO₂ emission, which was proven to be the main factor to global warming and climate change.

ABSTRAK

Indonesia berada di kedudukan keenam terbesar di dunia bagi pelepasan gas rumah hijau dan Indonesia komited untuk mengurangkan pelepasan karbon dioksida (CO₂) sebanyak 29% pada tahun 2030. Industri pembinaan dikenalpasti antara penyebab kepada pemanasan global dan perubahan iklim hasil daripada pelepasan CO₂ di dalam proses pembuatan bahan binaan, pengangkutan dan fasa pembinaan, yang dikenali sebagai kandungan tenaga dan kandungan karbon di dalam bahan binaan. Kajian ini bermatlamat untuk mengenalpasti kadar kandungan tenaga dan kandungan karbon di dalam bahan binaan utama rumah kediaman di Bandar Padang, Propinsi Sumatera Barat, Indonesia. Sebuah bangunan rumah banglo dua tingkat yang dalam proses pembinaan dipilih sebagai kajian rintis untuk menyelidiki kandungan tenaga di dalam bahan binaan bangunan. Kandungan tenaga tersebut telah diselidiki dengan meneliti proses pembuatan bahan binaan dan jarak pengangkutannya ke tapak binaan. Kajian dilanjutkan melalui penilaian kandungan tenaga bahan binaan kepada lima unit bangunan jenis yang sama di Bandar Padang. Pengiraan mendapati purata kadar kandungan tenaga dalam bahan binaan utama rumah-rumah kajian ialah 2.662 GJ/m², dan kandungan karbon 0.502 tCO₂/m² keluasan lantai. Dapatan ini lebih rendah berbanding dengan dapatan suatu kajian keatas rumah teres di Malaysia bernilai 4.46 GJ/m². Bahan keluli merupakan penyumbang kandungan tenaga tertinggi iaitu 1.052 GJ/m² keluasan lantai dan kandungan karbon 0.192 tCO₂/m², manakala bahan papan lapis merupakan bahan yang memiliki kandungan tenaga terendah 0.043 GJ/m² keluasan lantai dengan kandungan karbon 0.002 tCO₂/m². Kajian ini sangat signifikan kerana telah mengenalpasti kadar kandungan tenaga dalam bahan binaan utama rumah kediaman di Bandar Padang, Propinsi Sumatera Barat. Ianya boleh dijadikan panduan bagi arkitek dan kontraktor untuk memilih bahan-bahan binaan yang rendah kandungan tenaganya di dalam usaha membantu negara Indonesia dan negara serantau untuk mengurangkan pelepasan CO₂ di atmosfera yang terbukti menjadi faktor utama pemanasan global dan masalah perubahan iklim.

SENARAI KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	PERAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	SENARAI KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	xiv
	SENARAI RAJAH	xvii
	SENARAI SINGKATAN	xviii
	SENARAI LAMPIRAN	xx
1	PENDAHULUAN	1
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Pernyataan Masalah	3
	1.3 Persoalan Kajian	8
	1.4 Objektif Kajian	9
	1.5 Skop Kajian	10
	1.6 Signifikan Kajian	11
	1.7 Rancangan Keseluruhan Kajian	13
2	KAJIAN LITERATUR	14
	2.1 Pengenalan	14

2.2	Kandungan Tenaga	14
2.3	Kepentingan Kandungan Tenaga	16
2.4	Kandungan Tenaga Dalam Bangunan	17
2.5	Penggunaan Tenaga Dalam Bangunan	18
2.5.1	Komponen Kitaran Hayat Kandungan Tenaga dan Operasi.	19
2.5.2	Komponen Kandungan Tenaga	20
2.5.3	Model Kitaran Hayat Tenaga	22
2.6	Sempadan Sistem Kandungan Tenaga	26
2.7	Peringkat Kitaran Hayat Kandungan Tenaga Bangunan	28
2.7.1	Kandunga Tenaga Peringkat Pembuatan Bahan	30
2.8	Kandungan Tenaga Disumbangkan Oleh Pengangkutan Bahan	33
2.9	Pengiraan Kandungan Tenaga Pengangkutan	34
2.10	Parameter Bertanggung Jawab Dan Variasi Dalam Data Kandungan Tenaga	37
2.11	Kaedah Analisis Pengiraan Kandungan Tenaga	43
2.11.1	Analisis Berdasarkan Proses	44
2.11.2	Analisis Berdasarkan Input-Output	44
2.11.3	Analisis Hibrid	45
2.11.4	Analisis Pekali Kandungan Tenaga	46
2.12	Variasi Dan Tidak Konsisten Dalam Hasil Pengukuran Kandungan Tenaga	48
2.13	Analisis Kitaran Hayat Tenaga (LCEA)	51
2.14	Tenaga Kitaran Hayat (LCE)	54
2.15	Bahan Api dan Pembakaran	55
2.16	Kandungan Tenaga (Energy Contents)	56
2.17	Kandungan Tenaga dan Emisi Karbon	57
2.17.1	Tenaga Dan Kandungan Karbon	58
2.18	Emisi dan Karbon	60
2.18.1	Emisi	60
2.18.2	Faktor Emisi dari Bahan Api	61
2.18.3	Karbon Dioksida CO ₂	65

2.19	Kandungan Tenaga dan Kandungan Karbon	65
	2.19.1 Pengukuran Impak Terkandung	66
	2.19.2 Kaedah Audit Kandungan Tenaga Dan Karbon	67
2.20	Perbezaan Kandung Tenaga dan Kandungan Karbon	69
2.21	Mengukur Emisi CO ₂	71
2.22	Emisi CO ₂ Pada Pembinaan Perumahan Sederhana di Indonesia	75
2.23	Pengiraan Emisi CO ₂ Pada Pembinaan Perumahan Sederhana di Indonesia	76
2.24	Kandungan Tenaga dan Karbon Dalam Bahan Binaan	79
	2.24.1 Simen	79
	2.24.2 Besi	81
	2.24.3 Konkrit	83
	2.24.4 Papan Lapis	85
	2.24.5 Kayu	86
	2.24.6 Batu Bata	87
	2.24.7 Bumbung Zinc	91
	2.24.8 Jubin Seramik	93
2.25	Analisis Kandungan Tenaga dan Karbon CO ₂	94
	2.25.1 Kerangka Analisis Kandungan Tenaga dan Karbon	95
2.26	Kaedah Pengiraan Kandung Emisi Karbon CO ₂)	97
	2.26.1 Sektor Tenaga	97
	2.26.2 Sektor Industri	97
2.27	Ciri- Ciri Rekabentuk Senibina Rumah Kediaman	99
	2.27.1 Senibina Tropikal	99
	2.27.2 Senibina Klasik	100
	2.27.3 Senibina Minimalis	101
2.28	Ringkasan Bab	103
3	METODOLOGI KAJIAN	104
3.1	Pengenalan	104
3.2	Kaedah Analisis Pengiraan Kandungan Tenaga	105
	3.2.1 Analisis Berasaskan Proses	105

3.2.2	Analisis Berasarkan Input - Output	106
3.2.3	Analisis Berasaskan Hibrid	108
3.2.4	Persediaan Kandungan Tenaga Dan Karbon	108
3.2.5	Simulasi Komputer	109
3.3	Metodologi Kajian	110
3.3.1	Kaedah Kajian Rintis	112
3.3.2	Kaedah Penilaian Bangunan	114
3.4	Proses Pengeluaran Bahan Binaan Kajian	116
3.4.1	Proses Pengeluaran Simen	116
3.4.2	Proses Pengeluaran Besi	119
3.4.3	Proses Pengeluaran Konkrit	123
3.4.4	Proses Pengeluaran Papan Lapis	130
3.4.5	Proses Pengeluaran Kayu	139
3.4.6	Proses Pengeluaran Batu Bata	141
3.4.7	Proses Pengeluaran Bumbung Zinc	142
3.4.8	Proses Pengeluaran Jubin Seramik	144
3.5	Kaedah Analisis Pengiraan Kandungan Tenaga dan Emisssi Karbon Pengeluaran Bahan	153
3.5.1	Kaedah Pengiraan Kandungan Tenaga Pengeluaran Bahan	153
3.5.2	Kaedah Pengiraan Kandungan Karbon Pengeluaran Bahan	154
3.6	Kaedah Analisis Pengiraan Bagi Penentuan Kandungan Tenaga dan Emisssi Karbon Pengangkutan	154
3.6.1	Kaedah Analisis Pengiraan Kandungan Tenaga Pengangkutan	154
3.6.2	Kaedah Analisis Pengiraan Kandungan Emisssi Karbon Pengangkutan	156
3.6.3	Analisis Pengiraan Kandungan Emisssi Karbon Pengangkutan	157
3.7	Analisis Pengiraan Kandungan Tenaga dan Emisssi Karbon Perbandingan Keluasan Lantai Bangunan	159
3.8	Proses Kajian Penilaian Bangunan	159

3.9	Ringkasan Bab	160
4	DATA DAN ANALISIS	161
4.1	Pengenalan	161
4.2	Data Rekabentuk Bangunan Kajian Rintis	162
	4.2.1 Pelan Rekabentuk Bangunan	162
	4.2.2 Komponen Bahan Binaan Dan Kuantiti Bahan	164
4.3	Sumber Bahan Dan Jarak Pengangkutan	166
	4.3.1 Simen	166
	4.3.2 Besi	168
	4.3.3 Konkrit Siapguna	170
	4.3.4 Papan Lapis	172
	4.3.5 Kayu	173
	4.3.6 Batu Bata	175
	4.3.7 Bumbung Zinc	176
	4.3.8 Jubin Seramik	177
4.4	Berat Kemampatan Bahan Binaan Kajian (Mass Kg/m^3)	177
4.5	Penentuan Pengiraan Kadar Kandungan Tenaga dan emisi Karbon CO_2	178
	4.5.1 Data Kandungan Tenaga Dan Emisi karbon Pengeluaran Bahan	178
	4.5.2 Pekali Kandungan Tenaga Pengangkutan	180
4.6	Kadar Pekali Pengiraan Kandungan Emisi Karbon Pengangkutan	181
	4.6.1 Faktor Emisi Dari Bahan Api	181
	4.6.2 Faktor Emisi Pelbagai Kedaraan Pengangkutan	182
4.7	Sumber Bahan Jarak Pengangkutan Dan Jenis Pengangkutan	183
4.8	Jenis Jentera Pengangkutan Bahan Binaan Utama Sumber Tempatan Dan Sumber Regional Rumah Kajian Di Sumatera Barat	187
4.9	Kadar Kandungan Tenaga dan Emisi Karbon Pengeluaran Bahan	197
4.10	Analisis Kandungan Tenaga Dan Emisi Karbon Rumah	

Kajian Rintis	198
4.10.1 Pengiraan Kandungan Tenaga Pengangkutan	199
4.10.2 Pengiraan Kandungan Emisi Karbon Pengangkutan	202
4.11 Kandungan Tenaga Dan Emisi Karbon Setiap Bahan Rumah Kediaman Kajian Rintis	205
4.11.1 Pengiraan Kadar Kandungan Tenaga Setiap Bahan	205
4.11.2 Pengiraan Kandungan Emisi Karbon Setiap Bahan	206
4.12 Kandungan Tenaga Dan Emisi Karbon Rumah Kajian Rintis	207
4.12.1 Kadar Kandungan Tenaga Bahan Binaan	207
4.12.2 Kadar Kandungan Emisi Karbon Bahan Binaan	208
4.12.3 Kandungan Tenaga Berbanding Keluasan Lantai	208
4.12.4 Kandungan Emisi Karbon Berbanding Keluasan Lantai	209
4.13 Data Dan Analisis Rumah Kajian Penilaian Bangunan	
4.13.1 Pelan Reka Bentuk Dan Komponen Bangunan	211
4.13.2 Kuantiti Bahan Dan Keluasan Lantai Bangunan	215
4.13.3 Sumber Bahan Dan Jarak Pengangkutan Bahan	217
4.14 Pengiraan Kandungan Tenaga Berbanding Keluasan Lantai Rumah Kajian Penilaian Bangunan	217
4.15 Pengiraan Kandungan Emisi Karbon Berbanding Keluasan Lantai Rumah Kajian Penilaian Bangunan	220
4.16 Ringkasan Bab	223
5 PENEMUAN DAN PERBINCANGAN	224
5.1 Pengenalan	224
5.2 Objektif Pertama : Mengenalpasti Kaedah Penilaian dan Pengiraan Kandungan Tenaga dan Emisi Karbon Dalam Bahan Binaan	225
5.2.1 Kaedah Penilaian Dan Pengiraan Kandungan Tenaga	225
5.2.2 Kaedah Penilaian Dan Pengiraan Kandungan Karbon	232
5.3 Objektif Kedua : Mengenalpasti Nilai Kadar Kandungan Tenaga Dan Emisi Karbon CO ₂ Dalam Bahan Binaan Rumah Kediaman Kajian di Bandar Padang Propinsi	

Sumatera Barat Indonesia	233
5.3.1 Penemuan Dan Perbincangan Nilai Kandungan Tenaga Dalam Bahan Binaan Rumah Kajian Rintis	233
5.3.2 Penemuan Dan Perbincangan Nilai Kandungan Emisi Karbon Dalam Bahan Binaan Rumah Kajian Rintis	236
5.3.3 Penemuan Dan Perbincangan Kandungan Tenaga Dan Emisi Karbon Setiap Bahan Rumah Kajian Kes di Bandar Padang Sumatera Barat	239
5.3.4 Penemuan Dan Perbincangan Kandungan Tenaga Dan Julat Tertinggi Dan Terendah Dalam Bahan Binaan Utama Rumah Kajian Kes di Sumatera Barat	248
5.4 Objektif Ketiga : Menganalisis dan Merumuskan Kadar Dan Kandungan Tenaga dan Emisi Karbon Dalam Bahan Binaan Berbanding Keluasan Lantai Bangunan	253
5.4.1 Penemuan dan Perbincangan Kadar Kandungan Tenaga Berbanding Keluasan lantai Rumah Kajian Rintis	253
5.4.2 Penemuan dan Perbincangan Kadar Kandungan Tenaga Dan Emisi Karbon Berbanding Keluasan Lantai Rumah Kajian Penilaian Bangunan	259
5.4.3 Penemuan Dan Perbincangan Kadar Kandungan Tenaga Dan Emisi Karbon Berbanding Keluasan Lantai Rumah Kajian Penilaian Bangunan	267
5.4.4 Penemuan Nilai Kadar Kandungan emisi Karbon Berbanding Keluasan Lantai Rumah Penilaian Bangunan	272
5.4.5 Perbincangan Kadar Kandungan Tenaga Julat Tertinggi & Terendah Dalam Bahan Binaan Utama Rumah Kajian Kes Di Bandar Padang Sumatera Barat	274
5.5 Objektif Keempat : Mengenengahkan Ciri - ciri Rekabentuk Bangunan yang Mencapai Kadar Julat Kandungan Tenaga dan Emisi Karbon CO ₂ Yang Terendah	279
5.5.1 Ciri-ciri Rekabentuk Bangunan Yang Mencapai Julat	

	Kandungan Tenaga Terendah.	279
5.5.2	Ciri-ciri Rekabentuk Bangunan Yang Mencapai Julat Kandungan Tenaga Terendah	285
5.6	Ringkasan Bab	286
6	KESIMPULAN DAN CADANGAN	287
6.1	Pengenalan	287
6.2	Kesimpulan	287
6.2.1	Penemuan Objektif Satu	291
6.2.2	Penemuan Objektif Dua	291
6.2.3	Penemuan Objektif Tiga	292
6.2.4	Penemuan Objektif Empat	295
6.3	Aplikasi Bangunan Rendah Tenaga Dan Kandungan Karbon	296
6.4	Cadangan Kajian Lanjutan	299
	RUJUKAN	301
Lampiran	A - E	316 - 326

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Contoh kadar kandungan tenaga dalam bahan binaan	15
2.2	Kadar kandungan tenaga bahan-bahan sederhana dan tenaga pengangkutan	37
2.3	Matriks parameter kandungan tenaga menunjukkan variasi dari penyelidikan	38
2.4	Menunjukkan kepelbagaian nilai kandungan tenaga mengikut kuantiti unit kawasan lantai yang diperolehi oleh pelbagai penulis	49
2.5	Jenis kandungan tenaga (<i>Energy content</i>)	57
2.6	Faktor emisi CO ₂ berdasarkan jenis bahan api	61
2.7	Faktor emisi CO ₂ berasaskan jenis kenderaan	62
2.8	Faktor ketetapan IPCC pelepasan untuk kapal laut	62
2.9	Nilai asas emisi CO ₂ bahan binaan (H _{de})	74
2.10	Faktor emisi bahan api	77
2.11	Kadar kandungan emisi karbon CO ₂ pembuatan bahan binaan utama per unit bahan di Indonesia	78
2.12	Sumber tenaga dan % (<i>EmE</i>) dan (<i>EmC</i>) pengeluaran simen	80
2.13	Pekali tenaga terkandung dan karbon pengeluaran simen	81
2.14	Pekali kandungan tenaga dan karbon pengeluaran besi	82
2.15	Kualiti konkrit dan perbandingan penggunaan bahan	83
2.16	Kualiti konkrit dan pekali kandungan tenaga dan emisi karbon pengeluaran konkrit siapguna	84
2.17	Sumber tenaga dan % (<i>EmE</i>) dan (<i>EmC</i>) pengeluaran kayu	86
2.18	Pekali kandungan tenaga dan karbon pengeluaran kayu	86

2.19	Nilai kandungan tenaga untuk batu bata tanah liat yang dibakar	89
2.20	Kandung tenaga bahan binaan kajian semasa vs data literature	90
2.21	Sumber tenaga dan % (<i>EmE</i>) dan (<i>EmC</i>) pengeluaran zinc	92
2.22	Pekali kandungan tenaga dan karbon pengeluaran zinc	92
2.23	Sumber tenaga dan % (<i>EmE</i>) dan (<i>EmC</i>) pengeluaran seramik	94
2.24	Pekali kandungan tenaga dan karbon pengeluaran jubin seramik	94
4.1	Komponen bangunan dan spesifikasi bahan rumah kajian rintis	165
4.2	Kuantiti bahan binaan utama rumah kajian rintis	165
4.3	Berat kemampatan bahan (Mass kg/m^3) bahan binaan	178
4.4	Nilai kadar pekali kandungan tenaga pengeluaran bahan binaan utama rumah kajian rintis	179
4.5	Nilai kadar kandungan emisi karbon pengeluaran bahan binaan utama rumah kajian rintis	179
4.6	Pekali kandungan tenaga (<i>EmE</i>) pelbagai jenis pengangkutan	180
4.7	Faktor emisi CO_2 berasaskan jenis bahan api	181
4.8	Faktor emisi CO_2 berasaskan jenis jentera pengangkutan	182
4.9	Faktor pelepasan karbon bagi kapal laut	182
4.10	Sumber bahan, peringkat pengangkutan dan jarak pengangkutan bahan binaan rumah kajian rintis	185
4.11	Jenis bahan binaan jarak pengangkutan jenis pengangkutan dan pekali tenaga pengangkutan	186
4.12	Kadar kandungan tenaga pengeluaran bahan dan kandungan karbon pengeluaran setiap bahan binaan rumah kajian rintis	198
4.13	Pengiraan kadar kandungan tenaga pengangkutan setiap bahan MJ/tan/km rumah kediaman kajian rintis	200
4.14	Pengiraan jumlah keseluruhan nilai kadar kandungan tenaga pengangkutan bahan (MJ/tan) rumah kediaman kajian rintis	201
4.15	Pengiraan kandungan emisi karbon pengangkutan setiap bahan Rumah kediaman kajian rintis di Bandar Padang	203
4.16	Pengiraan kandungan emisi karbon pengangkutan setiap bahan rumah kediaman kajian rintis di Bandar Padang	204
4.17	Kadar kandungan tenaga (MJ/tan) setiap bahan rumah kediaman kajian rintis di Bandar Padang	205
4.18	Kadar kandungan emisi karbon (CO_2/tan) setiap bahan	

	rumah kediaman kajian rintis	206
4.19	Kadar kandungan tenaga (MJ/tan) rumah kajian rintis	207
4.20	Kandungan emisi karbon (CO ₂ /tan) rumah kediaman kajian rintis di Bandar Padang	208
4.21	Kandungan tenaga berbanding keluasan lantai rumah kajian rintis	209
4.22	Pengiraan kandungan emisi karbon berbanding keluasan lantai rumah kediaman kajian rintis (tCO ₂ /m ²)	210
4.23	Data rekabentuk dan komponen bangunan lima rumah kajian penilaian bangunan di Bandar Padang Sumatera Barat	215
4.24	Kuantiti bahan binaan dalam unit (kg/m ³) bagi lima rumah kajian penilaian bangunan	216
4.25	Kuantiti bahan binaan dalam unit (tan) dan keluasan lantai bangunan (m ²) lima rumah kajian penilaian bangunan	216
4.26	Kandungan tenaga rumah (R.1)	218
4.27	Kandungan tenaga rumah (R.2)	218
4.28	Kandungan tenaga rumah (R.3)	219
4.29	Kandungan tenaga rumah (R.4)	219
4.30	Kandungan tenaga rumah (R.5)	220
4.31	Kandungan emisi karbon rumah (R.1)	221
4.32	Kandungan emisi karbon rumah (R.2)	221
4.33	Kandungan emisi karbon rumah (R.3)	222
4.34	Kandungan emisi karbon rumah (R.4)	222
4.35	Kandungan emisi karbon rumah (R.5)	223
5.1	Pekali kandungan tenaga pelbagai jenis pengangkutan	232
5.2	Kadar kandungan tenaga dan emisi karbon pengeluaran bahan binaan utama rumah kes kajian	234
5.3	Penemuan kadar kandungan tenaga pengangkutan (MJ/tan/km) setiap bahan di Bandar Padang Sumatera Barat	235
5.4	Penemuan kadar kandungan tenaga dan emisi karbon setiap bahan rumah kajian rintis tapak di Bandar Padang	236
5.5	Penemuan kadar kandungan tenaga dan emisi karbon setiap bahan rumah kajian rintis di Bandar Padang	237
5.6	Penemuan Kandungan tenaga berbanding keluasan lantai	

	rumah kajian rintis unit (GJ/m ²)	254
5.7	Pengiraan Kandungan emisi karbon berbanding keluasan lantai rumah kediaman kajian rintis (tCO ₂ /m ²)	256
5.8	Purata Penemuan kadar kandungan tenaga bahan binaan utama yang tertinggi dan terendah unit (MJ/tan) lima rumah kajian penilaian bangunan	261
5.9	Penemuan purata kadar kandungan tenaga bahan binaan utama yang tertinggi dan terendah unit (GJ) lima bangunan rumah kajian penilaian bangunan	262
5.10	Penemuan kadar purata kandungan tenaga bahan binaan berbanding keluasan lantai rumah kajian penilaian bangunan (GJ/m ²)	263
5.11	Penemuan purata kadar kandungan karbon bahan binaan yang terendah dan tertinggi rumah kajian penilaian bangunan (CO ₂ /tan)	264
5.12	Penemuan jumlah & purata kadar kandungan emisi karbon delapan bahan binaan utama rumah kajian penilaian bangunan (tCO ₂)	265
5.13	Penemuan purata kandungan karbon berbanding keluasan lantai terendah & tertinggi rumah kajian penilaian bangunan (tCO ₂ /m ²)	266
5.14	Menunjukkan kepelbagaian nilai kandungan tenaga mengikut Kuantiti unit kawasan lantai yang diperolehi oleh pelbagai penyelidik	270
5.15	Ciri - ciri reka bentuk bangunan yang memiliki kadar julat kandungan tenaga terendah dari lima rumah kajian penilaian bangunan	283
5.16	Ciri - ciri reka bentuk bangunan yang memiliki julat kandungan karbon tCO ₂ /m ² terendah dari lima rumah rumah kajian penilaian bangunan	283

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Rangaka Kerja Kajian	13
2.1	Model kitaran hayat tenaga (LCE) untuk bangunan	18
2.2	Ilustrasi kandungan tenaga dan karbon kitaran hayat sebuah bangunan	20
2.3	Model kandungan tenaga untuk bangunan	23
2.4	Sempadan sistem kandungan tenaga	27
2.5	Sempadan sistem dan peringkat kitaran hayat bangunan	28
2.6	Peringkat kitaran hayat kandungan tenaga	30
2.7	Tenaga pengangkutan yang lebih tinggi daripada beberapa bahan binaan	34
2.8	Nilai kadar pekali kandungan tenaga pelbagai pengangkutan	35
2.9	Sempadan sistem tenaga terkandung bangunan	39
2.10	Perbezaan nilai kandungan tenaga dalam bangunan kediaman	49
2.11	Perbezaan angka kandungan tenaga dalam bangunan komersial	50
2.12	Sempadan sistem analisis tenaga kitaran hayat	51
2.13	Korelasi kandungan tenaga dan karbon	60
2.14	Sempadan sistem kitaran hayat tenaga	66
2.15	Proses eksploitasi pengolahan sumber daya alam menggunakan peralatan	72
2.16	Perbandingan kandungan tenaga bata tanah liat yang dibakar dari kajian literature	90
2.17	Analisis kandungan tenaga dan CO ₂ Framework (ISO 2006)	96

3.1	Rangka kerja metodologi kajian	111
3.2	Perbandingan paraturan bahan mentah dalam kandungan simen	117
3.3	Alur proses pengeluaran bahan simen di Indonesia	119
3.4	Contoh keluli jenis Rond dan Bar untuk bangunan	120
3.5	Proses pengeluaran bahan asas besi dan keluli	122
3.6	Proses pengeluaran bahan besi dan keluli	123
3.7	Gambar jentera pengeluaran konkrit siapguna	126
3.8	Flow diagram proses pengeluaran konkrit siapguna	127
3.9	Proses agregat plan bahan mentah konkrit di tapak stok pile	128
3.10	Pelan proses konkrit siapguna pada banching plant	129
3.11	Proses pengeluaran konkrit siapguna pada baching plant	130
3.12	Diagram proses pengeluaran papan lapis	131
3.13	Jenis peralatan yang digunakan dalam pengeluaran papan lapis	131
3.14	Contoh seleksi log bahan mentah papan lapis	132
3.15	Proses (Rotary cuttings) proses pengupasan kayu awal	133
3.16	Mesin (Rotary Cuttings) proses pengupasan kayu menjadi Vinir	134
3.17	Proses penyortiran Vinir	134
3.18	Proses pengeringan vinir	135
3.19	Proses perekatan vinir	136
3.20	Proses pengempaan papan lapis	136
3.21	Proses pengkondisian papan lapis	137
3.22	Proses remanufacturing papan lapis	138
3.23	Proses akhir aktifiti packing papan lapis	138
3.24	Proses penebangan dan pengeluaran kayu industri	140
3.25	Proses pengeluaran batu bata tradisi	142
3.26	Diagram proses pengeluaran bumbung zinc	143
3.27	Contoh jubin seramik dengan berbagai saiz motif dan warna	145
3.28	Proses pengeluaran jubin seramik	146
3.29	Proses penyiapan bahan mentah seramik	148
3.30	Proses pembentukan (forming) seramik	149
3.31	Proses pengeringan jubin seramik	150
3.32	Proses pembuatan motif dan glazinc jubin seramik	150
3.33	Proses pembakaran seramik	151
3.34	Proses penyempurnaan seramik	152

3.35	Proses pengepakan (Packing) produk seramik	152
4.1	Pelan rekabentuk bangunan rumah kajian rintis	163
4.2	Gambar tampak muka bangunan rumah kajian rintis selepas Pembinaan	164
4.3	Peta jarak pengangkutan simen dari kilang ke gudang pembekal	167
4.4	Peta jarak pengangkutan bahan simen dari pedagang ke tapak bangunan rumah kajian rintis	167
4.5	Peta jarak pengangkutan keluli dari kilang Cilegon ke pelabuhan kapal Tanjung Priuk Jakarta	169
4.6	Peta jarak pengangkutan keluli dari pelabuhan Tjg Priuk Jakarta ke pelabuhan kapal Teluk Bayur Padang Sumatera Barat	169
4.7	Peta jarak pengangkutan keluli dari pelabuhan kapal Teluk bayur ke gudang pembekal	169
4.8	Peta jarak pengangkutan keluli dari gudang pembekal ke tapak pembinaan	170
4.9	Peta jarak pengangkutan penghantaran konkrit siapguna ke tapak pembinaan rumah kajian rintis	171
4.10	Peta jarak pengangkutan papan lapis dari kilang ke gudang pembekal	172
4.11	Peta jarak pengangkutan papan lapis dari gudang pembekal Ke tapak	172
4.12	Peta jarak pengangkutan kayu dari kilang hingga gudang pembekal	174
4.13	Peta jarak pengangkutan kayu dari pedagang ke tapak pembinaan	174
4.14	Peta jarak pengangkutan batu bata dari kilang ke tapak pembinaan	175
4.15	Gambar jentera pengangkutan simen	187
4.16	Gambar jentera pengangkutan konkrit siapguna	188
4.17	Gambar jentera pengangkutan kayu	189
4.18	Gambar jentera pengangkutan papan lapis	190
4.19	Gambar jentera pengangkutan batu bata	191
4.20	Gambar jentera pengangkutan keluli	193
4.21	Gambar jentera pengangkutan bumbung zinc	195
4.22	Gambar jentera pengangkutan jubin seramik	197
4.23	Gambar tampak muka rumah kajian penilaian bangunan (R.1)	211
4.24	Gambar tampak muka rumah kajian penilaian bangunan (R.2)	212

4.25	Gambar tampak muka rumah kajian penilaian bangunan (R.3)	213
4.26	Gambar tampak muka rumah kajian penilaian bangunan (R.4)	214
4.27	Gambar tampak muka rumah kajian penilaian bangunan (R.5)	214
5.1	Lukisan graf kadar kandungan tenaga (MJ/tan) setiap bahan rumah kajian rintis	237
5.2	Lukisan graf kadar kandungan karbon CO ₂ setiap bahan rumah kajian rintis	238
5.3	Lukisan graf kandungan tenaga (GJ/m ²) rumah kajian rintis	255
5.4	Lukisan graf kandungan karbon (tCO ₂ /m ²) rumah kajian rintis	256
5.5	Lukisan graf kandungan tenaga berbanding keluasn lantai lama rumah kajian penilaian bangunan (GJ ₂ /m ²)	268
5.6	Lukisan graf kandungan emisi karbon berbanding keluasan lantai lama rumah kajian penilaian bangunan (tCO ₂ /m ²)	273
6.1	Lukisan graf kadar kandungan tenaga setiap bahan rumah kajian rintis	291
6.2	Lukisan graf kadar kandungan emisi karbon setiap bahan rumah kajian rintis	292
6.3	Lukisan graf kadar kandungan tenaga berbanding keluasan lantai rumah kajian penilaian bangunan (GJ/m ²)	294
6.4	Lukisan graf kadar kandungan emisi karbon berbanding keluasan lantai rumah kajian penilaian bangunan (tCO ₂ /m ²)	295

SENARAI SINGKATAN

ANLT	-	<i>Argone National Laboratory of Transportation</i>
CSIRO	-	<i>Commonwealth Scientific Industry Research Organitsation</i>
DE	-	<i>Demolition Energy</i>
DEFRA	-	<i>Department For Environment Food & Rural Affairs</i>
EmE	-	<i>Embodied Energy</i>
EmC	-	<i>Embodied Carbon</i>
EC	-	<i>Energy Content</i>
FE	-	Faktor Emissi
GRH	-	Gas Rumah Hijau
GJ	-	Giga Joule
ICE	-	<i>Iventory Carbon & Energy</i>
IEE	-	<i>Initial Embodied Energy</i>
IEA	-	<i>International Energy Agency</i>
I-O	-	<i>Input – Output</i>
IPCC	-	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IDO	-	<i>Industrial Diesel Oil</i>
ISO	-	<i>International Standard Organisation</i>
KEPRES	-	Keputusan Presiden
LCA	-	<i>Life Cycle Analysis</i>
LCE	-	<i>Life Cycle Energy</i>
LCEA	-	<i>Life Cycle Energy Analysis</i>
LCEE	-	<i>Life Cycle Embodied Energy</i>
LCEM	-	<i>Life Cycle Energy Model</i>
LIM	-	<i>Leontief's Inverse Matrix</i>
MG	-	Mega Joule

Mpa	-	Mega Pascal
OE	-	<i>Operating Energy</i>
PSA	-	<i>Power Series Approximation</i>
PPRI	-	Peraturan Pemerintah Republik Indonesia
PU	-	Kerja Umum
REE	-	<i>Recurring Embodied Energy</i>
SAIC	-	<i>Scientific Applications International Corporation</i>
SDM	-	Sumber Daya Manusia
SNI	-	Standart Nasional Indonesia
UK	-	<i>United Kingdom</i>
USEPA	-	<i>United State Environment Protection Agency</i>
WBCSD	-	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
WRI	-	<i>World Resource Institute</i>
ZE	-	<i>Zero-Emmission</i>

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	Pelan Rekabentuk Rumah Penilaian Bangunan (R.1)	316
B	Pelan Rekabentuk Rumah Penilaian Bangunan (R.2)	318
C	Pelan Rekabentuk Rumah Penilaian Bangunan (R.3)	320
D	Pelan Rekabentuk Rumah Penilaian Bangunan (R.4)	322
E	Pelan Rekabentuk Rumah Penilaian Bangunan (R.5)	324

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan

Penjimatan tenaga dan menjaga persekitaran telah menjadi bahagian integral dari kajian senibina. Penjimatan tenaga dan menjaga persekitaran dalam pembinaan pada tahap reka bentuk bangunan masa ini telah semakin penting, dan menjadi cabaran bagi pereka bentuk (arkitek) bagi membina bangunan yang jimat tenaga, mesra persekitaran dan lestari. Oleh kerana itu, penjimatan tenaga dan menjaga persekitaran dalam pembinaan semasa dan masa hadapan telah menjadi semakin penting bagi mencapai persekitaran hayat yang sihat.

Sektor industri dan pembinaan, memainkan peranan penting dalam penggunaan tenaga di seluruh dunia, dan memiliki pengaruh signifikan terhadap jumlah penggunaan tenaga dan sumber daya alam serta emisi karbon yang dihasilkan. Industri adalah salah satu pengguna tenaga komersial terbesar dalam bentuk elektrik atau haba, dengan pembakaran langsung bahan api fosil. Pembinaan, bersama dengan dukungan industri, ialah salah satu pengguna terbesar sumber daya alam dan tenaga global, baik yang terbaharukan mahupun bukan terbaharukan, yang berimpak negatif terhadap bumi dan kerosakan persekitaran jangka panjang. (Dixit MK *et al.*,2010).

Penilaian kualiti persekitaran akibat penggunaan bahan-bahan binaan pada dekade ini telah mendapat perhatian yang lebih signifikan akibat dari berbagai kerosakan persekitaran yang diakibatkan oleh aktiviti sektor industri dan pembinaan. Meskipun industri binaan sangat penting untuk pembangunan sosial dan ekonomi suatu negara, impak dari persekitaran proses yang signifikan perlu untuk diambil kira. Penyelidikan terbaharu telah mengidentifikasi bahawa bangunan di seluruh dunia bertanggung jawab atas 30% hingga 40% dari penggunaan tenaga, dan 40% hingga 50% dari emisi gas rumah hijau global (Rashid AF *et al.*, 2013).

Bangunan adalah pengguna utama tenaga dan sumber daya alam di seluruh dunia. Bahan binaan dan komponen bangunan mengkonsumsi hampir 40 % dari tenaga global setiap tahun di tahap kitaran hayat mereka, seperti penyediaan bahan mentah, pengeluaran bahan, pengangkutan, pembinaan ditapak, penggunaan, pelupusan hingga pembuangan akhir (Dixit MK *et al.*, 2012). Tenaga dalam sektor bangunan dapat dilihat dari dua perspektif yang berbeza, kandungan tenaga (*Embodied Energy*) dan tenaga operasi (*Operating Energy*).

Kandungan tenaga (*Embodied Energy*) didefinisikan sebagai jumlah penggunaan tenaga (bahan api minyak, elektrik, bahan, dan kuasa manusia) yang digunakan bagi membuat sesuatu produk. Kandungan tenaga (*Embodied Energy*) adalah suatu kaedah perakuan (*Audit*) tenaga yang bertujuan untuk mengenal pasti jumlah keseluruhan tenaga yang diperlukan bagi sebuah kitaran hayat produk. Kitaran hayat ini termasuk ekstraksi bahan mentah, pengeluaran bahan, pengangkutan, dan perakitan bangunan, penyelenggaraan, ubahsuai, perobohan, dan pelupusan akhir (Pearce *et al.*, 2007). Kandungan tenaga (*Embodied Energy*) diukur sebagai suatu kuantiti tenaga tidak boleh diperbaharui bagi setiap unit bahan, komponen atau sistem.

Setakat ini, penggunaan tenaga operasi bangunan dianggap lebih besar dalam total tenaga kitaran hayat bangunan. Namun kerana munculnya peralatan jimat tenaga dan bahan amplop yang efektif dan kinerja tinggi, potensi membatasi tenaga

operasi telah meningkat, dan penekanan konservasi tenaga pada bangunan masa ini telah beralih kepada kandungan tenaga (*Embodied Energy*) dalam bahan binaan (Dixit.MK.*et al.*, 2010; R.Spence dan H Mulligan,1995).

Beberapa kajian telah mengambilkira kepentingan kandungan tenaga dalam bahan binaan adalah penting, dan telah membuktikan, bahawa penggunaan teknologi yang lebih baik, jimat tenaga boleh mengurangkan kandungan tenaga (*Embodied Energy*) dalam bahan binaan, dan meminimakan pelepasan emisi karbon yang dihasilkan jika menggunakan bahan-bahan intensif dan tenaga yang rendah (Dixit MK.*et al.*, 2012).

Penyelidikan ini berfokus kepada penilaian dan pengiraan kandungan tenaga dan kandungan emisi karbon dalam bahan binaan rumah kediaman di Bandar Padang Propinsi Sumatera Barat, Indonesia terhadap satu unit bangunan rumah kediaman kajian rintis (rumah banglo) dua tingkat yang dalam masa proses pembinaan dan, lima unit rumah binaan sendiri rumah kajian penilaian bangunan, penilaian kandungan tenaga dan kandungan emisi karbon CO₂ dalam bahan binaan terhadap lima unit rumah kediaman kes kajian tipologi bangunan yang sama, pada kawasan kajian di Bandar Padang Propinsi Sumatera Barat, Indonesia.

1.2 Pernyataan Masalah

Dunia masa ini sedang menghadapi dua cabaran utama dalam sektor tenaga, sumber bekalan tenaga yang tidak mencukupi dan mahal, serta kesan negatif aktiviti manusia keatas alam sekitar. Lebih dari tiga dekade lalu, konservasi tenaga menjadi isu yang diakui orang ramai di negara-negara berkembang, kerana krisis minyak OPEC,1974. Masa ini, konservasi tenaga telah menjadi isu global kerana mulai berkurangnya sumber bekalan bahan api fosil secara ekonomi, dan potensi

peningkatan gas rumah hijau, serta tingginya kos bagi sumber tenaga alternatif seperti tenaga solar, dan tenaga angin (Treloar.1998).

Pada tahun 2006, bangunan sahaja menghabiskan hampir 37,% tenaga dunia, dan angka ini diperkirakan meningkat hingga mencapai 42 peratus pada tahun 2030 (IPPC report.2010). Aktifiti industri dan pembinaan tidak hanya mengkonsumsi tenaga terbesar, tetapi juga menyebabkan pencemaran persekitaran dan emisi gas rumah hijau, yang menyebabkan perubahan iklim (*Climate Change*) dan pemanasan global (*Global warming*). Meningkatnya pertumbuhan penduduk global, kemajuan teknologi dan meningkatnya perekonomian menyebabkan meningkat pula penggunaan tenaga. *International Energy Agency* (IEA) melaporkan peningkatan konsumsi tenaga global hampir 2 kali ganda, dari 6.128. Mtoe, pada tahun 1993, hingga 11.435 Mtoe. tahun 2009. *International Energy Agency* (IEA) Report, (2010).

Program pengurangan pelepasan gas rumah hijau global untuk mengelakkan kesan negatif perubahan iklim global merupakan salah satu topik utama dalam agenda politik di seluruh dunia. Merujuk kepada penerbitan laporan perubahan iklim *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) Report (2010), laporan itu menunjukkan peningkatan yang ketara pelepasan CO₂ global dari pada dekade yang lalu. Menurut Calkins (2009) pemanasan global yang terjadi masa ini tidak secara langsung disebabkan oleh tingginya konsumsi tenaga, akan tetapi lebih disebabkan oleh jenis dan sumber tenaga yang digunakan. Penggunaan tenaga bahan api fosil penyumbang terbesar dalam meningkatnya pemanasan global, kerana 56.6% emisi CO₂ dunia dihasilkan dari sektor tenaga (IPCC Report, 2010).

Indonesia masa ini sudah masuk dalam taraf krisis tenaga, kerana lebih 25.% daripada keperluan tenaga nasional adalah import, Indonesia dianggap oleh banyak pengamat dan penyelidik salah satu negara yang paling tidak jimat dalam penggunaan tenaga dikawasan Asia, dan sektor industri di Indonesia tertinggal dalam konversi tenaga (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia 2012). Di Indonesia espek kandungan tenaga yang tertanam dalam bahan binaan sebagai konsep

penjimatan tenaga pada bangunan belum di ambilkira dan di amalkan, semestinya hal ini penting diambilkira, dan perlu pengkajian serius, yang perlu disokong dengan undang-undang, bagi usaha penjimatan tenaga dalam pengeluaran bahan binaan keluaran industri, bagi keperluan pembinaan masa ini dan masa hadapan.

Emissi GHG (*Green House Gases*) di Indonesia telah mencapai pada taraf yang mengkhawatirkan. Indonesia menempati posisi ketiga, setelah USA dan China, sebagai negara dengan emissi GHG terbesar di dunia. Meningkatnya emissi GHG di Indonesia bersumber dari penggunaan tenaga. Sebagai negara berkembang, pertumbuhan konsumsi tenaga di Indonesia sangat tinggi. Selama periode 1970-2003, pertumbuhan konsumsi tenaga akhir di Indonesia mencapai purata 7 peratus per tahun, sedangkan pertumbuhan tenaga primer mencapai sekitar 8.5 peratus per tahun. Angka tersebut jauh melebihi konsumsi tenaga dunia dan negara-negara APEC yang masing-masing sekitar 2.6 peratus dan 1.2 peratus per tahun. Kondisi tersebut diperburuk dengan kenyataan bahawa konsumsi tenaga di Indonesia mayoriti oleh tenaga fosil. Data tahun 2004 menunjukkan minyak, gas alam, dan arang batu mempunyai sumbangan sekitar 93 peratus terhadap konsumsi tenaga nasional, dengan kontribusi masing-masing minyak sebesar 52.50 peratus, gas alam 19,04 peratus, dan arang batu 21,52 peratus, sedangkan sisanya sekitar 7 peratus berasal dari tenaga terbaharukan yaitu tenaga air dan panas bumi (Kementerian Lingkungan Republik Indonesia, 2005).

Dalam pembinaan masa ini kita tidak lagi meningkatkan kualiti hidup kita, sebab kerosakan persekitaran yang terjadi, sebagai akibatnya samada dengan penurunan kualiti hidup manusia (Cole RJ dan Keman PC,1996). Pembinaan yang semestinya dilakukan untuk meningkatkan kualiti hidup manusia sebaliknya telah menjadi penyumbang terbesar kepada kerosakan alam dan persekitaran. Tidak dapat dielakkan, hal tersebut menjadi cabaran besar, sebab ekosistem global kita saat ini sudah mulai rosak, kerana dieksploitasi secara berlebihan, belum lagi polusi akibat kesan penggunaan tenaga bahan api fosil (Langston, 2008).

Sektor industri dan pembinaan sebagai pengguna bahan dan sumber tenaga terbesar, memberikan peranan besar dalam penurunan kualiti persekitaran jangka panjang. (Crowthe, 1999; Ding, 2004). Mengintegrasikan bahan-bahan binaan hijau (*Green materials*) menjimatkan penggunaan tenaga kedalam projek-projek bangunan dengan mengambilkira kandungan tenaga (*Embodied Energy*) dalam bahan binaan boleh membantu mengurangkan impak persekitaran yang berkaitan dengan proses pengekstrakan bahan mentah, pengeluaran bahan, pengangkutan, pemasangan, hingga pelupusan akhir dan penggunaan semula, kitar semula (Spiegel dan Meadows, 1999).

Sebagaimana fenomena yang terjadi di negara-negara lain, emisi GHG di Indonesia di dominasi oleh CO₂. Merujuk kepada data yang di dikeluarkan oleh Kementerian Sumber Daya & Energi RI, (2005) dan Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia (2005), CO₂ yang dihasilkan oleh penggunaan tenaga mayoritas sekitar 99 peratus emisi GHG sedangkan sisanya sekitar 1 peratus dihasilkan oleh metana (CH₄) dan dinitro oksida (N₂O). Sementara itu berdasarkan sumbernya, lebih dari 80 peratus emisi CO₂ dihasilkan oleh tiga sektor utama, yaitu pembangkit tenaga elektrik, industri, dan pengangkutan, sedangkan sisanya berasal dari rumah tangga dan komersial, dan sektor-sektor lainnya. Besarnya peran pembangkit elektrik, industri, dan pengangkutan terhadap emisi CO₂ merupakan sesuatu yang wajar mengingat ketiga sektor tersebut merupakan pengguna tenaga terbesar dengan trend yang meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi.

Pemerintah Indonesia telah bertekad untuk mengurangkan kebergantungan pada minyak dengan di keluarkannya Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2006 yang dikenal dengan cetak biru (*blue print*) pengelolaan tenaga nasional. Salah satu sasaran yang ingin dicapai oleh kebijakan tersebut adalah mengurangi peranan minyak bumi dari sekitar 52 peratus menjadi 20 peratus dari total penggunaan tenaga nasional pada tahun 2025 serta terjadinya bauran sumber tenaga primer (*energy mix*) yang optima. Pada tahun 2025 peranan minyak bumi akan digantikan oleh arang batu 33 peratus, gas alam 20 peratus, serta tenaga terbaharukan 15 peratus (Kementrian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2006).

Konsep kandungan tenaga (*Embodied Energy*) dalam bahan binaan telah dikaji beberapa dekade yang lalu oleh penyelidik dalam hubungan penjimatan tenaga dalam bahan binaan, dan kesan alam persekitaran. (Cole RJ dan Keman PC,1999). Kerana isu penjimatan tenaga dan persekitaran dianggap semakin penting, kaedah kandungan tenaga (*Embodied Energy*) pula telah bergeser dan menjadi penting, sebagai konsep baharu bagi penjimatan penggunaan tenaga melalui pengeluaran bahan binaan industri, (Pullen S, 2007). Meningkatnya keperluan akan rumah kediaman setiap tahun, bagi semua golongan di Indonesia, akitek, kontraktor dan pemaju ramai belum memahami konsep dan amalan terbaik dalam penjimatan tenaga yang cekap, tidak hanya dalam tenaga operasi, termasuk penjimatan tenaga terhadap espek kandungan tenaga (*Embodied Energy*) dalam bahan binaan.

Kajian telah menunjukkan bahawa penilaian aspek kandungan tenaga (*Embodied Energy*) dalam bahan binaan, adalah penting, bagi tujuan penjimatan penggunaan tenaga dan mengurangkan impak pencemaran persekitaran jangka panjang (Crowthe,1999; Ding, 2004). Walaupun banyak kerja oleh penyelidik, masih ada kekurangan data yang tepat dalam industri. Ini disebabkan kerana kebanyakan pengilang keberatan untuk menyiarkan angka-angka yang boleh mendedahkan rumusan atau formula bahan-bahan yang sulit, atau mendedahkan produk mereka kepada kritikan alam sekitar yang tidak wajar. (Langston, 2008).

Daripada huraian di atas, beberapa perkara penting yang menjadi asas kajian ini ialah :

- i. Telah terjadi peningkatan kosentrasi emisi CO_2 di atmosfera yang disebabkan oleh penggunaan tenaga bahan api fosil.
- ii. Emisi GHG (*Green House Gases*) di Indonesia telah mencapai pada taraf yang mengkhawatirkan. Indonesia menempati posisi ketiga, setelah USA dan China, sebagai negara dengan emisi GHG terbesar di dunia.

- iii. Indonesia masa ini sudah dalam taraf krisis tenaga, lebih 25 % dari keperluan tenaga nasional adalah di import.
- iv. Indonesia dianggap oleh banyak pengamat dan penyelidik, salah satu negara yang paling tidak jimat dalam penggunaan tenaga di kawasan Asia, dan sector industri di Indonesia tertinggal dalam konversi tenaga
- v. Kandungan tenaga (*Embodied energy*) dalam bahan-bahan binaan memberi kesan negatif kepada alam sekitar jangka panjang,
- vi. Nilai kadar kandungan tenaga (*Embodied Eenergy*) dalam bahan-bahan binaan adalah penting, dan perlu diketahui oleh akitek semasa tahap rekabentuk.
- vii. Perekabentuk di Indonesia seboleh mungkin memilih bahan-bahan binaan yang jimat tenaga dan kandungan tenaga yang rendah dan rendah kadar emisi karbonnya, tetapi kini tidak diketahui nilainya.

1.3 Persoalan Kajian

Berasaskan perbincangan tentang permasalahan kajian diatas, beberapa persoalan kajian telah dibentuk, sebagai panduan asas kepada keseluruhan pelaksanaan kajian ini, persoalan-persoalan tersebut dihuraikan seperti beruikut:

- i. Bagaimanakah amalan bagi menilai dan mengira kandungan tenaga (*Embodied Energy*) dan mengira kandungan emisi karbon CO₂ (*Embodied Carbon*) dalam bahan binaan rumah kediaman di Indonesia.
- ii. Bagaimanakah konsep dan kaedah analisis bagi mengira kandungan tenaga (*Embodied Energy*) dan pengiraan kandungan emisi karbon CO₂ (*Embodied*

Carbon) dalam bahan binaan, yang boleh di rujuk bagi menilai dan mengira rumah kes kajian di Bandar Padang Propinsi Sumatera Barat Indonesia.

- iii. Berapakah kadar kandungan tenaga (*Embodied Energy*) tenaga pengeluaran bahan dan tenaga pengangkutan (*Transport energy*) bagi setiap jenis bahan-bahan binaan utama yang dikaji yang telah digunakan terhadap rumah kajian rintis, dan lima unit rumah kediaman penilaian bangunan kes kajian di Bandar Padang Sumatera Barat, Indonesia.
- iv. Berapakah kadar kandungan tenaga (*Embodied Energy*) bagi setiap bahan binaan utama rumah kajian dan purata kandungan tenaga bangunan berbanding keluasan lantai masing-masing bangunan, dengan kadar Giga Joule (GJ/m^2) terhadap keseluruhan rumah kediaman kes kajian.
- v. Berapakah kadar kandungan emisi karbon (*Embodied Carbon*) bagi setiap bahan-bahan binaan utama rumah kajian dan masing-masing bangunan berbanding dengan keluasan lantai bangunan dalam unit tCO_2/m^2 bagi rumah kajian rintis dan lima unit rumah kajian penilaian bangunan, tapak bangunan pada kawasan Bandar Padang Propinsi Sumatera Bara, Indonesia.

1.4 Objektif Kajian

Matlamat utama kajian ini ialah, menilai dan mengira kandungan tenaga (*Embodied Energy*) dan kandungan emisi karbon CO_2 (*Embodied Carbon*) dalam bahan binaan utama rumah kediaman yang dipilih yang telah digunakan dalam pembinaan rumah kediaman pada kawasan kajian di Bandar Padang Propinsi Sumatera Barat, Indonesia terhadap satu unit rumah kajian rintis dalam masa pembinaan, dan lima unit rumah kediaman penilaian bangunan kajian kes.

Bagi mencapai matlamat kajian tersebut beberapa objektif khusus telah dikenal pasti iaitu :

- i. Mengenalpasti kaedah penilaian dan kaedah analisis pengiraan kandungan tenaga dan kandungan emisi karbon CO₂ dalam bahan binaan.
- ii. Menyelidiki dan mengenalpasti kandungan tenaga dan emisi karbon CO₂ dalam setiap bahan binaan utama rumah kediaman kajian kes di Bandar Padang Propinsi Sumatera Barat, Indonesia.
- iii. Menganalisis dan merumuskan kadar dan julat kandungan tenaga dan emisi karbon bahan - bahan binaan utama berdasarkan keluasan lantai bangunan.
- iv. Mengenengahkan ciri-ciri rekabentuk bangunan rumah kediaman kajian yang mencapai kadar kandungan tenaga dan emisi karbon CO₂ yang rendah.

1.5 Skop Kajian

Kajian ini di jalankan di Bandar Padang propinsi Sumatera Barat, Indonesia menjalankan kajian rintis (detail survey) terhadap satu unit rumah kediaman (rumah banglo) dua tingkat, yang sedang dalam proses pembinaan. Seterusnya menjalankan kajian penilaian bangunan (*Audit*) kandungan tenaga dan emisi karbon terhadap lima unit rumah kediaman kajian kes, tipologi yang sama (rumah banglow) 2 tingkat yang dipilih, kelima rumah kajian penilaian bangunan merupakan karya dan projek penulis sendiri, yang direkabentuk dan dibina langsung oleh penulis, dari awal tahun 2001, hingga akhir tahun 2010. Bangunan rumah kediaman yang menjadi kes kajian ini merupakan pembinaan baru, rumah moden dengan keluasan lantai bangunan dengan kitaran keluasan 312 - 670 m².

Tapak bangunan rumah kediaman kajian kes ini berada pada kawasan Bandar Padang Propinsi Sumatera Barat, Indonesia. Asas pemilihan tapak bangunan rumah kediaman dipilih ialah, kerana Bandar Padang merupakan ibu pejabat dan Bandar terbesar di Propinsi Sumatera Barat, yang memiliki tingkat aktiviti pembinaan yang tinggi. Fokus kajian dalam kajian tesis ini, kepada delapan jenis bahan - bahan binaan utama rumah kediaman seperti bahan :

- i. Simen. (*Cement*)
- ii. Besi (*Iron*)
- iii. Konkrit Siapguna (*Ready-mix Concrete*)
- iv. Kayu (*Timber*)
- v. Papan Lapis (*Plywood*)
- vi. Batu Bata (*Clay brick*)
- vii. Bumbung Zing. (*Zinc Roof*)
- viii. Jubin Seramik (*Ceramic Tile*)

Asas pemilihan jenis bahan - bahan binaan yang dikaji dalam kajian ini ialah, kerana jenis bahan - bahan binaan tersebut di atas, merupakan bahan - bahan binaan utama, yang majoriti digunakan dalam setiap pembinaan bagi pembinaan bangunan rumah kediaman di Indonesia, dan umumnya menggunakan peratusan kuantiti yang banyak dalam setiap pembinaan, dan bahan - bahan binaan tersebut merupakan produk bahan - bahan binaan hasil keluaran industri.

1.6 Signifikan Kajian

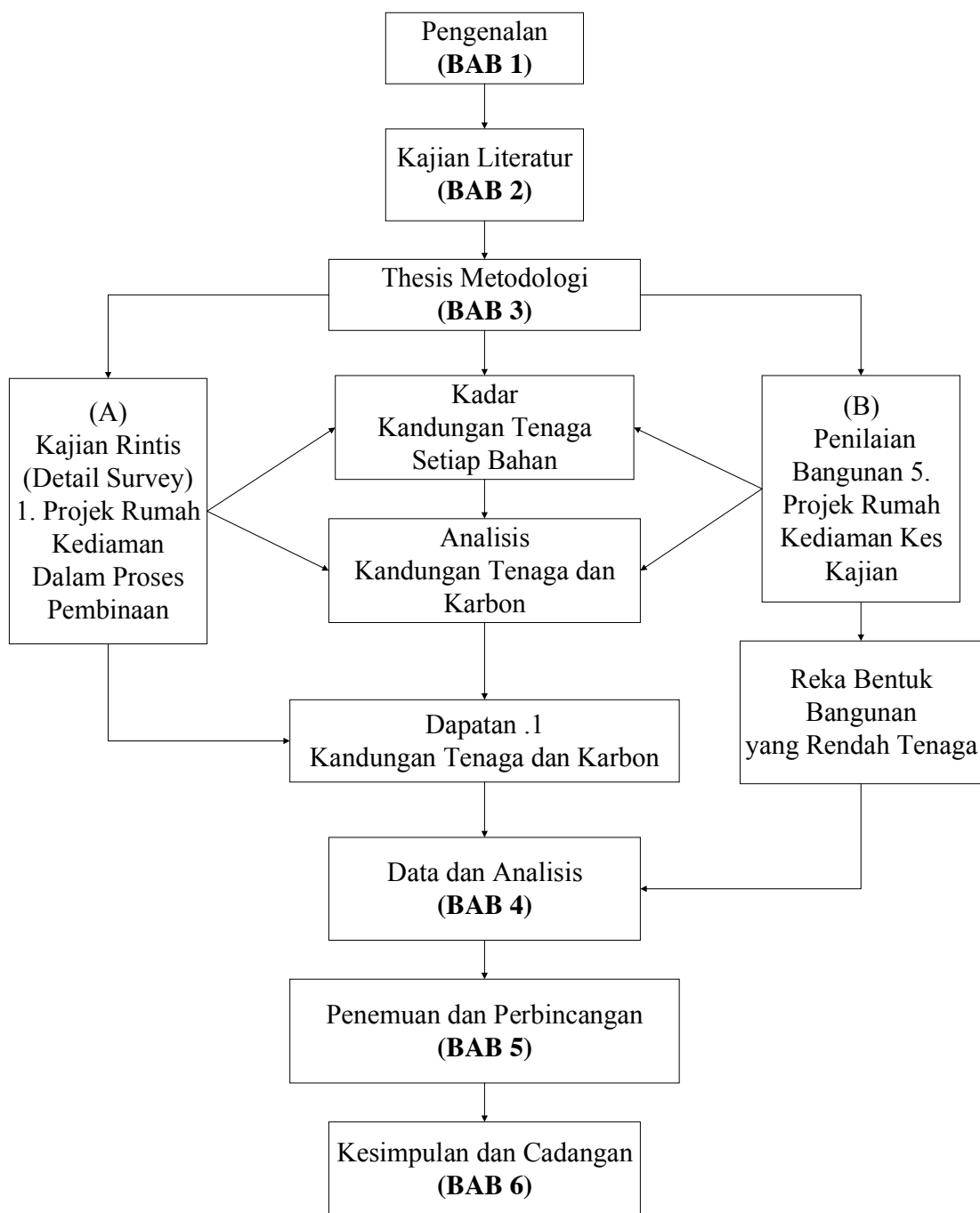
Pengiraan kandungan tenaga dan emisi karbon dalam bahan binaan ialah penting, dalam usaha penjimatan penggunaan tenaga bangunan semasa tahap rekabentuk dan pembinaan. Hal ini perlu diketahui oleh arkitek, pemaju, kontraktor semasa tahap rekabentuk, tetapi kadarnya tidak di ketahui. Pengiraan espek kandungan tenaga dalam penjimatan tenaga dalam bahan binaan dan pembinaan di

Indonesia belum di ambilkira dan di amalkan dalam pembinaan semasa. Oleh kerana penjimatan tenaga dalam pembinaan telah menjadi semakin penting, perlu pengkajian dan perhatian serius. Belum adanya kajian yang dibuat oleh penyelidik bagi kawasan kajian di Bandar Padang Propinsi Sumatera Barat terhadap pengiraan kandungan tenaga dan kandungan emisi karbon CO₂ dalam pengeluaran bahan - bahan binaan dan pengangkutan, khasnya bagi rumah kediaman moden di propinsi Sumatera Barat, Indonesia.

Walaupun terdapat banyak kajian yang telah dijalankan oleh penyelidik terhadap penjimatan penggunaan tenaga bangunan, namun dari espek kandungan tenaga dan kandungan emisis karbon bagi pelbagai bahan binaan bangunan masih terhad. Kajian khas penilaian dan pengiraan kandungan tenaga dan kandungan emisi karbon dalam bahan binaan bagi rumah kediaman di Propinsi Sumatera Barat belumlah ada. Sehubungan dengan itu kajian ini dijalankan bagi mengenalpasti amalan dalam penlaian dan pengiraan kandungan tenaga dan kandungan emisi karbon CO₂ dalam bahan - bahan binaan utama bagi rumah kediaman, di kawasan kajian di Bandar Padang Propinsi Sumatera Barat, Indonesia.

Dapatan kajian ini diharapkan boleh memberikan cadangan dan salah satu sumbangan kajian yang bermanfaat dan maklumat kepada pelajar, seni bina, bagi orang awam, dan kepada pereka bentuk (Akitek) kontraktor, pemaju, serta pemerintah tempatan, untuk mengenalpasti nilai kandungan tenaga dan emisi karbon CO₂ dalam bahan - bahan binaan keluaran industri, terhadap 8 jenis bahan binaan utama rumah kediaman yang dikaji di Propinsi Sumatera Barat. Khasnya kepada *Green Buidings Council Indonesia* (GBCI) sebagai salah satu cadangan bagi panduan dalam rekabentuk bangunan lestari bagi rekabentuk dan pembinaan rumah kediaman di Indonesia khasnya pada kawasan kajian di Bandar Padang Propinsi Sumatera Barat, Indonesia.

1.7 Rancangan Keseluruhan Kajian



Rajah 1.1 : Kerangka kerja kajian

RUJUKAN

- Abanda, F. H, Tah, J. H. M, and Cheung, F. K. T. (2012). “*Mathematical modeling of embodied energy, greenhouse gases, waste, time-cost parameters of building projects: A Review.*” *Building and Environment*, 59, 23-37.
- ACHP (1979). *Assessing the energy conservation benefits of historic preservation: Methods and Examples*. Advisory Council on Historic Preservation, Washington D.C., USA.
- Acquaye, A. (2010). *A stochastic hybrid embodied energy and CO₂ intensity analysis of building and construction processes in Ireland*. Ph.D. Thesis, Dublin Institute of Technology, Dublin, 2010.
- Adalberth, K. (1997 a). “*Energy use during the life cycle of buildings: a method.*” *Building and Environment*, 32(4), 317-320.
- Adalberth, K. (1997 b). “*Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: examples.*” *Building and Environment*, 32(4), 321-329.
- AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice (2010)
- Alcorn, A. (1996). *Embodied energy coefficient of building materials*. Centre for Building Performance and Research, Victoria University of Wellington, Wellington, NZ.
- Alcorn, A. (2003). *Embodied energy and CO₂ coefficients for NZ building materials*. Centre for Building Performance and Research, Victoria University of Wellington, Wellington, NZ.
- Alcorn, J.A., and Baird, G. (1996). *Use of a hybrid energy analysis method for evaluating the embodied energy of building materials*. Center for building performance and research, Victoria University of Wellington, NZ.

- Ahmad, M. H. (1996). *The Influence of Roof Form and Interior Cross section on Daylighting in the Atrium Spaces in Malaysia*. Doctor of Philosophy, University of Manchester.
- Argonne National Laboratory of Transportation USA.(2010) *Embodied Energy Index for LEED Transportation in USA*. (2010)
- Asif, M., Muneer, T., and Kelley, R. (2007). "Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland." *Building and Environment*, 42(3), 1391-1394.
- Atkinson, C. (1996). "Life cycle embodied energy and carbon dioxide emissions in buildings." *Industry and Environment*, 19(2), 29-31. (2007). *Coal research and development to support national energy policy*. Board on Earth Science and Resources, National Research Council, The National Academy Press, Washington, D.C.
- Black, C, Van Ooteghem, K, and Boake, T. M. (2010). *Carbon neutral steel building systems research project: A case study investigating the relationship of operating energy and embodied energy in achieving a holistic carbon neutral retail building*. American Solar Society, Boulder, Colorado, USA.
- Blengini, G. A. (2009). "Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy." *Building and Environment*, 44(2), 319-330.
- Chang, Y, Ries, R. J, and Lei, S. (2012). "The embodied energy and emissions of a high-rise education building: A quantification using process-based hybrid life cycle inventory model." *Energy and Buildings*, 55, 790-798.
- Cole, R.J, and Wong, K.S. (1996). "Minimizing environmental impact of high-rise residential buildings", In *Proceedings of housing for millions: the challenge ahead*, 1996, Housing Authority, Hong Kong, pp. 262-265
- Cole,R.J.(1999). "Energy and greenhouse gas emissions associated with the construction of alternative structural systems." *Building and Environment*, 34(3), 335-348.
- Crawford, R. H, Czerniakowski, I, and Fuller, R. J. (2010). "A comprehensive framework for assessing the life-cycle energy of building construction assemblies." *Architectural Science Review*, 53(3), 288-296.
- Crawford, R. H, Treloar, G. J, Fuller, R. J, and Bazilian, M. (2006). "Life-cycle energy analysis of building integrated photovoltaic systems (BiPVs) with heat recovery unit." *Renewable and sustainable energy reviews*, 10(6), 559-575.

- Crawford, R.H. (2004). *Using input-output data in life cycle inventory analysis*, Ph.D. Thesis, Deakin University, Victoria, Australia, 2004.
- Crawford, R.H., and Treloar, G.J. (2003). “*Validation of the use of Australian input output data for building embodied energy simulation.*” In eighth international IBPSA conference, Eindhoven, Netherlands, August 2003.
- Crawford, R.H, and Treloar, G.J (2005). “*An assessment of the energy and water embodied in commercial building construction.*” In 4th Australian LCA conference, Sydney, February, 2005.
- Crawford, R.H., Fuller, R. J., Treloar, G.J., and Ilozor, B.D. (2002). “*Embodied energy analysis of the refurbishment of a small detached building.*” In: Luther et al. (Eds.), Proceedings of 36th Annual Conference of the Australian and New Zealand Architectural Science Association (ANZAScA): The Modern Practice of Architectural Science from Pedagogy to Andragogy? 1 - 4 November 2002, Geelong, Victoria, Australia, 93-100.
- Crowther, P. (1999). “*Design for disassembly to recover embodied energy.*” In the 16th annual conference on passive and low energy architecture, Melbourne-Brisbane-Cairns, September 1999. CSS (2012). U.S. material use. Center for Sustainable Systems, University of Michigan, Ann Arbor, USA.
- Deng, W, Prasad, D, Osmond, P, and Li, F. T.(2011). “*Quantifying life cycle energy and carbon footprints of China's residential small district.*” Journal of Green Building, 6(4), 96-111.
- Deni Kusumawardani (2009) *Emisi CO2 dari Penggunaan Energi di Indonesia: Perbandingan Antar Sektor*. Jurnal Ekonomi dan Bisnis Vol. 8, No. 3, Desember 2009 : 176–187.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Pusat Data dan Informasi Sumber Daya Mineral dan Energi, 2008. *Handbook of Energy & Economic Statistic of Indonesia*, Jakarta.
- Dimoudi, A, and Tompa, C. (2008). “*Energy and environmental indicators related to construction of office buildings.*” Resources, Conservation and Recycling, 53(1), 86-95.
- Ding, G. (2004). *The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities*. PhD Thesis, University of technology, Sydney.

- Ding, G.K.C. (2007). "Life cycle energy assessment of Australian secondary schools." *Building Research and Information*, 35(5), 487-500.
- Dixit, M.K, Culp, C. H., and Fernández-Solís, J. L. (2013). "System boundary for embodied energy in buildings: A conceptual model for definition." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 153-164.
- Dixit, M.K, Culp, C.H., Lavy, S, and Fernández-Solís, J.L. (2012b). "Recurrent embodied energy in life cycle of built facilities." *Facilities*, accepted for publication.
- Dixit, M.K, Fernández-Solís, J. L., Lavy, S., and Culp, C. H. (2012a). "Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3730-3743.
- Dixit, M.K, Fernández-Solís, J, Lavy, S, and Culp, C.H. (2010). "Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review." *Energy and Buildings*, 42 (8), 1238-1247.
- Fernandez, N.P. (2008). *The influence of construction materials on life cycle energy use and carbon dioxide emissions of medium size commercial buildings*. Ph.D. Thesis, School of Architecture, Victoria University of Wellington, Wellington, New Zealand.
- Fernández,J.(2006). "Materials and construction for low-energy buildings in China." In *Sustainable urban housing: Principles and case studies for low-energy design in China*, L.Glicks- man and J.Lin.Dordrecht,(Eds.) the Netherlands: Springer.
- Fiona Hamilton-MacLaren¹, Dennis Loveday and . Monjur Mourshed (2010) *The Calculation of Embodied Energy in New Build UK Housing*. Department of Civil and Building Engineering, Loughborough University, Loughborough, LE11 3TU,UK
- Frey,P.(2008).*Building reuse: Finding a place on American climate policy agendas*, National Trust for Historic Preservation, Washington D.C.
- Fridley, D. G. (2008). *Estimating total energy consumption and emissions of China's commercial and office buildings*. LBNL-28E. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.
- Ghozali, Imam, (2007), *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program SPSS*, cetakan IV, Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.

- Goggins, J, Keane, T, and Kelly,A. (2010). *“The assessment of embodied energy in typical reinforced concrete building structures in Ireland.”* Energy and Buildings, 42(5), 735-744.
- Gonzalez,M.J,and Navarro,J.G.(2006).*“Assessment of the decrease of CO2 emissions in the construction field through the selection of materials: practical case studies of three houses of low environmental impact.”* Building and Environment, 41(7), 902 - 909.
- Guggemos, A. A, and Horvath, A. (2005). *“Comparison of environmental effects of steel-and concrete-framed buildings.”* Journal of infrastructure systems, 11(2), 93-101.
- Gupta, R. (2009). *“Special issue on Sustainable energy technologies and low-carbon buildings: the case of UK and India, Editorial.”* International Journal of Low- Carbon Technologies 2009, 4, 132–133.
- Gustavsson, L, Joelsson, A, and Sathre,R.(2010). *“Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building.”* Energy and Buildings, 42(2), 230-242.
- Gustavsson, L,Pingoud,K,and Sathre,R.(2006).*“Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete-and wood-framed buildings.”* Mitigation and adaptation strategies for global change, 11(3), 667-691.
- Gustavsson,L,and Joelsson, A.(2010).*“Life cycle primary energy analysis of residential buildings.”* Energy and Buildings, 42(2), 210-220.
- Hammond, G.P. and C.I. Jones, (2008), *'Embodied energy and carbon in construction materials'*, Proc. Instn Civil. Engrs: Energy, in press University of Bath, UK
- Hammond, G, and Jones, C. (2008). *“Embodied energy and carbon in construction materials.”* Energy, 161 (2), 87-98.
- Hammond, G, and Jones, G. (2011). *Inventory of Carbon and Energy (ICE), Version 2.0.* Sustainable Energy Research Team (SERT), Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK.
- Hammond, G.P, and Jones, C.I. (2010). *Embodied carbon: The concealed impact of residential construction.* Global Warming-Green Energy & Technology, 367-384.
- Hegner, S. (2007). *Embodied energy for energy efficiency measures, an assessment of embodied energy’s relevance for energy saving in the Swiss residential*

- building sector*, Diploma Thesis, Department of Environment Science, ETH, Zurich, Switzerland.
- Hernandez,P,and Kenny,P.(2010). “*From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB).*” *Energy and Buildings*, 42(6), 815-821.
- Holtzhausen,H.J.(2007).“*Embodied energy and its impact on architectural decisions.*” *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 102, 377-385.
- Horvath, A. (2004). “*Construction materials and the environment.*” *Annual Review of Energy and The Environment*, 29, 181-204.
- Huberman, N, and Pearlmutter, D. (2008). “*A life-cycle energy analysis of building materials in Negev desert.*” *Energy and Buildings*. 40(5), 837-848.
- Huberman,N,and,Pearlmutter,D.(2004).“*Life cycle energy performance of building materials: alternatives for a desert environment.*” In *Plea 2004-The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Eindhoven, The Netherlands.
- IFIAS. (1975). *IFIAS workshop report: energy analysis and economics*. International Federation of Institutes for Advanced Studies, Lidingo, Sweden, 22-27 June 1975, Published in *Resources and Energy* 1 151-204. impacts of building materials and building services components for commercial buildings in Hong Kong”, *Journal of Cleaner Production*, 15(18),1840-1851.
- Indonesia. (2005). *Input-Output Table of Indonesia*. Statistic Centre of Indonesia, Jakarta.
- Indonesia. (2008). *Reuse and Recycling of Hazardous and Toxic Waste. The Act of the Republic of Indonesia Number 2 year 2008*. Ministry of Environment, Jakarta
- Indonesia (2013) *Perencanaan Efisiensi dan Intensitas Energi 2013* (BPPT) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Balai Besar Teknologi Energi Jakarta.
- Indonesia (2012) *Perencanaan Kebutuhan Energi Sektor Industri Dalam Rangka Akselerasi Industrialisasi*. Biro Perencanaan Sekretariat Jenderal Kementerian Perindustrian R.I 2012 Jakarta.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, (2007), *Climate Change 2007: Synthesis Report, IPCC Plenary XXVIII*, Valencia, 12-17 November 2007.

- IPCC (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- IPCC.2006. General Guidance and Reporting. *Journal of IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 1(2006) chapter 1 page 1.5.
- IPCC (2007a). *Climate change 2007, the physical science basis*. Working Group 1: Contribution to the fourth assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.
- IPCC (2007a). *Climate change 2007: synthesis report. An assessment of the intergovernmental panel on climate change*. Retrieved on 27 February 2013 from http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf
- ISO (2006). *ISO 14040 Environmental Management –Life Cycle Assessment - Principles and Framework*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO (2006). *ISO 14044 Environmental Management - Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Jayesh kumar S. Jaina, and Prof. R. R. Salgudeb (2015) *Comparison of Carbon Emission & Embodied Energy between Brickwork & Waffle wall method for Industrial Building*. *International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering* Volume 2, Issue 6, 2015
- John, S., Nebel, B., Perez, N., and Buchanan, A. (2009). *Environmental impacts of multi-storey buildings using different construction materials*. Research Report 2008 - 02, University of Canterbury, New Zealand.
- Johnson, T.W. (2006). *Comparison of environmental impacts of steel and concrete as building materials using the Life Cycle Assessment method*. M.S. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA.
- Johnston,R,Gogstad,P,and Woolcock,J.(2008). “*Benchmarking and specification of sustainable building products.*” *Envirospec, Sustainability UAE*.
- Karakaya, Etem, and Ozcag, Mustafa, (2005), *Driving Forces of CO2 Emission In Central Asia: A Decomposition Analysis of Air Pollution From Fossil Fuel Combustion*, *Arid Ecosystems Journal*, Vol. 11, No. 26-27, August 2005, Pages 49-57.
- Kementrian Negara Lingkungan Hidup, (2004-2007), *The State of nvironment Report in Indonesia*, Jakarta.

- Kajian Inventori Emisi GRK Sektor Transportasi Pengguna Energi (2012)
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral R.I (2012) Jakarta.
- Kernan, P.C. (1996). *Life cycle energy analysis of an office building*. M.S. Thesis, School of Architecture, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Khasreen, M.M, Banfill, P. F. G, and Menzies, G.F. (2009). “*Life cycle assessment and the environment impact of buildings: A review.*” *Sustainability*, 1(3), 674-701.
- Kim, D. (2008). *Preliminary life cycle analysis of modular and conventional housing in Benton Harbor, Michigan*. M.S. Thesis, University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA.
- Kofoworola, O. F, and Gheewala, S. H. (2009). “*Estimation of construction waste generation and management in Thailand.*” *Waste management*, 29(2), 731-738.
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. Ph.D. Thesis, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 2000.
- Kusumawardani, Deni,(2008), *CO2 Emission in Indonesia: The IPAT Model Approach, makalah dipresentasikan pada National Symposium of Research & Economic Policy*, yang diselenggarakan oleh Departmen Ilmu Ekonomi, Universitas Airlangga, tanggal 20-21 Agustus 2008, Surabaya.
- K.I. Praseedaa, B.V. Venkatarama Reddyb, Monto Manic (2015) *Embodied energy assessment of building materials in India using process and input–output analysis*. *Energy and Buildings* 86 (2015) 677–686
- Langston, Y.L. and Langston, C.A. (2007). “*Building energy and cost performance: An analysis of 30 Melbourne Case Studies.*” *Australian Journal of Construction Economics and Buildings*, 7(1), 1-18.
- Langston, Y.L., and Langston, C.A. (2008). “*Reliability of building embodied energy modeling: an analysis of 30 Melbourne case studies.*” *Construction Management and Economics*, 26(2), 147-160.
- Langston, Y.L. (2006). *Embodied energy modeling of individual buildings in Melbourne, the inherent energy-cost relationship*. Ph.D. Thesis, Deakin University, Victoria, Australia, 2006

- Lenzen, M, and Treloar, G. (2002). "Embodied energy in buildings: wood versus concrete-reply to Börjesson and Gustavsson." *Energy policy*,30 (3),249-255.
- Lenzen,M.(2000). "Errors in conventional and input-output based life cycle inventories." *Journal of Industrial Ecology*, 4(4), 127-148.
- Lenzen,M.(2008). "Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review." *Energy conversion and management*, 49(8), 2178-2199.
- Malla, S. (2009). "CO₂ emissions from electricity generation in seven Asia-Pacific and North American countries: A decomposition analysis." *Energy Policy*, 37(1), 1-9.
- Matos, G.R. (2009). *Use of minerals and materials in the United States from 1900 through 2006*. The United States Geological Survey. Retrieved on 5 June 2013 from http://pubs.usgs.gov/fs/2009/3008/pdf/FS2009_3008_v1_1.pdf
- Menzies,G.F,Turan,S,and Banfill,P.F.G.(2007). "Life-cycle assessment and embodied energy: a review." *Construction Materials*, 160(4), 135 - 143.
- Miller, R.E,and Blair,P.D.(2009).*Input-output analysis, foundations and extensions*. Cambridge University Press, New York.
- Miller,A.(2001). "Embodied Energy-A life-cycle of transportation energy embodied in construction materials." *In COBRA 2001, Proceedings of the RICS Foundation Construction and Building Research Conference*. RICS Foundation.
- Mo,W,Zhang,Q,Mihelcic,J.R,and Hokanson,D.R.(2011). "Embodied energy comparison of surface water and groundwater supply options." *Water Research*, 45(17), 5577-5586.
- Monahan,J,and Powell,J.C.(2011). "An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework." *Energy and Buildings*, 43(1), 179-188.
- Mpakati-Gama,E.C,Wamuziri, S, and Sloan,B. (2011). "Applicability of inventory methods for embodied energy assessment of buildings in SubSahara Africa." *The Built & Human Environment Review*, 4(2), 41-55.
- Marceau, Medgar L., Nisbet, Michael A., and Van Geem, Martha G.(2007) *Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete*, SN3011, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, PCA, 2007.USA,

- Nebel, B,Alcorn,A,Wittstock,B.(2011).*Life cycle assessment: adopting and adapting overseas LCA data and methodologies for building materials in NewZealand.*
- Nawari (2010) Analisis regresi dengan Ms Exel dan SPSS.17. Alek Media Kopuntindo,Jakarta.
- Optis, M, and Wild,P.(2010).“*Inadequate documentation in published life cycle energy reports on buildings.*”*The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(7), 644-651.
- Pearlmutter,D,Freidin,C,and Huberman,N.(2007).“*Alternative materials for desert buildings:A comparative life cycle energy analysis.*” *Building Research & Information*,35(2), 144-155.
- Pears, A. (1996). “*Practical and policy issues in analysis of embodied energy and its application.*” In *Proceedings of the Embodied Energy the Current State of Play: Seminar, Geelong, Australia, 28 – 29 November, 1996.*
- Perese, K. (2010). *Input-output model analysis: pricing carbon dioxide emissions.* Tax Analysis Division, Congressional Budget Office, Washington, D.C.
- Peuportier,B.L.P.(2001).“*Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context.*” *Energy and Buildings*, 33(5), 443-450.
- Plank, R. (2008). “*The principles of sustainable construction.*” *The IES Journal Part A: Civil and Structural Engineering*, 1(4), 301-307.
- Pullen S. (2007). “*A tool for depicting the embodied energy of the Adelaide urban environment.*” In *Proceedings of Australian Institute of Building Surveyors International Transitions Conference, March 2007, Adelaide.*
- Pullen, S. (2000 a). “*Energy used in the construction and operation of houses.*” *Architectural Science Review*, 43(2), 87-94.
- Pullen, S. (2000 b). “*Estimating the embodied energy of timber building products.*” *Journal of the institute of wood Science*, 15 (3), 147-151.
- Pullen, S. (2000c). “*Energy assessment of institutional buildings*”, In *Proceedings of ANZAScA, 1-3 December 2000, University of Adelaide, Adelaide, Australia.*
- Pearce,JM,et.al (2007). *Definition of Embodied energy* Wikipedia
- Peraturan menteri Perindustrian Republik Indonesia nomor 12/mind/per/1/2012 tentang peta panduan (*road map*) pengurangan emisi CO₂ industri semen di indonesia

- Ramesh,T,Prakash,R,and Shukla,K.K.(2010).“*Life cycle energy analysis of buildings: An overview.*” *Energy and Buildings*, 42(10), 1592-1600.
- Ramesh,T,Prakash,R,and Shukla,K.K.(2013).“Life cycle energy analysis of a multifamily residential house: a case study in Indian context.” *Open Journal of Energy Efficiency*, 2, 34-41.
- Reap, J,Roman,F,Duncan,S,and Bras, B. (2008). “*A survey of unresolved problems in life cycle assessment Part 2: impact assessment and interpretation.*” *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(5), 374-388.
- Reddy, V. B. (2004). “*Sustainable building technologies.*” *Current Science*, 87(7), 899-907.
- Reddy,B.V,and Jagadish,K.S.(2003). “*Embodied energy of common and alternative building materials and technologies.*” *Energy and buildings*,35(2), 129-137.
- Rohit Deshmukh,and Ashok More (2014) *Low Energy Green Materials by Embodied Energy Analysis International Journal of Civil and Structural Engineering Research* Vol. 2, Issue 1, pp: (58-65), Month: April 2014 - September 2014
- S. Junnila, A. Horvath, A.A. Guggemos, (2006) *Life-cycle assessment of office buildings in Europe and the United States*, *Journal of Infrastructure Systems* (2006) 10–17.
- S. Seo, Y. Hwang, (2011) *Estimation of CO2 emissions in life cycle of residential buildings*,*Journal of Construction Engineering and Management* 127 (5) (2011) 414-418.
- S. Xing, Z. Xu, G. Jun, (2008) *Inventory analysis of LCA on steel- and concrete construction office buildings*, *Energy and Buildings* 40 (2008) 1188–1193.
- Sam C. M. Hui* and Mr. MA Tsz Chung (2015) *Study of embodied energy and carbon for indoor living walls* The 13th Asia Pacific Conference on the Built Environment: Next Gen Technology to Make Green Building Sustainable, 19 20 Nov 2015 (Thu-Fri), Hong Kong.
- Santos,A, Mc Guckin,N, Nakamoto, H.Y, Gray, D, and Liss, S.(2011). *Summary of travel trends: 2009 national household travel survey, U.S. Department of Transportation Trends in travel behavior, 1969-2009.* Federal Highway Administration, United States Department of Transportation, Washington, D.C.

- Sartori, I., and Hestnes, A.G. (2007). "Energy use in the life cycle of conventional and low - energy buildings: A review article." *Energy and Building*, 39(3), 249 - 257.
- SETAC (1993). *Guidelines for Life Cycle Assessment-A "Code of Practice"*. Society for Environmental Toxicology and Chemistry, Brussels, Belgium.
- Shu-hua,L,Yuan, C, and Xue, Z.(2010, July). "Life-cycle energy assessment of urban residential buildings in China." *In Advanced Management Science (ICAMS)*, 2010 IEEE International Conference, Vol. 1, pp. 186-190.
- SNI. (1989). *Imposition Planning Procedures for Houses and Buildings (in Bahasa Indonesia)*. SNI 03-1727, Indonesia.
- Suh, S, Lenzen, M, Treloar, G.J, Hondo, H, Horvath,A, and Huppes,G,(2004). "System boundary selection in life cycle inventories using hybrid approaches." *Environmental Science and Technology*, 38(3), 657-664.
- Surahman, U. & Kubota, T. (2012). *Development of simplified LCA model for residential buildings in Indonesia. A pilot survey in Bandung*. AIJ Journal of Technology and Design, 18 (40), 1003-1008
- Szaley, Z. and Nebel, B. (2006). *Analysis of currently available environmental profiles of building products*. TE200A, A report prepared for Beacon Pathway Limited. Foundation for Research Science and Technology, Wellington, New Zealand.
- Tamil Salvi Mari (2007) *Embodied energy of building materials A comparative analysis of terrace houses in Malaysia* 41st Annual Conference of the Architectural Science Association ANZAScA 2007 at Deakin University.
- Talakonukula Ramesh, Ravi Prakash*, Karunesh Kumar Shukla (2013) *Life Cycle Energy Analysis of a Multifamily Residential House: A Case Study in Indian Context* Open Journal of Energy Efficiency, 2013, 2, 34-41
- Thormark, C. (2000). "Including recycling potential in energy use into the life-cycle of buildings." *Building Research and Information*, 28(3), 176-183.
- Thormark, C. (2001). "Conservation of energy and natural resources by recycling building waste." *Resources, Conservation and Recycling*, 33(2), 113-130.
- Thormark, C. (2002). "A low energy building in a life cycle - Its embodied energy, energy for operation and recycling potential." *Building and Environment*, 37 (4),429-435.

- Thormork, C. (2006). *"The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building."* Building and Environment, 41(8), 1019-1026.
- Thormark, C. (2007). *"Energy and resources, material choice and recycling potential in low energy buildings."* In CIB Conference, SB 07 Sustainable Construction Materials and Practices, 2007, Lisbon, Portugal.
- Ting,S.K.(2006).*Optimization of embodied energy in domestic construction.* Master of Engineering Thesis, RMIT, Australia, 2006.
- Tingley,D.D,and Davison,B.(2012). *"Developing an LCA methodology to account for the environmental benefits of design for deconstruction."* Building and Environment, 57, 387-395.
- Treloar, G.J, Love,P.E.D. and Holt, G.D. (2001b). *"Using national input output data for embodied energy analysis of individual residential buildings."* Construction Management and Economics, 19(1), 49-61.
- Treloar, G.J,Fay,R,Ilozor,B,and Love,P.E.D. (2001c). *"An analysis of the embodied energy of office buildings by height."* Facilities, 19(5/6), 204-214.
- Treloar, G.J,Love, P.E, and Faniran,O.O.(2001d).*"Improving the reliability of embodied energy methods for project life-cycle decision making."* Logistics Information Management, 14(5/6), 303-318.
- Treloar, G.J. (1998). *A comprehensive embodied energy analysis framework.* Ph.D. Thesis, Deakin University, Victoria. Australia.
- Treloar,G.J,Gupta,H,Love,P.E,and Nguyen,B.(2003).*"An analysis of factors influencing waste minimisation and use of recycled materials for the construction of residential buildings."* Management of Environmental Quality: An International Journal, 14(1), 134-145.
- T. Ramesh, Ravi Prakash, K.K. Shukla (2010) *Life cycle energy analysis of buildings: An overview* Energy and Buildings 42 (2010) 1592–1600
- Ürge-Vorsatz,D, and Metz, B. (2009). *"Energy efficiency: how far does it get us in controlling climate change?"* Energy Efficiency, 2(2), 87-94.
- Usep Surahman, Osamu Higashi, Tetsu Kubota (2014) *Embodied energy and CO2 emissions of building materials for residential buildings in Jakarta and Bandung, Indonesia.* 30th International Plea Conference 16-18 December 2014, CEPT University, Ahmedabad

- USEPA (2011). *Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2009*. EPA 430-R-11-005, April 15 2011, United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- USEPA (2012). *Wastes-non-hazardous waste-industrial waste, basic information*. United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C. Retrieved on 5 June, 2013 from <http://www.epa.gov/osw/nonhaz/industrial/cd/basic.htm>
- USGS (2013). *Historical statistics for mineral and material commodities in the United States, 2013 version*. United States Geological Survey, Reston, VA, USA.
- Utama, A, and Gheewala, S.H. (2008). “*Life cycle energy of single landed houses in Indonesia.*” *Energy and Buildings* 40(10) 1911-1916.
- Utama, A, and Gheewala, S.H. (2009). “*Indonesian residential high rise buildings: A life cycle energy assessment.*” *Energy and Buildings*, 41(11), 1263-1268.
- Verbeeck, G., and Hens, H. (2010). “*Life cycle inventory of buildings: a calculation method.*” *Building and Environment*, 45(4), 1037-1041.
- Vincentius Totok Noerwasito (2011) *Evaluation of Embodied Energy and Construction Costs for the Design of Low-Rise Apartments for Low-Income Residents in Surabaya, Indonesia* *Journal of Civil Engineering and Architecture*, ISSN 1934-7359, USA Dec. 2011, Volume 5, No. 12 (Serial No. 49), pp. 1142 -1146
- Vukotic, L, Fenner, R.A, and Symons, K. (2010). “*Assessing embodied energy of building structural elements.*” *Engineering Sustainability*, 163(ES3), 147-158.
- Weber, C, Matthews, D, Venkatesh, A, Costello, C, Matthews, S (2010). *The 2002 US benchmark version of the economic input-output life cycle assessment (EIO-LCA) model*. Green Design Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA.
- Xie, Y. (2011). “*Building energy consumption prediction of housing industry in China based on hybrid models.*” *Advanced Materials Research*, 201-203, 2466-2469.
- Yang, S.H, Lin, Z.S, and Huang-Fu, M.I.N.G. (2008). “*Research on the Environmental Burden Evaluation of Building Construction-Comparing with Different Construction Methods.*” *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 4(8), 629-643.

Zhu,X,Lu, Y, and Cui, Q. (2010). "*Efficiency and equity implications of carbon tax in the construction industry.*" In Taylor,J.E,and Chinowsky,P.(Eds.) EngineeringProject Organizations Conference.

Zinc sheet roofing. (2014). *Life cycle assessment (LCA) of zinc sheet roofing, Zinc for life fact sheet.* available in http://www.zinc.org/basics/zinc_recycling. Accessed 10 March 2014.