

Sistem Pracetak Beton sebagai Sistem Konstruksi Hijau : Studi Kasus Perbandingan Energi Konstruksi dan Dampak Lingkungan di Pembangunan Rumah Susun di Batam

Hari Nugraha Nurjaman
Hairul Sitepu
HR Sidjabat

1. PENDAHULUAN

Sistem konstruksi hijau (*green construction*) merupakan bagian dari pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Construction*), yang merupakan suatu topik hangat di dunia konstruksi internasional sebagai respon atas issue pemanasan global (*global warming*) [6] Sistem pracetak beton merupakan salah satu sistem pembangunan yang memenuhi kaidah konstruksi hijau. Sistem ini telah banyak digunakan dalam pembangunan rumah susun untuk masyarakat berpenghasilan rendah di Indonesia selama 15 tahun terakhir ini [10]

Penelitian optimasi energi konstruksi dan dampak lingkungan dilakukan pada pembangunan rumah susun di Batam, Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi para pelaku konstruksi nasional, agar juga mulai mempertimbangkan optimalisasi energi dalam perencanaan pembangunan, sehingga dapat menjadi bagian dalam usaha menjaga kelestarian bumi.

Penulisan makalah ini dimulai dari bagian pendahuluan, yang dilanjutkan dengan penjelasan mengenai konsep bangunan berkelanjutan, program pembangunan rumah susun di Indonesia, serta sistem pembangunannya. Hal berikutnya yang dibahas adalah konsep perhitungan energi konstruksi dan dampak lingkungan, yang dilanjutkan dengan perhitungannya pada studi kasus rumah susun di Batam. Analisis terhadap perhitungan energi dan dampak lingkungan lalu disajikan, dan diakhiri dengan bagian penutup.

2. KONSEP PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

Ada dua aliran konsep utama dalam pembangunan gedung di dunia saat ini, yaitu konsep pembangunan ikonik dan konsep pembangunan berkelanjutan. Konsep pembangunan ikonik menekankan terciptanya bangunan yang diharapkan menjadi suatu ikon tertentu [7]. Konsep ini banyak sekarang diterapkan pada gedung-gedung di Timur Tengah dan di China seperti terlihat pada Gambar 1. Konsep pembangunan berkelanjutan menekankan pada optimalisasi penggunaan energi, Konsep ini didasarkan atas pertimbangan bahwa sumber energi di bumi ini semakin terbatas, sehingga penggunaannya harus dilakukan secara bijaksana [6]. Konsep ini sekarang berkembang di Negara-negara maju seperti di Eropa, Australia dan Amerika, seperti terlihat pada Gambar 2.

Prinsip dasar dari pembangunan berkelanjutan adalah penggunaan energi yang optimal secara integratif mulai dari tahap perencanaan, konstruksi, pemanfaatan sampai pada pembongkaran. Hal ini dapat terwujud jika perencanaan dilakukan secara integratif antara arsitek, perencana struktur dan perencana utilitas. Beberapa referensi menyatakan gedung adalah sangat potensial bagi sasaran pengurangan emisi CO₂, dan juga paling murah untuk mengusahakannya [8]



Gambar 1 Konsep pembangunan ikonik

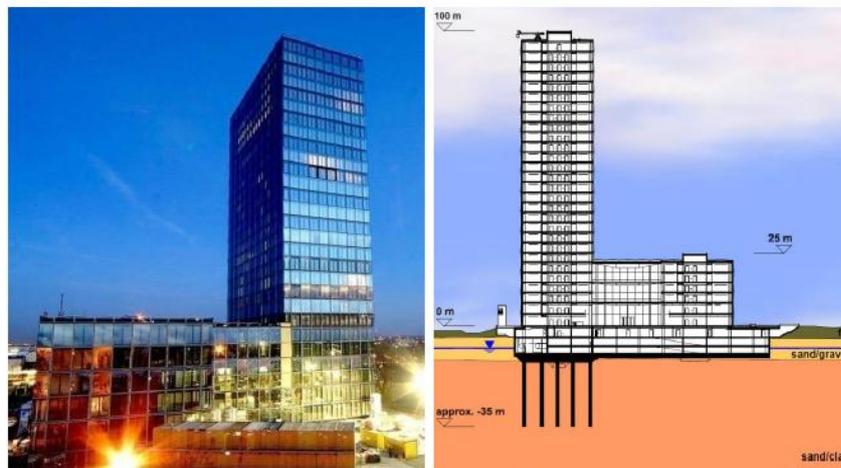


Fig. 1: Highrise building Süddeutscher Verlag – photo and ground model

Gambar 2 Konsep pembangunan berkelanjutan

Secara umum, menurut Green Building Council Indonesia (GBCI), ada 7 aspek yang menjadi penilaian terhadap suatu gedung jika ingin direncanakan dengan konsep pembangunan berkelanjutan seperti terlihat pada Tabel 1 [8]. Proporsi penilaian dari masing-masing aspek sangat bergantung dari kondisi suatu negara. Penentuan proporsi dilakukan dengan konsensus oleh suatu komite dalam Dewan Green Building di Negara tersebut.

Tabel 1 Komponen penilaian gedung dengan Konsep Pembangunan Berkelanjutan

Category	LEED	LEED India	Green Mark
Appropriate Site Development	14	13	20
Energy Efficiency and Conservation	23	17	35
Water Conservation	5	6	15
Material Resource and Cycle	16	13	-
Indoor Health and Comfort	22	15	15
Building Environment Management	-	-	-
Innovation	5	5	15
TOTAL	85	69	100

Tahap pembangunan gedung (konstruksi) merupakan salah satu aspek dalam pembangunan berkelanjutan. Konsep konstruksi yang memenuhi konsep ini dikenal sebagai konstruksi hijau (**green construction**). Prinsip utama konstruksi hijau dalam segi material adalah 3 R (**“reduce”, “reuse”, “recycle”**). Sistem pracetak beton merupakan salah satu sistem pembangunan yang memenuhi kaidah ini.

Prinsip **reduce** diterapkan pada efisiensi penggunaan material dan metoda kerja :

- a. Bahan beton adalah material lokal yang banyak ditemui di Indonesia.
- b. Perencanaan sistem pracetak akan dapat menghemat pemakaian besi, sebagai material yang paling banyak menghasilkan emisi dalam pembuatannya, serta bahan dasarnya masih impor.
- c. Metoda kerja banyak melakukan penghematan pada cetakan seperti terlihat pada Gambar 3 dan penghematan perancah seperti terlihat pada Gambar 4, serta dapat mendekati **“zero waste”** pada material besi dan beton seperti terlihat pada Gambar 5

Prinsip **reuse** terutama diterapkan pada repetisi penggunaan cetakan yang jauh lebih banyak dibandingkan dengan cetakan sistem konvensional. Cetakan kayu yang dilapis phenolin dapat dipakai 10 – 15 x dibandingkan dengan cetakan kayu konvensional. Cetakan dari bahan fibre atau baja bahkan dapat dipakai ratusan kali.

Prinsip **recycle** dapat diterapkan pada bahan cetakan dari bahan besi dan fibre, yang dapat dibuat dari bahan daur ulang dan juga material grouting yang sudah mempunyai green label.



Cetakan Beton Kayu Pelat Prestress

Cetakan Fibre Panel

Cetakan Baja Pelat Grid



Gambar 3 Berbagai variasi cetakan komponen pracetak yang umum di Indonesia



(a) Konvensional



(b) Half Slab



(c) Full Slab

Gambar 4 Variasi pengematan perancah



*(a) Proses pemotongan dan perakitan tulangan dapat direncanakan efisien



(b) Pengecoran di cetakan di permukaan tanah yang hampir tidak ada beton terbuang

Gambar 5 Metoda kerja yang mendekati **zero waste**

3. PROGRAM PEMBANGUNAN RUMAH SUSUN DI INDONESIA

Pertambahan penduduk perkotaan di Indonesia sangat pesat. Pada 1980 jumlah penduduk perkotaan baru mencapai 32,8 juta jiwa atau 22,3%. Pada tahun 1990 meningkat menjadi 55,4 juta jiwa atau 30,9%, dan menjadi 90 juta jiwa atau 44% pada tahun 2002. Hasil sensus tahun 2010 menunjukkan jumlah penduduk Indonesia 237,7 juta jiwa, dengan jumlah penduduk perkotaan 54 %. Angka tersebut diperkirakan akan mencapai 68% pada tahun 2025 [1].

Dalam rangka meningkatkan kualitas lingkungan hidup manusianya, pemerintah telah melakukan peremajaan kota sebagai upaya penataan kembali bagian kawasan kota dengan cara mengganti sebagian, atau seluruh unsur-unsur lama. Salah satu bentuk penggantian tersebut dengan mengganti permukiman horizontal menjadi vertikal, yang dikenal dengan nama Rusunawa (rumah susun sederhana sewa) atau Rusunami (rumah susun sederhana milik). Mengingat diperkotaan cukup banyak masyarakat yang berpenghasilan rendah, maka Rusunawa diduga lebih diminati dibanding rusunami. Oleh karenanya pemerintah berupaya membangun rusunawa dengan jumlah yang lebih banyak. Dalam 5 tahun kedepan, pemerintah merencanakan pembangunan Rusunawa dalam 5 tahun kedepan sebanyak 650 *twin block* atau TB yakni 2010 sebanyak 170 TB; 2011 sebanyak 170 TB; 2012 sebanyak 170 TB; 2013 sebanyak 70 TB dan 2014 sebanyak 70 TB) yang selutuhnya akan menggunakan konstruksi beton. Pada konstruksi beton akan banyak sumberdaya alam yang dimanfaatkan. Hal ini tidak sejalan dengan rencana pemerintah untuk menurunkan emisi sebesar 26 % dan menurunkan kerusakan sumberdaya alam. Oleh karena itu maka perlu dicarikan konstruksi yang lebih

sedikit menggunakan sumberdaya alam, sehingga menjadi lebih ramah lingkungan. Namun demikian kajian ke arah hal tersebut masih sangat minim. Oleh karena itu maka pada tahap awal diperlukan penelaahan tentang pengembangan Rusunawa yang ramah lingkungan, khususnya dalam pelaksanaan konstruksi.

4. SISTEM PEMBANGUNAN RUMAH SUSUN

Bangunan Rusunawa terbuat dari konstruksi beton, yang dalam pengerjaannya dapat dilakukan melalui 3 alternatif pelaksanaan konstruksi, yaitu secara konvensional, pracetak sebagian dan pracetak penuh.

Sistem beton konvensional merupakan sistem pembangunan yang menggunakan teknik konvensional baik dari segi struktur maupun arsitektur. Pembuatan strukturnya menggunakan teknik cor di tempat dengan cetakan dan perancah dari kayu. Pembuatan komponen dinding arsitekturnya menggunakan bahan bata atau batako yang dipleser dan diaci.

Sistem beton pracetak sebagian merupakan sistem pembangunan strukturnya sudah menggunakan sistem pracetak, sedangkan komponen arsitekturnya masih menggunakan komponen konvensional (bata atau batako plester), seperti terlihat pada Gambar 6.

Sistem beton pracetak penuh merupakan sistem pembangunan yang komponen struktur maupun arsitekturnya menggunakan sistem pracetak, seperti terlihat pada Gambar 7



Gambar 6 Sistem pracetak sebagian



Gambar 7 Sistem pracetak penuh

5. KONSEP PERHITUNGAN ENERGI KONSTRUKSI DAN DAMPAK LINGKUNGAN

Referensi perhitungan energi tiap item pekerjaan konstruksi didasarkan referensi [5]. Proses penyetaraan untuk perbandingan tiap item dilakukan dengan metoda LCA (*life cycle analysis*) melalui *software* Simapro 5.0 untuk menganalisis aspek lingkungan yang berhubungan dengan suatu produk dan siklus hidupnya, mulai diambil dari alam, diproduksi, dipergunakan, dipelihara sampai dibongkar dan kembali ke alam. *Software*

ini mengkalkulasi input seperti kuantitas bahan baku suatu proses industri dan menghasilkan output agar kita bisa melakukan perbaikan proses dan dampak yang lebih aman ke lingkungan.

6. PERHITUNGAN ENERGI KONSTRUKSI DAN DAMPAK LINGKUNGAN

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan pembangunan Rusunawa Kota Batam mulai Mei 2010 sampai Maret 2011, seperti terlihat pada Gambar 8. Pertimbangan terhadap pemilihan lokasi penelitian ini diantaranya adalah : (i) Sebagai kota yang cepat tumbuh di Indonesia ; (ii) Tingkat kepadatan dan pertumbuhan penduduknya tinggi; (iii) Rusunawa sedang banyak dikembangkan saat ini; (iv) Pusat kegiatan nasional yang berbatasan langsung dengan Singapura



Gambar 8 Pembangunan Rusun di Batam 2010 - 2011

6.1 Analisis Bahan Baku Pembangunan Rusunawa

Pembangunan rusunawa membutuhkan banyak sumberdaya alam sebagai bahan baku konstruksi. Pemanfaatan sumberdaya tersebut dapat berdampak terhadap kerusakan alam. Bangunan Rusunawa terbuat dari konstruksi beton, yang dalam pengerjaannya dapat dilakukan melalui 3 alternatif pelaksanaan konstruksi, yaitu secara konvensional, Pracetak sebagian dan pracetak penuh. Bahan bangunan utama yang digunakan beserta kebutuhan masing-masing pada setiap jenis pelaksanaan konstruksi dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 Kebutuhan bahan bangunan masing-masing alternatif

No	Komponen Utama	Konvensional	Semi Pracetak	Pracetak penuh
1	Semen	488 ton	499 ton	617 ton
2	Pasir	3.483 m ³	3.354 m ³	687 m ³
3	Batu pecah	339 m ³	398 m ³	642 m ³
4	Besi tulangan beton	180 ton	77 ton	122 ton
5	Cetakan	kayu 41 m³	baja 7,9 ton	baja 9,2 ton
6	Perancah	kayu 562 m³	baja 7,8 ton	baja 7,8 ton
7	Bata merah	413.216 buah	413.216 buah	-
8	Tenaga terampil	20 org	30 org	40 org
9	Tenaga tdk terampil	80 org	45 org	15 Org
10	Biaya (Rp x 1 milyar)	13,657	11,500	11,434
11	Ketinggian bangunan /luas lantai	4 lt/4.600 m ²	4 lt/4.600 m ²	4 lt/4.600 m ²
12	Jangka waktu pelaksanaan (bln)	8	6	5

*) Teknologi Pracetak yang digunakan adalah dari salah satu produsen nasional

Pada Tabel.2 bahwa pemakaian besi tulangan beton pada pracetak sebagian berkurang secara signifikan, dari 180 ton pada konvensional menjadi 77 ton pada pracetak sebagian. Penghematan besi yang sangat signifikan ini didapat karena sistem pracetak yang digunakan adalah sistem column-slab yang sangat efisien, terutama dari komponen pelat yang menggunakan sistem grid prategang seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Sistem pracetak column slab

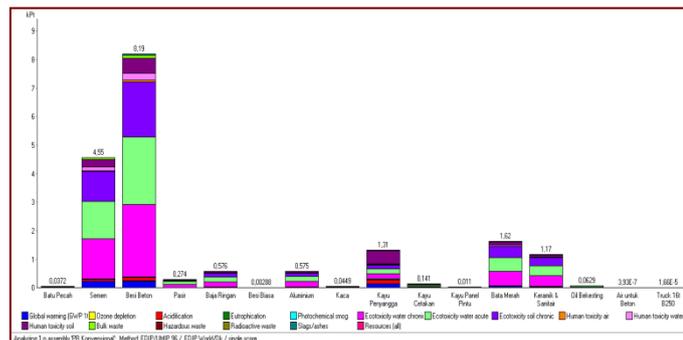
Kondisi yang sama juga pada penggunaan kayu, baik sebagai perancah maupun sebagai cetakan sebanyak 603 m³, tidak diperlukan lagi pada pracetak sebagian dan pracetak penuh. Selain penggunaan bahan bangunan lebih efisien, kelebihan lain dari penggunaan beton pracetak sebagian dan pracetak penuh adalah dalam pembiayaan yang berkurang secara cukup signifikan dan kecepatan pelaksanaan pembangunan dari semula 8 bulan, menjadi hanya 5-6 bulan. Dilain pihak, penggunaan tenaga kerja secara total lebih sedikit dibandingkan beton konvensional, namun penggunaan tenaga kerja terampil lebih banyak di beton pra cetak [10]. Hal ini sesuai dengan pernyataan Gibb [4] yang mengemukakan bahwa beberapa prinsip beton pracetak tersebut dipercaya dapat memberikan manfaat lebih dibandingkan beton monolit terkait dengan pengurangan

waktu dan biaya, peningkatan jaminan kualitas, *predicability*, *relocability*, dan sebagainya.

6.2 LCA Beton Konvensional

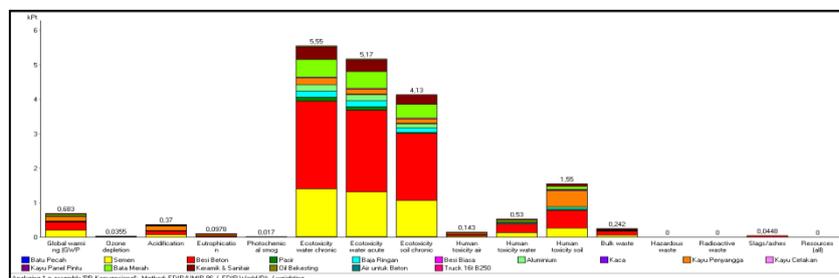
Hasil analisis skor tunggal (Gambar 10) menunjukkan bahwa besi beton merupakan elemen yang memberikan dampak paling besar (8,19 kPt), disusul oleh semen (4,55 kPt). Elemen yang memberikan dampak paling kecil adalah air untuk beton (3,93 x 10⁻⁷ kPt) dan penggunaan truk (1,66 x 10⁻⁵ kPt). Berdasarkan hasil pembobotan (Gambar 3b), hampir seluruh elemen berpotensi menimbulkan tiga dampak lingkungan dominan (*impact categories*), yaitu: (1) kandungan racun lingkungan perairan kronis (5,55 kPt); (2) kandungan racun lingkungan perairan akut (5,17 kPt); (3) kandungan racun lingkungan tanah kronis (4,13 kPt).

Kandungan racun lingkungan perairan kronis disebabkan oleh material-material mencemari badan air permukaan dalam jangka waktu yang lama. Apabila pencemaran tersebut tidak ditangani dengan serius dan benar dampaknya akan berlanjut ke pencemaran lingkungan perairan akut. Hal tersebut akan sangat berbahaya terhadap manusia dan organisme hidup lainnya yang akan memanfaatkan perairan tersebut.



Gambar 10 LCA *single score* Beton Konvensional

Hasil pembobotan (Gambar 11) menunjukkan bahwa hampir seluruh elemen berpotensi menimbulkan tiga dampak lingkungan dominan, yaitu: (1) kandungan racun lingkungan perairan kronis (5,56 kPt); (2) kandungan racun lingkungan perairan akut (5,17 kPt); (3) kandungan racun lingkungan tanah kronis (1,56 kPt)

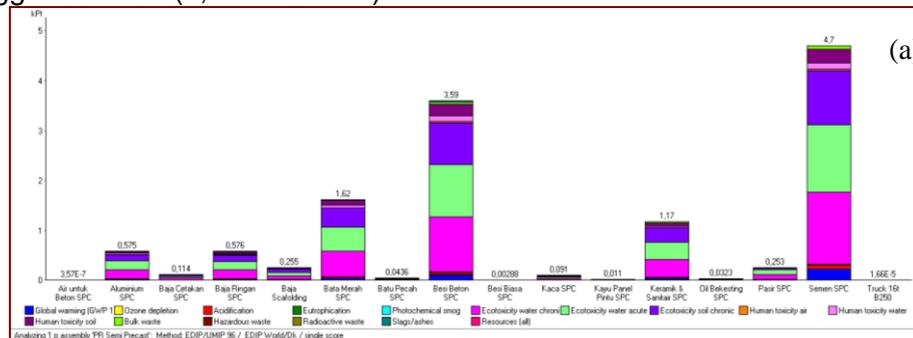


Gambar 11 Hasil Pembobotan beton konvensional.

6.3 LCA Beton Pracetak Sebagian

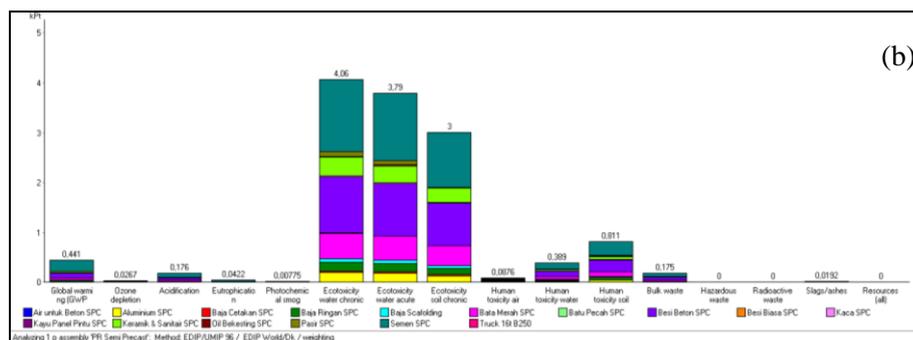
Hasil analisis skor tunggal penggunaan beton pracetak sebagian (Gambar 12) menunjukkan bahwa semen merupakan elemen yang bisa memberikan dampak paling besar (4,7 kPt), disusul oleh besi beton (3,59 kPt). Selain hal tersebut, kontributor

proses yang memberikan dampak paling kecil adalah air untuk beton ($3,57 \times 10^{-7}$ kPt) dan penggunaan truk ($1,66 \times 10^{-5}$ kPt).



Gambar 12 LCA *single score* Beton Pracetak Sebagian

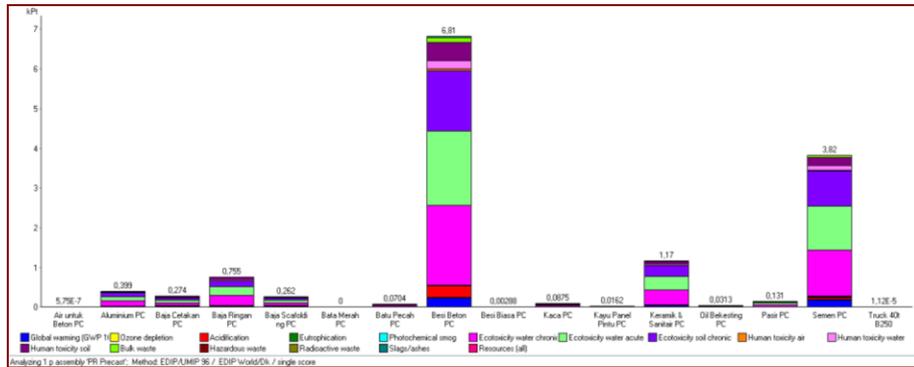
Hasil pembobotan (Gambar 13) menunjukkan hampir seluruh elemen berpotensi menimbulkan tiga dampak lingkungan dominan, yaitu: (1) kandungan racun lingkungan perairan kronis (4,06 kPt); (2) kandungan racun lingkungan perairan akut (3,79 kPt); (3) kandungan racun lingkungan tanah kronis (3,00 kPt).



Gambar 13 Pembobotan LCA Beton Pracetak Sebagian

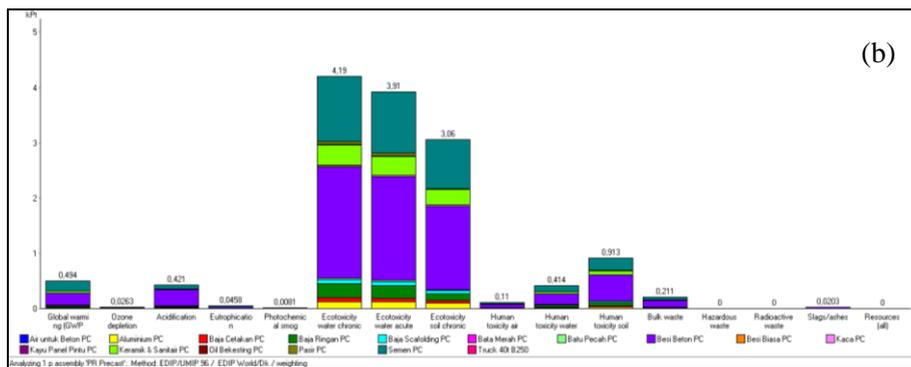
6.4 LCA Beton Pracetak penuh

Hal yang membedakan material yang digunakan dalam pembuatan rusuna menggunakan beton pracetak penuh dengan pracetak sebagian adalah pengurangan penggunaan bahan baku bagi pembuatan dinding dan plesterannya, seperti semen, pasir dan bata merah. Pengurangan bahan baku dinding ini disubstitusi seluruhnya oleh beton pracetak, sehingga dampak lingkungan akibat pemanfaatan bata merah berkurang secara signifikan, tetapi di sisi lain meningkatkan volume penggunaan beton pracetak. Seperti halnya dalam penggunaan beton konvensional dan beton pracetak sebagian, besi beton dan semen merupakan kontributor proses terbesar yang berdampak terhadap lingkungan. Bahkan dampaknya relatif lebih tinggi, karena peningkatan volume penggunaan semen dan besi sebagai bahan pokok penyusun beton pracetak. Hasil analisis skor tunggal (Gambar 14) menunjukkan besi beton merupakan kontributor proses yang bisa memberikan dampak paling besar (6,81 kPt), disusul oleh semen (3,82 kPt). Sementara elemen yang memberikan dampak paling kecil adalah air untuk beton ($5,75 \times 10^{-7}$ kPt) dan penggunaan truk ($1,12 \times 10^{-5}$ kPt).



Gambar 14 LCA *single score* beton pracetak penuh

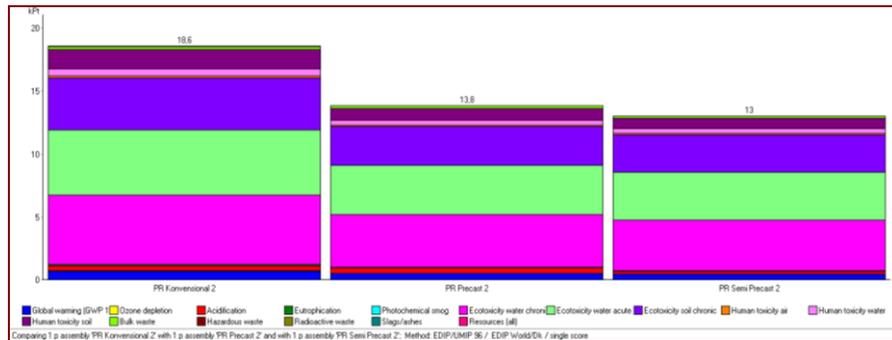
Seperti pada penggunaan beton konvensional dan beton pracetak sebagian, hampir seluruh elemen berpotensi menimbulkan tiga dampak lingkungan dominan (Gambar 15), yaitu: (1) kandungan racun lingkungan perairan kronis (4,19 kPt); (2) kandungan racun lingkungan perairan akut (3,91 kPt); (3) kandungan racun lingkungan tanah kronis (3,06 kPt).



Gambar 15 Pembobotan LCA beton pracetak penuh.

7. ANALISIS

Perbandingan energy konstruksi Perbandingan alternatif berdasarkan analisis daur hidupnya (LCA) dilakukan terhadap tiga pilihan, yaitu pembangunan rusunawa menggunakan beton konvensional, beton pracetak sebagian, dan beton pracetak penuh. Hasil skor tunggal secara agregat menunjukkan penggunaan beton pracetak sebagian memiliki kinerja sedikit lebih baik dibandingkan dengan penggunaan beton pracetak penuh dalam hal dampak lingkungan yang ditimbulkan daur hidup kontributor prosesnya. Dampak lingkungan secara keseluruhan akibat daur hidup kontributor proses penggunaan beton konvensional sebesar 18,6 kPt. Hal ini bisa diturunkan menjadi hanya 13,8 kPt dengan penggunaan beton pracetak penuh dan menjadi hanya 13,0 kPt dengan penggunaan beton semi pracetak. Sementara perbedaan kemampuan antara penggunaan beton pracetak penuh dan beton Pracetak sebagian 6% (0,8 kPt) dalam menurunkan dampak lingkungan (Gambar 16).



Gambar 16 Perbandingan hasil skor tunggal pada setiap alternatif.

Bahan bangunan utama yang mempunyai dampak lingkungan terbesar adalah besi beton, semen, aluminium, bata merah, keramik dan sanitari, sebagaimana disajikan pada Tabel-3.

Tabel 3 Perbandingan dampak lingkungan bahan bangunan utama

Alternatif Pelaksanaan dan Bahan Bangunan Utama Potensi Pencemar	Katagori Dampak Lingkungan (Pt)			Energi (kWh)
	Racun perairan kronis	Racun perairan akut	Racun tanah kronis	
Konvensional:				1.253.774,7
-besi beton	$5,18 \times 10^8$	$4,95 \times 10^7$	$2,53 \times 10^7$	
-semen	$2,85 \times 10^8$		$1,39 \times 10^7$	
-aluminium		$3,68 \times 10^6$		
Pracetak sebagian:				806.981,9
-semen	$2,94 \times 10^8$	$2,82 \times 10^7$	$1,43 \times 10^7$	
-besi beton	$2,27 \times 10^8$	-	$1,11 \times 10^7$	
-bata merah		$9,97 \times 10^6$		
Pracetak penuh:				1.008.199,9
-besi beton	$4,11 \times 10^8$	$3,92 \times 10^7$		
-semen	$2,39 \times 10^8$	$2,29 \times 10^7$	$1,97 \times 10^7$	
-keramik & sanitari			$3,65 \times 10^6$	

Jika dilihat dari kebutuhan energi pembangunan sistem konvensional merupakan sistem pembangunan yang terboros yaitu 272 kWh/m², disusul sistem pracetak penuh 219 kWh/m², dan yang paling hemat adalah sistem pracetak sebagian yaitu 175 kWh/m². Kebutuhan energi konstruksi yang dianggap wajar untuk bangunan perumahan adalah 240 kWh/m² [9] sehingga pembangunan rumah susun bertingkat medium dengan sistem pracetak dapat dianggap memenuhi kriteria konstruksi hijau.

Besi sebagai bahan baku pembuatan besi beton, merupakan kontributor proses yang memiliki dampak terbesar dalam pembangunan rusunawa terhadap lingkungan. Secara umum besi terbuat dari biji besi, batu bara dan *limestone*, lalu dicampur, diolah, dipanaskan dalam oven, lalu setelah melalui proses pendinginan dalam air, akan diperoleh batangan atau lembaran besi. Selanjutnya dilakukan proses *deform* sesuai kebutuhan, misalnya besi beton polos, ulir, kawat, pelat, balok, dan lain-lain sesuai kebutuhan. Semua proses mulai dari pengambilan di alam, proses produksi, perakitan, pemeliharaan sampai pembongkaran akan berdampak pada lingkungan, salah satu dampak yang akan muncul pencemaran pada perairan. Tanda-tanda terdapatnya pencemaran akibat besi di perairan adalah apabila terdapat suasana asam dalam

kondisi aerob [2]. Pada perairan yang diperuntukkan bagi keperluan domestik, kadar besi yang berlebihan dapat mengakibatkan warna kemerahan pada porselin, bak mandi, pipa air dan pakaian. Kelarutan besi meningkat dengan menurunnya pH [3]

Bahan lain yang memiliki dampak terbesar adalah semen. Secara umum semen terbuat dari batu kapur, tanah liat, pasir silika, pasir besi, *clicker dan gypsum*. Semua bahan baku ini dieksplorasi dari alam, sehingga mulai dari pengambilan di alam, pemilahan, pembersihan, pencampuran, pembakaran, penggilingan, penggunaan, pemeliharaan sampai pembongkaran akan mencemari lingkungan. Proses eksplorasi sumber daya alam berpotensi pencemaran lingkungan perairan dan tanah, sedangkan proses pembakaran akan berakibat pemanasan global dan pelepasan debu berakibat polusi udara. Bahan bangunan lain yang berpengaruh pada sistem pracetak adalah kayu yang dapat dihemat sebesar 603 m³. Apabila rerata diameter pohon 1 m dan jarak pohon di hutan 25 m, maka akan dapat dihemat hutan seluas 1,25 ha untuk setiap bangunan Rusunawa, yang pada gilirannya akan dapat mempertahankan penyerapan CO₂. Pelaksanaan konstruksi dengan Pracetak sebagian juga dapat menghemat penggunaan energi sebesar 446.792,8 KWH bila dibandingkan dengan konvensional. Berdasarkan beberapa hasil perbandingan diatas, sistem pelaksanaan pracetak sebagian merupakan yang paling ramah lingkungan.

8. PENUTUP

Pelaksanaan konstruksi dengan menggunakan beton pracetak sebagian dan pracetak penuh mempunyai kelebihan dalam percepatan waktu pelaksanaan, biaya lebih murah dan penghematan penggunaan kayu dibanding konvensional, sehingga memenuhi kriteria konstruksi hijau yang sangat memperhatikan efisiensi energi. Analisis juga menunjukkan bahwa sistem pracetak sebagian adalah yang lebih ramah lingkungan dibandingkan sistem pracetak penuh. Kekurangan penggunaan beton pracetak sebagian adalah penggunaan tenaga kerja secara total lebih sedikit dibandingkan beton konvensional, namun penggunaan tenaga kerja terampil lebih banyak.. Besi beton dan semen merupakan kontributor proses yang bisa memberikan dampak paling besar, sementara air untuk beton dan penggunaan truk merupakan elemen dengan dampak terkecil. Hampir seluruh elemen bahan bangunan berpotensi menimbulkan tiga dampak lingkungan dominan, yaitu: (1) kandungan racun lingkungan perairan kronis; (2) kandungan racun lingkungan perairan akut; (3) kandungan racun lingkungan tanah kronis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi para pelaku konstruksi nasional, agar juga mulai mempertimbangkan optimalisasi energi dalam perencanaan pembangunan, sehingga dapat menjadi bagian dalam usaha menjaga kelestarian bumi.

9. DAFTAR PUSTAKA

1. BPS (2010). Data Sensus Penduduk. Jakarta.
2. Cole, G.A. (1988). Textbook of Limnology. Waveland Press, Inc. Illinois. USA.
3. Effendi, H. (2000). Telaan Kualitas Air. Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB. Bogor.
4. Gibb, A.G.F. (1999). "Off-Site fabrication." John Wiley and Son. New York. USA

5. Goedkoop, M and M. Oele. 2001. Database Manual General Introduction. PRé (Product Ecology Consultant). USA.
6. Graubner,C.A,T Mielecke (2010), Sustainability of Highrise Building, " **HIGH RISE TOWERS AND TALL BUILDINGS 2010 DESIGN AND CONSTRUCTION OF SAFE AND SUSTAINABLE HIGHRISE STRUCTURES**" , Munich, Germany
7. Morgen,K . (2010), New Icon of Dubai, " **HIGH RISE TOWERS AND TALL BUILDINGS 2010 DESIGN AND CONSTRUCTION OF SAFE AND SUSTAINABLE HIGHRISE STRUCTURES**" , Munich, Germany
8. Nasir, R.Y (2011) Achieving High Performance Building through Green Building Rating Tools in Indonesia," **DISEMINASI PERATURAN PERUNDANG - UNDANGAN BANGUNAN GEDUNG DAN LINGKUNGAN**", Kementerian Pekerjaan Umum, Makasar, Indonesia
9. Sabbarudin,A.(2011) Standardisasi Pengujian Material Ramah Lingkungan, Seminar Konstruksi Ramah Lingkungan, PT Estop Indonesia, Jakarta, Indonesia
10. Sijabat, H.R dan H.N. Nurjaman (2007). Sistem Bangunan Pracetak untuk Rumah Susun dan Rumah Sehat Sederhana. Pusat Pengembangan Perumahan Kemenpera, Jakarta, Indonesia