

KOMPARASI ASPEK EKONOMI TEKNIK SC (STEEL PLATE REINFORCED CONCRETE) DAN RC (REINFORCED CONCRETE) PADA KONSTRUKSI DINDING PENGUNGKUNG REAKTOR

Yuliasuti, Sriyana

Pusat Pengembangan Energi Nuklir BATAN
Jl. Mampang Prapatan, Kuningan Barat, Jakarta Selatan
e-mail: crysant_x9@yahoo.com, yana@batan.go.id

ABSTRAK

KOMPARASI ASPEK EKONOMI TEKNIK SC (STEEL PLATE REINFORCED CONCRETE) DAN RC (REINFORCED CONCRETE) PADA KONSTRUKSI DINDING PENGUNGKUNG REAKTOR. Biaya konstruksi pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) dapat membengkak bila terjadi penundaan waktu konstruksi, penundaan perijinan, desain ulang untuk memenuhi persyaratan, dan kesulitan pada manajemen konstruksi, yang bermuara pada waktu konstruksi yang lebih panjang. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Departemen Energi Amerika Serikat pada tahun 2004, terdapat 13 teknologi konstruksi maju yang memiliki potensi untuk mengurangi waktu konstruksi PLTN. Salah satu teknologi konstruksi tersebut adalah teknik beton bertulang dengan kerangka baja (steel-plate reinforced concrete, SC) yang diterapkan pada konstruksi dinding pengungkung reaktor. Dibanding teknik beton bertulang konvensional (conventional reinforced concrete, RC) yang dibangun di lokasi dan memerlukan waktu yang lebih lama untuk membongkar rangka-tuangan (formwork), teknik SC menawarkan cara yang lebih efisien untuk melakukan pengecoran beton menggunakan rangka-tuang permanen yang terbuat dari baja. Tujuan dari studi ini adalah menghitung waktu dan membandingkan konstruksi dan biaya ekonomi antara teknik RC dan teknik SC. Hasil studi menunjukkan bahwa teknik SC dapat mengurangi waktu konstruksi sekitar 60% dan menurunkan biaya konstruksi sebesar 29,7% dibanding teknik RC.

Kata kunci: teknik beton bertulang dengan kerangka baja, pengungkung reaktor, teknologi konstruksi maju

ABSTRACT

ECONOMIC ASPECT COMPARISON BETWEEN STEEL PLATE REINFORCED CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE TECHNIQUE IN REACTOR CONTAINMENT WALL CONSTRUCTION. Construction costs of nuclear power plant were high due to the construction delays, regulatory delays, redesign requirement, and difficulties in construction management. Based on US DOE (United States Department of Energy) study in 2004, there were thirteen advanced construction technologies which were potential to reduce the construction time of nuclear power plant. Among these technologies was the application of steel-plate reinforced concrete (SC) on reactor containment construction. The conventional reinforced concrete (RC) technique were built in place and require more time to remove formwork since the external form is temporary. Meanwhile, the SC technique offered a more efficient way to placing concrete by using a permanent external form made of steel. The objective of this study was to calculate construction duration and economic comparison between RC and SC technique. The result of this study showed that SC technique could reduce the construction time by 60% and 29,7% cost reduced compare to the RC technique.

Keywords: steel-plate reinforced concrete, reactor containment, advanced construction technologies.

1. PENDAHULUAN

Terjadinya kelangkaan listrik akhir-akhir ini disebabkan oleh keterlambatan diversifikasi pemanfaatan sumber energi sehingga pemadaman listrikpun terjadi di berbagai wilayah di Indonesia. Pada keadaan seperti inilah, energi nuklir diharapkan dapat mengambil peran dengan segala keunggulan dan kekurangannya untuk dapat memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia.

Salah satu kekhawatiran publik terhadap implementasi energi nuklir, antara lain berkaitan dengan tingkat keselamatan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Menjawab kekhawatiran ini, maka berbagai tindakan protektifpun dilakukan. Salah satunya adalah pembangunan pengungkung reaktor yang berfungsi untuk mengungkung radionuklida yang dilepaskan, baik selama operasi PLTN berlangsung ataupun bila terjadi kecelakaan agar dapat melindungi kesehatan dan keselamatan masyarakat, serta para pekerja reaktor dan lingkungan di sekitar lokasi PLTN.

Selain faktor keselamatan, biaya konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) yang relatif tinggi juga merupakan salah satu faktor penting yang selalu menjadi pertimbangan dalam pengambilan keputusan pembangunan PLTN di berbagai negara. Biaya yang relatif tinggi, antara lain disebabkan oleh panjangnya durasi konstruksi sebuah PLTN. Berdasarkan hasil studi Departemen Energi Amerika Serikat (*US Department of Energy, DOE*) pada tahun 2004, terdapat tiga belas teknik konstruksi maju yang telah diidentifikasi dan dianalisis dapat mereduksi durasi konstruksi PLTN^[1]. Salah satu teknik terbaik dari ketiga belas teknik tersebut adalah teknik beton bertulang dengan kerangka baja (*Steel-plate Reinforced Concrete, SC*) pada konstruksi pengungkung reaktor. Studi DOE tersebut tidak menghitung dampak pemanfaatan teknik SC terhadap reduksi biaya konstruksi.

Pada makalah ini dibahas aspek ekonomi dan perhitungan durasi konstruksi dinding pengungkung reaktor PLTN menggunakan teknik konstruksi beton bertulang (*Reinforced Concrete, RC*) dan SC. Ruang lingkup aspek ekonomi yang dibahas pada makalah ini dibatasi pada perhitungan biaya material dan biaya tenaga kerja yang diperlukan baik dengan teknik SC maupun RC tanpa memperhitungkan tingkat suku bunga dan nilai eskalasi barang. Tujuan studi adalah untuk menentukan tingkat kelayakan pemanfaatan teknik konstruksi SC pada konstruksi dinding pengungkung reaktor PLTN ditinjau dari aspek ekonomi. Hasil yang diperoleh dari studi diharapkan dapat berguna sebagai data awal untuk evaluasi aspek ekonomi penggunaan teknik SC pada konstruksi dinding pengungkung reaktor PLTN. Lebih luas lagi, data ini nantinya diharapkan dapat dijadikan salah satu referensi dalam melakukan evaluasi jadwal dan biaya proyek pembangunan PLTN di Indonesia.

2. KONSTRUKSI DINDING PENGUNGKUNG REAKTOR

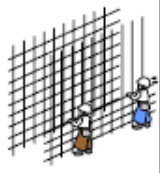

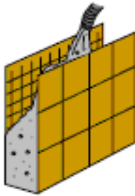
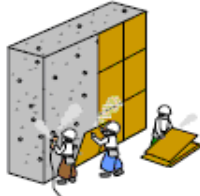
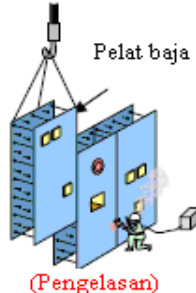
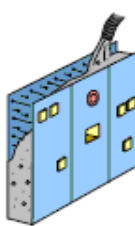
Desain sebuah PLTN mewajibkan untuk membangun penghalang (*barrier*) eksternal yang terbuat dari beton bertulang baja. Penghalang eksternal yang dimaksud adalah bangunan pengungkung reaktor (*reactor containment building*). Pengungkung reaktor dirancang untuk dapat menahan tekanan puncak yang disebabkan oleh kegagalan sistem pendingin sehingga lepasan radionuklida ke lingkungan dapat dibatasi pada laju kebocoran tertentu bergantung desain pengungkung tersebut.

Pada umumnya, konstruksi bangunan reaktor terdiri atas beton dan/atau baja yang melingkupi reaktor. Variabel kunci dalam konstruksi bangunan pengungkung adalah desain dari bangunan tersebut harus memiliki margin yang cukup berkaitan dengan penentuan konfigurasi dari beton dan baja jika dilihat dari sudut pandang struktural untuk dapat menahan beban internal dan eksternal.

Pada awalnya, pembangunan dinding penyanggung reaktor PLTN menggunakan struktur beton bertulang konvensional RC. Tipe struktur RC dibangun di lokasi konstruksi menggunakan tulang beton (*reinforcing bars = rebar*). Struktur RC memiliki rangka eksternal yang bersifat sementara dan disebut sebagai rangka-tuang (*formwork*). Rangka-tuang digunakan untuk membingkai dan membentuk struktur beton. Setelah beton terbentuk, dilakukan pembongkaran rangka-tuang.

Pada teknik SC, beton ditempatkan di antara dua pelat baja (*steel plate*) yang membentuk beton tersebut. Pelat baja berfungsi untuk memberikan eksterior permanen terhadap struktur yang sedang dikonstruksi. Bagian dalam struktur SC terdiri dari sejumlah tulang penghubung (*tie-bar*) yang berfungsi untuk menguatkan struktur beton dan rangkaian pelat baja tersebut. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh *Tokyo Electric Power Company* dari aspek keselamatan, teknik SC memiliki daya tahan struktur terhadap gempa dan meningkatkan nilai *load bearing capacity*^[2]. Nilai *load bearing capacity* adalah nilai beban maksimum yang dapat diterima oleh (atau diaplikasikan pada) sebuah sistem dalam hal ini struktur SC sebelum sistem tersebut mengalami pergerakan atau kehancuran.

Struktur SC dibentuk di luar lokasi konstruksi dan dibawa masuk ke lokasi konstruksi dalam bentuk modul. Modul-modul SC kemudian dipatri (dilas) untuk dikaitkan antara satu modul dengan modul lain. Perbandingan konstruksi struktur SC dan RC diperlihatkan pada Gambar 1.

kerja Struktur	Penyusunan Rebar	Pemasangan <i>formwork</i>	Pengecoran beton	Pembongkaran <i>formwork</i>
RC <i>(Reinforced concrete)</i>		<i>form terbuat dr kayu</i> 		
SC <i>(Steel plate reinforced concrete)</i>	—			—

Gambar 1. Perbandingan Konstruksi Struktur RC Konvensional dan SC ^[1]

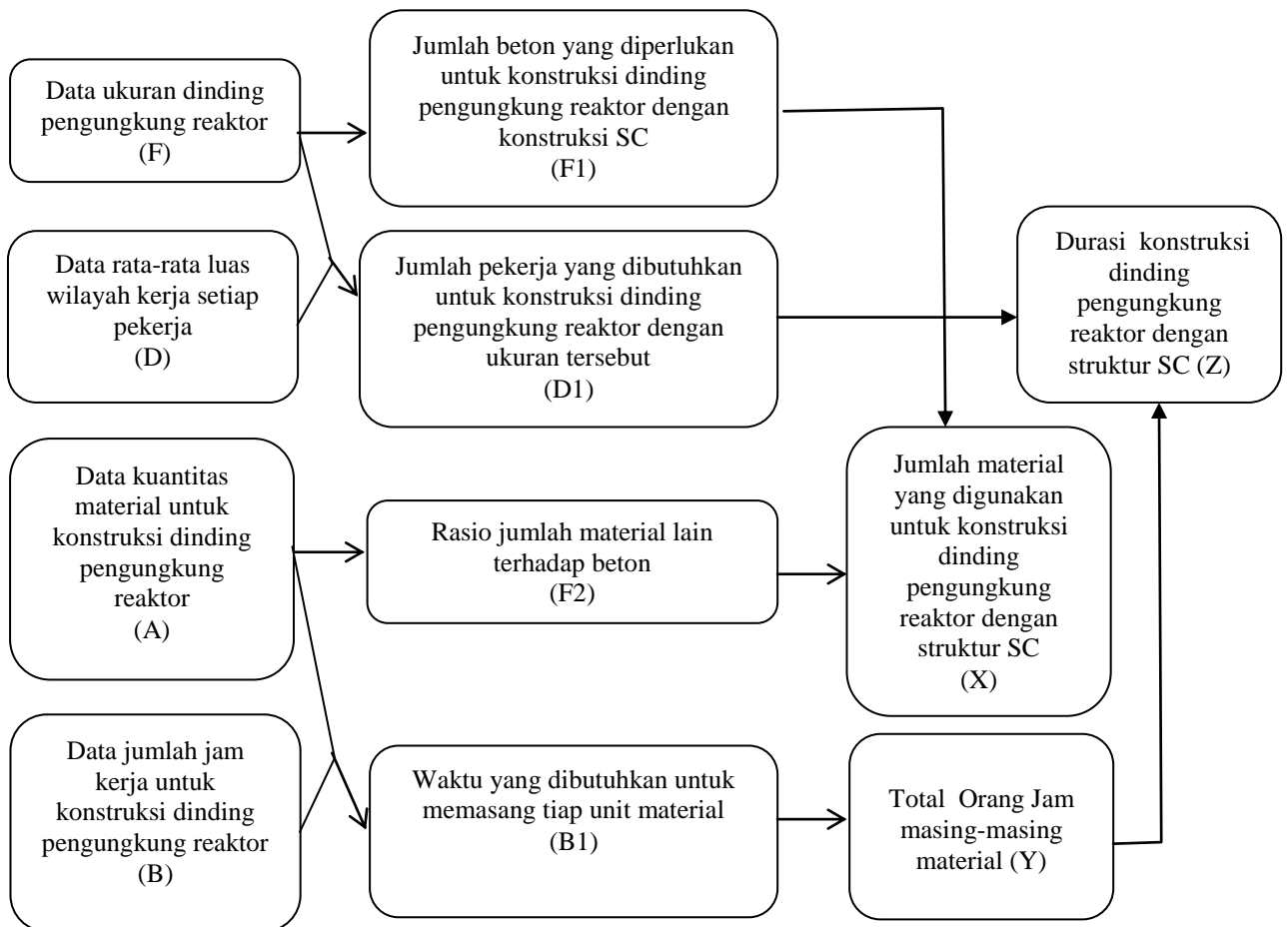
3. METODE PERHITUNGAN

Metode perhitungan durasi konstruksi yang digunakan pada studi ini sesuai dengan metode perhitungan yang digunakan studi DOE pada tahun 2004 ^[1]. Pada tahap awal, data input (F) berupa ukuran dinding penyanggung reaktor diolah untuk mendapatkan kuantitas beton (F1) yang digunakan untuk membangun dinding penyanggung reaktor dengan struktur SC. Asumsi yang digunakan pada perhitungan awal ini adalah struktur SC mencakup 15% dari keseluruhan volume penyanggung. Data

kuantitas material (A) diolah untuk menghasilkan rasio jumlah material lain terhadap beton (F2). Pengolahan F1 dan F2 menghasilkan data jumlah material yang digunakan untuk membangun dinding pengungkung reaktor dengan struktur SC (X).

Data A dan data jumlah jam kerja untuk konstruksi dinding pengungkung reaktor (B) diolah, sehingga menghasilkan data waktu yang dibutuhkan untuk memasang tiap unit material (B1). Kemudian hasil perhitungan B1 dengan X menghasilkan nilai total orang jam untuk masing-masing material (Y).

Perhitungan durasi konstruksi dinding pengungkung reaktor membutuhkan data total jumlah pekerja (D1). Data D1 didapatkan dengan menghitung luas area permukaan dinding pengungkung berdasarkan data ukuran yang ada kemudian membaginya dengan luas area rata-rata yang dibutuhkan pekerja (D). Kemudian dengan asumsi bahwa jumlah jam kerja per hari adalah 10 jam (E), maka didapatkan nilai total waktu yang dibutuhkan untuk instalasi tiap material (Z). Pada Gambar 2 terlihat alur perhitungan durasi konstruksi, sedangkan data input yang digunakan untuk perhitungan durasi konstruksi dan analisis biaya diperlihatkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Alur Perhitungan Durasi Konstruksi^[1]

Tabel 1. Input Perhitungan SC^[1]

Variabel	Kode Perhitungan	Kuantitas nilai	Sumber Data
Kuantitas Material RC	A		
Beton (ft ³)		12239	Pengalaman AS dalam membangun PLTN
Rebar (ton)		3107	
Embeds (lbs)		377147	
Rangka-tuang (ft ²)		210845	
Kuantitas Jam Kerja	B		
Beton (jam)		33635	Pengalaman AS dalam membangun PLTN
Rebar (jam)		76890	
Embeds (jam)		89410	
Rangka-tuang (jam)		95651	
Presentase waktu kerja yang dibutuhkan untuk membongkar rangka-tuang	C	40%	
Luas ruang kerja yang dibutuhkan oleh satu orang tenaga kerja (ft ²)	D	300	
Durasi waktu kerja rata-rata tiap hari (hari)	E	10	
Karakteristik Bangunan Reaktor	F		
Bentuk		Silinder	Asumsi
Diameter (ft)		130	
Tinggi (ft)		100	

Data pada Tabel 1 berasal dari hasil studi Departemen Energi Amerika Serikat pada tahun 2004 mengenai aplikasi teknologi maju pada konstruksi PLTN^[1]. Pendekatan yang digunakan adalah bahwa faktor substansial yang signifikan dalam mempersingkat durasi konstruksi adalah penggantian *rebar* dengan pelat baja dan pembongkaran rangka-tuang.

Input yang diperlukan dalam perhitungan aspek biaya konstruksi dinding pengungkung dengan struktur RC dan SC antara lain jumlah material yang digunakan, harga material, jumlah pekerja yang terlibat dalam konstruksi, dan jumlah jam kerja pekerja. Data input ini disajikan pada Tabel 2. Perhitungan biaya produksi struktur SC dan RC dihitung dengan persamaan:

Total Biaya Produksi (SC atau RC) =

(Kuantitas Material x Harga Material) + (Upah per jam x Jumlah jam kerja)

Tabel 2. Input Perhitungan Analisis Biaya SC dan RC ^[3,4,5]

Jenis Material	Spesifikasi	Kuantitas		Harga
		SC	RC	
Beton	5,500PSI (385kg/cm ²)	7821 (yd ³)	7821 (yd ³)	\$ 120/yd ³
Embeds	Heavy steel, > 50 lbs	240993 (lbs)	240993 (lbs)	\$ 1,66/lbs
Rangka-tuang	120 cm x 240 cm	-	134728 (ft ²)	\$ 2,3/ft ²
Rebar	Grade 60 #18	-	1985 (ton)	\$ 2,5/kg
Pelat baja	120 cm x 240 cm Tebal : 6mm	856 lembar	-	\$ 216,7 / lembar

Keterangan : SC (*Steel Plate Reinforced Concrete*); RC (*Reinforced Concrete*)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

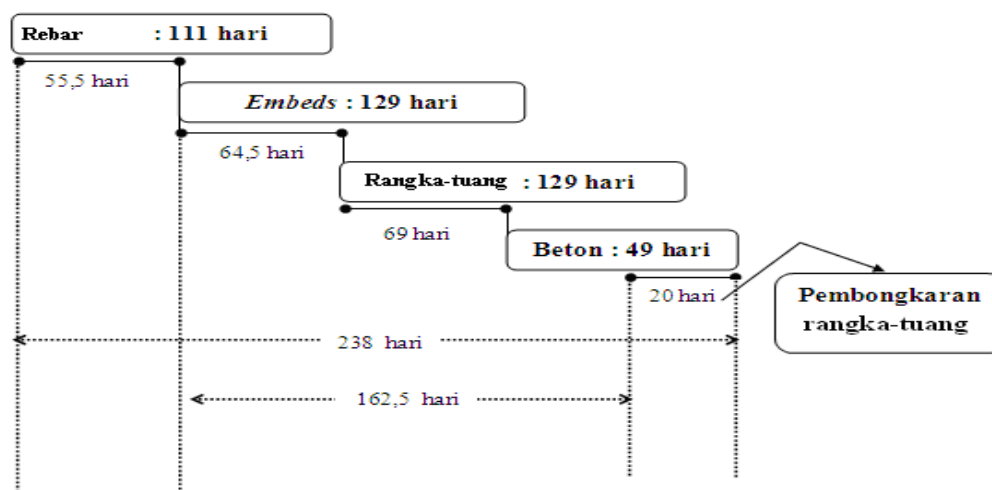
Hasil perhitungan durasi konstruksi dinding pengungkuang reaktor dengan teknik SC terlihat pada Tabel 3. Hasil menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk pemasangan material beton adalah 49 hari, *rebar* 111 hari, *Embeds* (Pelat pelekat) 129 hari, dan rangka-tuang 138 hari.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Durasi Konstruksi Dinding Pengungkuang Reaktor dengan Teknik SC

Material	Kuantitas (X)	Orang Jam/Unit Material (B1)	Total Orang Jam (Y)	Durasi kerja (Z)
Beton (yd ³)	7821	2,75	21492,44	49 (hari)
Rebar (ton)	1985	24,75	49131,96	111 (hari)
Embeds (lbs)	240993	0,24	57132,12	129 (hari)
Rangka-tuang (ft ²)	134728	0,45	61120,06	138 (hari)

Asumsi bahwa proses konstruksi dinding pengungkuang reaktor dilakukan dengan tahapan bahwa aktivitas pemasangan material akan dimulai pada saat pemasangan material sebelumnya telah setengah jalan digunakan untuk memudahkan analisis. Oleh karena itu, didapat bahwa total durasi konstruksi dinding pengungkuang dengan teknik SC adalah 238 hari.

Berdasarkan asumsi pada Tabel 1 bahwa pembongkaran rangka-tuang memakan waktu 40% dari keseluruhan waktu untuk pemasangan beton, maka dibutuhkan waktu 20 hari untuk proses pembongkaran rangka-tuang. Sesuai dengan pendekatan yang telah dijelaskan sebelumnya, maka total durasi konstruksi dinding pengungkuang dengan teknik SC adalah 162,5 hari dengan rincian 64,5 hari untuk pemasangan *embeds*, 69 hari untuk pemasangan rangka-tuang, dan 29 hari untuk pengecoran beton. Total waktu yang dibutuhkan untuk konstruksi dinding pengungkuang dengan teknik RC adalah 238 hari. Gambar 3 menyajikan *overlap* durasi konstruksi dinding pengungkuang reaktor.



Gambar 3. *Overlap* Durasi Konstruksi Dinding Pengungkuang

Hasil perhitungan dari aspek biaya materia terlihat pada Tabel 4. Sesuai dengan hasil perhitungan, walaupun harga pelat baja jauh lebih mahal dibanding harga *rebar*, namun demikian hasil perhitungan menunjukkan bahwa teknik SC membutuhkan biaya material yang lebih sedikit bila dibandingkan teknik RC. Hal ini disebabkan karena jumlah baja yang digunakan pada teknik SC jauh lebih sedikit bila dibandingkan dengan teknik RC. Teknik SC membutuhkan biaya material sekitar \$54 juta sedangkan teknik RC membutuhkan biaya material sekitar \$ 76,6 juta atau 30% lebih mahal dibanding SC. Selain itu, teknik SC tidak memerlukan *rebar* sama sekali sehingga secara keseluruhan biaya material untuk teknik SC lebih kecil bila dibandingkan dengan teknik RC.

Hasil perhitungan biaya tenaga kerja dengan asumsi upah tenaga kerja per jam ^[4] \$ 34,23 adalah sekitar \$ 81 ribu dengan teknik RC, dan sekitar \$ 55 ribu dengan teknik SC. Nilai ini menunjukkan bahwa terdapat sekitar 60% pengurangan biaya tenaga kerja bila menggunakan teknik konstruksi SC. Pengurangan biaya tenaga kerja terjadi karena durasi kerja (total Orang Jam) konstruksi berkurang 60% bila dibandingkan menggunakan teknik RC. Total reduksi biaya untuk konstruksi dinding pengungkung reaktor menggunakan teknik SC adalah \$ 22,8 juta atau reduksi 29,7% bila dibandingkan dengan teknik RC.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Biaya Material

Jenis Material	Total (\$)	
	SC	RC
Beton (yd ³)	938520	938520
<i>Embeds</i> (lbs)	400048,4	400048,4
Rangka-tuang (ft ²)	0	67629,9
<i>Rebar</i> (kg)	0	4962500
Baja (kg)	52500000	70000000
Pelat Baja (lembar)	185466,7	0
Total Biaya Material	54.024.035	76.368.698

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari studi ini adalah teknik SC layak secara ekonomi untuk diterapkan dalam konstruksi dinding pengungkung reaktor PLTN. Pemanfaatan teknik SC pada konstruksi dinding pengungkung reaktor dapat mereduksi durasi konstruksi hingga 60% bila dibandingkan dengan teknik RC. Total reduksi biaya tenaga kerja dan material adalah 29,7% bila menggunakan teknik SC pada konstruksi dinding pengungkung reaktor.

6. SARAN

Studi ini belum memperhitungkan nilai *interest rate* yang berjalan selama proses konstruksi dinding pengungkung reaktor. Selain itu aspek keselamatan dari struktur SC, perlu dikaji lebih dalam lagi terkait adanya kriteria keselamatan nuklir yang cukup ketat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SCHLASEMAN C., Application of Advanced Construction Technologies to New Nuclear Power Plants, www.ne.doe.gov/np2010/reports/mpr2610Rev2Final924.pdf, diakses tanggal 22 Juni 2008, 2004.

- [2] ANONYMOUS, Improved Construction and Project Management, Tokyo Electric Company www3.inspi.ufl.edu/ICAPP/plenary/5/Construction-omoto.ppt, diakses tanggal 07 Juli 2008.
- [3] E. C. D'ORO, Estimation of the Safety Margins between Design and Failure Conditions of PWR Containments. www.stormsmith.nl/report20050803, diakses tanggal 17 Maret 2008, 2006.
- [4] ANONYMOUS, National Construction Estimator. www.Get-A-Quote.net, diakses tanggal 29 Juni 2008, 2008.
- [5] ANONYMOUS, Lysaght Bondek Formwork, [http://www.getprice.com.au/ Lysaght-Bondek-Formwork-060mm-Sprv_](http://www.getprice.com.au/Lysaght-Bondek-Formwork-060mm-Sprv_), diakses tanggal 27 Juni 2008, 2008.