

EVALUASI KINERJA DAN PERBAIKAN STRUKTUR BETON GEDUNG PENDINGIN AIR *EVALUATION ON THE PERFORMANCE OF AND REPAIR OF THE CONCRETE STRUCTURE OF A COOLING WATER TOWER*

Hendro Ahmad Fauzi

Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur – BPPT
Kawasan PUSPIPEK Gd. 220 Serpong, Tangerang 15314
e-mail : hendro_b2tks@yahoo.com

Tanggal masuk naskah : 18/01/2013 ; Tanggal revisi : 29/03/2013 ; Tanggal persetujuan cetak : 08/04/2013

Abstrak

Makalah ini menyajikan evaluasi kinerja dan kekuatan struktur dengan metode pemeriksaan secara visual dan pengujian mutu beton di lapangan dengan alat Schmidt hammer dan UPV. Evaluasi kinerja struktur, kekuatan kolom, balok serta pelat mengacu pada SNI-2847-2002, dengan penerapan beban gempa berdasarkan SNI-1726-2002, serta memberikan usulan perbaikan dan perkuatan struktur yang diperlukan. SAP 2000 digunakan untuk analisis struktur guna mendapatkan nilai kuat perlu (R_u). Beton 2000 digunakan untuk analisis struktur kondisi existing guna mendapatkan kuat rencana (R_n). Komponen struktur dikatakan aman jika kuat rencana lebih besar atau sama dengan kuat rencana atau $(\phi \cdot R_n) \geq R_u$. Perbaikan elemen struktur dilakukan dengan metode coating dan injeksi.

Kata kunci : evaluasi kinerja struktur, metode perbaikan

Abstract

This paper presents the evaluation of performance and strenght of structure by visual inspection and quality testing of concrete in the field by using a Schmidt hammer and UPV. The evaluation on the performance of the structure, strength columns, beams and plates refer to SNI-2847-2002, in which the implementation of earthquake loads was based on SNI-1726-2002. The paper proposes improvements and retrofitting necessary structures. SAP2000 is used for structural analysis necessary to obtain the required strength values (R_u). Beton2000 is used for structural analysis of existing conditions in order to get the designed strength values (R_n). The structure components are in safe condition if its design strength is greater or equal than required strength or $(\phi \cdot R_n) \geq R_u$. Improvements were made to the structural element by coating and injection methods.

Keywords : structural performance evaluation, improvement

1. PENDAHULUAN

Struktur pendingin air (*cooling water tower*) merupakan struktur penunjang dalam kegiatan pengolahan industri penghasil amoniak. Struktur ini difungsikan untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfer, yaitu dengan sistem penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke

atmosfir. Struktur pendingin air adalah struktur beton bertulang yang terletak di lingkungan yang agresif dan terjadi kontak langsung dengan air laut yang mengandung sulfat tinggi.

Pada saat ini terjadi kerusakan seperti retak dan *spalling* pada struktur beton, dan terjadi korosi pada baja tulangan akibat serangan sulfat. Untuk memastikan kekuatannya, maka dilakukan pemeriksaan kondisi struktur pendingin air pada bangunan atas dengan melihat langsung

struktur yang rusak baik secara visual atau dengan bantuan alat ukur pada struktur atas bangunan pendingin air (*cooling water tower*).

Durabilitas beton harus menjadi perhatian yang serius apabila menghendaki bangunan yang dibangun mempunyai ketahanan yang baik terhadap lingkungan di sekitarnya. Suatu bangunan dapat dikatakan mempunyai ketahanan yang tinggi (*durable*) apabila bangunan tersebut dalam masa layan yang telah direncanakan dapat berfungsi sesuai dengan fungsi yang didesain untuk bangunan tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan lokasi dan jenis-jenis kerusakan pada struktur bangunan atas struktur beton dengan pemeriksaan secara visual.
2. Melakukan pengujian kualitas bahan beton di lapangan dengan uji tidak merusak menggunakan alat *ultrasonic pulse velocity* (UPV), *Schmidt rebound hammer test*, dan *half-cell potentiometer*.
3. Mengevaluasi kinerja dan kekuatan struktur bangunan sesuai kondisi *existing* menurut SNI 03-2847-2002.

Penilaian kekuatan penampang komponen struktur berdasarkan SNI 03-2847-2002. Struktur atau komponen struktur dikatakan masih memenuhi persyaratan kekuatan jika kuat rencana rencana lebih besar atau minimal sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan beban-beban rencana yang akan bekerja (beban mati, hidup, angin, gempa, beban khusus), atau dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Kuat perlu} \leq \text{Kuat rencana} \\ (R_u) \leq (\phi \cdot R_n) \quad (1)$$

dengan :

R_n : kuat rencana;

R_u : kuat perlu atau gaya dalam akibat beban kerja;

ϕ : faktor reduksi kekuatan.

Selain kekuatan juga harus dipenuhi syarat kekakuan bangunan, dimana besarnya lendutan maksimum harus lebih kecil dibandingkan dengan lendutan ijin.

Perbaikan dan perkuatan adalah untuk meningkatkan kinerja struktur. Perbaikan bertujuan untuk mengembalikan, sedangkan perkuatan bertujuan untuk meningkatkan kinerja struktur. Persyaratan bahan yang digunakan untuk perbaikan dan perkuatan antara lain: susut kecil, dapat melekat dengan baik, sifat muai dan

modulus elastisitas tidak jauh dengan bahan yang diperbaiki, permeabilitas rendah, dan tahan lama.

2. BAHAN DAN METODA

2.1. BAHAN

Penelitian dilakukan terhadap struktur beton gedung pendingin air (*cooling water tower*). Obyek penelitian seperti disajikan pada Gambar 1.



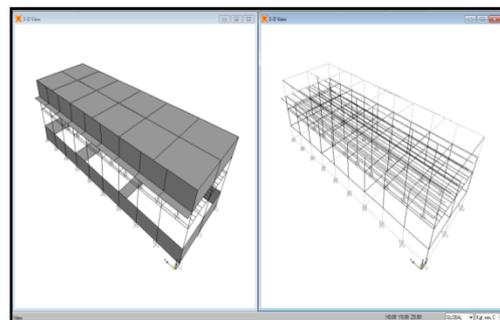
Gambar 1 : Struktur pendingin air (*cooling water tower*)

2.2. Metoda

Peralatan yang digunakan untuk penelitian sebagai berikut:

- 1) Mengukur dimensi dan lebar retak: meteran, *caliper* (jangka sorong), *rebar locator*, dan *microcrack* meter.
- 2) Mengukur mutu bahan beton: *Schmidt rebound hammer test*, dan *ultrasonic pulse velocity* (UPV).
- 3) Mengukur nilai probabilitas indikasi korosi tulangan beton adalah *half-cell potentiometer*.

Pemodelan struktur pendingin air *existing* digambarkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 : Pemodelan struktur pada Program SAP2000

Standar pembebanan yang digunakan berdasarkan ketentuan dari SNI 03-1727-1989 dan pembebanan gempa

mengacu pada SNI 03-1726-2002 dan peta gempa 2010.

Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut:

1) Tahap pengambilan data

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung di lokasi penelitian dan laboratorium melalui pemeriksaan kondisi secara visual (*visual inspection*), pengujian, pengukuran dan pengamatan langsung di lokasi penelitian.

Data sekunder terdiri dari data-data gambar pelaksanaan (*as built drawing*) dan data perencanaan.

2) Tahap analisis dan pengolahan data

Analisis data hasil pengujian menggunakan metode statistik untuk mendapatkan besarnya mutu bahan yang akan digunakan untuk input data pemodelan struktur.

3) Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur pendingin air menggunakan *software* SAP2000.

4) Pembahasan

Berdasarkan hasil pemodelan struktur yang telah dilakukan diketahui gaya dan momen-momen yang terjadi, kemudian dibandingkan dengan kuat rencana struktur. Dari analisis tersebut dapat diketahui kondisi struktur masih dalam keadaan aman atau tidak aman.

5) Tahap penentuan perbaikan atau kekuatan

Penentuan metode perbaikan dilakukan setelah diketahui penyebab dari tingkat kerusakan dan keamanan kekuatan struktur bangunan. Jika berdasarkan analisis struktur kondisi aman maka struktur cukup dilakukan perbaikan, namun jika kondisi struktur tidak aman maka dilakukan kekuatan struktur.

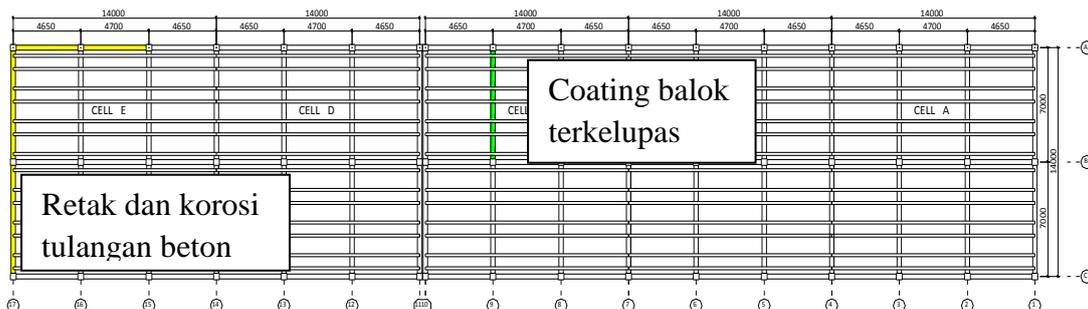
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Identifikasi Kerusakan Struktur Bangunan Atas

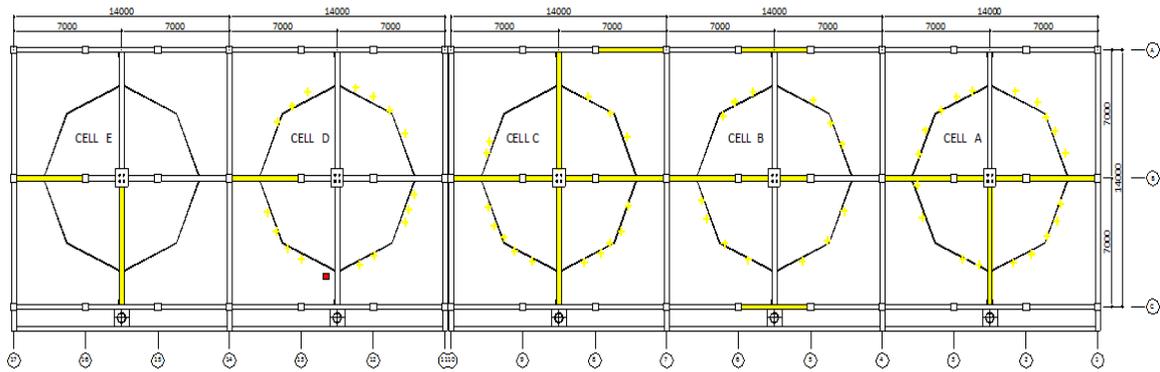
Hasil pengamatan visual di lapangan diperoleh beberapa data-data kerusakan dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, Gambar 3, dan Gambar 4.

Tabel 1. Hasil inspeksi secara umum struktur atas gedung pendingin air dengan metode visual

No.	Tipe Kerusakan Beton	Ada/Tidak Ada	Keterangan
1.	Crack (retak)	ada	lebar retak 0,5 mm sampai 2,0 mm lokasi kolom, balok, pelat atap, dan dinding
2.	Spalling	ada	Aman
3.	Korosi tulangan beton	ada	lokasi pada dinding, balok dan pelat atap
4.	Settlement	tidak ada	Aman
5.	Horizontal displacement	tidak ada	Aman
6.	Abrasi dan erosi	tidak ada	Aman



Gambar 3 : Kerusakan komponen balok struktur pendingin air Tingkat 2

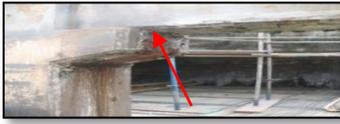
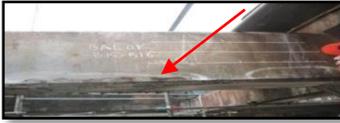


Gambar 4 : Kerusakan komponen balok struktur pendingin air Pelat Atap

Keterangan :

- Struktur beton mengalami rusak ringan dan coating terkelupas
- Struktur beton mengalami rusak sedang, retak (lebar retak antara 0,0 mm sampai 0,5 mm)
- Struktur beton mengalami rusak berat, retak dan korosi pada tulangan beton (lebar retak antara 0,5 mm sampai 1,5 mm)

Tabel 2. Kerusakan dan penyebab kerusakan komponen struktur gedung pendingin air

No.	Foto Kerusakan	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan
1.		Terjadi retak pada kolom dan keluar warna putih pada beton dan warna merah kecoklatan dari tulangan beton meleleh keluar.	Korosi beton dan korosi tulangan.
2.		Terjadi retak pada balok dan keluar warna putih pada beton dan warna merah dari tulangan beton meleleh keluar.	Korosi beton dan korosi tulangan.
3.		Terjadi retak pada pelat atap dan keluar warna putih pada beton dan warna merah dari tulangan beton meleleh keluar.	Korosi beton dan korosi tulangan.
4.		Coating terkelupas, terjadi retak pada balok anak dan keluar warna putih pada beton dan warna merah dari tulangan beton meleleh keluar.	Korosi beton dan korosi tulangan.
5.		Coating terkelupas, terjadi retak pada balok dan keluar warna putih pada beton dan warna merah dari tulangan beton meleleh keluar.	Korosi beton dan korosi tulangan.

3.2. Hasil Pemeriksaan di Lapangan

3.2.1 Kuat tekan beton

Berdasarkan hasil pengujian *UPV* pada struktur gedung pendingin air,

maka dapat disimpulkan bahwa kuat tekan beton pada kolom, balok, pelat atap

dan dinding masuk dalam kategori beton mutu baik.

Hasil pengujian *UPV* selanjutnya digunakan untuk data input pemodelan dan analisis struktur *existing*. Diperoleh nilai rata-rata kuat tekan beton untuk masing-

masing elemen struktur, seperti disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai kuat tekan beton rata-rata masing-masing elemen struktur *existing*

No.	Elemen struktur	Kuat tekan beton (MPa)				
		Cell A	Cell B	Cell C	Cell D	Cell E
1.	Kolom	30,81	29,55	30,76	28,42	29,01
2.	Balok utama 1 (450x500)	33,69	33,69	29,83	29,83	29,83
3.	Balok utama 2 (300x600)	29,10	26,90	30,06	28,25	29,96
4.	Balok anak (180x250)	31,00	31,00	29,86	29,86	28,85
5.	Pelat lantai dan pelat atap	27,49	28,95	29,03	29,83	28,75
6.	Dinding beton	30,10	27,65	30,42	30,34	28,70

3.2.2. Pengujian *half-cell potentiometer*

Pengujian *half-cell potentiometer* yang dilakukan pada kolom, balok, dan pelat atap. Hasil pengujian *half-cell potentiometer* pada struktur gedung pendingin air, sebagian besar beton dan tulangan mengalami korosi aktif tinggi atau keyakinan terjadi korosi sebesar 90%. Hal ini juga terlihat keluarnya cairan berwarna kemerahan yang berasal dari tulangan yang terkorosi.

3.2.3. Tegangan leleh baja tulangan

Tegangan leleh baja tulangan yang digunakan dalam evaluasi kekuatan struktur ditentukan berdasar *as build drawing* yang menyebutkan bahwa tulangan longitudinal yang digunakan adalah baja tulangan dengan tegangan leleh 410 MPa. Sengkang yang digunakan adalah baja tulangan dengan tegangan leleh 250 MPa. Modulus elastisitas (E_s) adalah 200000 MPa. Berat sendiri baja 7850 kg/m³.

3.3. Evaluasi Struktur *Existing*

3.3.1. Evaluasi kerusakan ditinjau dari aspek fungsional

Pemeriksaan visual terhadap kondisi fisik komponen dan peralatan pelengkap bangunan pendingin air adalah baik. Struktur pendingin air masih dapat difungsikan dengan baik sesuai rencana. Namun perlu adanya kontrol terhadap lebar retak pada beton saat dikenakan beban layan.

3.3.2. Analisis retak beton

Hasil pengujian dan pemeriksaan diperoleh lebar retak beton struktur pendingin air berkisar antara 0,5 mm sampai 2 mm. Berdasar hasil pemeriksaan lebar retak beton yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa lebar retak yang terjadi melebihi batas maksimum lebar retak yang disyaratkan ACI 224R-01 sebesar 0,15 mm untuk beton bertulang pada lingkungan air laut. Perlu segera dilakukan perbaikan retak beton agar tidak memperparah kerusakan dan terjadi korosi baja tulangan yang semakin meluas.

3.3.3. Evaluasi kekakuan struktur gedung

Hasil analisis struktur didapatkan pergeseran (*displacement*) sumbu X dan sumbu Y struktur gedung seperti yang tercantum dalam Tabel 4.

Tabel 4. *Displacement* arah X dan arah Y pada struktur pendingin air

Tingkat	<i>Displacement</i> (mm)	
	Sumbu X	Sumbu Y
Bagian 1 (Cell A, Cell B, Cell C)		
Tingkat 1	0,10	0,04
Tingkat 2	6,27	5,30
Tingkat 3	9,51	7,50
Pelat Atap	9,65	7,60
Bagian 2 (Cell D, Cell E)		
Tingkat 1	0,10	0,03
Tingkat 2	6,48	5,27
Tingkat 3	9,80	7,48
Pelat Atap	9,94	7,59

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat beban gempa rencana. Hasil

perhitungan simpangan antar tingkat tercantum pada Tabel 5.

Tabel 5. Simpangan antar tingkat arah X dan arah Y pada struktur pendingin air

Tingkat	Tinggi (m)	Simpangan terjadi (mm)		Simpangan ijin (mm)	
		X	Y	X	Y
Bagian 1 (Cell A, Cell B, Cell C)					
Tingkat 1	3,40	0,10	0,04	18,21	18,21
Tingkat 2	4,15	6,17	5,26	22,23	22,23
Tingkat 3	2,95	3,24	2,20	15,80	15,80
Pelat Atap	3,50	0,14	0,10	18,75	18,75
Bagian 2 (Cell D, Cell E)					
Tingkat 1	3,40	0,10	0,03	18,21	18,21
Tingkat 2	4,15	6,38	5,24	22,23	22,23
Tingkat 3	2,95	3,32	2,21	15,80	15,80
Pelat Atap	3,50	0,14	0,11	18,75	18,75

Dari Tabel 5. tampak bahwa simpangan antar tingkat yang terjadi pada semua tingkat masih di bawah simpangan ijin sehingga struktur pendingin air memenuhi standar kinerja batas layan sesuai Pasal 8.1.2 SNI 03-1726-2002. Berdasarkan hasil tersebut maka kerusakan non-struktur, benturan berbahaya antar gedung atau antar bangunan struktur bangunan yang dipisah dengan sela pemisah (dilatasi) tidak terjadi.

3.3.4. Evaluasi kekuatan struktur

Analisis struktur kolom dilakukan pada seluruh kolom, balok, pelat lantai dan dinding beton dengan menggunakan *software* Beton 2000 *release* 2 berdasarkan masukan hasil SAP2000. Berdasarkan hasil analisis kolom kondisi *existing* pada saat ini semua komponen kolom struktur pendingin air milik PT. KPI masih dalam kondisi aman dalam menerima beban yang bekerja ditinjau dari gaya aksial, momen dan gaya gesernya. Hasil analisis menunjukkan momen *resistance* (M_r) lebih besar dari momen perlu *ultimate* (M_u), dan gaya geser *resistance* (V_r) lebih besar dari gaya geser perlu *ultimate* (V_u).

3.4. Usulan Perbaikan dan Perkuatan Struktur

Berdasar analisis kerusakan pada struktur pendingin air, selanjutnya mengklasifikasikan perbaikan serta menentukan metode perbaikannya seperti uraian berikut ini:

- 1) Klasifikasi perbaikan struktur
 - a) Perbaikan ringan, perbaikan pada permukaan struktur yang berupa plesteran dan *coating*.
 - b) Perbaikan sedang, perbaikan ini dilakukan pada struktur yang mendapat rembesan air laut tidak langsung.
 - c) Perbaikan berat dilakukan pada struktur bangunan yang mendapat rembesan air laut secara langsung, berulang-ulang dan berlangsung lama.
- 2) Alternatif perbaikan dan memilih metode perbaikan ditentukan oleh jenis kerusakan strukturnya yang meliputi : *coating* dan *injection*
 - a) *Coating* adalah melapisi permukaan beton dengan cara mengoleskan atau menyemprotkan bahan yang bersifat plastik dan cair. Lapisan ini digunakan untuk menyelimuti beton terhadap lingkungan yang merusak beton.
 - b) *Injection (grouting)* adalah memasukkan bahan yang bersifat encer ke dalam celah atau retakan pada beton, kemudian diinjeksi dengan tekanan sampai terlihat pada lubang atau celah lain telah terisi atau mengalir keluar.
- 3) Pencegahan korosi baja tulangan

Korosi baja tulangan beton dicegah dengan menggunakan sistem proteksi katodik, baik dengan sistem arus paksa (*impressed current*) maupun sistem anoda tumbal. Sistem arus

paksa untuk memproteksi baja tulangan dalam selimut beton.

Selain itu, pencegahan kerusakan beton juga dapat dilakukan untuk mencegah penetrasi oksigen terlarut dalam air, ion klorida dan karbondioksida ke dalam selimut beton, dengan cara meningkatkan daya lekat serta meminimumkan porositas selimut beton

4. KESIMPULAN

Sesuai dengan penjelasan dan pembahasan telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa pemeriksaan secara visual terhadap kondisi fisik komponen dan peralatan pelengkap bangunan pendingin air didapatkan kondisi baik. Struktur pendingin air masih dapat difungsikan dengan baik. Kerusakan beton dan korosi tulangan akibat dari serangan sulfat yang berasal dari air laut atau lingkungan agresif, baik struktur kontak secara langsung maupun tidak langsung. Evaluasi kinerja struktur gedung menyatakan bahwa gedung aman terhadap kerusakan *non* struktural dan benturan antar gedung yang dipisahkan dengan sela pemisah (dilatasi). Hasil analisis struktur gedung *existing* adalah semua komponen struktur gedung aman, baik terhadap kekuatan maupun kekakuan.

Struktur pendingin air tersebut direkomendasikan dilakukan perbaikan dengan *coating*, *epoxy injection* atau gabungan antara keduanya bergantung pada tingkat korosi atau kondisi baja tulangan. Korosi baja tulangan beton dicegah dengan menggunakan sistem proteksi katodik, baik dengan sistem arus paksa (*impressed current*) maupun sistem anoda tumbal.

DAFTAR PUSTAKA

1. ACI Committee 224: *Control of Cracking in Concrete Structures*, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2009.
2. ACI Committee 318: *Building Code Requirements for Structural*

Concrete (ACI 318-08) and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2008.

3. ASTM C 876-1991: *Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Reinforcing Steel in Concrete*, ASTM. *International Standard Worldwide, United States of America, 1991.*
4. ASTM C 597-1991: *Test for Pulse Velocity through Concrete*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1991.
5. Badan Standarisasi Nasional: *Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*, Pedoman Perencanaan, SNI 03-1727-1989, Bandung, Indonesia, 1989.
6. Badan Standarisasi Nasional: *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2002, Bandung, Indonesia, 2002.
7. Badan Standarisasi Nasional: *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-1726-2003, Bandung, Indonesia, 2003.
8. Kementrian Pekerjaan Umum: *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*, Bandung, Indonesia, 2010.
9. Partowiyatmo, A. & Sudarmadi : *Pengembangan Teknik Estimasi Kekuatan Beton dengan Uji Ultrasonik*, Prosiding Seminar Teknologi Untuk Negeri, BPPT, Jakarta, 2009.
10. Computer & Structures inc : *SAP2000 version 12*, Computer & Structures inc, University Avenue Berkeley, California, USA, 2009.