

PENERAPAN METODE SCHMIDT HAMMER TEST DAN CORE DRILLED TEST UNTUK EVALUASI KUAT TEKAN BETON PADA RUANG IGD RSGM UNSRAT GUNA ALIH FUNGSI BANGUNAN

Vilty Stilvan Karundeng

Steenie E. Wallah, Ronny Pandaleke

Universitas Sam Ratulangi Fakultas Teknik Jurusan Sipil Manado

Email:viltykarundeng@gmail.com

ABSTRAK

Balai pengobatan Rumah Sakit Gigi dan Mulut sebelumnya digunakan sebagai tempat perkuliahan. Gedung perkuliahan ini sudah sangat tua dan tidak memiliki data awal perencanaan. Sesuai dengan PP No.36 tahun 2005 tentang Peraturan Pelaksanaan UU No.28 tahun 2002 mengenai Bangunan Gedung, bahwa setiap bangunan yang beralih fungsi sudah selayaknya untuk dilakukan pemeriksaan dan mendapatkan rekomendasi bahwa gedung yang ada masih layak untuk beroperasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton dengan menggunakan metode Schmidt Hammer Test pada balok, kolom dan plat serta Core Drilled Test hanya pada plat lantai. Benda uji hasil coring kemudian diuji kuat tekan beton di laboratorium Konstruksi dan Material Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.

Hasil pengujian kuat tekan rata-rata sampel Core Drilled Test pada plat lantai sebesar 24.76 MPa, sedangkan Schmidt Hammer Test pada kolom 25.45 MPa, balok 26.35 MPa dan plat 25.84 MPa dengan koefisien variasi pada kolom 23.82%, balok 16.37 % dan plat 39.60%.

Perhitungan 85% dari kuat tekan rata-rata benda uji lebih dari 17 MPa dan memenuhi persyaratan beton struktural. Koefisien variasi hasil pengujian Schmidt Hammer Test > 6% yang menunjukkan tingkat keseragaman yang kurang baik. Hasil pengujian ini dapat dievaluasi berdasarkan peraturan yang ada dan bisa dijadikan data awal untuk evaluasi struktur selanjutnya.

Kata kunci : Kuat Tekan, Schmidt Hammer Test, Core Drilled Test.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dalam pemenuhan kebutuhan infrastruktur bangunan gedung, tidak selamanya pembangunan gedung yang baru sebagai pilihan yang tepat, mengingat biaya pembangunan yang dibutuhkan tidaklah sedikit di masa sekarang ini. Mengalihfungsikan bangunan yang sudah ada untuk digunakan dengan fungsi yang baru dapat menjadi pilihan.

Balai pengobatan Rumah Sakit Gigi dan Mulut (RSGM) UNSRAT diresmikan pada 23 September 2010. Pembangunan rumah sakit ini selain untuk menyelenggarakan pelayanan kesehatan bagi masyarakat, serta merupakan lahan praktek bagi mahasiswa jenjang profesi di Program Studi Kedokteran Gigi UNSRAT. Bangunan ini yang dulunya digunakan sebagai tempat perkuliahan sudah sangat tua dan sekarang berubah fungsi menjadi rumah sakit.

Pemeriksaan terhadap gedung ini merupakan permintaan dari pihak RSGM

UNSRAT untuk dilakukan evaluasi kekuatan struktur sebagai salah satu persyaratan menurut PP No.36 tahun 2005 tentang Peraturan Pelaksanaan UU No.28 tahun 2002 tentang Bangunan Gedung. Sesuai dengan isi PP No.36 tahun 2005 Bab II Bagian Ketiga tentang Perubahan Fungsi Bangunan Gedung Pasal 7 Ayat (3) : “Perubahan fungsi bangunan gedung harus diikuti dengan pemenuhan persyaratan administratif dan persyaratan teknis bangunan gedung”.

Setiap bangunan yang beralih fungsi sudah selayaknya untuk dilakukan pemeriksaan dan mendapatkan rekomendasi bahwa gedung yang ada masih layak untuk beroperasi. Pemeriksaan ini merupakan salah satu syarat administratif yang harus dipenuhi oleh pihak pengelola dan pemilik gedung.

Tidak adanya data awal perencanaan dari gedung ini juga menjadi alasan bagi pihak pemilik gedung untuk dilakukannya upaya penyelidikan terhadap gedung RSGM UNSRAT. Data-data yang didapat dalam pemeriksaan ini akan dijadikan data awal untuk dilakukannya evaluasi struktur secara keseluruhan.

Pemeriksaan yang dilakukan terhadap gedung ini merupakan salah satu proses dari serangkaian proses penyelidikan secara menyeluruh.

Perumusan Masalah

Gedung ini tidak memiliki data-data awal perencanaan sebagai dasar dalam mengevaluasi kekuatan dan ketahanan struktur. Untuk itu perlu mengkaji kuat tekan beton sebagai data awal dalam mengevaluasi struktur secara keseluruhan setelah terjadinya alih fungsi.

Batasan Masalah

1. Pemeriksaan dilakukan dilapangan (gedung RSGM UNSRAT) dan pengujian di Laboratorium Struktur dan Material Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.
2. Ruang yang ditinjau adalah Instalasi Gawat Darurat RSGM UNSRAT.
3. Pemeriksaan lapangan dengan mengukur kekerasan permukaan beton melalui Pengujian Palu Beton (*Schmidt Hammer Test*).
4. Untuk metode *Schmidt Hammer Test* diuji pada struktur bagian atas yang meliputi balok, kolom dan plat.
5. Pengambilan benda uji berupa sampel bor inti (*Core Case*) dengan metode *Core Drilled Test* hanya pada plat lantai.
6. Menggunakan *Core Drilling Machine* dengan diameter 10 cm.
7. Untuk pengujian kuat tekan beton di laboratorium yang ditinjau adalah beton hasil pengambilan sampel bor inti (*Core Case*).
8. Kuat tekan hasil *Schmidt Hammer Test* dan *Core Drilled Test* akan dievaluasi berdasarkan peraturan yang ada.
9. **Referensi**
 - a) SNI 03-4803-1998 Metode Angka Pantul Beton yang Sudah Mengeras.
 - b) SNI 03-4430-1997 Metode Pengujian Kuat Tekan Elemen Struktur Beton Dengan Alat Uji Palu Beton Type N dan NR.
 - c) SNI 03-2492-2002 Metode Pengambilan dan Pengujian Beton Inti.
 - d) SNI 03-3403-1994 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton Inti Pemboran.
 - e) SNI 03-1974-1990 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.
 - f) SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
 - g) Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kuat tekan beton melalui Pengujian Palu Beton (*Schmidt Hammer Test*) pada balok, kolom dan plat serta Pengujian Beton Inti (*Core Drilled Test*) pada plat lantai.

Manfaat Penelitian

1. Mengatasi permasalahan yang muncul akibat alih fungsi bangunan, sehingga menjamin keamanan bagi pengguna bangunan dan kepastian hukum bagi pengelolaan bangunan.
2. Memberikan informasi mengenai kuat tekan dari beton terpasang sebagai data awal dalam evaluasi struktur selanjutnya.

LANDASAN TEORI

Tinjauan umum

Suatu konstruksi gedung tua bisa difungsikan dengan mengkaji terlebih dahulu kekuatan struktur beton bertulang yang ada. Kekuatan struktur beton yang ditinjau adalah kuat tekan struktur beton bertulang yang ada. Kuat tekan (*Compressive Strength*) adalah besarnya beban yang dipikul per satuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin uji kuat tekan. Pemeriksaan ini dilakukan dengan beberapa pengujian terhadap kualitas beton seperti Pengujian Palu Beton (*Schmidt Hammer Test*) dan Pengujian Beton Inti (*Core Drilled Test*.)

Pemeriksaan Keandalan Struktur Bangunan Gedung

Secara umum tujuan penilaian struktur adalah untuk menentukan beberapa hal, seperti :

- (1) Kemampuannya untuk tetap berfungsi sebagaimana yang diharapkan berdasarkan desain awal.
- (2) Jika kemampuannya sudah berkurang, maka perlu ditentukan fungsi/beban yang cocok untuk kondisi struktur saat ini.
- (3) Sisa umur layanannya.
- (4) Kemampuannya untuk menerima beban yang lebih besar atau melayani fungsi yang lain.
- (5) Kelayakan untuk memodifikasi struktur sehingga sesuai dengan peraturan yang berlaku.
- (6) Kondisi/tingkat kerusakan yang dialami struktur.

Metode Pengujian Pemeriksaan Gedung

Metode yang biasa dilakukan dalam pemeriksaan terhadap konstruksi beton sebuah bangunan ada dua jenis, yaitu:

1. Metode pemeriksaan tanpa merusak (*Non Destructive Test/NDT*). Metode pemeriksaan dengan cara tidak merusak adalah suatu metode pengujian terhadap konstruksi beton/konstruksi baja dengan tidak melakukan perusakan terhadap elemen struktur untuk pengambilan sampel uji atau pengujian langsung di lapangan.
2. Metode pemeriksaan dengan merusak (*Destructive Test/DT*). Pemeriksaan dengan cara merusak adalah suatu pengujian terhadap konstruksi beton/baja dengan melakukan perusakan terhadap elemen struktur.

Evaluasi Kuat Tekan Beton Melalui Pengujian Palu Beton (*Schmidt Hammer Test*)

Pengujian ini bertujuan untuk memperkirakan nilai kuat tekan beton terpasang yang didasarkan pada kekerasan permukaan beton pada seluruh bagian komponen struktur. Hammer test merupakan alat yang ringan dan praktis dalam penggunaannya. Prinsip kerjanya adalah dengan memberikan beban intact (tumbukan) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan menggunakan energy yang besarnya tertentu. Karena timbul tumbukan antara massa tersebut dengan permukaan beton, massa tersebut akan dipantulkan kembali. Jarak pantulan massa yang terukur memberikan indikasi kekerasan permukaan beton. Kekerasan beton dapat memberikan indikasi kuat tekannya.

Alat ini sangat berguna untuk mengetahui keseragaman material beton pada struktur. Karena kesederhanaannya, pengujian dengan menggunakan alat ini sangat cepat, sehingga dapat mencakup area pengujian yang luas dalam waktu yang singkat. Alat ini sangat peka terhadap variasi yang ada pada permukaan beton, misalnya keberadaan partikel batu pada bagian-bagian tertentu dekat permukaan.

Evaluasi Kuat Tekan Beton Melalui Pengujian Beton Inti (*Core Drilled Test*)

Pengujian kuat tekan beton inti hasil pemboran bertujuan untuk memperkirakan nilai kuat tekan beton pada komponen struktur terpasang. Benda uji beton inti ialah benda uji beton berbentuk silinder hasil pengeboran beton pada struktur yang sudah ada.

Kuat Tekan Beton Inti

Kuat tekan benda uji beton inti dihitung dengan menggunakan rumus :

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad \dots(1)$$

Menurut SNI 03-2492-2002 tentang Metode Pengambilan dan Pengujian Beton Inti, ketelitiannya bisa mencapai 0.5 MPa

Dimana :

- f'_c = kuat tekan (MPa)
- P = beban uji hancur yang ditunjukkan oleh mesin uji tekan (N)
- A = luas penampang benda uji (mm²)

Sebelum dilakukan uji kuat tekan terlebih dahulu benda uji harus dikaping. Lapisan untuk kaping harus setipis mungkin dan tebalnya tidak boleh melebihi 10 mm.

Kuat Tekan Beton Inti Terkoreksi

Dalam penentuan kuat tekan beton inti terkoreksi, terdapat beberapa faktor pengali untuk koreksi kuat tekan benda uji yang ada. Adapun faktor-faktor pengali tersebut adalah berikut :

1. Faktor Pengali C_o

Faktor pengali ini berhubungan dengan arah pengambilan benda uji beton inti pada struktur yang ada. Ketentuan mengenai faktor pengali C_o adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Faktor Pengali C_o

Arah Pengambilan Benda Uji Beton Inti	C_o
Horizontal (tegak lurus pada arah tinggi dari struktur beton)	1
Vertikal (sejajar dengan arah tinggi dari struktur beton)	0.92

2. Faktor Pengali C_1

Faktor pengali yang berhubungan dengan rasio panjang sesudah diberi lapisan untuk kaping dengan diameter benda uji. Digunakan faktor koreksi C_1 apabila rasio panjang dan diameter benda uji: $\frac{l}{D} < 1.94$, kuat tekan beton inti harus dikalikan dengan faktor pengali C_1 seperti yang tercantum pada tabel di bawah ini. Apabila tidak terdapat pada table berikut, maka dapat dicari dengan cara interpolasi. Tabel yang disajikan hanya berlaku untuk beton normal dan beton ringan dengan berat isi antara 1600-1900 kg/m³ dan untuk beton dengan kuat tekan antara 13.8 - 41.4 MPa.

Tabel 2. Faktor Pengali C_1

l/D	C_1
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

3. Faktor Pengali C_2

Digunakan karena adanya kandungan tulangan besi dalam benda uji beton inti yang letaknya tegak lurus terhadap sumbu benda uji.

➤ Apabila hanya terdapat satu tulangan

$$C_2 = 1 + 1.5 \left(\frac{d}{D} \times \frac{h}{l} \right) \quad \dots (2)$$

➤ Apabila terdapat lebih dari satu tulangan

$$C_2 = 1 + 1.5 \frac{\Sigma(dxh)}{Dxl} \quad \dots (3)$$

dimana:

d = diameter batang tulangan (mm)

D = diameter benda uji (mm)

h = jarak terpendek antara sumbu batang tulangan dengan ujung benda uji (mm)

l = panjang benda uji sebelum diberi lapisan untuk kaping (mm)

$f'_{cc'}$ = kuat tekan beton inti terkoreksi (MPa)

Kuat tekan benda uji beton inti yang dikoreksi, dihitung sesuai dengan ketelitian 0.5 MPa dengan menggunakan rumus :

$$f'_{cc'} = f'_c \times C_0 \times C_1 \times C_2 \quad \dots (4)$$

METODOLOGI PENELITIAN

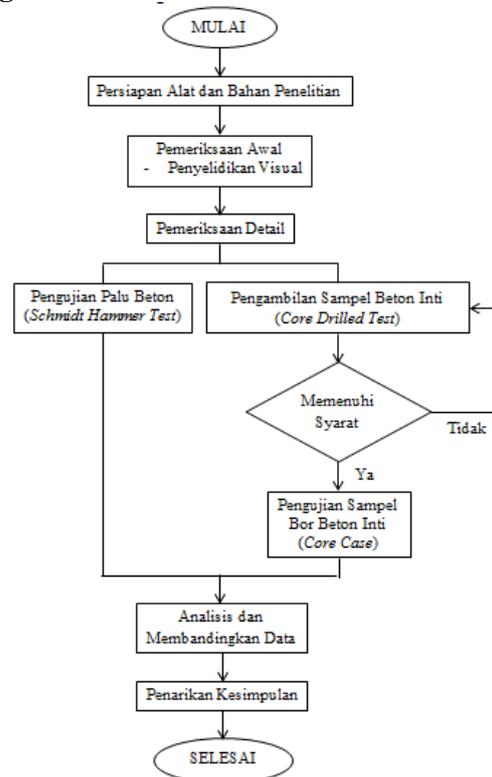
Metode yang digunakan dalam penelitian ini diawali dengan studi pustaka, investigasi di lapangan yang kemudian di lanjutkan dengan studi Eksperimental di Laboratorium Konstruksi dan Material Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.

Tahapan-tahapan penelitiannya adalah sebagai berikut :

1. Persiapan alat dan bahan penelitian baik untuk pengujian di lapangan maupun di laboratorium.
2. Pemeriksaan awal berupa penyelidikan secara visual.
3. Pemeriksaan detail yang terdiri dari ;

- Pengujian Palu Beton (*Schmidt Hammer Test*).
 - Pengambilan sampel bor inti (*Core Case*) dengan metode *Core Drilled Test*
 - Pengujian Beton Inti hasil *Core Drilled Test* di Laboratorium Konstruksi dan Material Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.
4. Menganalisa data hasil pemeriksaan dan pengujian yang telah dilakukan.
 5. Hasil penelitian di buat dalam bentuk tabel, diagram, dan grafik.
 6. Dibuat kesimpulan terhadap hasil penelitian.

Bagan Alir Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Evaluasi Kuat Tekan Melalui Pengujian Palu Beton (*Schmidt Hammer Test*)

Hasil pengujian palu beton dikonversikan terhadap benda uji silinder. Evaluasi selanjutnya terhadap beton hasil pengujian *Schmidt Hammer Test* dilakukan untuk melihat kondisi keseragaman mutu beton dari gedung RSGM UNSRAT.

Berdasarkan ACI 214R-02 (*Evaluation of Strength Test Results of Concrete*), bila beton mempunyai koefisien variasi lebih dari 6% ,

maka beton diindikasikan mempunyai tingkat keseragaman yang kurang baik.

Tabel 3. Hasil *Schmidt Hammer Test* untuk Setiap Elemen Konversi Silinder Menurut *Operating Instructions Original Schmidt*

No.	Elemen Struktur	Nilai Maksimum	Nilai Minimum	Rata-rata	SD	Koefisien Variasi
1.	Kolom	35.74	16.60	25.45	6.06	23.82%
2.	Balok	29.40	23.30	26.35	4.31	16.37%
3.	Pelat	35.74	12.02	25.84	10.23	39.60%

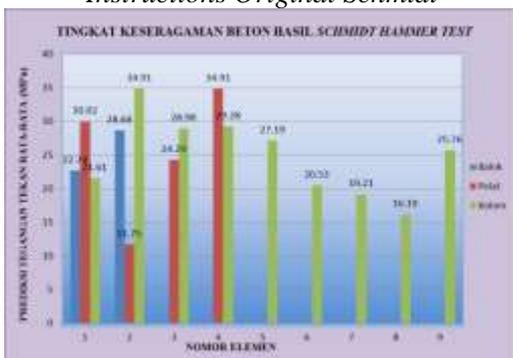
Tabel 4. Hasil *Schmidt Hammer Test* untuk Setiap Elemen Konversi Silinder Menurut Peraturan Beton Indonesia

No.	Elemen Struktur	Nilai Maksimum	Nilai Minimum	Rata-rata	SD	Koefisien Variasi
1.	Kolom Lt.1	34.91	16.19	24.85	5.92	23.82%
2.	Balok	28.68	22.74	25.71	4.20	16.34%
3.	Pelat	34.91	11.75	25.24	9.99	39.56%

Data hasil pengujian *Schmidt Hammer Test* disajikan dalam bentuk grafik, sehingga dapat terlihat dengan jelas hubungan dari hasil pengujian setiap elemen struktur yang ada.



Grafik 1. Konversi Menurut *Operating Instructions Original Schmidt*



Grafik 2. Konversi Menurut Peraturan beton Indonesia

Hasil Evaluasi Kuat Tekan Melalui Pengujian Beton Inti (*Core Drilled Test*)

Perhitungan kekuatan beton dari benda uji hasil *Core Drilled Test* merupakan hasil pengujian kuat tekan di laboratorium

menggunakan *Compression Testing Machine*. disajikan dalam tabel di bawah ini. Kekuatan beton hasil *Core Drilled Test* merupakan kuat tekan terkoreksi yang dipengaruhi oleh faktor pengali C0, C1, dan C2.

Tabel 5. Hasil Evaluasi Kuat Tekan Terkoreksi

No.	Kode sampel	d/D	f _c = Kuat Tekan (Mpa)	f _{cc} = f _c Terkoreksi (Mpa)			f _{cc'} (Mpa) C ₀ x C ₁ x C ₂
				C ₀	C ₁	C ₂	
1	B1	0.790	38.156	35.104	33.196	38.206	30.580
2	B2	1.070	24.284	22.341	21.768	24.294	20.035
3	B3	0.780	33.358	30.690	29.022	33.389	26.724
4	B4	1.140	24.182	22.247	23.534	24.245	21.707
f _{cr} = Kuat Tekan Rata-rata (MPa)							24.762

Menurut SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung disyaratkan bahwa 85% dari kuat tekan rata-rata benda uji tidak boleh kurang dari 17 MPa. Hasil perhitungan 85% dari kuat tekan rata-rata pengujian ini adalah 21 MPa dan termasuk kelompok beton struktural.

Perbandingan Hasil Pengujian Metode *Schmidt Hammer Test* dan *Core Drilled Test*

Evaluasi hasil pengujian kuat tekan pada plat lantai dari metode *Schmidt Hammer Test* dan *Core Drilled Test* disajikan pada tabel 6 dan grafik 3.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan dari Plat Lantai dengan Metode *Core Drilled Test* dan *Schmidt Hammer Test*

No.	Kuat Tekan (Mpa)		
	Core Drilled Test	Hammer Test	
		OIOS	PBI
1	30.58	30.74	30.02
2	20.03	12.02	11.75
3	26.72	24.84	24.29
4	21.71	35.74	34.91
f _{cr}	24.76	25.84	25.24



Grafik 3. Hubungan antara Beberapa Metode terhadap Kuat Tekan

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan maka dapat disimpulkan hal – hal sebagai berikut :

1. Hasil evaluasi kuat tekan rata-rata metode *Schmidt Hammer Test* pada kolom 25.45 MPa, balok 26.35 MPa dan plat 25.84 MPa dengan koefisien variasi pada kolom 23.82%, balok 16.37 % dan plat 39.60%.
2. Hasil evaluasi pengujian kuat tekan rata-rata benda uji hasil *Core Drilled Test* pada plat lantai di laboratorium menunjukkan kuat tekan rata-rata yang didapat sebesar 24.76 MPa.
3. Berdasarkan ACI 214R-02 (*Evaluation of Strength Test Results of Concrete*), hasil evaluasi kuat tekan metode *Schmidt Hammer Test* untuk setiap elemen kolom, balok dan pelat menunjukkan tingkat keseragaman yang kurang baik. Hal in diindikasikan dengan hasil koefisien variasi yang didapat lebih besar dari 6%.
4. Berdasarkan klasifikasi berat jenis beton, hasil pemeriksaan berat volume beton hasil pemboran termasuk beton berbobot normal.
5. Menurut SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, disyaratkan bahwa 85% dari kuat tekan rata-rata benda uji tidak boleh kurang dari 17 MPa. Hasil perhitungan 85% dari kuat tekan rata-rata benda uji adalah 21 MPa dan

memenuhi persyaratan beton struktural. Sehingga hasil pengujian ini dapat dievaluasi berdasarkan peraturan yang ada dan bisa dijadikan data awal untuk evaluasi struktur selanjutnya.

Saran

1. Pengambilan sampel benda uji dengan menggunakan metode *Core Drilled Test*, sedapat mungkin diambil pada lokasi yang tidak mengandung tulangan. Karena adanya kandungan tulangan menurunkan tingkat akurasi hasil kuat tekan dari sampel yang ada. Sesuai yang didapat di lapangan, penentuan lokasi yang tepat sangatlah sulit sehingga dibutuhkan alat bantu untuk menentukan letak tulangan. Penggunaan *Rebar Locator* dapat dijadikan tahapan awal sebelum pengambilan sampel beton inti agar mengurangi resiko pemotongan tulangan.
2. Perlu mengkombinasikan dengan metode *Non Destructive Test* (NDT) lainnya untuk mendapatkan tingkat akurasi hasil pengujian yang lebih tinggi dan untuk meminimalisasi kerusakan struktur.
3. Perlu adanya pengadaan alat-alat uji yang bersifat tidak merusak atau alat-alat yang tergolong dalam *Non Destructive Test*. Pengadaan alat-alat ini untuk menunjang penelitian-penelitian sejenis dan semakin luasnya tinjauan pengujian nantinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 1990, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*, SNI 03- 1974-1990, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 1994, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton Inti Pemboran*, SNI 03-3403-1994, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 1997, *Metode Pengujian Kuat Tekan Elemen Struktur Beton Dengan Alat Uji Palu Beton Type N dan NR*, SNI 03-4430-1997, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 1998, *Metode Angka Pantul Beton yang Sudah Mengeras*, SNI 03-4803-1998, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Metode Pengambilan dan Pengujian Beton Inti*, SNI 03-2492-2002, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847:2013, Jakarta.
- Bharoto, ST, 2010, *Pemeriksaan Keandalan dan Kelayakan Bangunan Gedung di Kota Semarang Tahun 2010*, Teknik Arsitektur Universitas Diponegoro, Semarang.

- Brook, K.M. dan Murdock, L.J, 1979, *Bahan dan Praktek Beton*, Erlangga, Jakarta.
- Bungey, J. H and Millard, S. G, 2006, *Testing of Concrete in Structure*, Taylor and Francis, London and New York.
- Christiawan, Ignatius. Triwiyono, Andreas dan Christady, Hary, 2008, *Evaluasi Kinerja dan Perkuatan Struktur Gedung Guna Alih Fungsi Bangunan*, Forum Teknik Sipil No. XVIII/- Januari 2008.
- Mawardi, Lubis, 2003, *Pengujian Struktur Beton dengan Metode Hammer Test dan Metode Uji Pembebanan (Load Test)*, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Mulyono, Tri, 2005, *Teknologi Beton*, Andi, Yogyakarta.
- Peraturan Pemerintah RI No.36 Tahun 2005 Tentang Peraturan Pelaksanaan UU No.28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung.
- Wuryanti, Wahyu, 2013, *Penilaian Keandalan Struktur Bangunan Geddaung Eksisting: Peraturan dan Implementasinya*, Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7), Surakarta.
- Yayasan Dana Normalisasi Indonesia, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI-71) NI-2*, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Dirjen Cipta Karya LPMB.