

KALIBRASI PREDIKSI KEKUATAN TEKAN BETON TIDAK TERKEKANG PADA UJI PALU BETON MENGGUNAKAN BENDA UJI LAPANGAN

Calibration of Hammer Test Unconfined Concrete Compression Strength Prediction Using Field Sample

Ajun Hariono

Pusat Litbang Perumahan dan Perumahan,
Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Jl. Panyawungan, Cileunyi Wetan, Kabupaten Bandung 40393
Surel : hariono_ajun@yahoo.co.id

Diterima: 29 Agustus 2016; Disetujui : 17 Januari 2017

Abstrak

Penentuan kekuatan bahan bangunan secara akurat bisa ditentukan dengan uji destruktif laboratorium. Uji ini prosesnya relatif rumit dan mahal. Di sisi lain terdapat alat prediksi berupa alat uji nondestruktif lapangan yang umumnya memberikan nilai uji yang relatif kurang akurat. Akurasi prediksi uji nondestruktif itu bisa dinaikkan dengan cara mengkalibrasi hasil uji tersebut dengan formula model regresi data uji destruktif laboratorium terhadap data uji nondestruktif lapangan. Salah satu cara uji nondestruktif lapangan untuk menaksir kekuatan tekan beton adalah dengan uji palu beton. Berdasarkan analisa regresi pada data uji destruktif beton inti dan data uji nondestruktif palu beton pada 181 benda uji yang diperoleh dari 18 buah gedung terpasang, formula model regresi tersebut telah dibuat. Kesimpulan yang bisa ditarik adalah bahwa formula model regresi yang paling baik kinerjanya adalah formula regresi pangkat dengan perlakuan data ($\log 10$).

Kata Kunci: Kalibrasi, prediksi, akurat, kekuatan tekan, tidak terkekang, palu beton, beton inti

Abstract

Determination of building materials strength can be accurately known by destructive laboratory test. This test relatively complicated and expensive. On the other hand there is a predictive tool in the form of field nondestructive test which generally gives relatively less accurate result. Nondestructive test prediction accuracy can be raised by means of calibrating the test results with regression model formula of destructive laboratory test data to field nondestructive test data. One of field nondestructive test to assess the compressive strength of concrete is hammer test. Based on regression analysis of destructive concrete core test data and nondestructive hammer test data on 181 test specimen obtained from 18 existing building, the regression model formulas were created. The conclusion to be drawn that the best regression models were power regression formula with data treatment ($\log 10$).

Keywords: Calibration, prediction, accurate, compression strength, unconfined, hammer test, concrete core

PENDAHULUAN

Dalam rangka penggunaan gedung sebagai sarana penunjang aktivitas manusia, kehandalan struktur menjadi faktor yang sangat penting. Hal tersebut disebabkan karena kehandalan yang baik akan memberikan jaminan keamanan nyawa manusia. Terkait dengan penggunaan gedung tersebut, secara alamiah kehandalan gedung akan menurun akibat pengaruh faktor alam dan faktor antropogenik (Watt, 2008). Oleh karena itu secara berkala pemeriksaan kehandalan harus dilakukan untuk mengetahui tingkat kehandalan struktur gedung terpasang. Analisa kehandalan struktur gedung memerlukan parameter input berupa data bahan bangunan terpasang. Untuk struktur beton

bertulang, salah satu data yang sangat diperlukan adalah data kekuatan tekan beton tidak terkekang.

Penentuan kekuatan tekan beton secara akurat bisa ditentukan dengan uji beton inti. Uji ini prosesnya relatif rumit dan mahal. Selain uji tersebut kekuatan tekan beton bisa diprediksi dengan uji palu beton. Keuntungan penggunaan uji palu beton jika dibandingkan dengan uji beton inti antara lain: reduksi kuantitas pekerjaan uji, kerusakan struktural yang minor, kemudahan penentuan lokasi uji dan murah (Leshchinsky 1991).

Penggunaan uji palu beton untuk mengetahui kekuatan tekan beton secara langsung pada gedung

terpasang dirasa kurang cocok karena hasil ujinya mempunyai variasi yang cukup tinggi (Aydin 2010). Sehingga umumnya memberikan nilai uji yang relatif kurang akurat.

Hal tersebut disebabkan karena material yang diuji bersifat an-isotropis dan heterogen; luasan bidang uji yang relatif kecil; kekasaran permukaan benda uji dan arah uji (Yilmaz 2009). Selain hal tersebut, untuk beton terpasang, hasil uji palu beton bisa sangat dipengaruhi oleh banyak faktor seperti: karbonasi permukaan, kadar air, *rate of hardening* dan tipe *curing*. Uji palu beton bisa menjadi alat prediksi yang lebih reliabel jika kalibrasi dilakukan (Aydin 2010).

METODE

Tahapan penelitian adalah sebagai berikut: studi literatur, uji eksperimental, analisa hasil uji, analisa deskriptif statistik data hasil uji, analisa regresi data hasil uji dan analisa akurasi formula model regresi.

Uji eksperimental yang dilakukan antara lain uji palu beton dan uji beton inti. Uji palu beton termasuk jenis pengujian nondestruktif lapangan sedangkan uji beton inti termasuk jenis pengujian destruktif laboratorium. Diskripsi alat uji seperti terlihat pada **Gambar 1**.



Sumber : Pusat Litbang Permukiman, 2009-2015

Gambar 1 Alat Uji Palu Beton dan Uji Beton Inti

Parameter yang dihasilkan dari uji palu beton adalah nilai kuat tekan beton prediksi. Uji dan analisis mengikuti SNI-03-4430-1997 mengenai Metode Uji Kuat Tekan Elemen Struktur Beton dengan Alat Palu Beton Tipe N/NR.

Parameter yang dihasilkan dari uji beton inti adalah nilai kuat tekan beton riil. Syarat pengambilan benda uji antara lain: beton keras yang umumnya berumur tidak boleh kurang dari 14 hari; benda uji tidak cacat (terlalu banyak terdapat rongga, adanya serpihan / agregat kasar yang lepas, tulangan besi yang lepas dan ketidakteraturan dimensi). Uji dan analisis mengikuti SNI 03-2492-2002 tentang Metode Pengambilan dan Uji Beton Inti.

Data hasil uji dianalisa deskriptif statistik yang meliputi: analisa nilai minimum, maksimum, median,

rata-rata hitung, modus, simpangan baku dan variasi (Ross 2009).

Analisa regresi dilakukan untuk memperoleh formula model regresi yang nantinya digunakan untuk mengkalibrasi hasil uji nondestruktif. Beberapa bentuk regresi yang dipakai antara lain: eksponensial, garis lurus, logaritma dan pangkat. Setiap bentuk regresi akan memberikan formula model regresi yang unik dengan nilai parameter *Coefficient of Determination* (R^2) tertentu (Siagian 2006).

Formula model regresi tersebut di urutkan berdasarkan parameter R^2 dan dicek akurasinya dengan *Index of Agreement* / IOA (d).

IOA merupakan suatu derajat keakuratan yang menunjukkan seberapa akurat data observasi yang diperkirakan oleh suatu model. IOA lebih sensitif terhadap perbedaan rata-rata antara data observasi dan hasil model, sehingga sangat baik dalam menunjukkan setiap perubahan jika dibandingkan dengan parameter R^2 . Hasil perkiraan dari model yang baik ditunjukkan dengan nilai IOA yang mendekati 1. Rumus IOA ditunjukkan sebagai berikut:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right], 0 \leq d \leq 1$$

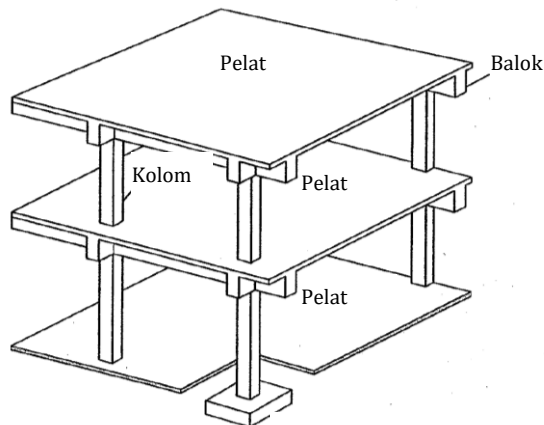
dimana: $d = IOA$, P = nilai prediksi model, O = nilai data observasi, \bar{O} = rata-rata nilai observasi, N = banyaknya data (Willmott 1982).

Variabel bebas pada formula pemodelan regresi adalah nilai uji palu beton (variabel tunggal), variabel terikatnya adalah prediksi nilai uji beton inti. Dalam penelitian ini variabel tunggal dipakai agar formula pemodelan menjadi sederhana untuk mengurangi kesalahan perhitungan (*human error*) dalam aplikasinya nanti.

Batasan penelitian adalah dilakukan pada beton normal dengan mutu beton dibawah 41.4 MPa sesuai dengan klasifikasi mutu beton pada SNI 03-6468-2000.

Gedung eksisting yang menjadi objek penelitian adalah struktur rangka pemikul momen beton bertulang. Komponen struktur yang diuji adalah kolom, balok dan pelat. Kolom adalah komponen struktur yang fungsinya utamanya untuk menumpu beban aksial dari atap dan lantai ke fondasi. Balok komponen struktur yang fungsinya utamanya untuk menahan beban lentur dan geser. Pelat adalah komponen struktur pembentuk lantai yang biasanya berfungsi untuk menahan beban merata yang ditumpunya (Mac Ginley 1990). Tipikal sistem

struktur rangka pemikul momen beton bertulang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Sumber: Ghoneim 2008

Gambar 2 Tipikal Sistem Struktur Beton Bertulang

Komponen struktur tersebut diatas mempunyai karakteristik yang berbeda baik dalam segi perencanaan maupun pelaksanaannya. Umumnya pada perencanaan, mutu komponen struktur kolom direncanakan lebih tinggi dari komponen struktur balok dan pelat. Hal tersebut dilakukan untuk mempermudah memenuhi konsep kolom kuat balok lemah dan optimalisasi fungsi kuat tekan beton

dalam penampang. Pada komponen yang dominan beban lentur seperti balok dan pelat, besaran mutu beton relatif tidak berpengaruh signifikan dalam kapasitas lenturnya.

Dalam segi pelaksanaan, kolom cenderung mengalami segregasi (pemisahan butiran agregat kasar dari adukan dan dapat menyebabkan sarang kerikil yang mengakibatkan kekuatan beton berkurang) jika pelaksanaannya kurang baik dibanding balok dan pelat. Untuk pelat kecenderungan yang terjadi adalah bleeding (naiknya air atau pasta semen ke atas permukaan beton dan meninggalkan agregat di bagian bawah yang dapat menimbulkan permukaan kasar di bagian bawah dan beton yang lemah di dekat permukaan karena hanya terdiri dari pasta semen).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskriptif Statistik Data

Penelitian dilakukan pada 16 gedung beton bertulang eksisting. Jumlah benda uji sebanyak 181 buah yang terdiri dari komponen struktur kolom, balok dan pelat. Data yang diperoleh dari uji eksperimental kemudian dianalisa deskriptif statistik. Hasilnya seperti ditampilkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Deskriptif Statistik Data

No	Komponen Struktur	Data	Jumlah Data	Nilai Min.	Nilai Maks.	Median	Rata-Rata Hitung	Modus		Simpangan Baku	Variasi	Simpangan Baku / Rata-Rata Hitung
								Nilai	Frekuensi			
1	Semua Komponen	P	181	6.30	66.60	41.40	38.46	41.80	3	13.33	177.74	34.66%
		I		4.03	40.75	19.92	20.24	13.25	2	8.14	66.28	40.23%
		I / P		0.24	1.00	0.50	0.54	-	-	0.18	0.03	33.51%
2	Kolom	P	39	6.30	57.10	37.50	34.12	37.50	2	14.45	208.82	42.36%
		I		4.03	40.75	16.77	17.38	16.79	2	9.60	92.18	55.24%
		I / P		0.25	1.00	0.46	0.51	-	-	0.21	0.04	40.21%
3	Balok	P	105	10.00	66.60	41.60	39.61	41.80	3	11.39	129.72	28.75%
		I		4.17	38.93	21.20	21.57	12.60	2	7.31	53.48	33.90%
		I / P		0.24	0.98	0.52	0.56	-	-	0.17	0.03	29.91%
4	Pelat	P	37	9.10	65.40	42.27	39.78	51.00	2	16.35	267.43	41.11%
		I		4.05	38.00	19.92	19.46	-	-	8.06	64.92	41.40%
		I / P		0.27	0.97	0.47	0.52	-	-	0.19	0.04	36.69%

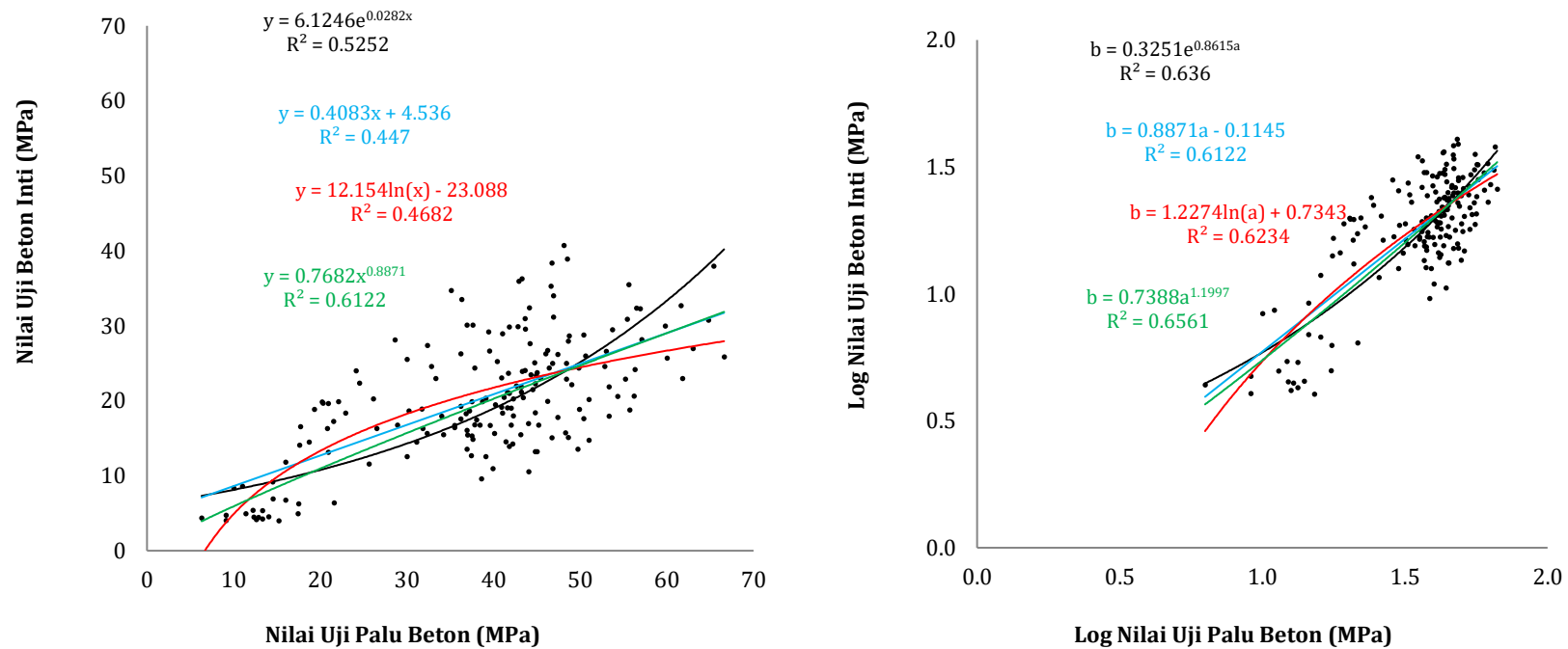
Keterangan:

P = Nilai Uji Palu Beton (Mpa); K = Nilai Uji Beton Inti (Mpa).

Nilai uji beton inti yang diuji berkisar 4.03 Mpa sampai dengan 40.75 Mpa. Rasio rata-rata nilai uji beton inti terhadap nilai uji palu beton adalah 0.54 dengan rentang nilai terkecil 0.24 sampai dengan 1. Dengan kata lain, hasil uji palu beton kurang akurat dalam menggambarkan kuat tekan beton riilnya, karena mempunyai variasi yang relatif besar.

Analisa Regresi Data

Analisa regresi data dilakukan untuk membuat formula pemodelan, Formula ini nantinya dipergunakan untuk mengkalibrasi hasil uji nondestruktif. Beberapa bentuk regresi yang dipakai antara lain: eksponensial, garis lurus, logaritma dan pangkat. Salah satu analisa regresi yang dilakukan ditunjukkan pada **Gambar 3**. Rekayasa numerik dengan me-logaritmik-kan data (log 10) telah dilakukan. Hal tersebut membuat sebaran data menjadi lebih berpola (tidak acak). Akibatnya kinerja formula pemodelan menjadi lebih baik, yang ditunjukkan dengan nilai *Coefficient of Determination* (R^2) yang lebih besar.



Gambar 3 Model Regresi Nilai Uji Palu Beton dan Nilai Uji Beton Inti

Tabel 2 Formula Model Regresi

No	Komponen Struktur	Jumlah Data	Perlakuan Data	Model Regresi								
				Eksponensial		Garis Lurus		Logaritma		Pangkat		
				Formula	R ²	Formula	R ²	Formula	R ²	Formula	R ²	d
1	Semua Komponen	181	Normal	$y = 6.1246e^{0.0282x}$	0.53	$y = 0.4083x + 4.536$	0.45	$y = 12.154\ln(x) - 23.088$	0.47	$y = 0.7682x^{0.8871}$	0.61	0.80
			Log 10	$b = 0.3251e^{0.8615a}$	0.64	$b = 0.8871a - 0.1145$	0.61	$b = 1.2274\ln(a) + 0.7343$	0.62	$b = 0.7388a^{1.1997}$	0.66	
2	Kolom	39	Normal	$y = 4.1591e^{0.0366x}$	0.64	$y = 0.4779x + 1.0786$	0.52	$y = 12.305\ln(x) - 24.548$	0.50	$y = 0.5006x^{0.9877}$	0.69	0.78
			Log 10	$b = 0.2036e^{1.1176a}$	0.82	$b = 1.0487a - 0.4524$	0.79	$b = 1.4024\ln(a) + 0.5661$	0.78	$b = 0.6027a^{1.4957}$	0.82	
3	Balok	105	Normal	$y = 7.6768e^{0.0243x}$	0.44	$y = 0.397x + 5.8475$	0.38	$y = 12.394\ln(x) - 23.328$	0.40	$y = 1.1282x^{0.7947}$	0.51	0.77
			Log 10	$b = 0.3429e^{0.8393a}$	0.55	$b = 0.8983a - 0.114$	0.52	$b = 1.2701\ln(a) + 0.7296$	0.53	$b = 0.7523a^{1.1924}$	0.56	
4	Pelat	37	Normal	$y = 6.466e^{0.0247x}$	0.53	$y = 0.3434x + 5.8009$	0.49	$y = 10.754\ln(x) - 18.889$	0.52	$y = 0.9151x^{0.824}$	0.65	0.82
			Log 10	$b = 0.3038e^{0.8733a}$	0.73	$b = 0.8545a - 0.1161$	0.70	$b = 1.2015\ln(a) + 0.6994$	0.73	$b = 0.698a^{1.2317}$	0.77	

Keterangan:

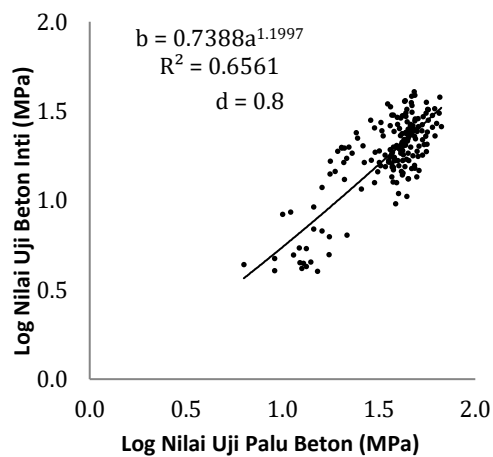
x = Nilai Uji Palu Beton, (Mpa); y = Prediksi Nilai Uji Beton Inti, (Mpa); a = Log (Nilai Uji Palu Beton), (Mpa); b = Log (Prediksi Nilai Uji Beton Inti), (Mpa).

Dari **Tabel 2** diatas bisa diketahui bahwa untuk model regresi pangkat memberikan nilai R2 tertinggi dibanding dengan model eksponensial, garis lurus dan logaritma. Rekayasa numerik dengan memberikan perlakuan data (dengan log 10) menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan data normal.

Berdasarkan hasil analisa terhadap parameter nilai R^2 dan d , dapat disimpulkan bahwa untuk:

- a. Formula regresi pangkat dengan perlakuan data (log 10) pada "semua komponen":
 - Kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan varians dari variabel terikatnya adalah sebesar 66%,
 - Kemampuan formula model untuk memprediksi nilai sebenarnya adalah sebesar 80%.

Secara grafis informasi tersebut ditunjukkan seperti gambar 3.



Gambar 3 Alat Uji Palu Beton dan Uji Beton Inti

- b. Formula regresi pangkat dengan perlakuan data (log 10) pada "kolom":
 - Kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan varians dari variabel terikatnya adalah sebesar 82%,
 - Kemampuan formula model untuk memprediksi nilai sebenarnya adalah sebesar 78%.
- c. Formula regresi pangkat dengan perlakuan data (log 10) pada "balok":
 - Kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan varians dari variabel terikatnya adalah sebesar 56%,
 - Kemampuan formula model untuk memprediksi nilai sebenarnya adalah sebesar 77%.
- d. Formula regresi pangkat dengan perlakuan data (log 10) pada "pelat":
 - Kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan varians dari variabel terikatnya adalah sebesar 77%,
 - Kemampuan formula model untuk memprediksi nilai sebenarnya adalah sebesar 82%.

KESIMPULAN

Formula model regresi untuk meningkatkan akurasi uji nondestruktif telah dibuat. Kesimpulan yang bisa ditarik adalah bahwa formula model regresi yang paling baik kinerjanya adalah formula regresi pangkat dengan perlakuan data (log 10). Hal lain yang bisa disampaikan adalah formula model regresi tidak bisa mengkalibrasi hasil uji palu beton secara akurat 100% dikarenakan beberapa keterbatasan antara lain: sifat material yang uji an-isotropis dan heterogen; luasan bidang uji yang relatif kecil; kekasaran permukaan benda uji; karbonasi permukaan benda uji, kadar air, *rate of hardening* dan tipe *curing*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh kegiatan Advis Teknis Pusat Litbang Permukiman tahun 2009 s.d. 2015, untuk itu penulis ucapkan terimakasih kepada institusi Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman khususnya Kepala Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, jajarannya, serta Mitra Bestari Jurnal Permukiman.

DAFTAR PUSTAKA

- Aydin, Ferhat, dan Mehmet Saribiyik. 2010. "Correlation between Schmidt Hammer and Destructive Compressions Testing for Concretes in Existing Buildings." *Scientific Research and Essays* 5 (13). *Academic Journals*: 1644-48.
- [BSN] Badan Standar Nasional. 1997. "SNI-03-4430-1997: Metode Pengujian Kuat Tekan Elemen Struktur Beton dengan Alat Palu Beton tipe N/NR".
- _____. 2002. "SNI 03-2492-2002: Metode Pengambilan dan Pengujian Beton Inti".
- _____. 2000. "SNI 03-6468-2000 tentang Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dan Abuterbang".
- Choo, Ban Seng, dan Thomas Joseph MacGinley. 1990. "Reinforced Concrete Design Theory and Examples, Second Edition". London: Spon Press.
- Pusat Litbang Permukiman. 2009-2015. "Laporan Advis Teknis Kehandalan Struktur Gedung Beton Bertulang". Bandung: Pusat Litbang Permukiman.
- Ross, Sheldon. 2009. "Probability and Statistics for Engineers and Scientist. Fourth Edition". California: Elsevier.
- Siagian, Dergibson, dan Sugiarto. 2006. "Metode Statistika". Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

- Watt, David. 2008. *Building Pathology*. United Kingdom: Blackwell.
- Willmott, Cort J. 1982. "Some Comments on the Evaluation of Model Performance." *Bulletin of the American Meteorological Society* 63 (11): 1309-13.
- Leshchinsky, A. 1991. "Nondestructive Methods instead of Specimens and Cores, Quality Control of Concrete Structures." In *Proceedings of the International Symposium Held by RILEM, Belgium, E&FN Spon, UK*, 377-86.
- Yilmaz, Işık. 2009. "A New Testing Method for Indirect Determination of the Unconfined Compressive Strength of Rocks." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 46 (8). Elsevier: 1349-57.
- Ghoneim, Mashhour A, dan Mamoud El-Mihilmy 2008. "Design of Reinforced Concrete Structure. Second Edition. Volume 1". Mesir: Cairo University.