EVALUASI KONDISI STRUKTUR BETON BERTULANG PADA BANGUNAN EKSISTING MENGGUNAKAN METODE NDT DAN PENYUSUNAN STRATEGI PEMELIHARAAN BERBASIS KLASIFIKASI MUTU

(Evaluation of Reinforced Concrete Structural Condition in Existing Buildings Using Non-Destructive Testing (NDT) and Development of Maintenance Strategies Based on Concrete Quality Classification)

Reni Suryanita[1], Vinka Lyona[1], Randhi Saily[1], Intan Monica.MG[1] , Harnedi Maizir[2], Raihan Arditama Harnedi[3]
[1]Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
[2]Program Studi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru
[3]Civil Engineer PT. Harista Karsa Mandiri Pekanbaru
E-mail: reni.suryanita@eng.unri.ac.id

Diterima 9 September 2025, Disetujui 21 Oktober 2025

ABSTRAK

Pemeriksaan kondisi struktur bangunan beton bertulang menjadi langkah penting dalam memastikan keberlanjutan fungsi bangunan eksisting. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi mutu beton dengan menggunakan metode Non-Destructive Testing (NDT), yaitu Rebar Locator, Rebound Hammer (RH) dan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), serta menyusun strategi pemeliharaan berbasis klasifikasi mutu beton. Pengujian dilakukan pada enam titik kolom bangunan kantor bertingkat tiga, dengan hasil kuat tekan beton berkisar antara 36,3 MPa hingga 48,9 MPa dan kecepatan gelombang 2,57 m/s hingga 4,75 m/s. Data hasil pengujian diinterpretasikan untuk menentukan tingkat kondisi beton yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan rekomendasi jenis pemeliharaan yang sesuai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa elemen struktur di Level 1 berada dalam kategori Sangat Baik (Excellent), sementara di Level 2 dan 3 terdapat kategori Baik (Good) hingga Kurang Baik (Doubtful). Rekomendasi strategi pemeliharaan disusun berdasarkan hasil klasifikasi tersebut, mulai dari pemeliharaan rutin, perbaikan lokal, hingga penguatan struktural pada area tertentu. Pendekatan berbasis hasil pengujian NDT ini mampu meningkatkan akurasi dalam perencanaan program pemeliharaan berbasis kondisi dan berkontribusi terhadap keberlanjutan serta keselamatan struktur bangunan.

Kata Kunci: Non-Destructive Test, Rebar locator, Rebound Hammer, Ultrasonic Pulse Velocity, Pemeliharaan Bangunan

ABSTRACT

The assessment of reinforced concrete (RC) building structures is a critical step in ensuring the sustainability and functional reliability of existing facilities. This study aims to evaluate the quality of concrete using Non-Destructive Testing (NDT) methods—namely Rebar Locator, Rebound Hammer (RH), and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)—and to formulate maintenance strategies based on concrete quality classification. Testing was conducted on six column locations of a three-story office building, with measured compressive strength values ranging from 36.3 MPa to 48.9 MPa and ultrasonic pulse velocities ranging from 2.57 m/s to 4.75 m/s. The test results were interpreted to determine the condition levels of the concrete, which subsequently served as the basis for recommending appropriate maintenance actions. The findings revealed that structural elements at Level 1 were classified as Excellent, whereas Levels 2 and 3 exhibited conditions ranging from Good to Doubtful. Maintenance strategies were formulated accordingly, encompassing routine maintenance, localized repair, and structural strengthening in critical areas. This NDT-based approach enhances the accuracy of condition-based maintenance planning and contributes to both the sustainability and safety of reinforced concrete building structures.

Keywords*: Non-Destructive Test, Rebar locator, Rebound Hammer, Ultrasonic Pulse Velocity, Building Maintenance*

PENDAHULUAN

Beton bertulang merupakan elemen struktural utama dalam berbagai bangunan dan infrastruktur di Indonesia. Karakteristiknya yang kuat terhadap gaya tekan serta fleksibilitas desain menjadikan material ini sebagai pilihan utama dalam pembangunan struktur bertingkat. Namun, seiring bertambahnya usia bangunan, performa beton dapat mengalami penurunan akibat beban jangka panjang, pengaruh lingkungan, serta ketidakteraturan dalam perawatan. Penurunan kualitas ini tidak hanya berdampak pada kekuatan struktural, tetapi juga dapat menimbulkan risiko keselamatan yang signifikan apabila tidak terdeteksi secara dini (Setyawan, 2021).

Untuk menjaga keamanan dan kelayakan struktur, diperlukan metode penilaian kondisi yang andal. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah metode uji tak merusak (Non-Destructive Testing/NDT). Berbeda dengan metode destruktif yang melibatkan pengambilan sampel beton, NDT memungkinkan evaluasi elemen struktural tanpa menyebabkan kerusakan. Dua metode yang sering diterapkan adalah Rebound Hammer (RH) dan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). Metode RH mengukur kekerasan permukaan beton sebagai indikator kekuatan tekan, sedangkan UPV mendeteksi anomali internal seperti rongga atau retakan mikro melalui kecepatan rambat gelombang ultrasonik (Hasbullah, Yusof, & Yusoff, 2017; Mata, Ruiz, & Nuñez, 2023).

Berbagai studi di Indonesia menunjukkan bahwa hasil evaluasi menggunakan RH dan UPV dapat berbeda tergantung kondisi beton, jenis material, dan prosedur pengujian. Pratama, Kadir, dan Siregar (2023) melaporkan bahwa RH menghasilkan estimasi kuat tekan lebih tinggi dibandingkan UPV, sedangkan Putra (2023) menemukan bahwa UPV lebih sensitif mendeteksi degradasi internal pada struktur jembatan. Temuan ini menegaskan bahwa penggunaan satu metode saja tidak cukup untuk memberikan kesimpulan menyeluruh terkait kondisi struktur.

Pentingnya pendekatan multi-metode turut didukung oleh penelitian Suryanita et al. (2017), yang mengembangkan sistem pemantauan kesehatan struktur berbasis kecerdasan buatan untuk mendeteksi dini kerusakan struktural. Integrasi data dari berbagai metode pengujian terbukti meningkatkan ketepatan evaluasi dan mempercepat respons terhadap potensi kerusakan. Hal serupa juga dinyatakan oleh Siregar, Ginting, dan Lubis (2024), yang menunjukkan bahwa kombinasi RH dan UPV mampu memberikan gambaran lebih komprehensif mengenai kondisi aktual beton, khususnya pada `struktur bangunan tua dengan ketidakhomogenan material tinggi.

Selain itu, klasifikasi mutu beton yang diperoleh dari hasil pengujian NDT dapat dijadikan dasar dalam perumusan strategi pemeliharaan berbasis kondisi. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pemeliharaan preventif, yang bertujuan memperpanjang umur layanan struktur dan mengurangi biaya akibat kerusakan mendadak. Gultom, Ginting, dan Lubis (2024) menegaskan bahwa integrasi hasil evaluasi dengan program pemeliharaan berbasis kondisi dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan bangunan secara keseluruhan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi struktur beton bertulang pada bangunan eksisting menggunakan metode Rebound Hammer dan UPV, serta menyusun strategi pemeliharaan berbasis klasifikasi mutu hasil pengujian.

METODE

Objek Penelitian

Objek penelitian dalam studi ini adalah sebuah bangunan kantor bertingkat tiga yang telah beroperasi selama lebih dari 15 tahun. Bangunan tersebut berlokasi di kawasan perkotaan dan menunjukkan beberapa tanda degradasi visual, seperti retakan halus pada elemen kolom serta penurunan kualitas permukaan beton. Untuk merepresentasikan kondisi struktural bangunan secara keseluruhan, enam titik uji dipilih pada elemen kolom di setiap lantai. Titik-titik uji dibagi menjadi Level 1 kolom 1 (L1C1), Level 1 kolom 2 (L1C2), Level 2 kolom 1 (L2C1), Level 2 kolom 2 (L2C2), Level 3 kolom 1 (L3C1), dan Level 3 kolom 2 (L13C2) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kondisi structural bangunan perkantoran tiga lantai

Prosedur Pengujian

Persiapan

Tahap pertama dari penelitian ini melibatkan persiapan serta pemilihan lokasi pengujian, di mana titik uji dipilih pada elemen struktural utama, seperti kolom pada bangunan kantor bertingkat tiga. Pemilihan titik uji ini didasarkan pada kemampuannya untuk mewakili kondisi struktural secara keseluruhan dari bangunan tersebut. Sebelum memulai pengujian, alat Rebar Locator digunakan untuk mendeteksi posisi tulangan yang terdapat dalam beton seperti pada Gambar 2. Langkah ini sangat penting untuk menghindari pengukuran menggunakan UPV dan Rebound Hammer pada area

yang terdapat tulangan, karena hal ini dapat menyebabkan hasil pengujian yang tidak akurat. Setelah lokasi yang bebas tulangan berhasil ditemukan, titik-titik tersebut kemudian ditandai dan dipersiapkan untuk melanjutkan ke tahap pengujian berikutnya.



Gambar 2. Rebar locator untuk mendeteksi tulangan

Pengujian *Rebound Hammer (RH)*

Rebound Hammer merupakan alat untuk mengukur kekerasan permukaan beton, sesuai standar ASTM C805. Pengujian RH dilakukan dengan menempatkan alat secara tegak lurus terhadap permukaan beton yang telah dibersihkan seperti pada Gambar 3. Setiap titik diuji untuk memperoleh nilai rata-rata pantulan. Hasil pengujian dikonversi ke nilai kuat tekan beton menggunakan kurva kalibrasi.



a) Alat Rebound Hammer (RH) b) Proses Pengujian RH c) Hasil Pengujian RH

Gambar 3. Pengujian *Rebound Hammer (RH)*



a) Alat UPV b) Proses Pengujian UPV c) Hasil Pengujian UPV

Gambar 4. Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*

Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*

Ultrasonic Pulse Velocity Tester adalah alat untuk mengukur kecepatan rambat gelombang ultrasonik dalam beton yang mengacu pada standar ASTM C597. Pengujian UPV dilakukan dengan menempatkan transduser pemancar dan penerima secara langsung berhadapan pada sisi berlawanan elemen struktur seperti pada Gambar 4. Waktu rambat dicatat dan digunakan untuk menghitung kecepatan gelombang (m/s) melalui beton.

Klasifikasi dan Interpretasi

Hasil pengujian Rebound Hammer (RH) dan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) dianalisis berdasarkan standar dan pedoman yang telah diakui secara internasional dan nasional. Klasifikasi mutu beton bertujuan untuk menentukan kondisi aktual elemen struktur, yang menjadi dasar dalam menyusun rekomendasi pemeliharaan.

a. Klasifikasi RH

ASTM C805 menyatakan bahwa mutu beton yang diperoleh dari pengujian Rebound Hammer (RH) bersifat empiris dan sangat dipengaruhi oleh kondisi permukaan beton serta jenis alat yang digunakan. Di sisi lain, berdasarkan Spesifikasi Umum Divisi 7 – Struktur Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2019), mutu beton bertulang umumnya berada pada kategori mutu sedang, yaitu berkisar antara 20 hingga kurang dari 45 MPa. Rentang mutu ini dijadikan sebagai acuan dalam proses klasifikasi untuk menilai kualitas struktural beton pada penelitian ini. Berdasarkan referensi tersebut, disusun Tabel 1 yang memuat pengelompokan kategori mutu beton beserta klasifikasi rating yang mengacu pada standar kuat tekan beton dari Spesifikasi Umum Divisi 7 – Struktur Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2019).

Tabel 1. Rating mutu beton berdasarkan tes RH

Kuat Tekan Beton (MPa)	Interpretasi	Rating
X ≥ 45	Mutu tinggi	Sangat Baik
20 ≤ x ≤ 45	Mutu sedang	Baik
15 ≤ x ≤ 20	Mutu rendah	Kurang Baik
10 ≤ x ≤ 15	Mutu rendah	Sangat Tidak Baik

b. Klasifikasi UPV

Nilai hasil pengujian UPV mengacu pada BS 1881: Part 203. Standar ini memberikan acuan klasifikasi kualitas beton berdasarkan kecepatan gelombang ultrasonik yang melintasi material beton. Interpretasi dilakukan dengan membandingkan nilai UPV dengan tabel berikut:

Tabel 2. Rating mutu beton berdasarkan tes UPV (BS: 1881: Part 203)

Kecepatan gelombang ultrasonik (km/s)	Rating
≥ 4.5	Sangat Baik
3.5 - 4.5	Baik
3.0 - 3.5	Menengah
2.0 - 3.0	Kurang Baik
≤ 2.0	Sangat Tidak Baik

c. Strategi Pemeliharaan Berdasarkan Klasifikasi Kondisi
Setelah dilakukan pengujian Rebound Hammer (RH) dan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), nilai yang diperoleh diklasifikasikan berdasarkan standar mutu beton. Setiap klasifikasi kondisi memiliki implikasi terhadap strategi pemeliharaan yang diterapkan seperti pada Tabel 3. Acuan yang digunakan dalam penentuan strategi pemeliharaan Tabel 3 adalah kombinasi beberapa standar yang dilakukan oleh Wiyanto, H., Makarim, C. A., & Gondokusumo, O. (2020).

Tabel 3. Strategi Pemeliharaan Berdasarkan Kondisi Beton

Ratings	Tingkat Kondisi	Deskripsi Kerusakan	Kriteria	Strategi pemeliharaan yang Direkomendasikan
Sangat Baik	1 (Sangat Baik)	Tidak ada kerusakan	Beton dalam kondisi utuh dan tidak mengalami kerusakan	Tidak memerlukan perbaikan, cukup dilakukan pemeliharaan rutin
Baik	2 (Baik)	Kerusakan ringan	Terdapat kerusakan permukaan minor	Memerlukan perbaikan ringan sebagai bagian dari pemeliharaan rutin
Kurang Baik	3 (Sedang)	Kerusakan sedang	Kerusakan terlihat dan memengaruhi tampilan visual	Membutuhkan pemeriksaan lanjutan, pengujian tambahan, dan/atau perbaikan lokal
Sangat Tidak Baik	4 (Buruk)	Kerusakan berat	Kerusakan signifikan yang memengaruhi kapasitas struktur	Memerlukan penguatan struktur atau pengurangan beban penggunaan
	5 (Sangat Buruk)	Kerusakan sangat berat/kritis	Kerusakan berat dengan indikasi ketidakstabilan struktural	Tidak dapat dipertahankan; direkomendasikan untuk dibongkar atau direkonstruksi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan pada enam titik kolom bangunan kantor tiga lantai. Hasil yang diperoleh meliputi nilai Rebound Number (RH), estimasi kuat tekan beton (MPa), serta kecepatan gelombang ultrasonik (UPV, dalam m/s). Data pengujian dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil *Non-Destructive Test* (NDT)

Kode Titik Uji	Nilai RH (R)	Estimasi fc' (MPa)	Kecepatan UPV (m/s)	Ratings RH	Ratings UPV	Ratings tiap titik uji
L1C1	44.1	48.4	4,75	Sangat Baik	Sangat Baik	Sangat Baik
L1C2	43.3	48.9	4,55	Sangat Baik	Sangat Baik	Sangat Baik
L2C1	39	40.9	2,57	Baik	Kurang Baik	Kurang Baik
L2C2	39.8	42.4	3,96	Baik	Baik	Baik
L3C1	39.7	42.1	3,90	Baik	Baik	Baik
L3C2	36.6	36.3	4,13	Baik	Baik	Baik

Berdasarkan hasil pengujian Non-Destructive Test (NDT) yang telah dilakukan, dan dengan mengacu pada Tabel 3, diperoleh rekomendasi strategi pemeliharaan melalui pendekatan condition-based maintenance, di mana tindakan perawatan dan inspeksi diarahkan secara proporsional sesuai dengan tingkat kerusakan dan degradasi aktual.

Tabel 5. Rekomendasi pemeliharaan *condition-based maintenance*

Kode Titik Uji	Ratings tiap titik uji	Recommended Action
L1C1	Sangat Baik	Tidak memerlukan perbaikan, cukup dilakukan pemeliharaan rutin.
L1C2	Sangat Baik	Tidak memerlukan perbaikan, cukup dilakukan pemeliharaan rutin.
L2C1	Kurang Baik	Memerlukan pemeriksaan lebih lanjut, pengujian tambahan, dan/atau perbaikan lokal; serta kemungkinan penguatan struktur atau pengurangan beban.
L2C2	Baik	Memerlukan perbaikan ringan sebagai bagian dari program pemeliharaan rutin.
L3C1	Baik	Memerlukan perbaikan ringan sebagai bagian dari program pemeliharaan rutin.
L3C2	Baik	Memerlukan perbaikan ringan sebagai bagian dari program pemeliharaan rutin.

Evaluasi kondisi beton dilakukan dengan dua metode *Non-Destructive Testing* (NDT), yaitu *Rebar Locater, Rebound Hammer* (RH) dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV). Pada *Level* 1, titik uji L1C1 dan L1C2 menunjukkan mutu beton yang sangat baik, dengan nilai RH masing-masing sebesar 44,1 dan 43,3, serta estimasi kuat tekan 48,4 MPa dan 48,9 MPa. Kecepatan UPV di kedua titik tersebut mencapai 4,75 m/s dan 4,55 m/s, yang diklasifikasikan sebagai Sangat Baik untuk RH maupun UPV. Tingginya kecepatan gelombang ultrasonik serta kuat tekan beton yang memenuhi standar menunjukkan homogenitas material beton dan tidak adanya retakan internal yang signifikan, serta kualitas pengerjaan yang baik pada elemen struktur di *Level* 1.

Pada *Level* 2, hasil pengujian menunjukkan adanya variasi mutu beton yang perlu diperhatikan. Titik L2C1 tercatat dengan nilai RH sebesar 39 dan estimasi kuat tekan 40,9 MPa, namun kecepatan UPV rendah sebesar 2,57 m/s yang dikategorikan sebagai Kurang Baik. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kekuatan tekan permukaan beton masih memenuhi syarat minimum, struktur internalnya kemungkinan mengalami degradasi berupa porositas tinggi atau retak mikro, yang berpotensi menurunkan durabilitas jangka panjang. Sebaliknya,

L2C2 memiliki kondisi yang lebih baik dengan nilai RH 39,8, kuat tekan 42,4 MPa, dan kecepatan UPV 3,96 m/s. Beton pada titik ini diklasifikasikan sebagai Baik untuk RH dan Menengah untuk UPV, yang masih menunjukkan performa cukup baik namun tetap memerlukan pemeliharaan preventif.

Hasil evaluasi di *Level* 3 mengindikasikan bahwa mutu beton, meskipun masih dalam batas aman, menunjukkan tren penurunan. Titik uji L3C1 dan L3C2 memiliki nilai RH masing-masing sebesar 39,7 MPa dan 36,6 MPa dengan kecepatan UPV sebesar 3,90 m/s dan 4,13 m/s. Kedua titik ini dikategorikan sebagai Baik berdasarkan RH dan UPV. Walaupun tidak ditemukan indikasi kerusakan berat, kondisi ini menuntut perhatian lebih melalui program inspeksi berkala dan perbaikan ringan untuk menjaga kinerja elemen struktur, terutama mengingat pengaruh umur bangunan dan potensi peningkatan ketidakhomogenan beton seiring waktu.

Strategi pemeliharaan yang direkomendasikan meliputi pelaksanaan inspeksi visual rutin dan pembersihan permukaan untuk *Level* 1 yang memiliki kondisi struktur optimal. Pada titik yang diklasifikasikan Kurang Baik (L2C1), perlu dilakukan pengujian *Non-Destructive* lanjutan, pemeriksaan retakan mikro secara intensif, serta perencanaan tindakan perbaikan lokal seperti injeksi retak atau penguatan menggunakan metode *jacketing* atau *fiber reinforced polymer* (FRP). Sementara itu, pada titik-titik dengan kategori Baik (L2C2, L3C1, dan L3C2), disarankan melakukan perbaikan ringan seperti perbaikan permukaan beton dan proteksi korosi, serta penerapan inspeksi berkala minimal satu kali dalam setahun untuk memastikan tidak berkembangnya degradasi struktural yang lebih parah. Pendekatan berbasis kondisi aktual ini bertujuan untuk memastikan keberlangsungan kinerja struktural bangunan dengan biaya pemeliharaan yang optimal.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah mengevaluasi kondisi beton bertulang pada bangunan eksisting menggunakan metode Non-Destructive Testing (NDT) : Rebar Locator, Rebound Hammer (RH) dan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). Hasil pengujian menunjukkan bahwa elemen struktur di Level 1 (L1C1 dan L1C2) berada dalam kondisi sangat baik, tanpa memerlukan tindakan perbaikan, hanya pemeliharaan rutin. Sebaliknya, Level 2 (L2C1 dan L2C2) dan Level 3 (L3C1 dan L3C2) menunjukkan variasi mutu dari baik hingga diragukan, dengan indikasi adanya kerusakan internal pada beberapa titik yang memerlukan perhatian lebih lanjut.

Berdasarkan klasifikasi mutu dan rekomendasi tindakan, dapat disimpulkan bahwa pendekatan kombinasi RH dan UPV memberikan gambaran yang lebih komprehensif terhadap kondisi struktural beton. Strategi pemeliharaan berbasis kondisi aktual struktur menjadi penting untuk mempertahankan performa bangunan, yang meliputi pemeliharaan rutin, perbaikan lokal, serta potensi penguatan pada area tertentu. Implementasi inspeksi berkala dan evaluasi lanjutan di titik-titik kritis sangat disarankan guna mendukung keselamatan dan keberlanjutan fungsi bangunan jangka panjang.

REFERENSI

Setyawan, A. W. M. (2021). Strategi pemeliharaan bangunan bertingkat berdasarkan umur dan fungsi. *Jurnal Teknik Sipil*, *19*(2), 87–94. Retrieved from https://ojs.serambimekkah.ac.id/jse/article/download/6454/4704

Hasbullah, M. A., Yusof, R., & Yusoff, M. N. (2017). Assessing the performance of concrete structure based on the width of the crack using UPV. *Journal of Engineering Science and Technology*, *12*(Special Issue), 17–25.

Mata, R., Ruiz, R. O., & Nuñez, E. (2023). Correlation between compressive strength of concrete and ultrasonic pulse velocity: A case study and a new correlation method. *Construction and Building Materials*, *369*, 130569. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130569

Pratama, E., Kadir, Y., & Siregar, C. A. (2023). Pemeriksaan mutu beton terpasang menggunakan pengujian Rebound Hammer Test. *Jurnal Permukiman*, *19*(2), 85–92. https://jurnalpermukiman.pu.go.id/index.php/JP/article/view/432

Putra, S. H. (2023). Evaluasi kuat tekan beton menggunakan Hammer Test dan UPV pada Jembatan Kuala Samboja. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, *8*(2), 120–128. https://ejurnal.polnes.ac.id/index.php/inersia/article/view/361

Suryanita, R., Mardiyono, & Adnan, A. (2017). Intelligent bridge seismic monitoring system based on Neuro Genetic hybrid. *TELKOMNIKA*, *15*(4), 1830–1840. https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v15i4.6006

Siregar, A. B., Ginting, R., & Lubis, Y. A. (2024). Evaluasi kuat tekan beton menggunakan UPV dan Hammer Test. *Jurnal Sainstek STT Pekanbaru*, *9*(1), 10–17. https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/article/view/247

Gultom, A., Ginting, R., & Lubis, Y. A. (2024). SNI 2847:2013 sebagai acuan uji kekuatan struktur kolom gedung beton bertulang pada bangunan bertingkat. *Jurnal Darma Agung*, *32*(5), 458–471.

British Standards Institution. (1986). *Testing concrete—Part 125: Methods for analysis of hardened concrete* (BS 1881-125). *Construction Standards*, *2*(2), 1–14.

Wiyanto, H., Makarim, C. A., & Gondokusumo, O. (2020). Condition rating examination based on visual assessment of concrete damage caused by poor implementation. *Technology Reports of Kansai University*, *62*(9), 5861–5870. Retrieved from https://www.kansaiuniversityreports.com/volume/TRKU/62/09/condition-rating-examination-based-on-visual-assessment-of-concrete-damage-caused-by-poor-im

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2019). *Modul 8: Spesifikasi Umum Divisi 7 – Struktur*. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Jalan, Perumahan, Permukiman, dan Pengembangan Infrastruktur Wilayah, Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia. https://binamarga.pu.go