

Evaluasi Kriteria Penerimaan Sampel Beton Berdasarkan SNI 2847:2019 Pada Proyek Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Epafroditus Tuwanakotta^{1*}, Lukas², Lanny W Pandjaitan²

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Sudirman 51, Jakarta 12930

²Sub Direktorat Internal Audit, PT. Telekomunikasi Selular, Jalan Jenderal Gatot Subroto Kav. 52, Jakarta 12710

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i> Received 22 June 2026 Accepted 04 July 2026 <i>Keywords:</i> compressive strength; SNI 2847:2019; ACI 214R-11; quality control.	<i>Concrete is the primary construction material in power plant infrastructure; therefore, its quality must comply with the acceptance criteria specified in SNI 2847:2019. This study aimed to evaluate concrete compressive strength test results based on the acceptance criteria of SNI 2847:2019 and to assess the effectiveness of quality control using ACI 214R-11 in the Sorong (Ex-Timika) 4×7 MW Steam Power Plant construction project. A quantitative descriptive-evaluative method was applied using 28-day concrete compressive strength data for design strengths of 15 MPa, 25 MPa, and 30 MPa. The analysis included descriptive statistics, evaluation of Acceptance Criteria 1 and 2, Z-score analysis to identify weak spots, and standard deviation assessment based on ACI 214R-11. The results showed that all concrete samples satisfied the acceptance criteria with a 100% compliance rate, no weak spots were identified, and all standard deviation values were classified as Excellent. These findings indicate that the project's concrete quality control system effectively ensured compliance with structural quality requirements and supported the reliability of the power plant structure.</i>

Info Artikel	Abstrak
<i>Histori Artikel:</i> Diserahkan: 22 Juni 2026 Diterima: 04 Juli 2026 <i>Kata Kunci:</i> beton; kuat tekan; SNI 2847:2019; ACI 214R-11; pengendalian mutu.	Beton merupakan material utama pada konstruksi pembangkit listrik sehingga mutu beton harus memenuhi persyaratan penerimaan sesuai SNI 2847:2019. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi hasil uji kuat tekan beton berdasarkan kriteria penerimaan SNI 2847:2019 serta menilai kualitas pengendalian mutu menggunakan ACI 214R-11 pada Proyek Pembangunan PLTU Sorong (Ex-Timika) 4×7 MW. Penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-evaluatif terhadap data hasil uji kuat tekan beton silinder umur 28 hari pada mutu rencana 15 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa. Analisis dilakukan melalui statistik deskriptif, evaluasi Kriteria 1 dan Kriteria 2 SNI 2847:2019, analisis Z-score untuk mendeteksi weak spot, serta penilaian standar deviasi berdasarkan ACI 214R-11. Hasil penelitian menunjukkan seluruh sampel memenuhi kedua kriteria penerimaan dengan tingkat kepatuhan 100%, tidak ditemukan weak spot, dan seluruh nilai standar deviasi berada pada kategori Excellent. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem pengendalian mutu beton pada proyek telah berjalan secara efektif serta mampu menjamin mutu dan keandalan struktur pembangkit listrik.

*Corresponding author. Epafroditus Tuwanakotta
Email address: epafroditus79@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Beton memegang peranan krusial sebagai material struktural dominan pada pembangunan infrastruktur kritikal seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Sebagai infrastruktur energi nasional, komponen utama bangunan PLTU dirancang untuk secara kontinu memikul beban dinamis berfrekuensi tinggi dari operasional mekanis serta paparan lingkungan ekstrem yang korosif (Mehta & Monteiro, 2014). Guna mengeliminasi risiko degradasi mutu struktural pada bangunan makro tersebut, diperlukan instrumen evaluasi legal-formal berbasis standar nasional terbaru melalui SNI 2847:2019 Bab 26 Pasal 26.12 (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Regulasi ini mengamanatkan kriteria penerimaan (acceptance criteria) yang ketat berupa evaluasi nilai rata-rata dari tiga uji kuat tekan berurutan (Kriteria 1) serta batas absolut minimum pengujian individu (Kriteria 2) (Aditya & Nugraha, 2021).

Namun, implementasi praktis di lapangan sering kali menghadapi kompleksitas teknis yang dinamis terkait manajemen mutu suplai beton struktural. Kompleksitas ini umumnya dipengaruhi oleh faktor geografis wilayah proyek, variabilitas karakteristik sumber material penyusun terutama jika komponen agregat didatangkan dari luar daerah hingga fluktuasi termal lingkungan saat pengecoran dan diskrepansi teknik pemadatan di lapangan (Triwulan & Wahyudi, 2018). Faktor-faktor tersebut menjadi variabel laten yang berpotensi memicu deviasi signifikan pada nilai kuat tekan beton aktual di lapangan (Neville, 2011). Oleh karena itu, penilaian indeks keandalan, tingkat homogenitas material, dan konsistensi mutu pelaksanaan produksi berdasarkan parameter deviasi standar menjadi representasi krusial dari efektivitas sistem manajemen mutu di lapangan sesuai acuan ACI Committee 214 (ACI Committee 214, 2011).

Menyikapi urgensi problematika tersebut, penelitian ini dilakukan dengan mengambil studi kasus pada Proyek Pembangunan PLTU Sorong (Ex-Timika) 4x7 MW, dengan meneliti beton hasil produksi batching plant PT. Eva Mahkota. Pemilihan lokasi ini merepresentasikan kondisi riil kompleksitas logistik antarpulau, di mana komponen agregat halus didatangkan langsung dari Bitung (Pratama & Wijaya, 2022). Penelitian ini diinisiasi secara sistematis untuk menganalisis karakteristik statistik deskriptif dari sebaran data hasil uji kuat tekan mekanis pada variasi mutu rencana 15 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa. Evaluasi difokuskan untuk menilai derajat kepatuhan populasi sampel terhadap fungsi rata-rata bergerak dari tiga pengujian berurutan (Chandra & Setiawan, 2022), sekaligus menguji kesesuaian sampel uji individual terhadap ambang batas nilai absolut berdasarkan batasan baku SNI 2847:2019 guna mendeteksi potensi lokalisasi titik lemah (weak spot) pada komponen struktural (Suryani & Pratama, 2024).

2. METODE PELAKSANAAN

2.1 Desain Penelitian dan Objek Studi Kasus

Penelitian ini didesain sebagai studi evaluasi kuantitatif terhadap kriteria penerimaan sampel beton struktural pada proyek pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sesuai amanat standar SNI 2847:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Untuk menguji implementasi regulasi tersebut pada skala riil, penelitian ini mengambil studi kasus spesifik pada Proyek Pembangunan PLTU Sorong (Ex-Timika) 4x7 MW yang berlokasi di Kota Sorong, Papua Barat Daya. Pengambilan studi kasus pada infrastruktur energi ini didasarkan pada karakteristik bangunan PLTU yang membutuhkan keandalan struktur tinggi guna menahan beban dinamis operasional secara kontinu.

2.2 Sumber Data dan Populasi Sampel

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder hasil pengujian kuat tekan hancur silinder beton (diameter 15 cm, tinggi 30 cm) pada umur 28 hari. Populasi sampel beton diperoleh dari hasil produksi batching plant PT. Eva Mahkota yang menyuplai kebutuhan struktur utama proyek PLTU tersebut. Mutu beton rencana yang dievaluasi terdiri dari tiga variasi, yaitu 15 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa. Karakteristik khusus dari objek studi ini adalah penggunaan agregat halus non-lokal yang didatangkan langsung dari Bitung, sehingga evaluasi homogenitas dan konsistensi mutu produksinya dianalisis menggunakan panduan standar ACI Committee 214 (ACI Committee 214, 2011).

2.3 Data Penelitian dan Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa rekaman hasil uji tekan hancur silinder beton (concrete cylinder compressive strength test) berumur 28 hari. Data diperoleh secara resmi dari laporan kendali mutu (Quality Control Report) laboratorium internal kontraktor atau pengawas proyek.

Variabel data dikelompokkan berdasarkan mutu beton rencana (f_c), yaitu:

1. Beton Mutu Rendah: Mutu rencana 15 MPa (aplikasi elemen non-struktural/Lean Concrete).
2. Beton Mutu Sedang: Mutu rencana 25 MPa (aplikasi elemen struktural penunjang).
3. Beton Mutu Tinggi/Sedang Atas: Mutu rencana 30 MPa (aplikasi elemen struktural kritis, seperti fondasi generator dan turbine building).

Setiap sampel pengujian yang sah mewakili nilai rata-rata dari dua silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) yang dicor dari truk pengaduk (mixer truck) yang sama dan diuji pada umur silinder yang sama (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

2.4 Analisa Data

Analisis data dilakukan melalui empat tahapan utama yang saling berkesinambungan untuk menjawab seluruh tujuan penelitian.

2.4.1 Analisis Statistik Deskriptif

Data kuat tekan aktual dari masing-masing variasi mutu (15, 25, dan 30 MPa) dihitung karakteristik pemusatan dan penyebaran datanya menggunakan rumus statistik standar (Ne-ville, 2011):

- Nilai Rata-rata Aktual ($\bar{x}$) :

$$(\bar{x}) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana x_i adalah nilai kuat tekan sampel ke- i, dan n adalah jumlah total sampel.

- Deviasi Standar Populer (s) : Digunakan untuk mengukur dispersi data dan mengindikasikan tingkat kendali mutu di lapangan

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2)$$

- Nilai Minimum, Maksimum, dan Rentang (Range).

2.4.2 Evaluasi Kriteria 1 SNI 2847:2019 (Rata-Rata Bergerak)

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 26.12.2.1(a), kekuatan kelompok beton dianggap memenuhi syarat jika: Setiap nilai rata-rata aritmetika dari tiga uji kuat tekan yang berurutan ($\bar{x}_3$) tidak kurang dari kuat tekan rencana (f'_c).

$$\bar{x}_3 = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} \geq (f'_c) \dots \dots \dots (3)$$

Analisis ini dilakukan secara sekuensial (rata-rata bergerak/moving average) dari sampel awal hingga sampel akhir pada tiap-tiap kelas mutu beton.

2.4.3 Evaluasi Kriteria 2 SNI 2847:2019 (Ambang Batas Nilai Individu)

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 26.12.2.1(b), kekuatan individu beton dianggap memenuhi syarat jika tidak ada benda uji tunggal yang jatuh di bawah batas absolut yang ditentukan. Aturan fisiknya adalah:

Untuk $f'_c \leq 35$ MPa (mencakup mutu 15, 25, dan 30 MPa):

$$x_i \geq f'_c = 3.5 \text{ Mpa}$$

Apabila ditemukan nilai sampel $x_i < f'_c = 3.5$ Mpa, maka sampel tersebut diidentifikasi sebagai cacat mutu struktural (*weak spot*) yang memerlukan investigasi lebih lanjut (misal: *core drill* atau *ultrasound pulse velocity*).

2.4.4 Penilaian Indeks Keandalan Kendali Mutu (ACI 214R-11)

Untuk mengukur seberapa konsisten dan homogen proses pencampuran material serta pelaksanaan pengecoran pada proyek pembangkit listrik yang menjadi objek studi kasus ini, nilai standar deviasi (s) yang diperoleh pada Tahap 1 dikonfrontasikan dengan Tabel 1 klasifikasi kendali mutu dari American Concrete Institute (ACI Committee 214, 2011)

Tabel 1.

Penilaian indeks Keandalan Kendali Mutu (ACI 214R-11)

Standar Deviasi (s) untuk Kelas Lapangan	Klasifikasi Pengendalian Mutu (Standards of Concrete Control)
< 2.8 MPa	Sangat Baik Sekali (<i>Excellent</i>)
2.8 s.d. 3.4 MPa	Baik (<i>Very Good</i>)
3.4 s.d. 4.1 MPa	Cukup (<i>Good</i>)
4.1 s.d. 4.8 MPa	Kurang (<i>Fair</i>)
hmmfd > 4.8 MPa	Buruk (<i>Poor</i>)

Sumber (ACI Committee 214, 2011).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 15 Mpa

Berdasarkan data sampel silinder beton yang diambil dari proyek pembangunan PLTU yang menjadi objek studi kasus ini,, hasil uji kuat tekan beton untuk mutu target $f_c = 15$ MPa disajikan pada Tabel 2. Dibawah ini.

Tabel 2.

Data Hasil Uji Kuat Tekan 15 Mpa

Sampel Ke-	Kuat Tekan (MPa)
Sampel 1	22,29
Sampel 2	16,99
Sampel 3	19,01
Sampel 4	17,07
Sampel 5	16,99
Sampel 6	19,01
Sampel 7	19,31
Sampel 8	19,27

Tabel 3.

Rekapitulasi Statistik Deskriptif Kuat Tekan 15 Mpa

Parameter Statistik	Nilai	Satuan
Target Mutu Rencana	15,00	MPa
Nilai Rata-rata (<i>Mean</i>)	18,87	MPa
Nilai Maksimum	22,29	MPa
Nilai Minimum	16,99	MPa
Rentang (<i>Range</i>)	5,30	MPa
Standar Deviasi (s)	1,72	MPa

Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif terhadap pengujian kuat tekan mekanis pada variasi mutu rencana 15 MPa yang disajikan pada Tabel 3, seluruh sampel uji menunjukkan performa yang secara signifikan melampaui target yang direncanakan. Hasil pengujian pada Tabel 3 mencatat bahwa nilai rata-rata (*mean*) kekuatan material mencapai 18,87 MPa, dengan sebaran nilai aktual yang bergerak dari nilai minimum sebesar 16,99 MPa hingga nilai maksimum sebesar 22,29 MPa. Rendahnya nilai standar deviasi (s) yaitu sebesar 1,72 MPa, didukung dengan rentang variasi (*range*) sebesar 5,30 MPa, mengindikasikan tingkat dispersi data yang sempit, yang membuktikan tingginya homogenitas material di lapangan (Kurniawan, 2023). Hal ini membuktikan bahwa material yang diuji memiliki tingkat homogenitas yang tinggi serta mencerminkan adanya pengendalian mutu (*quality control*) yang konsisten dan stabil selama proses fabrikasi di lapangan.

Secara analisis teknis mekanis, pemenuhan nilai minimum sebesar 16,99 MPa yang tetap berada di atas target rencana 15 MPa pada Tabel 3 memberikan indikasi kuat bahwa material memiliki keandalan struktural yang tinggi. Selisih positif antara nilai rata-rata aktual terhadap target rencana menghasilkan margin keamanan (*safety margin*) sebesar 25,8% dari desain awal. Dengan tingkat variabilitas yang rendah dan kekuatan aktual yang secara konsisten berada di atas ambang batas, material pada variasi mutu rencana 15 MPa ini memiliki risiko kegagalan struktural yang sangat minimal dan mampu mengakomodasi beban desain secara aman.

3.2 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 25 MPa

Berdasarkan data sampel silinder beton yang diambil dari proyek pembangunan PLTU yang menjadi objek studi kasus ini,, hasil uji kuat tekan beton untuk mutu target $f_c = 25$ MPa disajikan pada Tabel 4. Dibawah ini

Tabel 4.

Data Hasil Uji Kuat Tekan 25 Mpa

Sampel Ke-	Kuat Tekan (MPa)
Sampel 1	26,96
Sampel 2	26,03
Sampel 3	29,07
Sampel 4	27,15
Sampel 5	26,66
Sampel 6	30,72
Sampel 7	33,73
Sampel 8	33,05
Sampel 9	33,02
Sampel 10	29,06
Sampel 11	27,66
Sampel 12	27,23
Sampel 13	28,06

Tabel 5.

Rekapitulasi Statistik Deskriptif Kuat Tekan 15 Mpa

Parameter Statistik	Nilai	Satuan
Target Mutu Rencana	25,00	MPa
Nilai Rata-rata (Mean)	29,18	MPa
Nilai Maksimum	33,73	MPa
Nilai Minimum	26,03	MPa
Rentang (Range)	7,70	MPa
Standar Deviasi (s)	2,68	MPa

Berdasarkan data hasil pengujian kuat tekan mekanis yang disajikan pada Tabel 5, karakteristik sebaran data untuk beton dengan mutu rencana 25 MPa menunjukkan performa struktur yang memenuhi kriteria spesifikasi teknis pada proyek pembangunan PLTU yang diteliti. Nilai kuat tekan minimum yang tercatat sebesar 26,03 MPa mengindikasikan bahwa seluruh sampel beton termasuk nilai terendah telah berhasil melampaui target mutu rencana yang disyaratkan (25,00 MPa). Secara keseluruhan, populasi sampel menunjukkan tren kekuatan yang stabil dengan nilai rata-rata (*mean*) mencapai 29,18 MPa dan nilai maksimum menyentuh angka 33,73 MPa.

Untuk menganalisis homogenitas dan konsistensi mutu beton pada proyek ini, tinjauan terhadap parameter dispersi data menjadi bagian yang krusial. Analisis statistik deskriptif menghasilkan rentang (*range*) kekuatan sebesar 7,70 MPa dengan nilai standar deviasi (s) sebesar 2,68 MPa. Nilai standar deviasi yang berada di bawah ambang batas 2,8 MPa ini mengindikasikan tingkat sebaran data yang rapat di sekitar nilai rata-rata. Hal tersebut mencerminkan bahwa sistem kendali mutu (*quality control*) dalam proses produksi, pencampuran (*batching*), serta pelaksanaan pengecoran beton di lapangan pada proyek pembangunan PLTU yang menjadi objek studi ini berjalan dengan konsisten (Yulianto, 2021) dan memiliki tingkat keragaman material yang rendah.

3.3 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 30 MPa

Berdasarkan data sampel silinder beton yang diambil dari proyek pembangunan PLTU yang menjadi objek studi kasus ini, hasil uji kuat tekan beton untuk mutu target $f_c = 30$ MPa disajikan pada Tabel 6. Dibawah ini.

Tabel 6.

Data Hasil Uji Kuat Tekan 30 Mpa

Sampel Ke-	Kuat Tekan (MPa)
Sampel 1	36,03
Sampel 2	37,14
Sampel 3	33,85
Sampel 4	32,53
Sampel 5	34,57
Sampel 6	32,39
Sampel 7	30,98
Sampel 8	36,09
Sampel 9	33,07
Sampel 10	32,2
Sampel 11	35,43
Sampel 12	36,39
Sampel 13	35,83
Sampel 14	36,24
Sampel 15	38,48
Sampel 16	35,07
Sampel 17	32,6
Sampel 18	35,08
Sampel 19	35,32
Sampel 20	31,36
Sampel 21	34,1
Sampel 22	34,58
Sampel 23	31,58
Sampel 24	34,2
Sampel 25	30,81
Sampel 26	33,98
Sampel 27	35,16
Sampel 28	34,2

Tabel 7.

Rekapitulasi Statistik Deskriptif Kuat Tekan 15 Mpa

Parameter Statistik	Nilai	Satuan
Target Mutu Rencana	30,00	MPa
Nilai Rata-rata (Mean)	34,44	MPa
Nilai Maksimum	38,48	MPa
Nilai Minimum	33,73	MPa
Rentang (Range)	7,67	MPa
Standar Deviasi (s)	1,94	MPa

Berdasarkan data hasil pengujian kuat tekan mekanis yang disajikan pada Tabel 7, karakteristik sebaran data untuk beton dengan mutu rencana 30 MPa menunjukkan performa struktural yang sangat baik dan memenuhi kriteria spesifikasi teknis proyek pembangunan PLTU yang diteliti. Nilai kuat tekan minimum yang tercatat sebesar 33,73 MPa mengindikasikan bahwa seluruh sampel beton termasuk nilai terendah telah berhasil melampaui target mutu rencana yang disyaratkan (30,00 MPa). Secara keseluruhan, populasi sampel menunjukkan tren kekuatan yang tinggi dan stabil dengan nilai rata-rata (*mean*) mencapai 34,44 MPa serta nilai maksimum menyentuh angka 38,48 MPa.

Untuk menganalisis homogenitas dan konsistensi mutu beton pada proyek ini, tinjauan terhadap parameter dispersi data menjadi bagian yang krusial. Analisis statistik deskriptif menghasilkan rentang (*range*) kekuatan sebesar 7,67 MPa dengan nilai standar deviasi (*s*) yang sangat rapat sebesar 1,94 MPa mencerminkan pengendalian kualitas tingkat tinggi untuk fondasi berat makro (Wibowo & Kusuma, 2023). Nilai standar deviasi yang berada jauh di bawah ambang batas 2,8 MPa ini mengindikasikan tingkat sebaran data yang sangat rapat di sekitar nilai rata-rata. Hal tersebut mencerminkan bahwa sistem kendali mutu (*quality control*) dalam proses produksi, pencampuran (*batching*), serta pelaksanaan pengecoran beton di lapangan pada proyek pembangunan PLTU yang menjadi objek studi ini, untuk mutu 30 MPa ini berjalan dengan sangat konsisten dan memiliki tingkat keseragaman material yang tinggi.

3.4 Evaluasi Kepatuhan Mutu Kuat Tekan 15 Mpa terhadap Kriteria 1 SNI 2847:2019

Evaluasi mutu beton struktural merupakan tahapan krusial dalam penjaminan keamanan dan keandalan infrastruktur bangunan gedung. Berdasarkan hasil pengujian mekanis sampel beton yang dirancang dengan target mutu rencana (f_c) sebesar 15 MPa, dilakukan analisis kuantitatif deskriptif untuk mengevaluasi derajat kepatuhan populasi sampel terhadap parameter Kriteria 1 (fungsi rata-rata bergerak dari tiga pengujian berurutan) yang diamanatkan oleh SNI 2847:2019.

Akurasi kendali mutu di lapangan didukung oleh nilai standar deviasi (*s*) yang relatif kecil, yaitu sebesar 1,72 MPa dengan rentang sebaran (*range*) sebesar 5,30 MPa. Berdasarkan standar deviasi tersebut, variabilitas kuat tekan beton masuk dalam kategori kontrol kualitas yang sangat baik dan konsisten. Bukti mutlak pemenuhan Kriteria 1 SNI 2847:2019 ditunjukkan melalui analisis skenario terburuk (*worst-case scenario*), di mana nilai minimum absolut dari keseluruhan populasi tercatat sebesar 16,99 MPa. Mengingat nilai tunggal terendah di dalam seluruh populasi sudah berada di atas kuantitas target rencana (16,99 MPa > 15,00 MPa), maka secara matematis mustahil terjadi kegagalan fungsi rata-rata bergerak dari tiga sampel berurutan di bawah ambang batas minimum. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa populasi sampel uji beton ini memiliki derajat kepatuhan mutlak sebesar 100% (Lulus Uji) terhadap Kriteria 1 SNI 2847:2019 dan memenuhi prasyarat homogenitas serta kelayakan struktural secara nasional.

3.5 Evaluasi Kepatuhan Mutu Kuat Tekan 25 Mpa terhadap Kriteria 1 SNI 2847:2019

Evaluasi kepatuhan mekanis terhadap populasi sampel uji kuat tekan beton berumur 28 hari dengan target mutu rencana f_c sebesar 25 MPa dilakukan secara kuantitatif untuk menguji pemenuhan parameter Kriteria 1 berdasarkan regulasi baku SNI 2847:2019. Justifikasi matematis mutlak mengenai derajat kepatuhan populasi terhadap fungsi rata-rata bergerak tiga sampel berurutan diuji dengan menerapkan analisis skenario terburuk (*worst-case scenario*). Skenario kritis ini mengasumsikan kondisi ekstrem di mana tiga pengujian berurutan seluruhnya menghasilkan nilai terkecil yang ada pada populasi secara simultan, yaitu sebesar $f_{cr,min} = 26,03$ MPa Melalui formulasi aritmetika, nilai rata-rata bergerak

minimum M_{3min} yang diperoleh dari kondisi tersebut adalah tetap sebesar 26,03 MPa. Ketika dikomparasikan langsung dengan ambang batas Kriteria 1 SNI 2847:2019, nilai kritis terendah ini terbukti masih melampaui batas minimum syarat mutu rencana 26,03 MPa. Mengingat nilai tunggal paling minimum dari seluruh data pengujian sudah berada di atas parameter desain, maka secara teoritis dapat dipastikan tidak akan ada probabilitas kemunculan kombinasi tiga nilai rata-rata berurutan yang jatuh di bawah standar. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa populasi sampel uji beton f_c 25 MPa ini memiliki derajat kepatuhan mutlak sebesar 100% terhadap Kriteria 1 SNI 2847:2019 dan dinyatakan andal serta aman secara struktural.

3.6 Evaluasi Kepatuhan Mutu Kuat Tekan 30 Mpa terhadap Kriteria 1 SNI 2847:2019

Analisis Derajat Kepatuhan Populasi Sampel Uji Kuat Tekan Beton Mutu f_c 30 MPa terhadap Kriteria 1 Berdasarkan Standar Baku SNI 2847:2019 Evaluasi karakteristik mekanis dan derajat kepatuhan populasi sampel uji kuat tekan beton berumur 28 hari dengan target mutu rencana (f_c) sebesar 30 MPa dilakukan secara kuantitatif untuk menguji pemenuhan parameter Kriteria 1 berdasarkan regulasi baku SNI 2847:2019. Data eksperimental dari hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa populasi sampel menghasilkan nilai rata-rata (mean) sebesar 34,44 MPa dengan capaian nilai maksimum sebesar 38,48 MPa. Hasil tersebut merepresentasikan adanya margin keamanan (safety margin) absolut yang kuat sebesar 4,44 MPa di atas parameter desain struktural. Jika dikonversikan ke dalam rasio jarak standar deviasi (Z-score), posisi target rencana berada pada tingkat 2,29 di bawah nilai rata-rata populasi, yang secara teoritis memproyeksikan probabilitas kegagalan hancur material yang sangat rendah pada kurva distribusi normal. Tingkat konsistensi produksi dan homogenitas campuran material di lapangan dipresentasikan oleh nilai standar deviasi (s) yang sangat baik, yaitu sebesar 1,94 MPa dengan rentang sebaran (range) sebesar 7,67 MPa. Justifikasi matematis konklusif mengenai tingkat kepatuhan populasi terhadap fungsi rata-rata bergerak tiga sampel berurutan dianalisis menggunakan pendekatan skenario terburuk (worst-case scenario). Skenario kritis ini mengasumsikan kondisi ekstrem di mana tiga pengujian berurutan seluruhnya menghasilkan nilai terkecil pada populasi secara simultan, yaitu sebesar $f_{cr,min}$ 33,73. Melalui formulasi aritmetika, nilai rata-rata bergerak minimum yang diperoleh dari kondisi kritis tersebut adalah tetap sebesar 33,73 MPa. Ketika dikomparasikan langsung dengan ambang batas Kriteria 1 SNI 2847:2019, nilai kritis terendah ini terbukti masih melampaui batas minimum syarat mutu rencana dengan selisih positif yang signifikan 33,73 MPa. Mengingat nilai tunggal paling minimum dari seluruh deret pengujian lapangan secara absolut sudah berada jauh di atas parameter desain, maka secara matematis dipastikan tidak akan ada probabilitas kemunculan kombinasi tiga nilai rata-rata berurutan yang jatuh di bawah standar. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa populasi sampel uji beton f_c 30 MPa ini memiliki derajat kepatuhan mutlak sebesar 100% terhadap Kriteria 1 SNI 2847:2019 dan dinyatakan sangat andal serta aman untuk memikul beban struktural bangunan gedung.

Justifikasi matematis mengenai kepatuhan diuji dengan menerapkan analisis skenario terburuk (Chandra & Setiawan, 2022). Dikarenakan nilai tunggal paling minimum dari seluruh populasi data pada masing-masing mutu (16,99 MPa, 26,03 MPa, dan 33,73 MPa) secara absolut berada di atas target rencana awalnya, maka probabilitas kombinasi tiga nilai rata-rata berurutan jatuh di bawah standar adalah nol persen. Tingkat pemenuhan kriteria ini dirangkum pada Tabel 8.

Tabel 8.
Rekepitulasi Evaluasi Penilaian Mutu

No.	Parameter Evaluasi Mutu Beton	Mutu f_c' 15 MPa	Mutu f_c' 25 MPa	Mutu f_c' 30 MPa	Satuan Baku
	Indikator Keamanan dan Kepatuhan				
1	Margin Keamanan Absolut	3,87	4,18	4,44	MPa
2	Rasio Jarak Deviasi Standar	2,25	1,56	2,29	-
3	Rata-rata Bergerak Kritis	16,99	26,03	33,73	MPa
4	Kategori Kendali Mutu Lapangan	Sangat Baik	Baik	Sangat Baik	\$\$
5	Derajat Kepatuhan Kriteria 1	100%	100%	100%	Persen
6	Status Evaluasi Struktural	LULUS	LULUS	LULUS	-

3.7 Analisis Kriteria 2 (Ambang Batas Absolut Individual)

3.7.1 Evaluasi Kesesuaian Sampel Terhadap Ambang Batas Minimum (Kriteria 2)

Analisis empiris ini difokuskan pada pemenuhan Kriteria 2 berdasarkan SNI 2847-2019, yang mensyaratkan bahwa tidak boleh ada satu pun hasil uji individual (x_i) yang jatuh di bawah ambang batas absolut yang diizinkan. Untuk target mutu rencana ≤ 35 MPa, batas bawah absolut ditetapkan melalui persamaan Target Mutu 3,5 MPa, sehingga diperoleh nilai ambang batas kritis sebesar 11,50 MPa.

Berdasarkan data pada Tabel 2 nilai minimum aktual yang tercatat dari sampel uji adalah sebesar 16,99 MPa. Melalui perbandingan empiris, diperoleh hubungan:

$$16,99 \text{ Mpa} \geq 11,50 \text{ MPa}$$

Hal ini menunjukkan bahwa seluruh sampel uji individual secara mutlak memenuhi regulasi Kriteria 2. Nilai uji terendah di lapangan bahkan berada jauh di atas ambang batas kritis dan berhasil melampaui target mutu awal yang direncanakan (15,00 MPa).

3.7.2 Deteksi Potensi Lokalisasi Titik Lemah (Weak Spot)

Evaluasi Kriteria 2 bertujuan memastikan tidak ada benda uji tunggal yang jatuh di bawah batas toleransi desain f_c 3.5 MPa (ACI Committee 318, 2019). Untuk memvalidasi tidak adanya lokalisasi titik lemah (*weak spot*) akibat segregasi adukan, digunakan pendekatan statistik Z-score (Santoso & Utomo, 2021).

$$Z = \frac{x_{min} - \bar{x}}{s} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan memasukkan nilai minimum (x_{min}) = 16,99 MPa, rata-rata $\bar{x}$ = 18,87 MPa, dan standar deviasi s = 1,72, diperoleh nilai Z = -1,09. Secara teori statistik, suatu area terindikasi sebagai pencilan ekstrem (*outlier*) atau *weak spot* yang anomali apabila nilai $Z < -2,0$. Hasil Z = -1,09 mengonfirmasi bahwa nilai minimum tersebut masih berada dalam rentang deviasi yang wajar dan merupakan variasi natural dari proses fabrikasi material.

Secara keseluruhan, nilai standar deviasi yang relatif rendah s = 1,72MPa merepresentasikan tingkat kendali mutu (*quality control*) di lapangan yang masuk dalam kategori baik dan dapat diterima. Kombinasi antara nilai rata-rata yang tinggi (18,87 MPa) dan homogenitas sebaran data yang baik membuktikan bahwa struktur memiliki ketahanan yang seragam, bebas dari risiko kegagalan lokal akibat konsentrasi titik lemah, dan memenuhi spesifikasi teknis keandalan struktur yang dipersyaratkan.

Seluruh rangkaian hasil perhitungan evaluasi empiris Kriteria 2 untuk klasifikasi mutu beton 15, 25 MPa dan 30 MPa dirangkum ke dalam Tabel 9 di bawah ini

Tabel 9.
Evaluasi Empiris Kriteria 2

Parameter / Evaluasi	Data 1 (Target 15 MPa)	Data 2 (Target 25 MPa)	Data 3 (Target 30 MPa)
Evaluasi Kriteria 2			
Batas Kritis Absolut ($\mu - 3,5$)	11,50 MPa	21,50 MPa	26,50 MPa
Kondisi Empiris (χ_{min}) $\geq$ Batas Kritis)	$16,99 \geq 11,50$	$26,03 \geq 21,50$	$33,73 \geq 26,50$
Status Kriteria 2	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat	Memenuhi Syarat
Analisis Deteksi <i>Weak Spot</i>			
Nilai Nilai <i>Z-score</i> Minimum	-1,09	-1,18	-0,37
Kategori Kendali Mutu (<i>QC</i>)	Baik (<i>Good</i>)	Diterima (<i>Fair</i>)	Sangat Baik (<i>Excellent</i>)
Indikasi Lokalisasi <i>Weak Spot</i>	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi

Evaluasi Kriteria 2 dilakukan untuk menjamin keandalan struktural secara mikro dengan memastikan tidak ada sampel uji individual yang jatuh di bawah batas toleransi desain $\mu - 3,5$ MPa berdasarkan ACI 318 / SNI 2847). Integrasi data pada tabel rekapitulasi menunjukkan tingkat kepatuhan (*compliance rate*) sebesar 100% pada ketiga variasi mutu. Nilai minimum aktual pada mutu 15 MPa (16,99 MPa), 25 MPa (26,03 MPa), dan 30 MPa (33,73 MPa) secara konsisten berada jauh di atas batas kritis absolutnya masing-masing, yaitu 11,50 MPa, 21,50 MPa, dan 26,50 MPa. Secara linier, seluruh kelompok sampel memenuhi korelasi $\chi_{min} \geq \mu - 3,5$ MPa. Temuan krusial menunjukkan bahwa nilai pengujian terendah dari ketiga variasi tersebut tidak hanya lolos dari batas kritis absolut, melainkan mampu melampaui nilai target mutu rencana awalnya. Hal ini mengindikasikan bahwa margin keamanan (*safety margin*) pada perencanaan campuran (*mix design*) maupun pelaksanaan di lapangan berada pada level yang sangat aman.

Keberhasilan pemenuhan kriteria ini diperkuat oleh analisis *Z-score* batas minimum untuk mendeteksi potensi lokalisasi titik lemah (*weak spot*). Nilai *Z-score* minimum untuk mutu 15 MPa mencapai -1,09, mutu 25 MPa sebesar -1,18, dan mutu 30 MPa sebesar -0,37. Karena tidak ada nilai *Z-score* yang menembus ambang batas pencilan ekstrem ($Z < -2,0$), dapat divalidasi bahwa nilai minimum tersebut murni merupakan variasi acak yang wajar (*natural randomness*) dalam proses fabrikasi material, bukan akibat anomali struktural ataupun segregasi campuran. Secara keseluruhan, pengujian empiris ini membuktikan tingginya homogenitas material dengan kategori kendali mutu (*quality control*) yang memuaskan, bergerak dari kategori diterima (*fair control*) pada mutu 25 MPa, baik (*good control*) pada mutu 15 MPa, hingga sangat baik (*excellent control*) pada mutu 30 MPa. Dengan demikian, risiko lokalisasi titik lemah (*weak spot*) dapat dieliminasi secara ilmiah dan seluruh mutu beton dinyatakan memenuhi spesifikasi teknis keandalan struktur yang dipersyaratkan.

Dikarenakan tidak ada satu pun nilai *Z-score* yang menembus ambang batas ekstrem ($Z < -2,0$), maka fluktuasi nilai terendah dipastikan sebagai variasi natural pengujian acak, bebas dari kecacatan mikro struktural (Suryani & Pratama, 2024).

3.4 Penilaian indeks keandalan (reliability), tingkat homogenitas material, dan konsistensi mutu

Untuk memberikan gambaran yang komprehensif mengenai mutu pelaksanaan pembetonan di lapangan, seluruh data pengujian kuat tekan diolah secara statistik dan dirangkum ke dalam tabel 10 di bawah ini. Analisis ini mengacu pada pedoman standar ACI 214R-11 (*Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete*) untuk menilai efisiensi sistem manajemen mutu yang diterapkan oleh pihak pelaksana

Tabel 10.

Penilaian Indeks Keandalan, Tingkat Homogenitas Material Dan Konsistensi Mutu

No.	Parameter Kontrol Mutu	Analisis	Target Mutu Rencana ($f_c' = 15,00$ MPa)	Target Mutu Rencana ($f_c' = 25,00$ MPa)	Target Mutu Rencana ($f_c' = 30,00$ MPa)
1.	Kuat Tekan (Mean)	Rata-rata	18,87 MPa	29,18 MPa	34,44 MPa
2.	Nilai Pengujian	Maksimum	22,29 MPa	33,73 MPa	38,48 MPa
3.	Nilai Minimum Pengujian		16,99 MPa	26,03 MPa	33,73 MPa
4.	Rentang Sebaran Data (<i>Range</i>)		5,30 MPa	7,70 MPa	7,67 MPa
5.	Standar Deviasi Lapangan (s)		1,72 MPa	2,68 MPa	1,94 MPa
6.	Kualifikasi Pelaksanaan (ACI 214R-11)	Kontrol	Sangat Baik (<i>Excellent</i>)	Sangat Baik (<i>Excellent</i>)	Sangat Baik (<i>Excellent</i>)
7.	Indeks Keandalan / Batas Aman Struktur		Sangat Tinggi Mean > Nilai minimum	Sangat Tinggi Mean > Nilai minimum	Sangat Tinggi Mean > Nilai minimum

Analisis data rekapitulasi parameter statistik pada Tabel 10 menunjukkan bahwa sistem kendali mutu produksi beton di lapangan berjalan secara efektif pada ketiga varian target mutu rencana ($f_c' = 15$ MPa, 25 MPa, dan 30 MPa. Berdasarkan standar ACI 214R-11, tolok ukur utama efisiensi manajemen mutu dinilai dari parameter standar deviasi lapangan (s). Dari data tersebut, tercatat nilai standar deviasi untuk mutu 15 MPa adalah sebesar 1,72 MPa, untuk mutu 25 MPa sebesar 2,68 MPa, dan untuk mutu 30 MPa sebesar 1,94 MPa. Karena seluruh nilai deviasi ini secara konsisten berada di bawah ambang batas maksimum 2,80 MPa, maka kualifikasi kontrol pelaksanaan oleh pihak kontraktor masuk dalam kategori Sangat Baik (*Excellent*). Rendahnya angka deviasi ini menjadi bukti ilmiah bahwa distribusi material jarak jauh dari Bitung terjaga stabilitas homogenitasnya (Nugroho, 2020), serta proses pencampuran material (*batching*) di lapangan terjaga dengan sangat stabil. Di samping itu, hubungan antar-parameter pada Tabel 10 di atas mengindikasikan bahwa struktur bangunan memiliki indeks keandalan (*reliability*) serta tingkat keamanan yang Sangat Tinggi. Indikator utamanya dapat dilihat dari nilai kuat tekan rata-rata (*mean*) yang melampaui target, serta nilai pengujian minimum yang sama sekali tidak pernah menembus atau berada di bawah nilai rencana struktur lebih besar dari Mean. Pada mutu MPa, nilai terendahnya berada pada 16,99 MPa; pada mutu 25 MPa berada pada 26,03 MPa; dan pada mutu 30 MPa berada pada 33,73 MPa. Fakta bahwa titik ekstrem terendah dari hasil uji di lapangan masih lebih tinggi dari kekuatan yang direncanakan memberikan jaminan bahwa risiko terjadinya beton cacat mutu (*under-strength concrete*) secara statistik mendekati nol persen. Jika dicermati lebih mendalam pada Tabel di atas, terdapat fenomena sebaran data yang menarik antara mutu 25,00 MPa dan 30,00 MPa. Meskipun kedua mutu beton ini memiliki rentang sebaran (*range*) angka yang hampir mirip, yaitu sebesar 7,70 MPa dan 7,67 MPa, mutu 30,00 MPa terbukti jauh lebih konsisten dan stabil. Hal ini ditunjukkan oleh nilai standar deviasinya yang lebih kecil 1,94 MPa dibandingkan 2,68 MPa, yang berarti persebaran data pada mutu tinggi tersebut mengelompok lebih rapat di sekitar nilai rata-ratanya. Secara keseluruhan, rangkaian data pada tabel ini menegaskan bahwa seluruh produk beton yang dihasilkan dari pelaksanaan konstruksi beton di lapangan memiliki mutu yang terukur, kredibel, dan sangat aman untuk memikul beban struktural yang telah direncanakan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Melalui evaluasi data lapangan dan pengujian standar yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan penting dapat dirumuskan sebagai berikut:

- 1 Analisis statistik deskriptif terhadap data uji kuat tekan beton berumur 28 hari menunjukkan performa yang sangat baik dan melampaui target rencana pada ketiga variasi mutu. Mutu 15 MPa: Memiliki nilai rata-rata (mean) sebesar 18,87 MPa, nilai maksimum 22,29 MPa, nilai minimum 16,99 MPa, dan standar deviasi (s) sebesar 1,72 MPa. Mutu 25 MPa: Memiliki nilai rata-rata (mean) sebesar 29,18 MPa, nilai maksimum 33,73 MPa, nilai minimum 26,03 MPa, dan standar deviasi (s) sebesar 2,68 MPa. Mutu 30 MPa: Memiliki nilai rata-rata (mean) sebesar 34,44 MPa, nilai maksimum 38,48 MPa, nilai minimum 33,73 MPa, dan standar deviasi (s) sebesar 1,94 MPa
- 2 Ketiga variasi mutu beton (15 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa) memiliki derajat kepatuhan mutlak sebesar 100% (Lulus Uji) terhadap Kriteria 1 SNI 2847:2019. Berdasarkan analisis skenario terburuk (worst-case scenario), nilai tunggal paling minimum dari seluruh populasi data pada masing-masing mutu (16,99 MPa, 26,03 MPa, dan 33,73 MPa) sudah berada di atas kuantitas target rencana awalnya. Secara matematis, hal ini menutup kemungkinan adanya kombinasi tiga nilai rata-rata berurutan yang jatuh di bawah standar minimal.
- 3 Seluruh sampel uji individual secara empiris dinyatakan memenuhi syarat Kriteria 2 SNI 2847:2019. Nilai kuat tekan minimum aktual pada mutu 15 MPa (16,99 MPa), 25 MPa (26,03 MPa), dan 30 MPa (33,73 MPa) terbukti berada jauh di atas ambang batas kritis absolutnya masing-masing, yaitu sebesar 11,50 MPa, 21,50 MPa, dan 26,50 MPa. Analisis Z-score terhadap batas minimum mengonfirmasi tidak adanya indikasi lokalisasi titik lemah (weak spot) karena seluruh nilai berada dalam rentang variasi acak yang wajar ($Z > -2,0$).
- 4 Struktur bangunan memiliki indeks keandalan dan tingkat keamanan yang sangat tinggi karena nilai rata-rata aktual kompak melampaui desain dan risiko beton cacat mutu secara statistik mendekati nol persen. Berdasarkan acuan ACI Committee 214, nilai standar deviasi lapangan untuk ketiga variasi mutu secara konsisten berada di bawah 2,80 MPa. Hal ini mengategorikan manajemen mutu pelaksanaan di lapangan masuk dalam kualifikasi Sangat Baik (Excellent) serta membuktikan bahwa material agregat halus asal Luar Daerah memiliki tingkat homogenitas (keseragaman) yang tinggi dan stabil selama proses produksi.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan evaluasi kriteria penerimaan beton sesuai **SNI 2847:2019** perlu dilakukan secara konsisten pada setiap proyek konstruksi sebagai bagian dari sistem pengendalian mutu. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah sampel yang lebih besar, melibatkan berbagai jenis proyek dan sumber material, serta mengombinasikan pengujian kuat tekan dengan metode *non-destructive testing* seperti *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* dan *Schmidt Hammer* untuk memperoleh evaluasi mutu beton yang lebih komprehensif. Selain itu, analisis terhadap pengaruh variasi material dan kondisi pelaksanaan konstruksi terhadap konsistensi mutu beton perlu dikembangkan guna meningkatkan keandalan struktur dan efektivitas pengendalian mutu pada proyek infrastruktur.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Aditya, R., & Nugraha, A. (2021). Analisis Kriteria Penerimaan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Standar Mutu Konstruksi Nasional. *Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur*, 9(2), 112 – 125.
2. ACI Committee 214. (2011). Guide to evaluation of strength test results of concrete (ACI 214R-11). (<http://www.concrete.org>). Diakses tanggal 12 Januari 2026.
3. Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (SNI 2847:2019). (<http://www.bsn.go.id>). Diakses tanggal 15 Februari 2026.
4. Chandra, S., & Setiawan, B. (2022). Penerapan Metode Moving Average dalam Evaluasi Kontrol Kualitas Beton Mutu Tinggi. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 28(1), 45 – 54.
5. Kurniawan, H. (2023). Analisis Keandalan Material Fondasi. Dalam Wibowo, A. (Ed.), *Infrastruktur Pembangkit Listrik: Prinsip Dasar Rekayasa Struktur Berbasis Integrasi Material, Mekanika dan Teknik* (pp. 145-178). Jakarta: Penerbit Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya.
6. Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (4th ed.). McGraw-Hill Education.
7. Neville, A. M. (2011). Properties of Concrete (5th ed.). Harlow: Pearson Education Limited.
8. Nugroho, S. A. (2020). Evaluasi Statistik Kendali Mutu Beton pada Proyek Infrastruktur Energi. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 16(2), 89 – 98
9. Pratama, D., & Wijaya, I. (2022). Pengaruh Logistik Antarpulau terhadap Konsistensi Mutu Agregat dan Campuran Beton Ready-Mix. *Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Kebangsaan* (pp. 112 – 120). Makassar: Universitas Hasanuddin
10. Santoso, T., & Utomo, B. (2021). Aplikasi Metode Z-Score dalam Deteksi Anomali Distribusi Kuat Tekan Beton Lapangan. *Jurnal Standardisasi Infrastruktur*, 14(3), 201 – 215.
11. Suryani, L., & Pratama, M. R. (2024). Pengujian Non-Destruktif dan Evaluasi Titik Lemah Struktural pada Beton Komponen Kritis. *Jurnal Praktik Keinsinyuran*, 11(1), 67 – 78.
12. Triwulan, T., & Wahyudi, R. (2018). Efek Fluktuasi Termal Lingkungan terhadap Variabilitas Kuat Tekan Silinder Beton Lapangan. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil* (pp. 89 – 97). Jakarta: Universitas Indonesia.
13. Wibowo, A., & Kusuma, H. (2023). Pengendalian Mutu Beton Massa Makro pada Struktur Fondasi Berat Infrastruktur Strategis. *Jurnal Teknik Sipil dan Bangunan*, 20(1), 34 – 48.
14. Yulianto, E. (2021). *Manajemen Kendali Mutu (Quality Control) pada Fabrikasi Massal Beton Ready-Mix*. Surabaya: Penerbit Politeknik Press.
15. American Concrete Institute (ACI) Committee 318. (2019). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary. Farmington Hills: American Concrete Institute