

KAJIAN KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN KUAT TEKAN BETON DAN ANALISIS HUBUNGAN KARAKTERISTIK MEKANIS BETON

Indah Puji Astuti¹, Tiara Shofi Edriani^{2*}

Program Studi Matematika, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan

**Penulis korespondensi: tiara.edriani@ma.itera.ac.id*

ABSTRAK

Beton merupakan bahan konstruksi utama yang sering digunakan dalam pembangunan infrastruktur. Karakteristik mekanis beton yang mencerminkan kualitasnya antara lain gaya tekan dan modulus elastisitas. Gaya tekan menguji kemampuan beton dalam menahan kompresi, sedangkan modulus elastisitas mengukur kekakuannya. Kuat tekan beton, yaitu kapasitas maksimum beton untuk menahan beban sebelum rusak, ditentukan melalui gaya tekan. Pengujian kuat tekan di laboratorium dipengaruhi oleh berbagai faktor pengukuran, sehingga diperlukan nilai ketidakpastian untuk validasi hasil. Penelitian ini bertujuan menghitung ketidakpastian pengukuran kuat tekan beton menggunakan model matematis sederhana dan meneliti hubungan gaya tekan dengan modulus elastisitas dari beberapa sampel beton menggunakan uji Korelasi *Pearson*. Sampel yang digunakan adalah beton silinder FC 10. Dari 14 sampel yang diuji, diperoleh nilai ketidakpastian sebesar $0,2619 N/mm^2$, sehingga nilai kuat tekan beton berada dalam rentang $10,2141 N/mm^2$ hingga $10,7379 N/mm^2$. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar gaya tekan yang diterapkan, maka semakin tinggi nilai modulus elastisitas beton, dan sebaliknya.

Kata kunci: Beton, Kuat Tekan, Ketidakpastian, Gaya Tekan, Modulus Elastisitas, Uji Korelasi

1 PENDAHULUAN

Beton memiliki karakteristik mekanis yang penting di antaranya yaitu gaya tekan dan modulus elastisitas. Gaya tekan merupakan kemampuan beton untuk menahan beban tekan tanpa mengalami keruntuhan, sedangkan modulus elastisitas menunjukkan kemampuan beton untuk mengalami deformasi elastis saat diberikan beban. Dari gaya tekan tersebut, dapat dihitung nilai kuat tekan beton, yang merupakan ukuran kapasitas maksimum beton untuk menahan gaya tekan per satuan luas sebelum mengalami keruntuhan. Kuat tekan beton merupakan parameter utama yang menentukan kualitas dan kekuatan struktur beton. Ketiga karakteristik mekanis beton tersebut memiliki signifikansi penting dalam merancang dan menganalisis struktur karena dapat berdampak pada performa struktur yang sedang dibangun.

Pengukuran kuat tekan beton tentunya melibatkan pengujian laboratorium, namun hasil pengukuran tersebut seringkali dipengaruhi oleh faktor-faktor ketidakpastian. Variabilitas dalam bahan baku, jenis faktor yang terlibat selama proses pengujian, dan perbedaan kondisi lingkungan dapat menyebabkan ketidakpastian dalam hasil pengukuran. Oleh karena itu, untuk memahami secara lebih mendalam karakteristik mekanis beton, penting untuk mengestimasi ketidakpastian dalam pengukuran kuat tekan beton. Estimasi ketidakpastian adalah langkah yang krusial untuk menilai sejauh mana hasil pengukuran tersebut dapat diandalkan dan akurat. Penelitian terdahulu terkait kuat tekan beton telah dilakukan oleh N. Retno Setiati (2006). Penelitian tersebut membahas nilai ketidakpastian pengukuran dalam pengujian kuat tekan beton dengan sampel kubus. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa ketidakpastian pada

pengukuran beton merupakan suatu hal yang diperlukan oleh laboratorium untuk menunjukkan kompetensi laboratorium pengujian tersebut yang tentunya dengan mengikuti pedoman pengukuran ketidakpastian yang ada.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui estimasi hasil ketidakpastian pengukuran kuat tekan beton berdasarkan faktor instrumen dan manusia (teknisi). Selain itu, dalam penelitian ini juga akan membahas terkait dengan hubungan antara karakteristik mekanis beton yaitu gaya tekan dengan modulus elastisitas beton. Penelitian lebih lanjut dilakukan oleh R. Martin Simatupang dkk (2016) mengenai korelasi nilai kuat tekan beton antara Hammer, *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dan *Compression Test*. Selain itu, terdapat penelitian Stevania Elisabeth C. L (2020) mengenai pengujian modulus elastisitas pada beton dengan menggunakan tras sebagai substitusi parsial agregat halus. Penelitian terkait korelasi antar dua variabel atau lebih banyak dilakukan dalam berbagai bidang kehidupan, seperti R. Agustin dkk (2020) yang melakukan analisis korelasi luas lahan serta ekspor kopi Lampung terhadap ekspor kopi Indonesia menggunakan uji korelasi Spearman. Pada bidang sosial-kesehatan, dilakukan penelitian terkait hubungan kepadatan penduduk dengan pola penyebaran Covid-19 Provinsi DKI Jakarta menggunakan regresi robust oleh T.S Edriani dkk (2021).

Selain estimasi ketidakpastian, penelitian ini juga akan menganalisis hubungan antara gaya tekan dengan modulus elastisitas beton. Analisis hubungan ini penting dilakukan karena dapat memberikan wawasan tentang pengaruh gaya tekan beton dan sifat elastisitasnya satu sama lain. Dalam melakukan analisis ini, terdapat asumsi data berdistribusi normal sehingga uji korelasi Pearson akan digunakan untuk menentukan tingkat korelasi antara gaya tekan dan modulus elastisitas beton.

2 METODE

2.1 Beton

Beton adalah bahan komposit yang terbuat dari beberapa material yang menggunakan bahan utama yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan material tambahan jika dibutuhkan dengan komposisi tertentu (Fauzan Hamdi, 2022).

2.1.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tekan per satuan luas, yang biasanya diukur dengan alat uji tekan beton atau umumnya disebut sebagai UTM (*Universal Testing Machine*) yang telah disesuaikan dengan standar yang ditetapkan oleh SNI. Untuk menentukan kuat tekan beton, diperlukan sampel uji berbentuk silinder atau kubus yang diuji pada usia 28 hari (Irianto & dkk, 2023). Kuat tekan beton dapat diperhitungkan melalui rumus berikut:

$$f_{c_i} = \frac{F_i}{A} \quad (1)$$

dengan,

f_{c_i} : Kuat tekan tiap sampel (MPa atau N/mm^2)

F_i : Gaya tekan tiap sampel (N)

A : Luas permukaan bidang tekan (mm^2).

2.1.2 Gaya Tekan

Gaya tekan adalah gaya yang cenderung untuk menyebabkan hancur pada suatu elemen struktural (Irianto & dkk, 2023). Gaya ini memiliki kecenderungan untuk menekan suatu elemen hingga elemen tersebut mengalami keretakan bahkan kehancuran.

2.1.3 Berat Volume Beton

Sebelum menghitung modulus elastisitas beton, dibutuhkan berat isi beton (berat volume). Berat volume beton atau kerapatan (densitas) dari beton adalah parameter fisik yang diperoleh dari hasil pembagian antara berat dari beton dan volume beton silinder tersebut (Yunus & dkk, 2024), sehingga rumus dari berat volume beton yaitu:

$$w_c = \frac{m}{V} \quad (2)$$

dengan,

- w_c : Berat volume (kg/m^3)
- m : Berat (beban) beton (kg)
- V : Volume beton (m^3).

2.1.4 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton adalah karakteristik mekanis pada beton yang mengukur seberapa baik beton dapat menahan deformasi elastis ketika diberikan beban. Modulus elastisitas akan diukur dalam satuan tekanan seperti pascal (Pa) atau megapascal (MPa) (Yunus & dkk, 2024). Salah satu rumus yang dapat digunakan dalam menentukan nilai modulus elastisitas yaitu (Yunus & dkk, 2024):

$$E_c = w_c^{1,5}(0,043)\sqrt{f_c} \quad (3)$$

dengan,

- w_c : Berat volume beton yang berkisar dari 1440 – 2560 kg/m^3
- f_c : Kuat tekan beton (N/mm^2 atau MPa)

2.2 Ketidakpastian Pengukuran

Pada penelitian ini, metode yang digunakan dalam mengestimasi ketidakpastian pengukuran kuat tekan beton yaitu model matematis sederhana yang mengacu pada panduan ISO (*International Organization for Standardization*). Definisi dari istilah ketidakpastian pengukuran adalah parameter yang terkait dengan hasil pengukuran, yang mencirikan penyebaran nilai-nilai yang cukup dan dapat dikaitkan dengan pengukuran (Riyanto, 2019).

Sumber – sumber ketidakpastian yang berkontribusi pada pengujian kuat tekan beton diperoleh dari faktor instrumen berupa mesin alat uji tekan beton (*UTM/Universal Testing Machine*) yang akan mempengaruhi besarnya gaya tekan dan alat ukur berupa mistar yang dapat berpengaruh pada pengukuran luas penampang beton. Selain itu juga, terdapat faktor manusia yaitu teknisi yang melakukan pengujian kuat tekan beton tersebut karena ketelitian dalam pembacaan alat ukur dapat memengaruhi nilai ukuran.

Tabel 1. Data Nilai Ketidakpastian Tiap Faktor Berdasarkan Laboratorium dan Sertifikat Kalibrasi

Jenis Faktor Ketidakpastian	Tingkat Ke- percayaan	Faktor Cakupan	Ketidakpastian yang tertera
Mesin Uji Tekan (UTM)	95%	2	1.0%
Alat Ukur (Mistar)	95%	2	± 0.65 mm
Teknisi	95%	2	± 0.01 mm

Sumber: Sertifikat Kalibrasi UPTD Lab. Dinas Bina Marga Bina Konstruksi Prov. Lampung

Berikut merupakan beberapa hal yang perlu diperhitungkan dalam proses estimasi ketidakpastian pengukuran sebagai berikut :

2.2.1 Ketidakpastian Baku

Terdapat dua kategori komponen ketidakpastian yaitu tipe A yang dihitung berdasarkan pekerjaan eksperimental atau rangkaian berulang dan tipe B yang dihitung berdasarkan informasi/data yang dapat dipercaya (Agustian, 2022). Ketidakpastian baku (μ) untuk tipe A diperoleh melalui persamaan:

$$\mu = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

dengan,

SD : Standar deviasi

n : Banyak data.

Untuk ketidakpastian tipe B diperoleh melalui persamaan tersebut (Hadi, 2018):

$$\mu(x) = \frac{U}{k} \quad (5)$$

dengan,

$\mu(x)$: Ketidakpastian kalibrasi

k : Faktor cakupan.

2.2.2 Ketidakpastian Baku Gabungan

Dengan diperolehnya bentuk model $y = a + b + c + \dots$ (a, b, c dapat positif atau negatif), maka perhitungan ketidakpastian baku gabungan sebagai berikut (Hadi, 2018):

$$\mu_{c(y)} = \sqrt{(\mu_{(a)})^2 + (\mu_{(b)})^2 + (\mu_{(c)})^2 + \dots} \quad (6)$$

dengan,

a, b, c : Faktor-faktor ketidakpastian

$\mu_{c(y)}$: Ketidakpastian gabungan

$\mu_{(a)}, \mu_{(b)}, \mu_{(c)}$: Ketidakpastian baku.

2.2.3 Ketidakpastian yang Diperluas

Ketidakpastian perluasan (bentangan) adalah ketidakpastian yang didapat dengan cara mengalikan harga ketidakpastian baku gabungan terhadap faktor cakupan. Nilai ketidakpastian yang diperluas yaitu (Hadi, 2018):

$$U = 2\mu_{c(y)} \quad (7)$$

dengan,

U : Ketidakpastian yang diperluas

$\mu_{c(y)}$: Ketidakpastian gabungan

Laporan hasil pengukuran atau pengujian termasuk ketidakpastian dinyatakan dengan rentang sebagai berikut:

$$X \pm U \quad (8)$$

dengan,

X : Data pengamatan

U : Ketidakpastian yang diperluas.

2.3 Uji Normalitas Kolmogorov Smirnov

Uji Kolmogorov Smirnov adalah uji beda antara data yang diuji normalitasnya dengan data normal baku. Kelebihan dari uji ini adalah sederhana dan tidak menimbulkan perbedaan persepsi antara satu pengamat dan pengamat yang lain, yang sering terjadi pada uji normalitas dengan menggunakan grafik (Effendi & Juita, 2024).

Tahap-tahapan dalam menguji kenormalitasan suatu data menggunakan Kolmogorov Smirnov yaitu sebagai berikut:

1. Merumuskan hipotesis sebagai tolak ukur pengujian berupa H_0 dan H_1

dengan,

H_0 : Data penelitian/pengamatan menyebar secara normal

H_1 : Data penelitian/pengamatan tidak menyebar secara normal.

2. Tentukan nilai pada tabel bantu Kolmogorov Smirnov (k).

3. Melakukan statistik uji berupa:

- Urutkan data dan tentukan frekuensi (f_i) dari masing-masing pengamatan (x_i).
- Tentukan frekuensi kumulatif ($Fkum_i$).
- Hitung distribusi frekuensi kumulatif sampel

$$F_s(x_i) = \frac{Fkum_i}{n} \quad (9)$$

- Untuk masing-masing pengamatan (x_i), tentukan transformasi normal baku (z_i)

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (10)$$

dengan,

\bar{x} : Rata-rata dari seluruh pengamatan,

s : Standar deviasi.

- Untuk masing-masing transformasi (z_i), tentukan peluang distribusi kumulatif normal baku $F_t(x_i)$.
- Tentukan nilai $D = \max |F_s(x_i) - F_t(x_i)|$.

4. Pengambilan keputusan:

- Tidak tolak H_0 , jika $D < k$ (tabel Kolmogorov-Smirnov dengan n dan α). Hal ini berarti data penelitian/pengamatan menyebar secara normal.
- Tolak H_0 , jika $D > k$ (tabel Kolmogorov-Smirnov dengan n dan α). Hal ini berarti data penelitian/pengamatan menyebar secara normal.

α adalah tingkat signifikansi sebesar 5%.

5. Kesimpulan.

2.4 Uji Korelasi Pearson

Koefisien korelasi merupakan koefisien yang mengukur hubungan antara dua variabel atau lebih. Koefisien korelasi yang paling sering digunakan adalah koefisien korelasi Pearson r atau sering juga disebut koefisien korelasi *linier Product Moment* (Iskandar, 2022).

Sebelum menggunakan uji korelasi Pearson, maka data harus memenuhi asumsi bahwa data berdistribusi secara normal dan berupa data numerik. Apabila data yang akan diuji tidak memenuhi syarat normalitas, maka dapat dipilih uji korelasi lain seperti *Kendall Tau* atau *Spearman* dengan cara mengubah data numerik menjadi data ordinal.

Hipotesis atau tolak ukur pengujian yang digunakan pada uji Korelasi Pearson yaitu berupa H_0 dan H_1 dengan,

H_0 : Tidak terdapat hubungan antara variabel-variabel yang diuji

H_1 : Terdapat hubungan antara variabel-variabel yang diuji.

Adapun rumus korelasi Pearson adalah:

$$r_{hitung} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad (11)$$

dengan,

r_{hitung} : Koefisien korelasi Pearson

x : Nilai perbandingan

y : Nilai dari instrument yang akan dicari validitasnya

$\sum xy$: Jumlah nilai xy

$\sum x$: Jumlah nilai x

$\sum y$: Jumlah nilai y

Nilai r_{hitung} yang diperoleh dibandingkan dengan r_{tabel} yang berindeks $\alpha = 5\%$ dan derajat bebas $(n - 2)$, pengambilan keputusan dari uji Korelasi Pearson adalah:

- Tidak tolak H_0 , jika $r_{hitung} < r_{tabel(\alpha=5\%,df=n-2)}$ atau r_{hitung} berada di dalam wilayah penerimaan H_0 . Hal ini berarti tidak terdapat hubungan antara variabel - variabel yang diuji.
- Tolak H_0 , jika $r_{hitung} > r_{tabel(\alpha=5\%,df=n-2)}$ atau r_{hitung} berada di luar wilayah penerimaan H_0 . Hal ini berarti terdapat hubungan antara variabel - variabel yang diuji.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Studi Kasus Ketidakpastian

Mesin uji tekan (UTM/*Universal Testing Machine*) digunakan untuk menentukan kualitas beton melalui proses pengujian tekanan. Benda yang diuji berbentuk silinder dengan tinggi (h) 300 mm dan diameter (d) 150 mm. Benda uji terdiri atas 14 beton silinder dengan luas bidang tekan masing-masing $17671,46 \text{ mm}^2$. Data yang akan digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laporan Hasil Pengujian DMF (*Design Mix Formula*) Beton FC (*Fresh Concrete*) 10 pada tahun 2021-2022 di UPTD (Unit Pelaksanaan Teknis Daerah) Laboratorium Bahan Konstruksi Dinas Bina Marga dan Bina Konstruksi Provinsi Lampung.

3.2 Analisis dan Evaluasi Pembahasan Ketidakpastian

3.2.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Tanpa Memperhitungkan Estimasi Ketidakpastian Pengukuran

Pengujian dilaksanakan sesuai dengan metode uji SNI 1974:2011. Dari hasil pengujian kuat tekan silinder diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 2. Data Kuat Tekan Beton Silinder Tiap Sampel

Sampel	Luas bidang tekan (mm^2)	Beban benda uji (kg)	Kuat tekan (N/mm^2)
1	17671,46	12,33	10,11
2	17671,46	12,42	10,07
3	17671,46	12,17	10,08
4	17671,46	12,32	10,07
5	17671,46	12,77	11,1
6	17671,46	12,93	11,2
7	17671,46	12,27	10,07
8	17671,46	12,33	10,13
9	17671,46	12,17	11,1
10	17671,46	12,32	11,2
11	17671,46	12,42	10,35
12	17671,46	12,4	10,42
13	17671,46	12,42	10,35
14	17671,46	12,4	10,42
Jumlah		173,67	146,67

Dari hasil pengujian kuat tekan beton silinder dalam tabel 2 diperoleh kuat tekan beton silinder rata-rata adalah $10,47642857 \text{ N}/\text{mm}^2$.

3.2.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Memperhitungkan Estimasi Ketidakpastian Pengukuran

Tahapan yang dilakukan dalam menghitung hasil uji kuat tekan beton yang melibatkan unsur-unsur ketidakpastian yaitu sebagai berikut:

- a) Menetapkan model matematika untuk kuat tekan beton, seperti pada rumus (6);
 b) Menganalisis ketidakpastian baku tipe A sebagai berikut:

Tabel 3. Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder untuk Analisis Tipe A

Sampel	Luas bidang tekan (mm^2)	Beban benda uji (kg)	Kuat tekan (N/mm^2)	$(f_{c_i} - \bar{f_c})^2$ (N/mm^2)
1	17671,46	12,33	10,11	0,1342699
2	17671,46	12,42	10,07	0,16518418
3	17671,46	12,17	10,08	0,15715561
4	17671,46	12,32	10,07	0,16518418
5	17671,46	12,77	11,1	0,38884133
6	17671,46	12,93	11,2	0,52355561
7	17671,46	12,27	10,07	0,16518418
8	17671,46	12,33	10,13	0,12001276
9	17671,46	12,17	11,1	0,38884133
10	17671,46	12,32	11,2	0,52355561
11	17671,46	12,42	10,35	0,01598418
12	17671,46	12,4	10,42	0,00318418
13	17671,46	12,42	10,35	0,01598418
14	17671,46	12,4	10,42	0,00318418
Jumlah		173,67	146,67	2,77012143

Dari tabel 3 tersebut dapat dihitung:

Kuat tekan rata-rata = $10,47642857 N/mm^2$

$$SD = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(f_{c_i} - \bar{f_c})^2}{n-1}} \quad (12)$$

Standar deviasi (SD) = $0,461612677 N/mm^2$

Ketidakpastian baku = $\mu = \frac{0,461612677}{\sqrt{14}}$

Sebaran rata-rata simpangan baku eksperimental/ketidakpastian baku (μ) = $0,123371177 N/mm^2$ atau 1,177%.

c) Menganalisis ketidakpastian baku tipe B yaitu sebagai berikut:

a. Ketidakpastian mesin uji tekan beton (UTM/Universal Testing Machine)

$$\mu_{1(MUT)} = \frac{1,0\%}{2} = 0,5\%.$$

Dengan demikian nilai ketidakpastian MUT (Mesin Uji Tekan) dengan menggunakan rumus tersebut diperoleh $\mu_{1(MUT)} = 0,5\%$.

b. Ketidakpastian teknisi dalam mengukur luas benda uji:

- Nilai ketidakpastian alat ukur (mistar):

$$\mu_{(Mis)} = \frac{0,65}{2} = 0,325.$$

- Nilai ketidakpastian teknisi (faktor manusia):

$$\mu_{(Teknisi)} = \frac{0,01}{2} = 0,005.$$

sehingga,

$$\mu_{2(Luas)} = \sqrt{(0,325)^2 + (0,005)^2} = 0,3250384593.$$

Besarnya nilai ketidakpastian teknis dalam mengukur luas benda uji yaitu 0,3250384593 atau 0,0018%.

d) Menganalisis estimasi ketidakpastian gabungan tipe A dan tipe B:

$$\mu_c = \sqrt{(\mu)^2 + (\mu_{1(MUT)})^2 + (\mu_{2(Luas)})^2} \quad (9)$$

Ketidakpastian gabungan $\mu_c = 1,27936\%$ sehingga diperoleh ketidakpastian yang diperluas sebesar:

$$U = k \cdot \mu_c = 2,5587\%$$

Besarnya ketidakpastian dari hasil uji tekan beton silinder adalah

$$\pm 0,025 \times 10,476 \text{ N/mm}^2 = 0,2619 \text{ N/mm}^2.$$

Nilai toleransi ketidakpastian untuk uji tekan beton tidak boleh melebihi 5% dari kuat tekan beton rata-rata. Toleransi nilai ketidakpastian = $5\% \times 10,476 \text{ N/mm}^2 = 0,523 \text{ N/mm}^2$. Oleh sebab itu nilai ketidakpastian sebesar $0,2619 \text{ N/mm}^2$ memenuhi persyaratan. Dengan demikian besarnya nilai kuat tekan beton adalah:

$$\mu_k = (10,476 \pm 0,2619) \text{ N/mm}^2.$$

Dengan kata lain, nilai sebenarnya hasil kuat tekan beton silinder tersebut berada dalam rentang $10,2141 \text{ N/mm}^2$ dan $10,7379 \text{ N/mm}^2$.

3.3 Analisis Hubungan Antara Gaya Tekan dengan Modulus Elastisitas Beton

Berdasarkan kedua variabel yang akan diuji korelasi tersebut, dibutuhkan nilai modulus elastisitas yang sebelumnya belum diketahui. Dengan menggunakan rumus (3), nilai modulus elastisitas pada tiap sampel dapat diperoleh seperti pada tabel berikut.

Tabel 4. Data Modulus Elastisitas Beton Tiap Sampel

Sampel	Kuat tekan (N/mm^2)	Berat volume (kg/m^3)	Modulus elastisitas MPa
1	10,11	2325,784235	15335,508
2	10,07	2342,760762	15473,02059
3	10,08	2295,603742	15015,64899
4	10,07	2323,897954	15286,52501
5	11,1	2408,780591	16936,58358
6	11,2	2438,961083	17333,44046
7	10,07	2314,46655	15193,56029
8	10,13	2325,784235	15350,66916
9	11,1	2295,603742	15757,06516
10	11,2	2323,897954	16121,4109
11	10,35	2342,760762	15686,66215
12	10,42	2338,988201	15701,61634
13	10,35	2342,760762	15686,66215
14	10,42	2338,988201	15701,61634

3.3.1 Uji Normalitas pada Gaya Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Syarat yang harus dipenuhi dalam menggunakan uji Korelasi Pearson yaitu data yang diuji harus berupa data yang berdistribusi secara normal dan merupakan data numerik. Oleh sebab itu data gaya tekan dan modulus elastisitas beton yang dimiliki harus diuji normalitasnya. Salah satu uji yang dapat digunakan yaitu uji Kolmogorov Smirnov.

Konsep dasar dari uji normalitas Kolmogorov Smirnov adalah dengan membandingkan distribusi data dengan distribusi normal baku. Dengan mengikuti tahap-tahapan dari uji Kolomogorov Smirnov yang telah dijelaskan pada Sub Bab 2.3, $\alpha = 5\%$, diperoleh keputusan bahwa data gaya tekan merupakan data yang berdistribusi normal atau tidak tolak H_0 karena nilai $D(0,26293\dots) < k_{(14;0,05)} = 0,349$. Begitu pula dengan data modulus elastisitas beton, data tersebut merupakan data yang berdistribusi normal. Hal ini ditunjukkan dengan keputusan tidak tolak H_0 karena nilai $D(0,2848\dots) < k_{(14;0,05)} = 0,349$.

3.3.2 Uji Korelasi terhadap Gaya Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Berdasarkan hasil uji normalitas yang telah diperoleh sebelumnya, maka dapat dilakukan uji Korelasi Pearson pada data Gaya Tekan dan Modulus Elastisitas Beton. Dengan mengikuti tahapan uji Korelasi Pearson yang telah diuraikan pada Sub Bab 2.4, $\alpha = 5\%$, kedua variabel memperoleh keputusan berupa tolak H_0 karena nilai $r_{hitung}(0,839) > r_{tabel}(0,532)$. Hal ini berarti bahwa terdapat hubungan antara gaya tekan dengan modulus elastisitas beton. Berdasarkan hasil r_{hitung} yang diperoleh terlihat bahwa nilai tersebut positif, maka dapat dinyatakan bahwa hubungan keduanya searah, yaitu semakin besar gaya tekan yang diberikan, maka semakin tinggi nilai modulus elastisitas pada beton tersebut.

Tabel 5. Data Gaya Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Sampel	Gaya tekan	Modulus Elastisitas
1	178658,4606	15335,508
2	177951,6022	15473,02059
3	178128,3168	15015,64899
4	177951,6022	15286,52501
5	196153,206	16936,58358
6	197920,352	17333,44046
7	177951,6022	15193,56029
8	179011,8898	15350,66916
9	196153,206	15757,06516
10	197920,352	16121,4109
11	182899,611	15686,66215
12	184136,6132	15701,61634
13	182899,611	15686,66215
14	184136,6132	15701,61634

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai estimasi ketidakpastian kuat tekan beton dan analisis hubungan antara gaya tekan dengan modulus elastisitas beton dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil estimasi ketidakpastian kuat tekan beton yang terdiri dari 14 sampel beton silinder dengan melibatkan faktor instrumen dan faktor manusia (teknisi) diperoleh nilai ketidakpastiannya sebesar $0,2619 N/mm^2$. Hal ini mengakibatkan nilai kuat tekan beton berada pada rentang $10,2141 N/mm^2$ dan $10,7379 N/mm^2$.
2. Hubungan antara gaya tekan dengan modulus elastisitas beton berdasarkan uji korelasi Pearson yaitu terdapat hubungan yang positif antara gaya tekan dengan modulus elastisitas beton. Dengan kata lain semakin tinggi nilai gaya tekan yang diterapkan pada beton maka besar modulus elastisitas beton tersebut akan semakin tinggi pula.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Unit Pelaksanaan Teknis Daerah (UPTD) Bahan Konstruksi Dinas Bina Marga dan Bina Konstruksi Provinsi Lampung yang telah membantu dalam memberikan informasi dan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, B. (2022). *Sistem Informasi Kalibrasi Torque Wrench*. Tangerang: Pascal Books.
- Effendi, M., & Juita, F. (2024). *Statistik Non Parametrik Sebuah Tinjauan Aplikatif untuk Penelitian Sosial*. Penerbit NEM.
- Fauzan Hamdi, F. (2022). *Teknologi Beton*. Makasar: CV. Tohar Media.
- Hadi, A. (2018). *Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian & Laboratorium Kalibrasi ISO/IEC 17025: 2017*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Irianto, & dkk. (2023). *Beton "Jenis dan Kegunaannya"*. Makassar: Tohar Media.
- Iskandar, S. &. (2022). *Statistik Pendidikan (Teori dan Aplikasi SPSS)*. Jawa Tengah: PT. Nasya Expanding Management.
- Riyanto, P. (2019). *Validasi & Verifikasi Metode Uji*. Yogyakarta: CV Budi Utama.
- Yunus, A. I., & dkk. (2024). *Dasar-Dasar Teknologi Beton*. Padang: CV. Gita Lentera.
- Agustin, R., Novita, D., Pratama, H., Sela, S., Cintya, S., & Noor, D. M. (2020). Analisis Korelasi Luas Lahan serta Ekspor Kopi Lampung terhadap Ekspor Kopi Indonesia. *Indonesian Journal of Applied Mathematics*, 25-30.
- Edriani, T. S., Rahmadani, A., & Noor, D. M. (2021). Analisis Hubungan Kepadatan Penduduk dengan Pola Penyebaran COVID-19 Provinsi DKI Jakarta menggunakan Regresi Robust. *Indonesian Journal of Applied Mathematics*, 51-60.
- Pandaleke, S. E., & Wallah, S. (2020). Pengujian Modulus Elastisitas pada Beton dengan Menggunakan Tras sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus. *Jurnal Sipil Statik*, 33-38.
- Setiati, N. (2006). Estimasi Ketidakpastian Pengukuran dalam Pengujian Kuat Tekan Beton. *Jurnal Jalan dan Jembatan*, 54-68.
- Sim, R. M. (2016). Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Antara Hammer Test, Ultrasonuc Pulse Velocity (UPV) dan Compression Test. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 26-32.
- Steenie, B. J., & dkk. (2018). Modulus Elastisitas Beton Geopolymer Berbasis Fly Ash dari PLTU AMURANG. *Jurnal Sipil Statik*, 517-526.