

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material Campuran Beton

Sebelum merancang komposisi campuran beton, perlu dilakukan berbagai pengujian terhadap material yang akan digunakan. Pengujian tersebut meliputi penentuan berat volume, analisis gradasi butiran, pemeriksaan kandungan lumpur dan zat organik, pengukuran kadar air, perhitungan massa jenis, serta uji ketahanan terhadap abrasi. Seluruh proses pengujian ini harus mengikuti standar yang berlaku sesuai dengan regulasi Standar Nasional Indonesia.

4.1.1 Pemeriksaan Berat Isi

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan jumlah rongga udara yang terdapat dalam agregat kasar, agregat halus, dan semen. Berikut merupakan hasil dari pengujian setiap material.



Gambar 4.1 Pemeriksaan Berat Isi
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)



Gambar 4.2 Pemeriksaan Berat Isi
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

Pemeriksaan berat isi dimulai dengan menimbang berat wadah kosong kemudian mencatat hasil penimbangan. Untuk kondisi gembur, material dituang ke dalam wadah, diratakan menggunakan alat perata tanpa melakukan pemadatan untuk selanjutnya ditimbang dan dicatat. Kemudian berat isi gembur dihitung menggunakan rumus selisih berat dibagi volume wadah.

Untuk kondisi padat, material (agregat kasar, agregat halus, dan semen) dituang ke dalam wadah secara berkala dalam 3 lapisan, dan setiap lapisan dipadatkan menggunakan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan. Saat lapisan akhir terisi dan permukaan diratakan, wadah ditimbang dan berat isi dihitung dengan rumus selisih berat dibagi volume wadah. Berikut adalah hasil pemeriksaan berat isi:

Tabel 4.1 Berat isi agregat kasar kondisi gembur

LEPAS / GEMBUR			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	22100	21680	21920
B.	Berat tempat	(gr)	7800	7800	7800
C.	Berat benda uji	(gr)	14300	13880	14120
D.	Isi tempat	(cm ³)	10150	10150	10150
E.	Berat isi benda uji	(gr/cm ³)	1,41	1,37	1,39
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1,39		

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 4.2 Berat isi agregat kasar kondisi padat

P A D A T			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	23100	23150	23120
B.	Berat tempat	(gr)	7800	7800	7800
C.	Berat benda uji	(gr)	15300	15350	15320
D.	Isi tempat	(cm ³)	10150	10150	10150
E.	Berat isi benda uji	(gr/cm ³)	1,51	1,51	1,51
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1,51		

*(Sumber : Hasil Penelitian)***Tabel 4.3** Berat isi agregat halus kondisi gembur

LEPAS / GEMBUR			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	8510	8410	8530
B.	Berat tempat	(gr)	3520	3520	3520
C.	Berat benda uji	(gr)	4990	4890	5010
D.	Isi tempat	(cm ³)	3060	3060	3060
E.	Berat isi benda uji	(gr/cm ³)	1,63	1,60	1,64
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1,62		

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 4.4 Berat isi agregat halus kondisi padat

P A D A T			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	8680	8720	8770
B.	Berat tempat	(gr)	3520	3520	3520
C.	Berat benda uji	(gr)	5160	5200	5250
D.	Isi tempat	(cm ³)	3060	3060	3060
E.	Berat isi benda uji	(gr/cm ³)	1,69	1,70	1,72
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1,70		

*(Sumber : Hasil Penelitian)***Tabel 4.5** Berat isi semen kondisi gembur

LEPAS / GEMBUR			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	6980	6770	6730
B.	Berat tempat	(gr)	3520	3520	3520
C.	Berat benda uji	(gr)	3460	3250	3210
D.	Isi tempat	(cm ³)	3060	3060	3060
E.	Berat isi benda uji	(gr/cm ³)	1,13	1,06	1,05
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1,08		

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 4.6 Berat isi semen kondisi padat

P A D A T			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	7330	7320	7340
B.	Berat tempat	(gr)	3520	3520	3520
C.	Berat benda uji	(gr)	3810	3800	3820
D.	Isi tempat	(cm ³)	3060	3060	3060
E.	Berat isi benda uji	(gr/cm ³)	1,25	1,24	1,25
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1,25		

(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan hasil uji berat isi yang dilakukan, diperoleh rata-rata berat isi bahan dalam kondisi gembur untuk agregat kasar sebesar 1,39 gr/cm³, agregat halus sebesar 1,62 gr/cm³, dan semen sebesar 1,08 gr/cm³. Sedangkan untuk kondisi padat, berat isi rata-rata agregat kasar adalah 1,51 gr/cm³, agregat halus 1,70 gr/cm³, dan semen 1,25 gr/cm³.

4.1.2 Pemeriksaan Analisa Saringan

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan kasar dengan menggunakan saringan.



Gambar 4.3 Analisa saringan

Sumber : Dokumentasi Penelitian

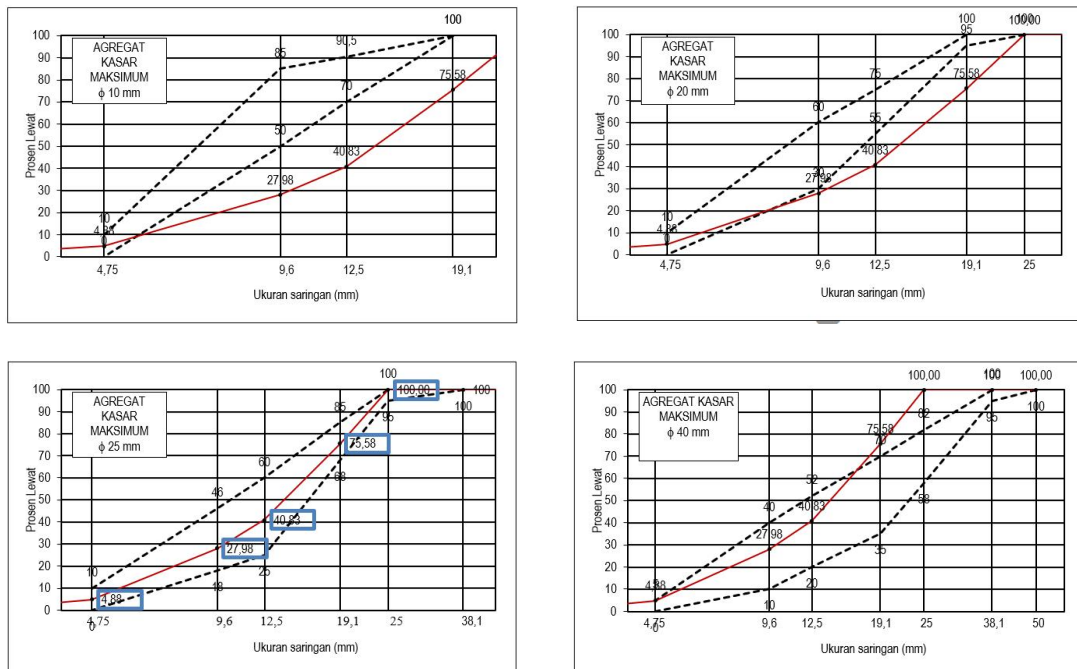
Pemeriksaan Analisa Saringan dimulai dengan pengambilan sampel agregat, sampel dikeringkan dalam oven dengan suhu $\pm 110^{\circ}\text{C}$ selama beberapa jam hingga mencapai berat konstan. Selanjutnya sampel ditimbang sesuai kebutuhan, dan berat awal dicatat sebagai acuan. Setelah itu, satu set saringan bertingkat (ukuran 0,075 mm-12,5 mm) disiapkan dan disusun sesuai urutan standar. Kemudian sampel agregat dituangkan ke dalam saringan paling atas, dan seluruh set saringan digoyang secara manual selama kurang lebih 10 menit agar material tersaring secara optimal. Setelah penyaringan selesai, material yang tertahan pada masing-masing saringan dikumpulkan dan ditimbang dan dicatat sebagai berat fraksi tertahan pada tiap ukuran saringan. Penjumlahan seluruh berat fraksi harus mendekati berat awal sampel, sebagai bentuk pengecekan keakuratan. Langkah berikutnya yaitu menghitung persentase tertahan dan persentase lolos kumulatif berdasarkan data berat masing-masing fraksi.

Tabel 4.7 Data Pemeriksaan Gradasi agregat kasar

Berat contoh kering : 10021,4 gr

Ukuran saringan	Berat tertahan	Prosen tertahan	Kumulatif	
			tertahan	lewat
50 mm (2")	0.00	0.00	0.00	100.00
38.1 mm (1 1/2")	0.00	0.00	0.00	100.00
25 mm (1")	0.00	0.00	0.00	100.00
19.1 mm (3/4")	2447.50	24.42	24.42	75.58
12.5 mm (1/2")	3482.30	34.75	59.17	40.83
9.6 mm (3/8")	1287.20	12.84	72.02	27.98
4.75 mm (No. 4)	2315.40	23.10	95.12	4.88
2.36 mm (No. 8)	489.00	4.88	100.00	0.00
1.18 mm (No. 16)	0.00	0.00	100.00	0.00
0.6 mm (No. 30)	0.00	0.00	100.00	0.00
0.3 mm (No. 50)	0.00	0.00	100.00	0.00
0.15 mm (No. 100)	0.00	0.00	100.00	0.00
0.075 mm (No. 200)	0.00	0.00	100.00	0.00
pan	0.00	0.00	100.00	0.00

(Sumber : Hasil Penelitian)



Gambar 4.4 Grafik Gradasi agregat kasar ukuran maksimum 25 mm

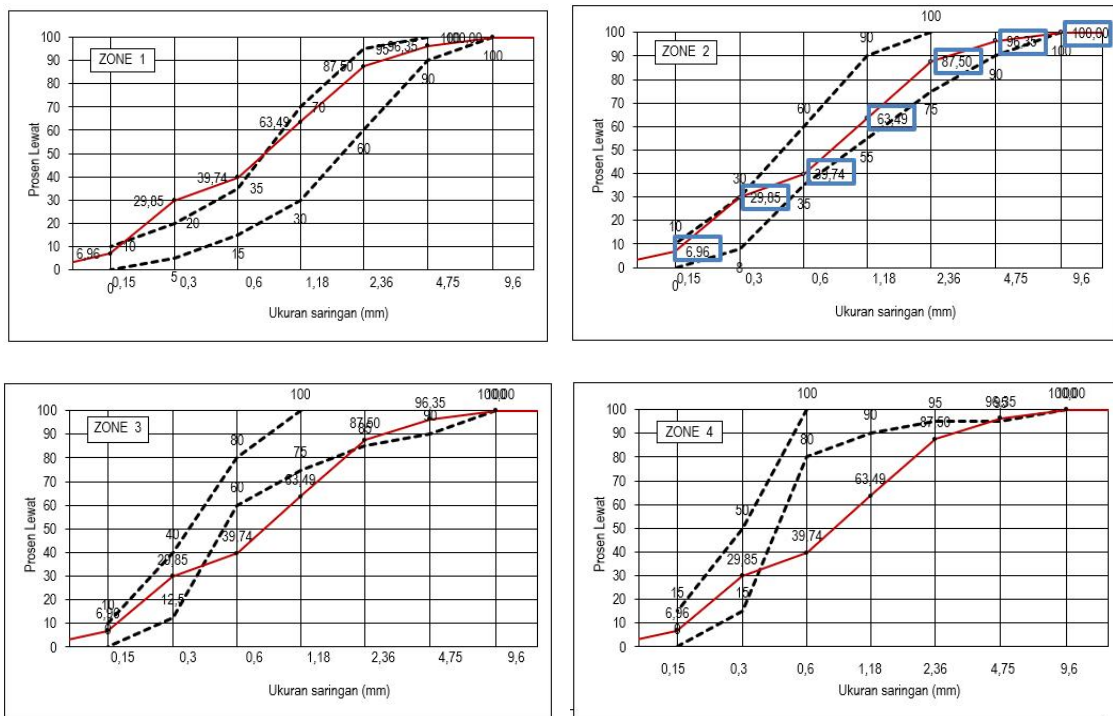
(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 4.8 Analisa saringan agregat halus

Berat contoh kering : 1974,98 gr

Ukuran saringan	Berat tertahan	Prosen tertahan	Kumulatif	
			tertahan	lewat
12.5 mm (1/2")	0.00	0.00	0.00	100.00
9.6 mm (3/8")	0.00	0.00	0.00	100.00
4.75 mm (No. 4)	72.09	3.65	3.65	96.35
2.36 mm (No. 8)	174.87	8.85	12.50	87.50
1.18 mm (No. 16)	474.10	24.01	36.51	63.49
0.6 mm (No. 30)	468.97	23.75	60.26	39.74
0.3 mm (No. 50)	195.49	9.90	70.15	29.85
0.15 mm (No. 100)	452.09	22.89	93.04	6.96
0.075 mm (No. 200)	120.61	6.11	99.15	0.85
pan	16.76	0.85	100.00	0.00

(Sumber : Hasil Penelitian)



Gambar 4.5 Grafik Zona agregat halus

(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan hasil pemeriksaan gradasi agregat didapatkan hasil gradasi agregat kasar maksimum 25 mm, dengan semua butiran agregat melewati saringan 25 mm dengan persen tertahan 0% dan tidak terdapat butiran yang tertahan pada saringan di atasnya (38,1 mm). Ini menunjukkan bahwa ukuran butiran terbesar berada di bawah 25 mm sesuai definisi ukuran maksimal nominal menurut SNI 03-2834-2000, yaitu ukuran saringan terkecil dimana seluruh agregat dapat melewatinya.

Sedangkan pemeriksaan gradasi agregat halus menunjukkan hasil gradasi agregat halus berada di zona 2 sesuai SNI 03-2834-2000 yang merepresentasikan fraksi menengah.

4.1.3 Pemeriksaan Kadar Lumpur dan Zat Organik Agregat Halus

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar lumpur dan zat organik dalam agregat halus, yang seharusnya kurang dari 5% agar memenuhi standar. Pemeriksaan kadar lumpur dimulai dengan menimbang sampel agregat halus sebanyak ± 500 gram dalam kondisi kering dan dimasukkan ke dalam tabung gelas. Selanjutnya, air bersih ditambahkan secukupnya dan campuran diaduk secara merata agar partikel-partikel halus seperti lumpur terpisah dari butiran agregat. Kemudian campuran dibiarkan mengendap selama 24 jam, dan setelah pengendapan akan tampak lapisan lumpur halus di atas butiran agregat. Pengukuran dilakukan dengan cara membandingkan tinggi lapisan lumpur terhadap tinggi total agregat di dalam tabung lalu dinyatakan dalam persen (%).

Untuk pemeriksaan kadar zat organik, sampel agregat halus sebanyak 300 gram dimasukkan ke dalam tabung gelas atau silinder transparan. Kemudian larutan *Natrium Hidroksida* (*NaOH*) ditambahkan sebanyak 3% hingga agregat terendam seluruhnya. Campuran tersebut kemudian diaduk dan dibiarkan selama 24 jam di tempat yang tidak terkena sinar matahari langsung. Setelah 24 jam, warna larutan diamati.



Gambar 4.6 Pemeriksaan Kadar Lumpur dan Kadar Organik

(Sumber : Dokumentasi Penelitian)

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Uraian	Sampel
V1 (volume pasir)	498 ml
V2 (volume lumpur)	2 ml
Kadar Lumpur = $\frac{V2}{V1+V2} \times 100 \%$	0,40%

(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan standar yang berlaku, kadar lumpur dalam agregat halus sebagai bahan beton seharusnya <5%. Hasil uji kadar lumpur yang dilakukan menunjukkan nilai 0,40% yang berarti kandungan kadar lumpur diperbolehkan

4.1.4 Pemeriksaan Kadar Air Agregat

Pemeriksaan kadar air agregat bertujuan untuk menentukan persentase kandungan air dalam agregat melalui proses pengeringan.



Gambar 4.7 Proses Persiapan Pengeringan Agregat

(Sumber : Dokumentasi Penelitian)

Kadar air dihitung sebagai perbandingan antara berat air dalam agregat dengan berat agregat dalam kondisi kering.

Pemeriksaan kadar air dimulai dengan mengambil sampel agregat representatif dari tumpukan material di lapangan atau laboratorium. Sampel kemudian ditimbang dalam kondisi basah (tanpa dikeringkan) dan beratnya dicatat sebagai berat basah (W_{basah}). Setelah itu sampel dimasukkan ke dalam oven dan dikeringkan pada suhu $\pm 110^{\circ}\text{C}$ selama minimal 24 jam atau hingga beratnya menjadi konstan. Setelah kering, sampel dikeluarkan dari oven dan didinginkan dalam desikator atau udara terbuka lalu ditimbang kembali untuk mendapatkan berat kering (W_{kering}).

Tabel 4.10Kadar Air Agregat Kasar

		ASLI		SSD	
		A	B	I	II
A.	Berat tempat (gr)	2910	2740	133	154
B.	Berat tempat + contoh (gr)	23040	23050	29999	3018,5
C.	Berat tempat + contoh kering oven (gr)	22880	22880	2952,5	2974
D.	Kadar air = $\frac{B - C}{C - A} \times 100\%$ (%)	0,80	0,84	1,68	1,58
E.	Kadar air rata-rata (%)	0,82		1,63	

*(Sumber : Hasil Penelitian)***Tabel 4.11**Kadar Air Agregat Halus

		ASLI		SSD	
		F	C	I	II
A.	Berat tempat (gr)	2750	3040	108,2	114,7
B.	Berat tempat + contoh (gr)	10130	10160	1019,8	1023,5
C.	Berat tempat + contoh kering oven (gr)	9900	9940	1014,7	1018,3
D.	Kadar air = $\frac{B - C}{C - A} \times 100\%$ (%)	3,22	3,19	0,56	0,58
E.	Kadar air rata-rata (%)	3,20		0,57	

(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan hasil pengujian kadar air agregat didapatkan persentase kadar air agregat kasar kondisi asli sebesar 0,82% dan kondisi SSD 1,63%. Persentase kadar air agregat halus kondisi asli sebesar 3,20% dan kondisi SSD sebesar 0,57%.

4.1.5 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air pada agregat bertujuan untuk menentukan berat jenis curah (*bulk specific gravity*) dan berat jenis semu (*apparent specific gravity*), serta tingkat penyerapan (absorpsi) agregat sesuai dengan standar ASTM C-127 untuk agregat kasar dan ASTM C-128 untuk agregat halus. Nilai-nilai ini digunakan sebagai acuan dalam menentukan komposisi volume agregat dalam campuran beton.



Gambar 4.8 Proses Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

(Sumber : Dokumentasi Penelitian)

Pemeriksaan berat jenis agregat dimulai dengan menyiapkan sampel agregat yang telah dicuci dan dikeringkan sebagian (permukaan jenuh atau SSD). Untuk agregat halus, biasanya menggunakan keranjang kawat dan bejana ukur (*pycnometer*). Sampel pasir ditimbang dalam kondisi SSD, kemudian dimasukkan ke dalam piknometer yang telah berisi air, dan dilakukan penimbangan kembali. Setelah itu, agregat dikeringkan sepenuhnya dalam oven hingga mencapai berat kering mutlak, dan ditimbang ulang. Data ini digunakan untuk menghitung berat jenis kering (*oven dry*), berat jenis SSD, dan berat jenis semu (*apparent specific gravity*). Sedangkan untuk agregat kasar, sampel direndam air selama 24 jam, ditiriskan sampai permukaan

kering lalu ditimbang dalam keadaan SSD, kemudian ditimbang juga dalam air, dan dikeringkan dalam oven untuk mendapatkan berat kering.

Untuk pengujian kadar air, langkahnya dimulai dengan mengambil sampel agregat dan ditimbang dalam kondisi lembab atau alami dari lapangan (berat basah). Sampel kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu $\pm 110^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam hingga beratnya konstan. Kemudian ditimbang kembali untuk memperoleh berat kering.

Tabel 4.12 Berat Jenis dan tingkat penyerapan Agregat Kasar

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B _k	5949,6	6069,1	6009,35
Berat contoh kering permukaan	B _j	6026,8	6145,4	6086,1
Berat contoh di dalam air	B _a	3831,5	3908,1	3869,8
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,71	2,71	2,71
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,75	2,75	2,75
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,81	2,81	2,81
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	1,30	1,26	1,28

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 4.13 Berat Jenis dan tingkat penyerapan Agregat Halus

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	B _k	499,77	499,75	499,76
Berat contoh kering permukaan jenuh	B _j	500,00	500,00	500,00
Berat piknometer diisi air pada 25°C	B	646,22	666,14	656,18
Berat piknometer + contoh + air	B _t	964,46	983,61	974,04
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{(B + B_j - B_t)}$	2,75	2,74	2,74
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{(B + B_j - B_t)}$	2,75	2,74	2,75
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$	2,75	2,74	2,75
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	0,05	0,05	0,05

(Sumber : Hasil Penelitian)

Menurut data yang tercantum dalam tabel di atas, rata-rata berat jenis bulk untuk agregat kasar adalah 2,71 sementara untuk agregat halus sebesar 2,74. Sedangkan, rata-rata berat jenis SSD agregat kasar adalah 2,75 dan agregat halus 2,75.

4.1.6 Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar (*Abrasi Test*)

Pemeriksaan keausan agregat kasar bertujuan untuk menilai ketahanannya terhadap abrasi atau gesekan selama proses pencampuran. Pengujian ini dilakukan menggunakan metode *Los Angeles Abrasion Test* berdasarkan SNI 2417:2008 dan ASTM C131/C535.

Pengujian ini dimulai dengan mengambil sampel agregat kasar sesuai ukuran yang ditentukan dalam standar, biasanya terdiri dari beberapa fraksi ukuran tertentu seperti 25-19 mm, 19-12,5 mm dan seterusnya. Sampel ini kemudian dikeringkan dalam oven hingga mencapai berat konstan. Setelah kering, sampel agregat ditimbang dengan jumlah berat total tertentu, misalnya 5000 gram, tergantung fraksi ukuran yang digunakan. Langkah selanjutnya adalah memasukkan agregat ke dalam mesin *Los Angeles (LA abrasion machine)* yaitu tabung baja berputar yang dilengkapi dengan sejumlah bola baja (*abrasive charge*) sebagai alat pengaus.

Setelah agregat dan bola baja dimasukkan, mesin dioperasikan untuk berputar sebanyak 500 kali putaran sesuai ketentuan standar. Selama proses ini, bola baja dan agregat saling bergesekan dan bertumbukan di dalam tabung hingga sebagian butiran agregat mengalami keausan atau pecah. Setelah putaran selesai, seluruh material dalam mesin dikeluarkan dan diayak menggunakan saringan ukuran 1,7 mm (No. 12). Material yang lolos dari saringan dianggap sebagai hasil keausan sedangkan material yang tertahan merupakan agregat yang tetap utuh.

Tabel 4.14 Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar (Abrasi Test)

(Sumber : Hasil Penelitian)

Gradasi pemeriksaan		B (fraksi 10 - 20 mm)			
Saringan		I		II	
Lolos	tertahan	Berat sebelum	Berat sesudah	Berat sebelum	Berat sesudah
76,20 mm (3")	63,50 mm (2,5")				
63,50 mm (2,5")	50,80 mm (2")				
50,80 mm (2")	37,50 mm (1,5")				
37,50 mm (1,5")	25,40 mm (1")				
25,40 mm (1")	19,00 mm (3/4")				
19,00 mm (3/4")	12,50 mm (1/2")	2500		2500,3	
12,50 mm (1/2")	9,50 mm (3/8")	2500		2500,4	
9,50 mm (3/8")	6,30 mm (1/4")				
6,30 mm (1/4")	4,75 mm (No. 4)				
4,75 mm (No. 4)	2,38 mm (No. 8)				
Jumlah berat		5000		5000,7	
Berat tertahan saringan no 12 & no. 4		---	4201,1	---	4165,3

Tabel 4.15 Data Keausan Agregat Kasar

		I	II	
a	Berat benda uji semula	5000	5000,7	gram
b	Berat benda uji tertahan saringan No.12 (& No.4)	4201,1	4165,3	gram
	Keausan : $\frac{a-b}{a} \times 100 \%$	15,98	16,71	%

(Sumber : Hasil Penelitian)

Didapatkan hasil nilai keausan agregat kasar I dan II sebesar 15,98% dan 16,71%. Hasil tersebut telah memenuhi batas keausan agregat kasar untuk beton struktur yaitu < 40% (SNI 2417:2008).

4.1.7 Pemeriksaan Konsentrasi Konsistensi Normal dan Waktu Ikut Semen

Pengujian konsistensi normal dan waktu ikat semen bertujuan untuk menentukan kadar air yang digunakan dalam pengikatan semen.



Gambar 4.9 Pengujian Konsistensi Normal Semen

(Sumber : Dokumentasi Penelitian)

Pemeriksaan konsistensi normal dimulai dengan menentukan kadar air yang diperlukan untuk membentuk pasta semen yang memiliki kekentalan standar. Alat yang digunakan yaitu *Vicat Apparatus* yang terdiri dari batang logam dengan jarum standar dan pelat pengukur. Pertama, sejumlah semen dicampur dengan air menggunakan takaran tertentu (biasanya 25% air terhadap berta semen). Pasta semen yang terbentuk kemudian dimasukkan ke dalam cetakan cincin (*mould*) yang diletakkan di bawah jarum *Vicat*. Setelah diisi dan diratakan, jarum dijatuhkan secara vertikal hingga menyentuh permukaan pasta. Kedalaman penetrasi dicatat. Proses ini diulang dengan variasi kadar air (misalnya 26%, 27%, dst) hingga diperoleh hasil penetrasi sedalam 33-35 mm dari permukaan cetakan. Kadar air yang menghasilkan penetrasi tersebut disebut sebagai konsistensi normal. Nilai ini penting karena digunakan sebagai dasar untuk pengujian waktu ikat dan kekuatan.

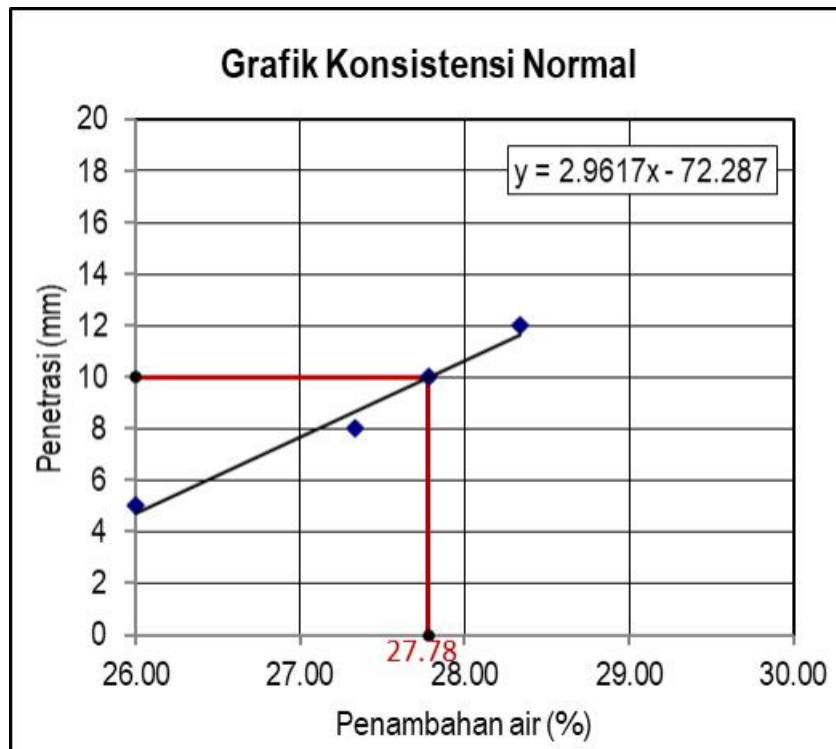
Setelah konsistensi normal diketahui, dilakukan pengujian waktu ikat awal dan akhir semen dengan tetap menggunakan alat *Vicat*. Dalam pengujian ini, pasta semen dibuat dengan kadar air konsistensi normal. Pasta tersebut

dimasukkan ke dalam cetakan, lalu pada waktu tertentu (setiap 10-15 menit) jarum *Vicat* diturunkan ke permukaan pasta untuk mengukur kekerasan atau resistensi terhadap penetrasi. Waktu ikat awal (*initial setting time*) ditentukan saat jarum hanya dapat menembus hingga kedalaman 25 mm dari permukaan atas, menandakan bahwa pasta mulai mengeras. Sedangkan waktu ikat akhir, (*final setting time*) adalah saat jarum logam tidak lagi mampu menembus sama sekali ke dalam pasta, artinya pasta sudah cukup keras. Seluruh proses dilakukan pada kondisi standar suhu dan kelembaban. Berikut adalah hasil pemeriksaan:

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Konsistensi Normal pada Semen

No.	Berat semen	Penambahan air		Penetrasi (mm)
		ml	%	
1	300	78	26,00	5
2	300	82	27,33	8,5
3	300	85	28,33	12
4	300	83,34	27,78	10

(Sumber : Hasil Analisa)



Gambar 4.10 Grafik Konsistensi Normal Semen

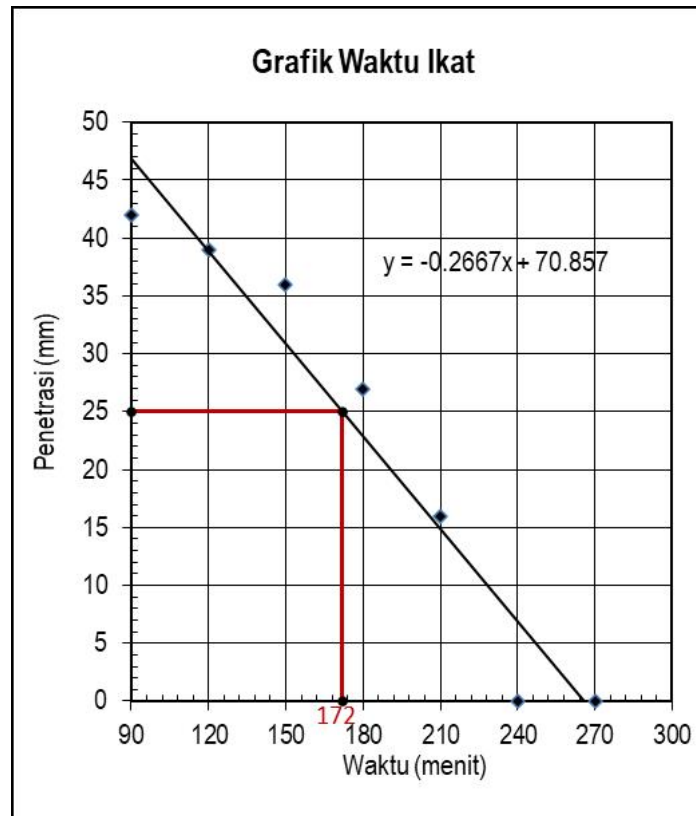
(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 4.17 Waktu Ikat Pasta Semen

Waktu Ikat Awal		
No.	Waktu (menit)	Penetrasi (mm)
1	90	42
2	120	39
3	150	36
4	180	27
5	210	16
6	240	Berbekas
7	270	Berbekas
8	300	Berbekas
9	330	Berbekas

Waktu Ikat Akhir
360

(Sumber : Hasil Penelitian)



Gambar 4.11 Grafik Waktu Ikat Pasta Semen

(Sumber : Hasil Penelitian)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman penetrasi jarum 10 mm dengan penambahan air sebanyak 27,78%. Waktu ikat awal pada penetrasi 42 mm adalah 172 menit dan waktu ikat akhir 360 menit.

4.1.8 Pembahasan Hasil Pengujian Material Campuran Beton

Berdasarkan hasil uji material yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Institut Teknologi Nasional Malang, material campuran beton telah memenuhi standar spesifikasi dan sesuai dengan ketentuan Standar Nasional Indonesia, sehingga dapat digunakan sebagai bahan campuran beton, seperti yang tercantum pada tabel berikut.

Tabel 4.18 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Material

No.	Pengujian	Standar Acuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Isi Agregat Kasar (g/cm ³)	SNI 03-4804-1998			
	• Gembur		-	1,39	-
	• Padat		-	1,51	-
2	Berat Isi Agregat Halus (g/cm ³)	SNI 03-4804-1998			
	• Gembur		-	1,62	-
	• Padat		-	1,70	-
2	Berat Isi Semen (g/cm ³)	SNI 03-4804-1998			
	• Gembur		-	1,08	-
	• Padat		-	1,25	-
4	Analisa Saringan Agregat Kasar	SNI 03-1968-1990	-	Maks. 25mm	-
5	Analisa Saringan Agregat Halus	SNI 03-1968-1990	-	Zona 2	-
6	Bahan Lolos Saringan No.200 Agregat Halus (%)	SNI 03-4142-1996	Maks. 5	1,0034	Memenuhi
7	Kadar Lumpur Agregat Halus (%)	SNI 03-4428-1997	Maks. 5	0,40	Memenuhi
8	Kadar Zat Organik Agregat Halus	SNI 2816:2014	-	Warna Cairan Bening	-
9	Kadar Air Agregat Kasar (%)	SNI 03-1971-1990			
	• Asli			0,82	-
	• SSD			1,63	-
10	Kadar Air Agregat Halus (%)	SNI 03-1971-1990			
	• Asli		-	3,20	-
	• SSD			0,57	-
11	BJ dan Penyerapan Agregat Kasar	SNI 1970:2008			
	• Berat Jenis Bulk			2,71	
	• Berat Jenis Ssd		-	2,75	-
	• Berat Jenis Apparent			2,81	
	• Penyerapan (Absorpsi)			1,28	
12	BJ dan Penyerapan Agregat Halus	SNI 1969:2008			
	• Berat Jenis Bulk			2,74	
	• Berat Jenis Ssd		-	2,75	-
	• Berat Jenis Apparent			2,75	
	• Penyerapan (Absorpsi)			0,05	
13	Abrasi (<i>Los Angeles</i>) %	SNI 2417 - 2008	Maks. 40	16,34	Memenuhi
14	Konsistensi dan Waktu ikat Semen	SNI 15-2049-2004			
	• Waktu Ikut Awal (menit)		Min. 45	172	Memenuhi
	• Waktu Ikut Akhir (menit)		Maks. 375	360	

(Sumber : Hasil Penelitian)

4.2 Perancangan Campuran Beton (*Mix-Design*)

Penelitian ini menggunakan perancangan campuran beton yang merujuk pada SNI 03-2834-2000 (Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal).

A. Data Perencanaan

- f'_c Rencana = 30 MPa
- *Slump* Rencana = 100 ± 20 mm
- Ukuran Agregat Kasar Maksimum = 25 mm
- Agregat Halus = Zona II
- Jenis Semen = Tipe I (*PCC*)
- Jenis Agregat Kasar = Dipecah
- B_j Agregat Kasar Kondisi SSD = 2,745
- B_j Agregat Halus Kondisi SSD = 2,746
- Volume Campuran Beton = $<1000 \text{ m}^3$

B. Menentukan Kuat Tekan Rencana

Tabel 4.19 Deviasi Standar berdasarkan jumlah beton

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Lihat butir 4.2.3.1 1) (5)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

(Sumber : SNI 03 – 2834 – 2000)

Berdasarkan tabel di atas dengan acuan jumlah pengujian, maka ditetapkan nilai standar deviasi sebesar 1 Mpa. Sehingga target kuat tekan rencana (f'_{cr}) dapat dihitung sebagai berikut:

❖ Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'_c + 1,64 \times S_r \\ &= 30 + 1,64 \times 1 \end{aligned}$$

$$= 31,64 \text{ Mpa}$$

Keterangan :

f'_{cr} : Kuat tekan rencana.

1,64 : Ketetapan statistik yang nilainya tergantung presentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%.

S_r : Nilai standar Deviasi.

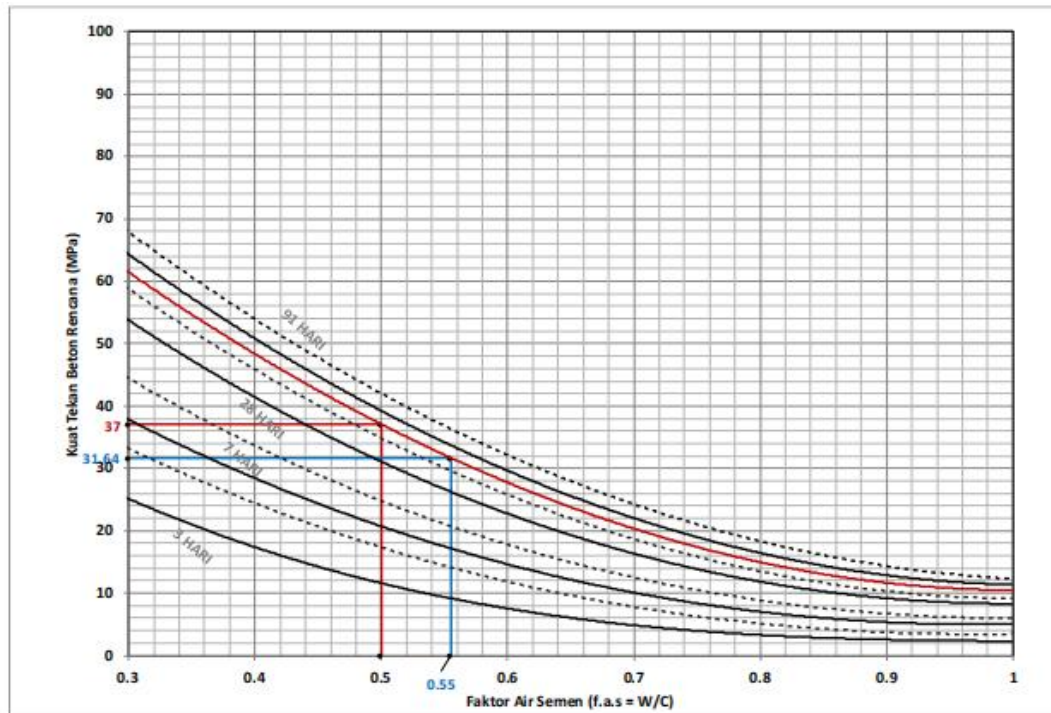
Jadi kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f'_{cr} adalah sebesar 31,64 MPa

C. Perhitungan Faktor Air Semen

Tabel 4.20 Estimasi Kuat Tekan Beton, Faktor Air Semen (W/C) = 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (MPa)				
		Umur (Hari)				Bentuk
		3	7	28	95	Bentuk Uji
Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	25	30	45	54	
Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu Pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 4.12 Grafik Kurva Korelasi Kuat Tekan Beton dengan W/C

Penentuan faktor air-semen (W/C) untuk kuat tekan tertentu dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut: pertama, tentukan kuat tekan rencana, tipe semen, jenis agregat kasar, dan umur silinder beton. Kemudian, perkirakan kekuatan tekan beton untuk $W/C = 0,5$ berdasarkan Tabel 4.2. Selanjutnya, gunakan kurva hubungan antara kekuatan tekan dan W/C (Grafik 4.12) untuk menarik garis vertikal dari $W/C = 0,5$ hingga memotong perkiraan kekuatan tekan. Gambarkan kurva mengikuti perpotongan tersebut, lalu tentukan nilai W/C untuk kekuatan tekan yang direncanakan dengan menarik garis dari kekuatan tekan rencana hingga memotong kurva dan membaca nilai W/C pada titik potong. Berdasarkan langkah-langkah ini, diperoleh nilai $W/C = 0,55$ yang digunakan untuk perhitungan jumlah semen.

D. Menentukan Kadar Air Bebas dan Jumlah semen

Tabel 4.21 Interpolasi Perkiraan Kadar Air Bebas

AIR BEBAS								
AG MAX (mm)	SLUMP (mm)							
	0-10				30-60		60-180	
	Wh	Wk	Wh	Wk	Wh	Wk	Wh	Wk
10	150	180	180	205	205	230	225	250
20	135	170	160	190	180	210	195	225
25	130	171	155	186	175	205	190	220
40	115	175	140	175	160	190	175	205

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Dalam perancangan campuran beton, ditetapkan nilai slump sebesar 100 ± 20 mm, yang bertujuan untuk memberikan kelecakan yang optimal selama proses pengecoran beton.

❖ Agregat maksimum 25 mm :

$$W_h = 190$$

$$W_k = 220$$

Keterangan:

W_h : Estimasi konten air agregat permukaan halus (tidak dipecah)

W_k : Estimasi konten air agregat permukaan kasar (dipecah)

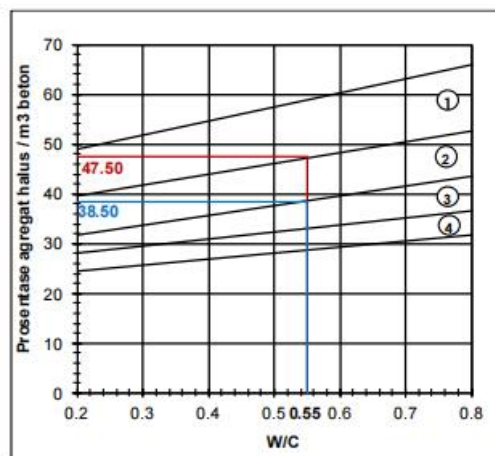
Maka kadar air bebas dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad W &= \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \\
 &= \frac{2}{3} \times 190 + \frac{1}{3} \times 220 \\
 &= 200 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \text{Jumlah semen (PC)} &= \frac{W}{f.a.s} \\
 &= \frac{200}{0,55} \\
 &= 363,64 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

E. Menentukan Presentase Agregat Kasar dan Agregat Halus

- f.a.s = 0,55
- Batas atas zona 2 = 47,50
- Batas bawah zona 2 = 38,50
- Presentase agregat kasar = $(47,50 + 38,50)/2$
= 43,00%
- Presentase agregat halus = 57,00 %



Gambar 4.13 Grafik Agregat Halus

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

F. Menentukan Berat Jenis Beton Segar

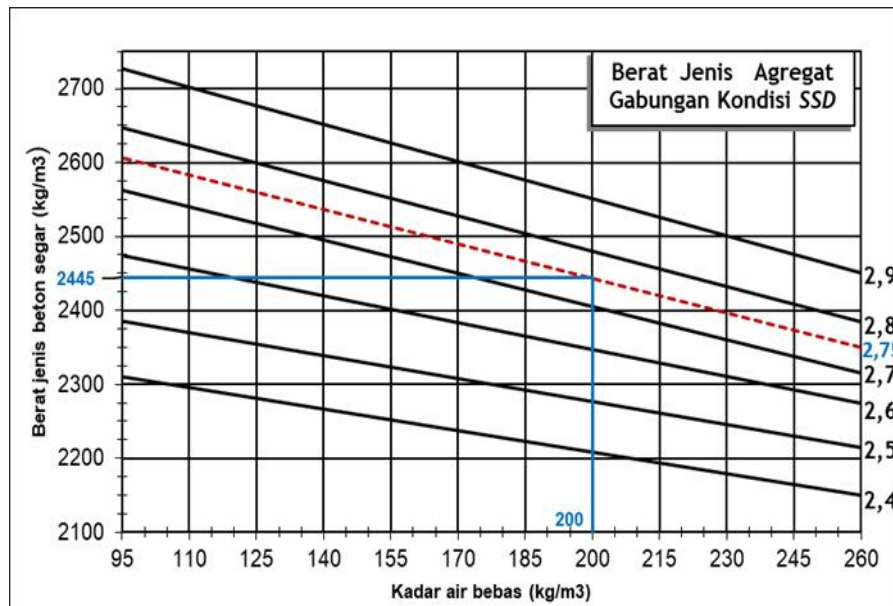
Dari jumlah kadar air bebas W dan berat jenis gabungan (Bj gabungan), perkiraan berat jenis beton segar sebagai Bj gabungan.

Diketahui:

$$\text{Berat Jenis ag.halus} = 2,745$$

$$\text{Berat Jenis ag. Kasar} = 2,746$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Jenis gabungan (Bj gab)} &= ((41,25\% \times 2,75) + (58,75 \times 2,75))/100 \\ &= 2,750\end{aligned}$$



Gambar 4.14 Grafik Hubungan Berat Jenis Beton Segar dan Kadar Air Bebas

Sumber : SNI 03-2834-2000

Berdasarkan gambar 4.14 didapatkan nilai berat jenis beton segar sebesar 2445 kg/m³.

G. Menentukan Jumlah Agregat Kondisi SSD/ m³

- Berat Total agregat = Bj beton segar – berat semen – kadar air bebas

$$= 2445 - 363,64 - 200$$

$$= 1881,36 \text{ kg/m}^3$$
- Berat Agregat Halus = % agregat halus x berat total agregat

$$= 43,00\% \times 1881,36$$

$$= 808,99 \text{ kg/m}^3$$
- Berat Agregat Kasar = % Ag.Kasar x berat total agregat

$$= 57,00\% \times 1881,36$$

$$= 1072,38 \text{ kg/m}^3$$

H. Menentukan Komposisi Campuran Kondisi Lapangan (per m³)

$$\text{Semen} = 363,64 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat halus (asli)} &= (100 + \text{kadar air agregat halus}) / (100 + \text{penyerapan agregat halus}) \times \text{jumlah agregat halus SSD} \\ &= (100 + 3,20) / (100 + 0,5) \times 808,99 \\ &= 834,49 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat kasar (asli)} &= (100 + \text{kadar air agregat kasar}) / (100 + \text{penyerapan agregat kasar}) \times \text{jumlah agregat kasar SSD} \\ &= (100 + 0,82) / (100 + 1,28) \times 1072,38 \\ &= 1067,56 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah air lapangan} &= \text{kadar air bebas} - (\text{agregat halus asli} - \text{agregat halus SSD}) - (\text{agregat kasar asli} - \text{agregat kasar SSD}) \\ &= 200 - (834,51 - 808,99) - (1067,50 - 1072,38) \\ &= 176,36 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Jadi komposisi campuran Beton kondisi lapangan:

- Semen = 363,64 kg/m³
- Air = 179,31 kg/m³
- Agregat Kasar = 834,49 kg/m³
- Agregat Halus = 1067,56 kg/m³

I. Perhitungan Kebutuhan Bahan pada Campuran Beton

Penelitian ini menggunakan cetakan silinder Ø15x30 dengan pengujian kuat tekan, modulus elastisitas serta porositas.

- Volume Silinder Ø15x30

$$\begin{aligned}V &= \pi \cdot r^2 \cdot t \\ &= 3,14 \times 0,075^2 \times 0,3 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- Volume 15 silinder untuk uji kuat tekan dan modulus elastisitas

$$V = 15 \times 0,0053$$

$$= 0,80 \text{ m}^3$$

- Volume 15 silinder untuk uji porositas

$$\begin{aligned} V &= 15 \times 0,0053 \\ &= 0,80 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Volume total 30 silinder dan faktor tambahan 10%

$$\begin{aligned} V &= 30 \times (\pi r^2 t) + (10 \% \times 30 \times (\pi r^2 t)) \\ &= 0,16 + 0,016 \\ &= 0,175 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan kebutuhan bahan untuk benda uji silinder

menggunakan faktor kehilangan = 1,18

- Komposisi campuran 6 silinder beton dengan 0 % penambahan air semen:

- Semen $= \text{Jumlah semen} \times \text{volume 6 silinder} \times 1,18$
 $= 363,64 \times 0,035 \times 1,18$
 $= 15,01 \text{ kg}$

- Agregat Halus $= \text{Jumlah agregat} \times \text{volume 6 silinder} \times 1,18$
 $= 834,49 \times 0,035 \times 1,18$
 $= 34,45 \text{ kg}$

- Agregat Kasar $= \text{Jumlah agregat} \times \text{volume 6 silinder} \times 1,18$
 $= 1067,56 \times 0,035 \times 1,18$
 $= 44,08 \text{ kg}$

- Air $= \text{Jumlah air} \times \text{volume 6 silinder} \times 1,18$
 $= 179,36 \times 0,035 \times 1,18$
 $= 7,41 \text{ kg}$

- Komposisi campuran 6 silinder beton dengan penambahan air semen 2% (1% air dan 1% semen) dari kebutuhan air dan semen kondisi lapangan

- Semen $= \text{Jumlah semen normal} + \text{penambahan variasi}$
 $= 15,01 + (15,01 \times 1\%)$
 $= 15,16 \text{ kg}$

- Agregat Halus $= \text{Jumlah agregat} \times \text{volume 6 silinder} \times 1,18$

$$= 34,45 \text{ kg}$$

- $$= 1067,56 \times 0,035 \times 1,18$$

$$= 44,08 \text{ kg}$$

- $$= 7,41 + (7,41 \times 1\%)$$

$$= 7,48 \text{ kg}$$

- Semen = Jumlah semen normal+penambahan variasi

$$= 15,01 + (15,01 \times 2\%)$$

$$= 15,31 \text{ kg}$$

$$= 15,01 + (15,01 \times 2\%)$$

$$= 15,31 \text{ kg}$$

- $$= 834,49 \times 0,035 \times 1,18$$

$$= 34,45 \text{ kg}$$

- $$= 1067,56 \times 0,035 \times 1,18$$

$$= 44,08 \text{ kg}$$

- $$= 7,41 + (7,41 \times 2\%)$$

$$= 7,55 \text{ kg}$$

- **Semen** = Jumlah semen normal+penambahan variasi
 = 15,01 + (15,01 x 3%)
 = 15,46 kg

$$= 15,01 + (15,01 \times 3\%)$$

$$= 15,46 \text{ kg}$$

- $$= 834,49 \times 0,035 \times 1,18$$

$$= 34,45 \text{ kg}$$

- Agregat Kasar = Jumlah agregat x volume 6 silinder x 1,18

$$= 1067,56 \times 0,035 \times 1,18$$

$$= 44,08 \text{ kg}$$

- Air
 - = Jumlah air normal + penambahan variasi
 - = $7,41 + (7,41 \times 3\%)$
 - = 7,63 kg

➤ Komposisi campuran 6 silinder beton dengan 8% (4 % air dan 4% semen) penambahan air semen:

- Semen
 - = Jumlah semen normal+penambahan variasi
 - = $15,01 + (15,01 \times 4\%)$
 - = 15,61 kg
- Agregat Halus
 - = Jumlah agregat x volume 6 silinder x 1,18
 - = $834,49 \times 0,035 \times 1,18$
 - = 34,45kg
- Agregat Kasar
 - = Jumlah agregat x volume 6 silinder x 1,18
 - = $1067,56 \times 0,035 \times 1,18$
 - = 44,08 kg
- Air
 - = Jumlah air normal + penambahan variasi
 - = $7,41 + (7,41 \times 4\%)$
 - = 7,70 kg

Kebutuhan keseluruhan campuran beton pada setiap variasi ditunjukkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Kebutuhan keseluruhan campuran untuk 30 benda uji

Komposisi campuran beton kondisi lapangan untuk benda uji 6 silinder				Penambahan Air Semen 0%	Total
1.	Volume 6 silinder 15 x 30 cm	$[\pi] [r]^2 [t] \cdot 30$	0,035 m ³	0,00 m ³	0,035 m ³
2.	Faktor kehilangan	Ditentukan	1,18	0,00	1,18
3.	Semen	[18][29][30]	15,01 kg	0,00 kg	15,01 kg
4.	Agregat halus	[26][29][30]	34,45 kg	0,00 kg	34,45 kg
5.	Agregat kasar	[27][29][30]	44,08 kg	0,00 kg	44,08 kg
6.	Air	[28][29][30]	7,40 kg	0,00 kg	7,40 kg
Komposisi campuran beton kondisi lapangan untuk benda uji 6 silinder				Penambahan Air Semen 2% (1% air dan 1% semen)	Total
1.	Volume 6 silinder 15 x 30 cm	$[\pi] [r]^2 [t] \cdot 30$	0,035 m ³	0,00 m ³	0,035 m ³
2.	Faktor kehilangan	Ditentukan	1,18	0,00	1,18
3.	Semen	[18][29][30]	15,01 kg	0,15 kg	15,16 kg
4.	Agregat halus	[26][29][30]	34,45 kg	0,00 kg	34,45 kg
5.	Agregat kasar	[27][29][30]	44,08 kg	0,00 kg	44,08 kg
6.	Air	[28][29][30]	7,40 kg	0,07 kg	7,48 kg
Komposisi campuran beton kondisi lapangan untuk benda uji 6 silinder				Penambahan Air Semen 4% (2% air dan 2% semen)	Total
1.	Volume 6 silinder 15 x 30 cm	$[\pi] [r]^2 [t] \cdot 30$	0,035 m ³	0,00 m ³	0,035 m ³
2.	Faktor kehilangan	Ditentukan	1,18	0,00	1,18
3.	Semen	[18][29][30]	15,01 kg	0,30 kg	15,31 kg
4.	Agregat halus	[26][29][30]	34,45 kg	0,00 kg	34,45 kg
5.	Agregat kasar	[27][29][30]	44,08 kg	0,00 kg	44,08 kg
6.	Air	[28][29][30]	7,40 kg	0,15 kg	7,55 kg
Komposisi campuran beton kondisi lapangan untuk benda uji 6 silinder				Penambahan Air Semen 6% (3% air dan 3% semen)	Total
1.	Volume 6 silinder 15 x 30 cm	$[\pi] [r]^2 [t] \cdot 30$	0,035 m ³	0,00 m ³	0,035 m ³
2.	Faktor kehilangan	Ditentukan	1,18	0,00	1,18
3.	Semen	[18][29][30]	15,01 kg	0,45 kg	15,46 kg
4.	Agregat halus	[26][29][30]	34,45 kg	0,00 kg	34,45 kg
5.	Agregat kasar	[27][29][30]	44,08 kg	0,00 kg	44,08 kg
6.	Air	[28][29][30]	7,40 kg	0,22 kg	7,63 kg
Komposisi campuran beton kondisi lapangan untuk benda uji 6 silinder				Penambahan Air Semen 8% (4% air dan 4% semen)	Total
1.	Volume 6 silinder 15 x 30 cm	$[\pi] [r]^2 [t] \cdot 30$	0,035 m ³	0,00 m ³	0,035 m ³
2.	Faktor kehilangan	Ditentukan	1,18	0,00	1,18
3.	Semen	[18][29][30]	15,01 kg	0,60 kg	15,61 kg
4.	Agregat halus	[26][29][30]	34,45 kg	0,00 kg	34,45 kg
5.	Agregat kasar	[27][29][30]	44,08 kg	0,00 kg	44,08 kg
6.	Air	[28][29][30]	7,40 kg	0,30 kg	7,70 kg

4.3 Pengujian *slump* Beton

Pengujian *slump* beton digunakan untuk mengetahui ukuran derajat kemudahan dalam pengecoran adukan beton segar, pengujian *slump* dilakukan sebelum dan sesudah melakukan penambahan variasi air-semen. Berikut adalah hasil pengujian *slump* sebelum pengecoran:

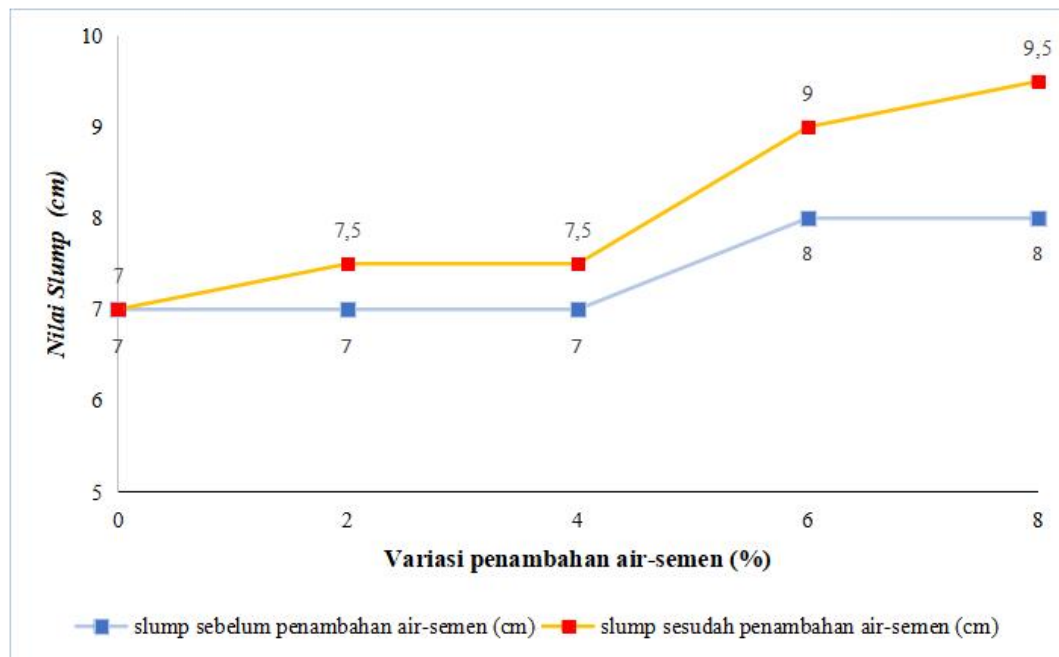
Tabel 4.23 Nilai *slump* sebelum dan sesudah penambahan air-semen

Variasi Penambahan air-semen (%)	<i>Slump</i> Awal (sebelum penambahan air-semen) (cm)	<i>Slump Akhir</i> (45 menit sesudah penambahan air-semen) (cm)
0	7	7
2	7	7,5
4	7	7,5
6	8	9
8	8	9,5

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 4.23 menunjukkan hasil pengukuran nilai *slump* beton pada berbagai variasi penambahan air-semen, baik sebelum penambahan (*slump* awal) maupun 45 menit setelah penambahan (*slump* akhir).

Secara umum, nilai *slump* awal relatif sama pada variasi 0%–4% yaitu 7 cm, dan meningkat menjadi 8 cm pada variasi 6% dan 8%. Nilai *slump* akhir cenderung lebih tinggi dibandingkan *slump* awal pada setiap variasi, menunjukkan peningkatan *workability* seiring penambahan air-semen. Peningkatan terbesar terjadi pada variasi 8% yang mencapai 9,5 cm, menandakan pengaruh signifikan penambahan air-semen terhadap kemudahan pengerjaan beton.



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Penambahan air-semen terhadap nilai *slump*

(Sumber: Hasil Analisa)



Gambar 4.16 Nilai *slump* 7 cm

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)



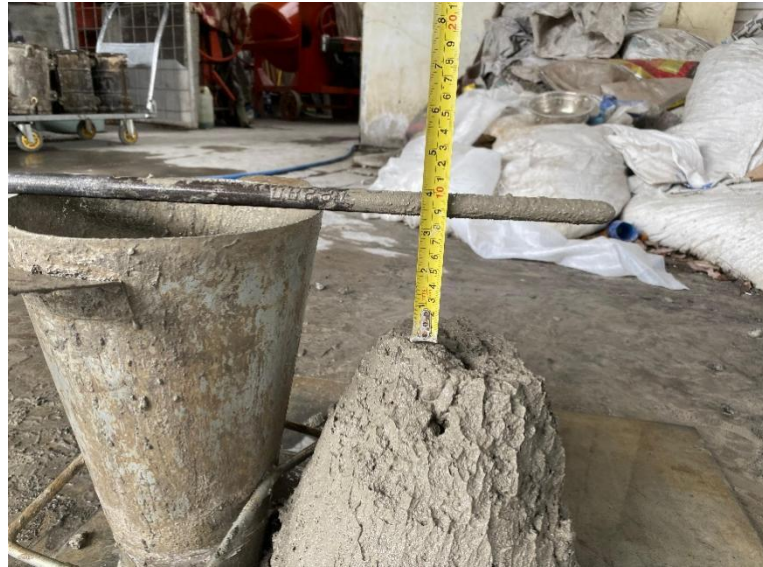
Gambar 4.17 Nilai *slump* 7,5 cm

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)



Gambar 4.18 Nilai *slump* 8 cm

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)



Gambar 4.19 Nilai *slump* 9 cm

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)



Gambar 4.20 Nilai *slump* 9,5 cm

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

4.4 Analisa Data

Hasil data diperoleh dari nilai kuat tekan, modulus elastisitas, dan porositas benda uji silinder Ø15x30. Berikut hasil data seluruh pengujian benda uji:

1. Pengujian Kuat Tekan

Hasil kuat tekan beton dengan ukuran silinder Ø15x30 diperoleh dari sampel benda uji yang diuji. Beton dengan variasi penambahan air semen persentase 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% berumur 25, 24 dan 22 hari.

Menurut SNI 1974-2011, kuat tekan beton silinder Ø15x30 dihitung berdasarkan rumus:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (16)$$

Keterangan:

P : beban tekan yang dapat diterima penampang beton (N atau kN)

A : luas penampang tekan (mm² atau cm²)

- Perhitungan nilai kuat tekan beton benda uji variasi 0%, 2%, 4%, 6%, 8% pada umur 25, 24, dan 22 hari dengan penyesuaian menggunakan faktor umur sesuai tabel konversi dari Buku Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi ITN Malang:

a. Kode J1.4



Gambar 4.21 Pengujian Kuat Tekan Silinder J1.4

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$\begin{aligned}
 P &= 521 \text{ kN} \\
 &= 521000 \text{ N} \\
 A &= 17671,46 \text{ mm}^2 \\
 f'_c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{521000}{17671,46} \\
 &= 29,48 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (Kode J1.4) pada umur 25 hari ke umur 28 hari:

$$\begin{aligned}
 f_{28} &= \frac{f_{25}}{\text{koefisien konversi}} \\
 &= \frac{29,84}{0,979} \\
 &= 30,11 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

b. Kode J1.5



Gambar 4.22 Pengujian Kuat Tekan Silinder J1.5

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$\begin{aligned}
 P &= 446 \text{ kN} \\
 &= 446000 \text{ N} \\
 A &= 17671,46 \text{ mm}^2 \\
 f'_c &= \frac{P}{A}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{446000}{17671,46}$$

$$= 25,24 \text{ MPa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (Kode J1.5) pada umur 25 hari ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{25}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{25,24}{0,979}$$

$$= 25,78 \text{ MPa}$$

c. Kode J1.6



Gambar 4.23 Pengujian Kuat Tekan Silinder J1.6

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 475 \text{ kN}$$

$$= 475000 \text{ N}$$

$$A = 17671,46 \text{ mm}^2$$

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{475000}{17671,46}$$

$$= 26,88 \text{ MPa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (Kode J1.6) pada umur 25 hari ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{25}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{26,88}{0,979}$$

$$= 27,46 \text{ MPa}$$

- Perhitungan nilai kuat tekan beton benda uji variasi 2% pada umur 24 hari dengan penyesuaian menggunakan faktor umur untuk dikonversikan ke umur 28 hari:

a. Kode J2.3



Gambar 4.24 Pengujian Kuat Tekan Silinder J2.3

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 495 \text{ kN}$$

$$= 495000 \text{ N}$$

$$A = 17671,46 \text{ mm}^2$$

$$f_c = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{495000}{17671,46}$$

$$= 28,01 \text{ MPa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (Kode J2.3) pada umur 24 hari ke umur 28 hari:

$$\begin{aligned}
 f_{28} &= \frac{f_{24}}{\text{koefisien konversi}} \\
 &= \frac{27,50}{0,971} \\
 &= 28,85 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

b. Kode J2.5

$$\begin{aligned}
 P &= 437 \text{ kN} \\
 &= 437000 \text{ N} \\
 A &= 17671,46 \text{ mm}^2 \\
 f_c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{437000}{17671,46} \\
 &= 24,73 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (Kode J2.5) pada umur 24 hari ke umur 28 hari:

$$\begin{aligned}
 f_{28} &= \frac{f_{24}}{\text{koefisien konversi}} \\
 &= \frac{24,73}{0,971} \\
 &= 25,47 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

c. Kode J2.6



Gambar 4.25 Pengujian Kuat Tekan Silinder J2.6

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$\begin{aligned} P &= 492 \text{ kN} \\ &= 492000 \text{ N} \\ A &= 17671,46 \text{ mm}^2 \\ f_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{492000}{17671,46} \\ &= 27,84 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (Kode J2.6) pada umur 24 hari ke umur 28 hari:

$$\begin{aligned} f_{28} &= \frac{f_{24}}{\text{koefisien konversi}} \\ &= \frac{27,84}{0,971} \\ &= 28,67 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel 4.24Data Kuat Tekan Beton

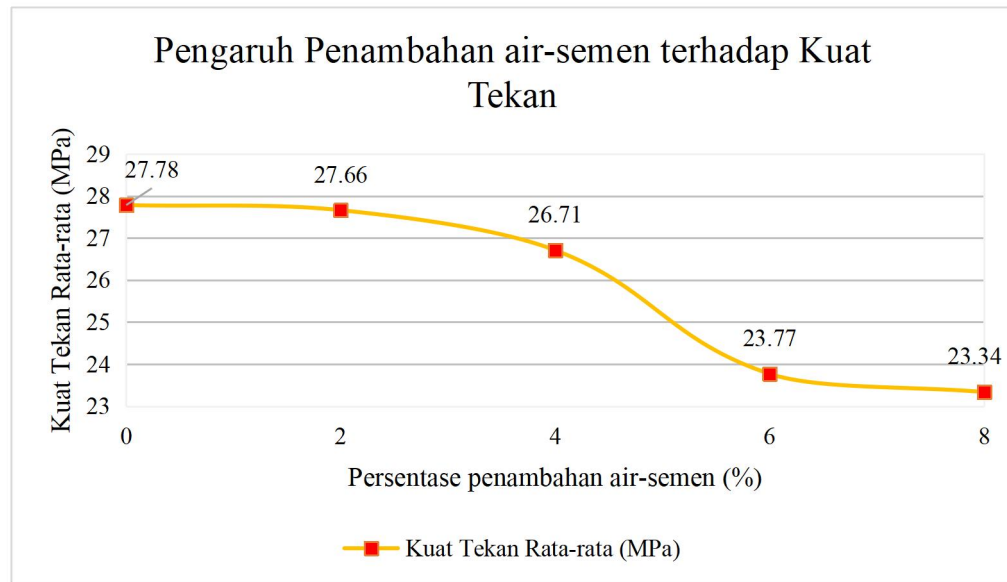
Variasi Benda Uji	Kode	Tanggal Buat	Tanggal Test	Umur (hari)	Berat (kg)	Tekan Hancur (kN)	Tekan Hancur (Mpa)	Tekan Hancur 28 Hari	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
0%	J1.4	09/01/2025	03/02/2025	25	12,9	521	29,48	30,11	27,78
	J1.5	09/01/2025	03/02/2025	25	12,87	446	25,24	25,78	
	J1.6	09/01/2025	03/02/2025	25	13,02	475	26,88	27,46	
2%	J2.3	10/01/2025	03/02/2025	24	12,75	495	28,01	28,85	27,66
	J2.5	10/01/2025	03/02/2025	24	12,98	437	24,73	25,47	
	J2.6	10/01/2025	03/02/2025	24	12,74	492	27,84	28,67	
4%	J3.4	10/01/2025	03/02/2025	24	12,72	486	27,50	28,32	26,71
	J3.5	10/01/2025	03/02/2025	24	12,79	436	24,67	25,41	
	J3.6	10/01/2025	03/02/2025	24	12,96	453	25,63	26,40	
6%	J4.4	12/01/2025	03/02/2025	22	12,61	409	23,14	24,18	23,77
	J4.5	12/01/2025	03/02/2025	22	12,73	350	19,81	20,70	
	J4.6	12/01/2025	03/02/2025	22	12,86	447	25,30	26,43	
8%	J5.4	12/01/2025	03/02/2025	22	12,9	346	19,58	20,46	23,34
	J5.5	12/01/2025	03/02/2025	22	12,86	429	24,28	25,37	
	J5.6	12/01/2025	03/02/2025	22	12,84	409	23,14	24,18	

(Sumber: Hasil Penelitian)

Berdasarkan Tabel 4.24, hasil pengujian kuat tekan beton menunjukkan bahwa variasi penambahan air-semen berpengaruh signifikan terhadap nilai kuat tekan yang dihasilkan. Pada variasi 0% (tanpa penambahan air-semen), diperoleh kuat tekan rata-rata tertinggi yaitu 27,78 MPa dengan nilai tekan hancur berkisar antara 446–521 kN. Variasi 2% menunjukkan sedikit penurunan menjadi 27,66 MPa dengan nilai tekan hancur 437–495 kN, sedangkan variasi 4% kembali mengalami penurunan menjadi 26,71 MPa dengan nilai tekan hancur 436–486 kN. Penurunan yang lebih signifikan terjadi pada variasi 6% dengan kuat tekan rata-rata hanya 23,77 MPa dan nilai tekan hancur terendah di tabel, yaitu 350 kN. Variasi 8% menghasilkan kuat tekan rata-rata paling rendah sebesar 23,34 MPa dengan nilai tekan hancur 409–447 kN.

Secara keseluruhan, data ini menunjukkan tren semakin tinggi persentase penambahan air-semen, maka semakin rendah kuat tekan beton yang dihasilkan, yang sejalan dengan prinsip bahwa peningkatan fas (*water-cement*

ratio) menyebabkan berkurangnya kerapatan beton sehingga menurunkan kekuatannya.



Gambar 4.26 Grafik Hubungan Penambahan air-semen terhadap nilai Kuat Tekan Beton

(Sumber: Hasil Penelitian)

Berdasarkan hasil plot data pengujian kuat tekan ke dalam grafik, terlihat bahwa penambahan air-semen menurunkan kuat tekan hingga titik terendah pada variasi 8%.



Gambar 4.27 Pola Retak Silinder
J4.5

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)



Gambar 4.28 Pola Retak Silinder
J5.5

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

- Kode Sampel J4.5 Variasi 6%

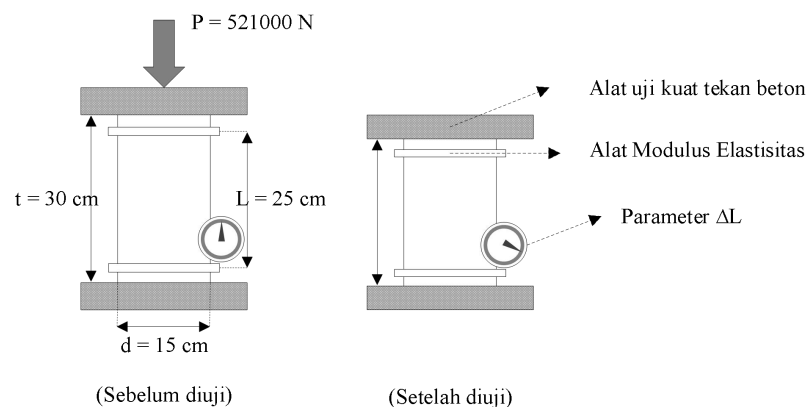
Dari gambar pola retak di atas menunjukkan bahwa pola retak pada uji tekan hampir sama, sejajar dengan arah gaya. Maka dapat diklasifikasikan sebagai pola retak *columnar*. Pola retak *columnar* merujuk pada pola retak yang terjadi secara vertical atau sejajar.

- Kode Sampel J5.5 Variasi 8%

Berdasarkan gambar, terlihat bahwa pola retak yang muncul pada pengujian tekan memiliki kesamaan, yaitu sejajar dengan arah pembebanan. Oleh karena itu, retakan tersebut dapat dikategorikan sebagai pola retak *columnar*, yaitu pola retak yang berkembang secara vertikal atau sejajar dengan arah gaya tekan yang diberikan.

2. Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dengan *CTM* dilakukan bersamaan dengan uji tekan beton. Pengujian dilakukan pada silinder Ø15x30 cm dengan pembebanan secara konstan untuk mengetahui besar beban yang diterima sampai dengan beban maksimum (saat beton mulai retak) dan *dial gauge* untuk mengetahui nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap pembebanan. Skema pengujian dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.29 Skema Pengujian Modulus Elastisitas silinder beton

Tabel 4.25 Perhitungan Modulus Elastisitas benda uji variasi 0% kode J1.4 pada umur 25 hari

Variasi 0% (J1.4)					$f_c = 29,4826$		
P (kN)	P(N)	Luas (A) (mm ²)	ΔL 1 (mm ²)	Lo (mm)	Regangan	Tegangan (Mpa)	
0	0	17671,46	0	250	0,0000000	0,0000	29,4826
50	50000		0,03		0,0001012	2,8294	
100	100000		0,04		0,0001780	5,6588	
150	150000		0,05		0,0001948	8,4883	
200	200000		0,09		0,0003600	11,3177	
250	250000		0,10		0,0004000	14,1471	
300	300000		0,16		0,0006400	16,9765	
350	350000		0,20		0,0008000	19,8059	
400	400000		0,30		0,0012000	19,8059	
450	450000		0,35		0,0014000	25,4648	
500	500000		0,39		0,0015600	28,2942	
521	521000		0,49		0,0019600	29,4826	

Tabel. 4.25 menampilkan data hasil pengujian modulus elastisitas pada benda uji silinder beton variasi 0% (J1.4), pengujian dilakukan dengan memberikan bertahap hingga mencapai 495 kN, kemudian perubahan panjang (ΔL) dicatat, dan menghitung regangan (ϵ) serta tegangan (σ). Luas penampang sampel sebesar 17671,46 mm² dan panjang awal (L_0) adalah 250 mm. Tegangan maksimum yang tercapai sebesar 28,0113 MPa dan regangan sebesar 0,0025143 MPa.

➤ Perhitungan Modulus Elastisitas sampel J4.4

- Regangan (ϵ) yang terjadi:

$$(\epsilon) = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Dimana:

ΔL = Penurunan arah longitudinal

L_0 = Tinggi beton relatif (jarak antar dua *ring dial*) (mm)

Sebagai contoh perhitungan diambil dari data benda uji saat menerima beban (P) = 100 kN

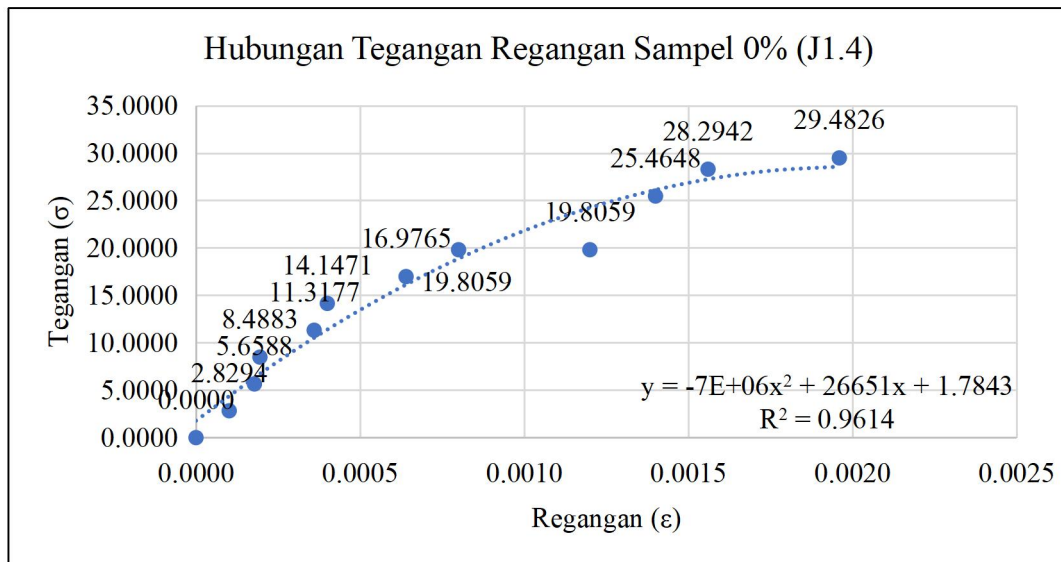
$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,04}{200} \\ &= 0,0001780\end{aligned}$$

- Tegangan (σ) yang terjadi:

$$\begin{aligned}(\sigma) &= \frac{P}{A} \\ \sigma &= \frac{100000}{17671,46} \\ &= 5.658842 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Kurva tegangan regangan diperoleh dengan memplotkan data tegangan

pada setiap kenaikan 50 kN beban aksial dengan regangan yang terjadi pada setiap benda uji. Data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran, dengan Analisa regresi pada program Microsoft excel, didapatkan grafik tegangan regangan sebagai berikut:



Gambar 4.30 Nilai Tegangan Regangan benda Uji J4.4

(Sumber: Hasil Penelitian)

Selanjutnya dari persamaan regresi polinomial seperti terlihat pada Gambar 4.30 Dapat dihitung nilai modulus elastisitas. Sebagai contoh diambil persamaan regresi tegangan-regangan pada benda uji variasi 6% (J4.4).

$$y = -7E+06x^2 + 26651x + 1,7843$$

Dengan: y = tegangan

x = regangan

Menurut Nawy (1990), nilai modulus elastisitas beton didapat dari kemiringan suatu garis lurus (linier) yang menghubungkan titik pusat dengan suatu harga tegangan (sekitar 40% f'_c)

- Menghitung Tegangan S_2

$$\begin{aligned} S_2 &= 0,4 \cdot f'_c \\ &= 0,4 \cdot 29,4826 \\ &= 11,79303 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Substitusi S_2 ke Persamaan Regresi untuk mendapatkan ε_2

$$\begin{aligned} S_2 &= -7E+06x^2 + 26651x + 1,7843 \\ 11,79303 &= -7E+06x^2 + 26651x + 1,7843 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus kuadrat, diperoleh nilai $x = 0,00005$

Sehingga:

$$\varepsilon_2 = 0,000422$$

$$\varepsilon_1 = 0,00005$$

$$S_2 = 11,79303 \text{ Mpa}$$

S_1 pada $\varepsilon = 0,00005$ dihitung dengan persamaan regresi:

$$\begin{aligned} S_1 &= -7E+06(0,00005)^2 + 26651(0,00005) + 1,7843 \\ &= 3,09935 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Menghitung Modulus Elastisitas (E_c)

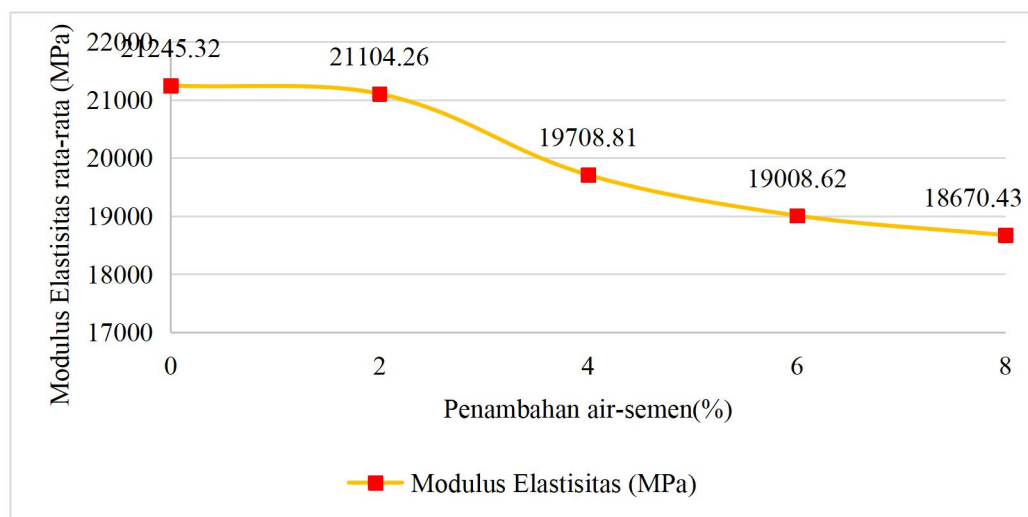
$$\begin{aligned} E_c &= \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} = \frac{11,79303 - 3,09935}{0,000422 - 0,00005} \\ &= 23344,1 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Hasil selanjutnya akan disajikan dalam Tabel 4.26 dimana mencantumkan nilai modulus elastisitas perhitungan untuk setiap variasi.

Tabel 4.26 Data Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Variasi Benda Uji	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Riil (Mpa)	Kuat Tekan Riil Rata-rata (Mpa)	Ec Empiris ($4700 \cdot \sqrt{f_c}$) (Mpa)	Ec Empiris Rata-rata (Mpa)	Ec Perhitungan (Mpa)	Ec Perhitungan Rata-rata (Mpa)
0%	J1.4	29,48	27,20	25519,991	24499,72	23344,100	21245,32
	J1.5	25,24		23611,800		18739,754	
	J1.6	26,88		24367,359		21652,121	
2%	J2.3	28,01	26,86	24875,067	24349,00	22908,420	21104,26
	J2.5	24,73		23372,350		18982,314	
	J2.6	27,84		24799,573		21422,049	
4%	J3.4	27,50	25,94	24647,893	23929,95	21186,870	19708,81
	J3.5	24,67		23345,593		18657,161	
	J3.6	25,63		23796,373		19282,406	
6%	J4.4	23,14	22,75	22611,184	22388,75	19120,753	19008,62
	J4.5	19,81		20916,821		17749,145	
	J4.6	25,30		23638,255		20155,950	
8%	J5.4	19,58	22,33	20796,953	22188,52	17284,635	18670,43
	J5.5	24,28		23157,427		19283,215	
	J5.6	23,14		22611,184		19443,451	

(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 4.31 Grafik Hubungan penambahan air-semen dengan Modulus Elastisitas

((Sumber: Hasil Penelitian))

Hasil pengujian modulus elastisitas kemudian diplot ke dalam grafik untuk dibuatkan garis nonlinear pada grafik tersebut. Terjadi penurunan nilai modulus elastisitas pada penambahan air-semen 2% - 8%, hal ini terjadi karena kelebihan air dalam campuran beton dapat menyebabkan menurunnya kepadatan pasta semen dan terbentuknya pori-pori yang lebih banyak setelah proses pengerasan. Pori-pori ini membuat beton menjadi lebih lemah dan kurang kaku, sehingga modulus elastisitasnya turun.



Gambar 4.32 Pembacaan *Dial Gauge*
Silinder J2.5

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)



Gambar 4.33 Pembacaan *Dial Gauge*
Silinder J5.4

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

Gambar 4.32 menunjukkan pembacaan *dial gauge* pada pengujian silinder beton J2.5 untuk mengetahui deformasi aksial akibat beban tekan. Pengujian dilakukan menggunakan mesin tekan dengan sistem pengukuran manual. *Dial gauge* dipasang simetris pada rangka penjepit di bagian atas dan bawah benda uji untuk mengukur perubahan panjang (ΔL) selama pembebanan. Nilai ini digunakan untuk menghitung regangan (ϵ) dan selanjutnya modulus elastisitas

beton (Ec). *Posisi dial gauge* yang tegak lurus terhadap permukaan benda uji memastikan pembacaan akurat hingga beban maksimum.

3. Pengujian Porositas

Dalam penelitian ini, digunakan metode ASTM C642 yang menghitung jumlah air yang terserap oleh beton dalam kondisi jenuh.

Rumus menghitung angka porositas berdasarkan ASTM C642-97

$$\text{Porositas} = \frac{M_2 - M_1}{M_2 - M_3} \times 100\%$$

Dengan:

M1 : Berat sampel kering (gram)

M2 : Berat jenuh permukaan kering (SSD) (gram)

M3 : Berat sampel dalam air (gram)

Contoh Perhitungan Porositas pada Sampel Variasi 0% :

$$\begin{aligned}\text{Porositas(J1.1)} &= \frac{12790 - 12780}{12790 - 7457,6} \times 100\% \\ &= 0,1875 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Porositas(J1.2)} &= \frac{12980 - 12970}{12980 - 7474,} \times 100\% \\ &= 0,1816 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Porositas(J1.3)} &= \frac{12940 - 12930}{12940 - 7463,2} \times 100\% \\ &= 0,1826 \%\end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat di Tabel 4.27.

Tabel 4.27Data Hasil Pengujian Porositas Beton

Variasi penambahan air semen (%)	Kode	Tanggal Buat	Tanggal Tes	Umur (hari)	M1	M2	M3	Porositas (%)
					(gr)	(gr)	(gr)	
0	J1.1	09/01/2025	03/02/2025	25	12780	12790	7457,6	0,187533
	J1.2	09/01/2025	03/02/2025	25	12970	12980	7474,1	0,1816
	J1.3	09/01/2025	03/02/2025	25	12930	12940	7463,2	0,1826
2	J2.1	10/01/2025	03/02/2025	24	12880	12890	7621	0,1898
	J2.2	10/01/2025	03/02/2025	24	12990	13000	7379	0,1779
	J2.3	10/01/2025	03/02/2025	24	12800	12810	7615,4	0,1925
4	J3.1	10/01/2025	03/02/2025	24	12620	12630	7602,7	0,1989
	J3.2	10/01/2025	03/02/2025	24	12960	12970	7468,4	0,1818
	J3.3	10/01/2025	03/02/2025	24	12740	12750	7514	0,1910
6	J4.1	12/01/2025	03/02/2025	22	12570	12580	7435	0,1944
	J4.2	12/01/2025	03/02/2025	22	12790	12800	7509,2	0,1890
	J4.3	12/01/2025	03/02/2025	22	12730	12740	7450	0,1890
8	J5.1	12/01/2025	03/02/2025	22	12530	12540	7591,6	0,2021
	J5.2	12/01/2025	03/02/2025	22	12910	12920	7654,7	0,1899
	J5.3	12/01/2025	03/02/2025	22	12780	12790	7321	0,1828

(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 4.34 Penimbangan sampel J5.1 saat kondisi kering



Gambar 4.35 Penimbangan sampel J5.1 saat kondisi jenuh

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

- Gambar 4.11 memperlihatkan proses penimbangan sampel beton dengan kode J5.1 dalam kondisi kering menggunakan timbangan digital. Terlihat bahwa massa yang ditunjukkan pada layar adalah 1278 gram, yang merupakan berat kering dari sampel tersebut setelah melalui proses pengeringan sesuai prosedur pengujian porositas, yang mana dicatat sebagai massa kering (M1).
- Gambar 4.12 memperlihatkan proses penimbangan sampel beton dengan kode J5.1 dalam kondisi jenuh menggunakan timbangan digital. Terlihat bahwa massa yang ditunjukkan pada layar adalah 1278 gram, yang merupakan berat jenuh dari sampel tersebut setelah melalui proses perendaman sesuai prosedur pengujian porositas, yang mana dicatat sebagai massa jenuh (M2).



Gambar 4.36 Penimbangan sampel J5.1 di dalam air
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

- Gambar 4.13 memperlihatkan proses penimbangan sampel beton dengan kode J5.1 di dalam air menggunakan timbangan digital. Terlihat bahwa massa yang ditunjukkan pada layar adalah 7457,6 gram, yang merupakan berat sampel di dalam air setelah melalui proses perendaman sesuai prosedur pengujian porositas, yang mana dicatat sebagai berat sampel dalam air (M3).

4.5 Pengolahan Data

4.5.1 Pengujian Interval Kepercayaan

Data hasil pengujian kuat tekan beton, modulus elastisitas, dan porositas yang telah diperoleh dianalisis menggunakan uji interval kepercayaan untuk memastikan validitasnya (Walpole, R.E., 1988). Pada pengujian ini, digunakan interval kepercayaan 95%, yang berarti tingkat kesalahan yang diizinkan hanya 5%, sementara 95% sisanya merupakan data yang dapat dipercaya. Data yang tidak memenuhi kriteria tersebut akan dieliminasi, sehingga hanya data valid yang digunakan dalam analisis statistik lebih lanjut.

1. Interval Kepercayaan Kuat Tekan Beton

Tabel 4.28 Nilai Kuat Tekan Beton Variasi 0%

No	Kuat Tekan (Mpa)
1	30,11
2	25,78
3	27,46
$\bar{x}$	27,78

Sumber: Data Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 4.28** Diidentifikasi nilai berikut:

$$\bar{x} = 27,78 \text{ MPa}$$

$$S = \sqrt{\frac{((30,11-27,78)^2+(25,78-27,78)^2+(27,46-27,78)^2)}{3-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{9,558}{2}}$$

$$= 2,19$$

$$\alpha = 0,05$$

$$dk = n-1$$

$$= 3-1$$

$$= 2$$

$$t_{(n-1; \frac{\alpha}{2})} = t_{(2; 0,025)}$$

$$= 4,303$$

Dimana:

$\bar{x}$ = Nilai rata-rata

S = Standar Deviasi

$t_{(2; 0,025)}$ = nilai t yang didapat dari tabel distribusi t

n = banyaknya data

dk = derajat kebebasan

Maka interval kepercayaan yang didapat adalah

$$\bar{x} - t_{(n-1; \frac{\alpha}{2})} x \frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{(n-1; \frac{\alpha}{2})} x \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{x} - t_{(2; 0,025)} x \frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{(2; 0,025)} x \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$27,78 - 4,303 x \frac{2,19}{\sqrt{3}} < \mu < 27,78 + 4,303 x \frac{2,19}{\sqrt{3}}$$

$$22,35 < \mu < 33,21$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan hasil tidak adanya data yang tidak memenuhi persyaratan yang ditemukan dalam rentang interval kepercayaan untuk diuji kuat tekan beton kondisi normal (0%).

Selanjutnya dilakukan langkah yang sama untuk mendapatkan interval kepercayaan kuat tekan beton dengan variasi 2%, 4%, 6%, 8% yang diuraikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.29 Interval Kepercayaan Kuat Tekan Beton

Variasi Penambahan Air-Semen (%)	$\bar{x}$	S	α	dk	$t_{(2;0,025)}$	Interval Kepercayaan
0	27,78	2,19	0,050	2	4,303	22,35 < μ < 33,21
2	27,66	1,90	0,050	2	4,303	22,93 < μ < 32,39
4	26,71	1,48	0,050	2	4,303	23,03 < μ < 30,39
6	23,77	2,89	0,050	2	4,303	16,59 < μ < 30,95
8	23,34	2,56	0,050	2	4,303	16,97 < μ < 29,70

(Sumber: Hasil Penelitian)

Dari data tabel interval kepercayaan selanjutnya dilakukan penyortiran terhadap data-data yang tidak diterima maupun tidak diterima dan ditentukan oleh range interval kepercayaan. Berikut adalah tabel data yang telah disortir:

Tabel 4.30 Data Pengujian Kuat Tekan Beton setelah Uji Interval Kepercayaan

Variasi Penambahan Air-Semen (%)	Kode	Tekan Hancur (Mpa)	Interval	Keterangan
0	J1.4	30,11	22,35 > μ < 33,21	Memenuhi
	J1.5	25,78		Memenuhi
	J1.6	27,46		Memenuhi
2	J2.3	28,85	22,93 > μ < 32,39	Memenuhi
	J2.5	25,47		Memenuhi
	J2.6	28,67		Memenuhi
4	J3.4	28,32	23,03 > μ < 30,39	Memenuhi
	J3.5	25,41		Memenuhi
	J3.6	26,40		Memenuhi
6	J4.4	24,18	16,59 > μ < 30,95	Memenuhi
	J4.5	20,70		Memenuhi
	J.46	26,43		Memenuhi
8	J5.4	20,46	16,97 > μ < 29,70	Memenuhi
	J5.5	25,37		Memenuhi
	J5.6	24,18		Memenuhi

(Sumber: Hasil Penelitian)

Berdasarkan analisa data yang didapat dari pengujian interval kepercayaan, tidak ditemukan adanya perubahan dan perbedaan nilai kuat tekan setelah dilakukan penyortiran kevalidan data.

2. Interval Kepercayaan Modulus Elastisitas Beton

Tabel 4.31 Nilai Modulus Elastisitas Beton Variasi 0%

No	Modulus Elastisitas
1	23344,10
2	18739,75
3	21652,12
$\bar{x}$	21245,32

Sumber: Data Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.30 Diidentifikasi nilai berikut:

$$\bar{x} = 21245,32 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{\frac{(23344,10-21245,32)^2 + (18739,75-21245,32)^2 + (21652,12-21245,32)^2}{3-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{10848223,8}{2}} \\
 &= 2328,97
 \end{aligned}$$

$$\alpha = 0,05$$

$$dk = n-1$$

$$= 3-1$$

$$= 2$$

$$t_{0,975} = 4,303$$

Dimana:

$\bar{x}$ = Nilai rata-rata

S = Standar Deviasi

$t_{(2;0,025)}$ = nilai t yang didapat dari tabel distribusi t

n = banyaknya data

dk = derajat kebebasan

Maka interval kepercayaan yang didapat adalah

$$\bar{x} - t_{(n-1; \frac{\alpha}{2})} x \frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{(n-1; \frac{\alpha}{2})} x \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{x} - t_{(2; 0,025)} x \frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{(2; 0,025)} x \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$21245,3 - 4,303 x \frac{2328,97}{\sqrt{3}} < \mu < 21245,3 + 4,303 x \frac{2328,97}{\sqrt{3}}$$

$$15459,4 < \mu < 27031,3$$

Tabel 4.32 Interval Kepercayaan Modulus Elastisitas Beton

Variasi Penambahan Air-Semen (%)	$\bar{x}$	S	α	dk	$t_{(2; 0,025)}$	Interval Kepercayaan
0	15459,37	2329,0	0,050	2	4,303	15459,37 < μ < 27031,28
2	16179,68	1317,7	0,050	2	4,303	16179,68 < μ < 26028,84
4	16179,68	1982,25	0,050	2	4,303	16435,30 < μ < 22982,32
6	16179,68	1207,31	0,050	2	4,303	16009,24 < μ < 22007,99
8	16435,30	1202,8	0,050	2	4,303	15682,25 < μ < 21658,62

(Sumber: Data Perhitungan)

Dari data tabel interval kepercayaan selanjutnya dilakukan penyortiran terhadap data-data yang tidak diterima maupun tidak diterima dan ditentukan oleh range interval kepercayaan. Berikut adalah tabel data yang telah disortir.

Tabel 4.33 Tabel Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas setelah Uji Interval Kepercayaan(Mpa)

Variasi Penambahan Air-Semen (%)	Kode	Modulus Elastisitas	Interval Kepercayaan	Keterangan	Ec Rata-rata (Mpa)
0	J1.4	23344,09957	15459,4 < μ < 27031,3	Memenuhi	21245,32484
	J1.5	18739,75398		Memenuhi	
	J1.6	21652,12098		Memenuhi	
2	J2.3	22908,41956	16180 < μ < 26029	Memenuhi	21104,26096
	J2.5	18982,31386		Memenuhi	
	J2.6	21422,04946		Memenuhi	
4	J3.4	21186,87046	16435 < μ < 22982	Memenuhi	19708,81263
	J3.5	18657,16113		Memenuhi	
	J3.6	19282,40631		Memenuhi	
6	J4.4	19120,75252	16009,2 < μ < 22008,0	Memenuhi	19008,61584
	J4.5	17749,14481		Memenuhi	
	J.46	20155,95019		Memenuhi	
8	J5.4	17284,63518	15682,3 < μ < 21658,6	Memenuhi	18670,43379
	J5.5	19283,21469		Memenuhi	
	J5.6	19443,45148		Memenuhi	

(Sumber: Data Perhitungan)

Berdasarkan analisa data yang didapat dari pengujian interval kepercayaan, tidak ditemukan adanya perubahan dan perbedaan nilai modulus elastisitas setelah dilakukan penyortiran kevalidan data.

3. Interval Kepercayaan Porositas

Tabel 4.34 Nilai Porositas Beton Variasi 0%

No	Porositas
1	0,1875
2	0,1816
3	0,1826
$\bar{x}$	0,1839

Sumber: Data Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.34 Diidentifikasi nilai berikut:

$$\bar{x} = 0,1839$$

$$S = \sqrt{\frac{((0,1875-0,1839)^2)+(0,1816-0,1839)^2+(0,1826-0,1839)^2}{3-1}}$$

$$= 0,0032$$

$$\alpha = 0,05$$

$$dk = n-1$$

$$= 3-1$$

$$= 2$$

$$t_{0.975} = 4,303$$

Dimana:

$\bar{x}$ = Nilai rata-rata

S = Standar Deviasi

$t_{(2;0,025)}$ = nilai t yang didapat dari tabel distribusi t

n = banyaknya data

dk = derajat kebebasan

Maka interval kepercayaan yang didapat adalah

$$\bar{x} - t_{(n-1;\frac{\alpha}{2})} x \frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{(n-1;\frac{\alpha}{2})} x \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{x} - t_{(2;0,025)} x \frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{(2;0,025)} x \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$0,1839 - 4,303 x \frac{0,0032}{\sqrt{3}} < \mu < 0,1839 + 4,303 x \frac{0,0032}{\sqrt{3}}$$

$$0,176 < \mu < 0,1918$$

Tabel 4.35 Interval Kepercayaan Porositas Beton

Variasi Penambahan Air semen (%)	$\bar{x}$	S	α	dk	$t_{(2;0,025)}$	Interval Kepercayaan
0	0,1839	0,0032	0,050	2	4,303	0,17604 < μ < 0,19179
2	0,1867	0,0078	0,050	2	4,303	0,16744 < μ < 0,20603
4	0,1906	0,0086	0,050	2	4,303	0,16923 < μ < 0,21188
6	0,1916	0,0031	0,050	2	4,303	0,18314 < μ < 0,19846
8	0,1916	0,0097	0,050	2	4,303	0,16745 < μ < 0,21579

(Sumber: Hasil Penelitian)

Tabel 4.36 Data Pengujian Porositas setelah Uji Interval Kepercayaan

Variasi	Kode	Porositas (%)	Interval Kepercayaan	Keterangan	Porositas Rata-rata (%)
0%	J1.1	0,1875	0,176 < μ < 0,1918	Memenuhi	0,1839
	J1.2	0,1816		Memenuhi	
	J1.3	0,1826		Memenuhi	
2%	J1.4	0,1898	0,1674 < μ < 0,206	Memenuhi	0,1867
	J1.5	0,1779		Memenuhi	
	J1.6	0,1925		Memenuhi	
4%	J1.7	0,1989	0,1692 < μ < 0,2119	Memenuhi	0,1906
	J1.8	0,1818		Memenuhi	
	J1.9	0,1910		Memenuhi	
6%	J1.10	0,1944	0,1831 < μ < 0,1985	Memenuhi	0,1908
	J1.11	0,1890		Memenuhi	
	J1.12	0,1890		Memenuhi	
8%	J1.13	0,2021	0,1674 < μ < 0,2158	Memenuhi	0,1916
	J1.14	0,1899		Memenuhi	
	J1.15	0,1828		Memenuhi	

(Sumber: Hasil Penelitian)

Tabel 4.37 Tabel Uji t

dk	α untuk Uji Satu Pihak (<i>one tail test</i>)					
	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005
	α untuk Uji Dua Pihak (<i>two tail test</i>)					
	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	0,692	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	0,691	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	0,690	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	0,689	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	0,688	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	0,687	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
25	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
28	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
30	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
40	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704
60	0,679	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
120	0,677	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617
∞	0,674	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

4.5.2 Analisa Regresi

Setelah melakukan pengujian interval kepercayaan untuk memilah data kuat tekan, modulus elastisitas, dan porositas beton, dilanjutkan ke penelitian terhadap hubungan antara parameter dan penambahan variasi air semen dalam campuran beton normal. Analisa dilakukan menggunakan metode analisa regresi linier. Persamaannya adalah $\hat{Y} = a + bX$

Dengan:

Y : variabel terikat (kuat tekan, modulus elastisitas, porositas)

X : variabel bebas (persentase variasi penambahan air semen)

a = konstanta (intersep)

b = koefisien regresi

Berikut ini contoh perhitungan Analisa regresi yang dilakukan pada kuat tekan, beton. Nilai X yang digunakan dalam penelitian ini adalah tingkat variasi penambahan air semen dan Y adalah kuat tekan beton.

1. Kuat Tekan Beton

Tabel 4.38 Perhitungan Analisa Regresi Kuat Tekan Beton

Variasi Penambahan Air Semen (%)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
0	27,78
2	27,66
4	26,71
6	23,77
8	23,34

Sumber: Hasil Analisa Penelitian

Tabel 4.39 Data Regresi Kuat Tekan Beton

No	X	Y	X ²	XY
1	0	27,78	0	0
2	2	27,66	4	55,32571922
3	4	26,71	16	106,84391
4	6	23,77	36	142,6241055
5	8	23,34	64	186,6964521
Σ	20	129,265	120	491,4901868

Sumber: Data Perhitungan

Tabel 4.39 menyajikan data regresi yang menggambarkan hubungan antara persentase penambahan air semen (X) dengan kuat tekan beton (Y). Nilai X² dan XY dihitung untuk keperluan analisis regresi linier, dengan perhitungan sebagai berikut:

Dari data tersebut, dihitung kemiringan garis (*slope*) sebagai berikut:

$$n = 5$$

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{5(491,4901868) - (20)(129,27)}{5(120) - (20)^2}$$

$$b = -0,6393$$

Selanjutnya dihitung intersep (a)

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n}$$

$$a = \frac{129,27 - (-0,6393) \times (20)}{5}$$

$$a = 28,41$$

Sehingga didapat persamaan regresi sebagai berikut:

$$\hat{Y} = -0,63297 x + 28,410$$

Selanjutnya dilakukan analisis koefisien determinasi (R^2) dengan persamaan sebagai berikut:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{y})^2}$$

Dengan:

$\hat{Y}_i$ = nilai prediksi

$\bar{y}$ = 25,853 MPa

Tabel 4.40 Perhitungan Koefisien Determinasi Kuat Tekan Beton

No	X	Y	$\hat{Y}$	$(Y - \hat{Y})^2$	$(Y - \bar{y})^2$
1	0	27,7836	28,41	0,392475594	3,727150938
2	2	27,6629	27,13	0,282267454	3,275446174
3	4	26,711	25,85	0,736056357	0,736056357
4	6	23,7707	24,57	0,646134775	4,336206432
5	8	23,3371	23,3	0,001687407	6,330174081
Σ	20	129,265	129,3	2,058621588	18,40503398

Sumber: Data Perhitungan

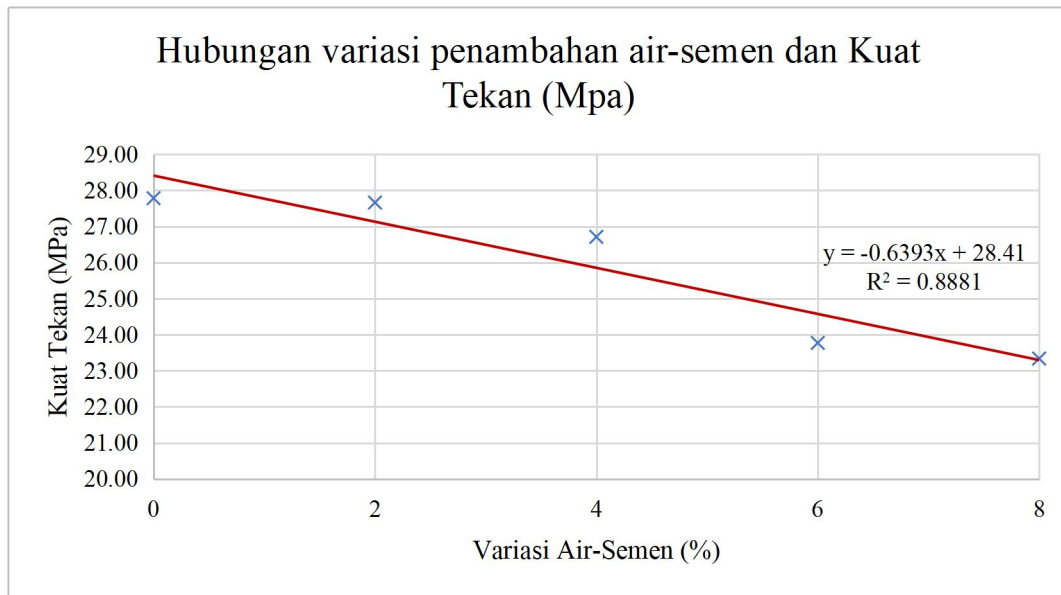
Berdasarkan data perhitungan pada Tabel 4.40 selanjutnya substitusi dalam rumus koefisien determinasi sebagai berikut:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{y})^2}$$

$$R^2 = 1 - \frac{2,058621588}{18,40503398}$$

$$R^2 = 0,8881$$

Kemudian data uji diplotkan ke dalam bentuk grafik regresi linier yang menunjukkan korelasi antara penambahan air semen dan kuat tekan beton, sebagai berikut:



Gambar 4.37 Grafik Hasil Analisa Regresi Hubungan Penambahan Air Semen dan Kuat Tekan Beton

(Sumber: Data Perhitungan)

Berdasarkan hasil analisa regresi, maka hubungan penambahan air-semen pada campuran beton terhadap kuat tekan beton menghasilkan persamaan **$Y = -0,6393x + 28,41$** dengan nilai koefisien determinasi (**R^2**) sebesar **0,888**. Hal ini berarti bahwa 88% kuat tekan beton dipengaruhi oleh penambahan air-semen pada campuran, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh hal lain seperti metode dan konsistensi pencampuran.

2. Modulus Elastisitas

Tabel 4.41 Perhitungan Analisa Regresi Modulus Elastisitas Beton

Variasi Air Semen	Modulus Elastisitas Rata-rata (MPa)
0%	21245,32
2%	21104,26
4%	19708,81
6%	19008,62
8%	18670,43

(Sumber: Data Perhitungan)

Tabel 4.42 Data Regresi Modulus Elastisitas

No	X	Y	X ²	XY
1	0	21245,32	0	0
2	2	21104,26	4	42208,52192
3	4	19708,81	16	78835,25053
4	6	19008,62	36	114051,695
5	8	18670,43	64	149363,4703
Σ	20	99737,4481	120	384458,9378

(Sumber: Analisis Perhitungan)

Tabel 4.42 menyajikan data regresi yang menggambarkan hubungan antara persentase penambahan air semen (X) dengan modulus elastisitas (Y). Nilai X² dan XY dihitung untuk keperluan analisis regresi linier, dengan perhitungan sebagai berikut:

Dari data tersebut, dihitung kemiringan garis (*slope*) sebagai berikut:

$$n = 5$$

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{5(384458,93) - (20)(99737,4481)}{5(120) - (20)^2}$$

$$b = -362,27136$$

Selanjutnya dihitung intersep (a)

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n}$$

$$a = \frac{99737,4481 - (-362,27136) \times (20)}{5}$$

$$a = 21396,5751$$

Sehingga didapat persamaan regresi sebagai berikut:

$$\hat{Y} = -362,27136 x + 21396,575$$

Selanjutnya dilakukan analisis koefisien determinasi (R^2) dengan persamaan sebagai berikut:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{y})^2}$$

Dengan:

$\hat{Y}_i$ = nilai prediksi

$\bar{y}$ = 19947,5 MPa

Tabel 4.43 Perhitungan Koefisien Determinasi Kuat Tekan Beton

No	X	Y	$\hat{Y}$	$(Y - \hat{Y})^2$	$(Y - \bar{y})^2$
1	0	21245,3248	21397	22876,62787	1684376,29
2	2	21104,261	20672	186821,5837	1338119,953
3	4	19708,8126	19947	56966,70044	56966,70044
4	6	19008,6158	19223	45937,79907	881483,964
5	8	18670,4338	18498	29594,19056	1630871,585
Σ	20	99737,4481	99737	342196,9017	5591818,492

Sumber: Data Perhitungan

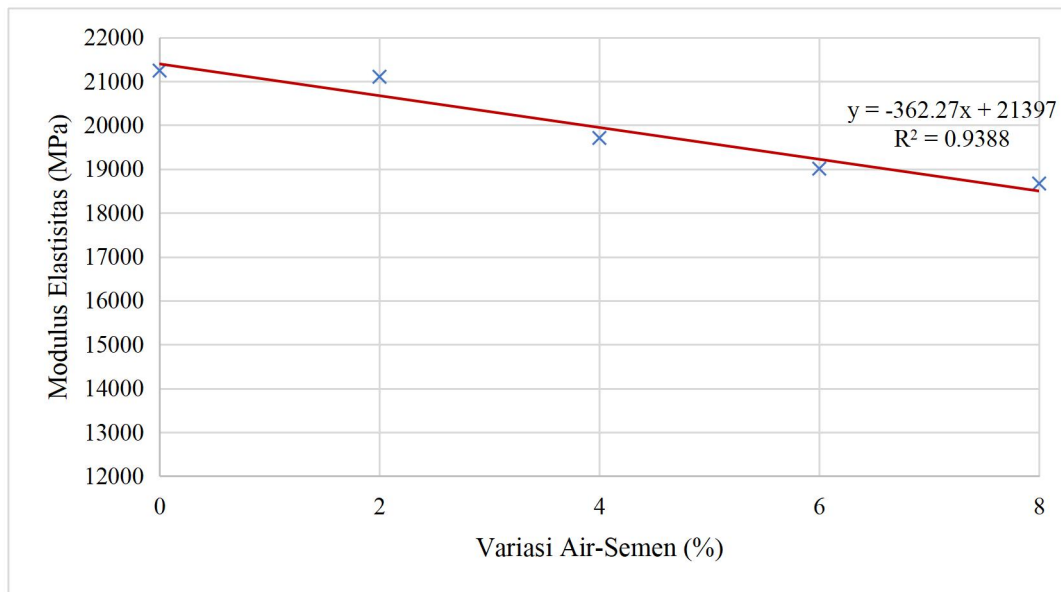
Berdasarkan data perhitungan pada Tabel 4.43 selanjutnya substitusi dalam rumus koefisien determinasi sebagai berikut:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{y})^2}$$

$$R^2 = 1 - \frac{342196,9017}{5591818,492}$$

$$R^2 = 0,938$$

Kemudian data uji diplotkan ke dalam bentuk grafik regresi linier yang menunjukkan korelasi antara pembahan air semen dan kuat tekan beton, sebagai berikut:



Gambar 4.38 Grafik Hasil Analisa Regresi pada Modulus Elastisitas Beton

(Sumber: Data Perhitungan)

Berdasarkan hasil analisa regresi, maka hubungan penambahan air-semen pada campuran beton terhadap modulus elastisitas beton menghasilkan persamaan **$Y = -362,27x + 21397$** dengan nilai koefisien determinasi (**R^2**) **sebesar 0,93**. Hal ini berarti bahwa 93% modulus elastisitas dipengaruhi oleh penambahan air-semen pada campuran, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh hal lain seperti metode dan konsistensi pencampuran.

3. Porositas

Tabel 4.44Perhitungan Analisa Regresi Porositas Beton

Variasi Air Semen	Porositas Rata-rata (%)
0%	0,1839
2%	0,1867
4%	0,1906
6%	0,1908
8%	0,1916

(Sumber: Data Perhitungan)

Tabel 4.45Data Regresi Porositas Beton

No	X	Y	X ²	XY
1	0	0,1867	0	0
2	2	0,1839	4	0,3678
3	4	0,1906	16	0,7624
4	6	0,1908	36	1,1448
5	8	0,1916	64	1,5328
Σ	20	0,9436	120	3,8078

(Sumber: Analisis Perhitungan)

Tabel 4.46 menyajikan data regresi yang menggambarkan hubungan antara persentase penambahan air semen (X) dengan porositas beton (Y). Nilai X² dan XY dihitung untuk keperluan analisis regresi linier, dengan perhitungan sebagai berikut:

Dari data tersebut, dihitung kemiringan garis (*slope*) sebagai berikut:

$$n = 5$$

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{5(3,8078) - (20)(0,9436)}{5(120) - (20)^2}$$

$$b = 0,00083$$

Selanjutnya dihitung intersep (a)

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n}$$

$$a = \frac{0,9436 - (0,00083) \times (20)}{5}$$

$$a = 0,18538$$

Sehingga didapat persamaan regresi sebagai berikut:

$$\hat{Y} = 0,00083 x + 0,18538$$

Selanjutnya dilakukan analisis koefisien determinasi (R^2) dengan persamaan sebagai berikut:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{y})^2}$$

Dengan:

$\hat{Y}_i$ = nilai prediksi

$\bar{y}$ = 0,189 MPa

Tabel 4.46 Perhitungan Koefisien Determinasi Kuat Tekan Beton

No	X	Y	$\hat{Y}$	$(Y - \hat{Y})^2$	$(Y - \bar{y})^2$
1	0	0,1867	0,185	000,00000174	000,000004
2	2	0,1839	0,187	000,00000992	000,000023
3	4	0,1906	0,189	000,00000353	000,000004
4	6	0,1908	0,19	000,00000017	000,000004
5	8	0,1916	0,192	000,00000021	000,000008
Σ	20	0,9436	0,944	000,00001558	000,000043

Sumber: Data Perhitungan

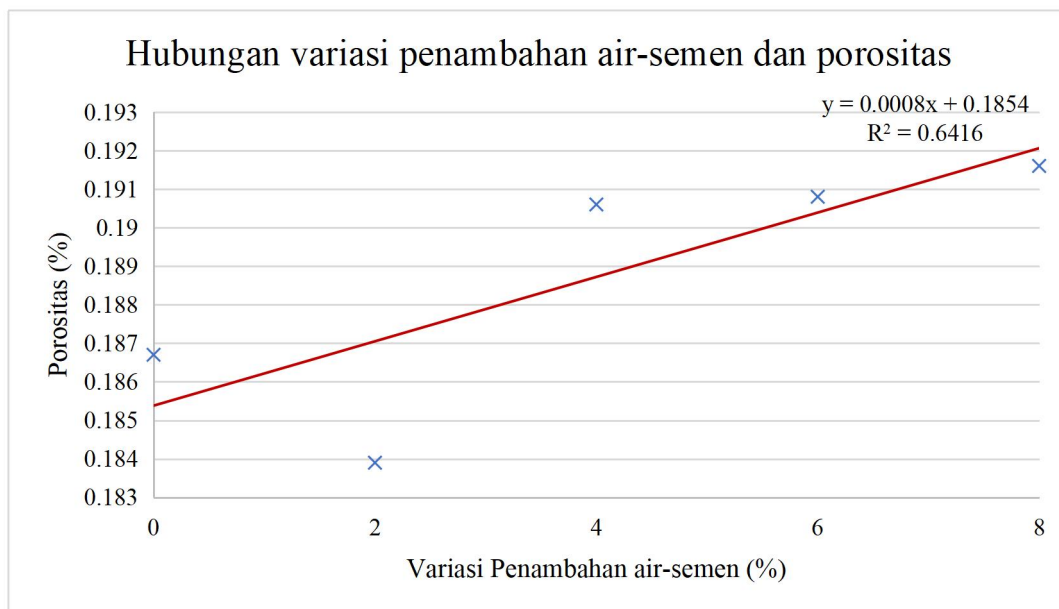
Berdasarkan data perhitungan pada Tabel 4.47 selanjutnya substitusi dalam rumus koefisien determinasi sebagai berikut:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{y})^2}$$

$$R^2 = 1 - \frac{0,0000001558}{0,00000043}$$

$$R^2 = 0,6416$$

Kemudian data uji diplotkan ke dalam bentuk grafik regresi linier yang menunjukkan korelasi antara penambahan air semen dan porositas, sebagai berikut:



Gambar 4.39 Grafik Hasil Analisa Regresi pada Porositas Beton

(Sumber: Data Perhitungan)

Berdasarkan hasil analisa regresi, maka hubungan penambahan air-semen pada campuran beton terhadap Porositas menghasilkan persamaan **$Y = 0,0008x + 0,1854$** dengan nilai koefisien determinasi (**R^2**) sebesar **0,641**. Hal ini berarti bahwa 64% Porositas dipengaruhi oleh penambahan air-semen pada campuran, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh hal lain seperti metode dan konsistensi pencampuran, proses pemadatan dan *curing* di lapangan.

Untuk memberikan gambaran besar atau kecil derajat hubungan, maka dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.47 Pedoman untuk Penjelasan Koefisien Korelasi

Interval Koefisien Korelasi	Tingkat Hubungan
0,00-0,199	Sangat rendah/lemah`
0,20-0,399	Lemah
0,40-0,599	Sedang
0,60-0,799	Kuat
0,80-1,000	Sangat Kuat

4.5.3 Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis bertujuan untuk mengukur tingkat signifikansi dampak penambahan air-semen terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan porositas beton menggunakan analisis statistik. Dalam penelitian ini, pengujian hipotesis dilakukan dengan metode analisis statistik uji t (distribution student). Jika hasil yang diperoleh berbeda jauh dari ekspektasi, maka hipotesis ditolak. Sebaliknya, jika hasilnya sesuai dengan kriteria yang diharapkan, maka hipotesis diterima. Uji t ini bertujuan untuk menentukan apakah terdapat pengaruh yang signifikan antara variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y).

Hipotesis yang diuji berkaitan dengan pengaruh penambahan air-semen terhadap kuat tekan beton, modulus elastisitas, dan porositas sebagai berikut:

H_0 : tidak terdapat pengaruh signifikan dari penambahan air-semen terhadap beton mutu $f'c$ 30 MPa

H_a : Terdapat pengaruh signifikan dari penambahan air semen terhadap beton mutu $f'c$ 30 MPa

Dalam penelitian ini digunakan variabel bebas (X) adalah persentase penambahan air semen, sedangkan variabel terikat (Y) adalah kuat tekan beton, modulus elastisitas dan porositas serta faktor air semen. Tingkat signifikansi

yang digunakan yaitu 5%.

Pengujian hipotesis yang dilakukan dengan membandingkan t_{tabel} dengan koefisien korelasi (R). Berikut contoh pengujian hipotesis:

- Pengujian Hipotesis Pengaruh Penambahan air semen terhadap nilai Kuat Tekan

Hipotesis:

- H_0 : tidak terdapat pengaruh signifikan dari penambahan air-semen terhadap beton mutu $f'c$ 30 Mpa
- H_a : terdapat pengaruh signifikan dari penambahan air-semen terhadap beton mutu $f'c$ 30 Mpa

Menentukan t_{tabel} pengujian dua arah dengan tingkat signifikansi $\alpha = 5\%$ sehingga $\alpha/2 = 0,05/2 = 0,025$, maka

$$\begin{aligned} t_{\text{tabel}} &= t_{\left(\frac{\alpha}{2}; n-2\right)} \\ &= t_{(0,025; 5-2)} \\ &= 3,1824 \end{aligned}$$

Menentukan t_{hitung}

$$\begin{aligned} t_{\text{hitung}} &= R \times \sqrt{\frac{n-2}{1-(R)^2}} \\ &= 0,9424 \times \sqrt{\frac{5-2}{1-0,9424^2}} \\ &= 4,88071 \end{aligned}$$

- Pengujian Hipotesis Pengaruh Penambahan air semen terhadap nilai Modulus Elastisitas

Hipotesis:

- H_0 : tidak terdapat pengaruh signifikan dari penambahan air-semen terhadap beton mutu $f'c$ 30 Mpa

- H_a : terdapat pengaruh signifikan dari penambahan air-semen terhadap beton mutu $f'c$ 30 Mpa

Menentukan t_{tabel} pengujian dua arah dengan tingkat signifikansi $\alpha = 5\%$ sehingga $\alpha/2 = 0,05/2 = 0,025$, maka

$$\begin{aligned} t_{tabel} &= t_{\left(\frac{\alpha}{2}; n-2\right)} \\ &= t_{(0,025; 5-2)} \\ &= 3,1824 \end{aligned}$$

Menentukan t_{hitung}

$$\begin{aligned} t_{hitung} &= R \times \sqrt{\frac{n-2}{1-(R)^2}} \\ &= 0,9689 \times \sqrt{\frac{5-2}{1-0,9689^2}} \\ &= 6,784 \end{aligned}$$

- Pengujian Hipotesis Pengaruh Penambahan air semen terhadap nilai Porositas Beton

Hipotesis:

- H_0 : tidak terdapat pengaruh signifikan dari penambahan air-semen terhadap beton mutu $f'c$ 30 Mpa
- H_a : terdapat pengaruh signifikan dari penambahan air-semen terhadap beton mutu $f'c$ 30 Mpa

Menentukan t_{tabel} pengujian dua arah dengan tingkat signifikansi $\alpha = 5\%$ sehingga $\alpha/2 = 0,05/2 = 0,025$, maka

$$\begin{aligned} t_{tabel} &= t_{\left(\frac{\alpha}{2}; n-2\right)} \\ &= t_{(0,025; 5-2)} \\ &= 3,1824 \end{aligned}$$

Menentukan t_{hitung}

$$\begin{aligned}t_{hitung} &= R \times \sqrt{\frac{n-2}{1-(R)^2}} \\&= 0,8009 \times \sqrt{\frac{5-2}{1-0,8009^2}} \\&= 2,3174\end{aligned}$$

Keterangan:

α = taraf signifikan(5%)

n = jumlah data

Penarikan Kesimpulan:

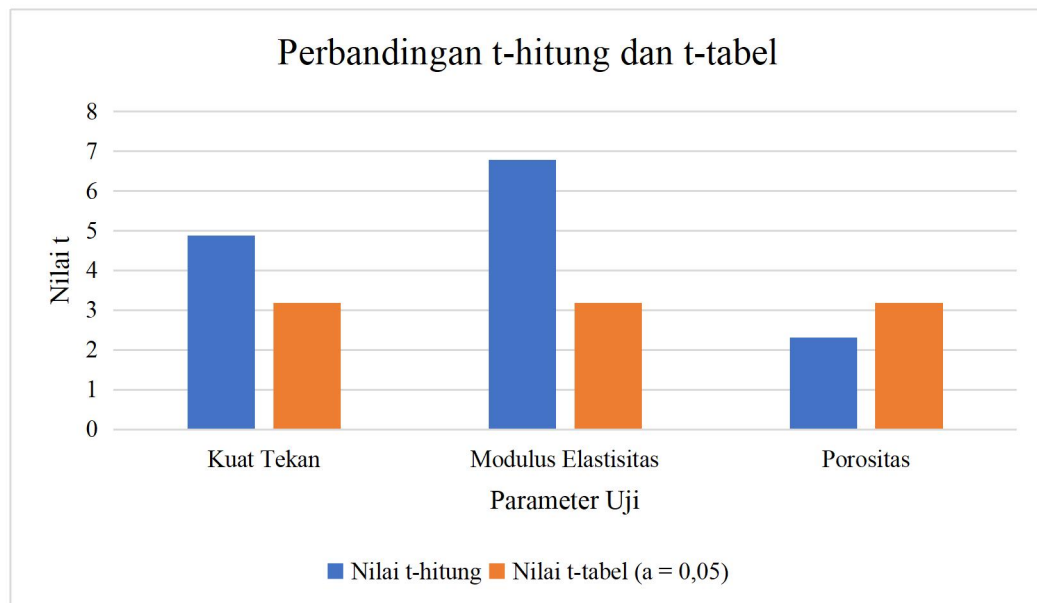
Apabila $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka hipotesis nol (H_0) ditolak

Apabila $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka hipotesis nol (H_a) diterima

- Untuk Pengujian Hipotesis Pengaruh Penambahan Air-Semen pada Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas, karena $t_{hitung} > t_{tabel}$ atau $4,8807 > 3,1824$; $6,7840 > 3,1824$; maka (H_0) ditolak dan (H_a) diterima.
- Untuk Pengujian Hipotesis Pengaruh Penambahan Air-Semen pada Porositas, karena $t_{hitung} < t_{tabel}$ atau $2,3174 < 3,1824$ maka (H_0) diterima dan (H_a) ditolak.

Jadi dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh dari penambahan air-semen pada beton *ready-mix* mutu $f'c$ 30 MPa terhadap kuat tekan beton, modulus elastisitas, dan tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari penambahan air semen terhadap porositas dengan tingkat kepercayaan 95%.

Setelah melakukan uji hipotesis untuk masing-masing pengujian, berikut grafik perbandingan antara nilai t_{hitung} dan t_{tabel} sebagai interpretasi secara visual.



Gambar 4.40 Grafik Perbandingan nilai t-hitung dan t-tabel

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Gambar 4.40 menunjukkan perbandingan antara nilai t_{hitung} dan t_{tabel} pada tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$ untuk tiga parameter uji, yaitu kuat tekan, modulus elastisitas, dan porositas beton. Pada uji kuat tekan, nilai t_{hitung} (4,8807) lebih besar dibandingkan t_{tabel} (3,1824), yang mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik pada parameter ini. Untuk modulus elastisitas, nilai t_{hitung} (6,7840) lebih besar dari nilai t_{tabel} maka terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik. Begitu juga pada uji porositas, nilai t_{hitung} (2,3174) lebih rendah dari t_{tabel} , yang mengindikasikan tidak adanya perbedaan yang signifikan secara statistik terhadap parameter ini.