

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Pembahasan Pemeriksaan Material Campuran beton

Dalam penelitian ini, agregat halus, agregat kasar dan semen akan diperiksa terlebih dahulu sebelum merancang campuran beton. Berikut merupakan hasil pemeriksaan yang telah dilakukan.

4.1.1 Hasil Pemeriksaan Berat Isi

Pengujian berat isi dilakukan pada agregat halus, agregat kasar, dan semen dengan tujuan untuk mengetahui volume rongga udara yang terdapat dalam masing-masing material tersebut.



Gambar 4.1 Pemeriksaan Berat Isi
(Sumber : *Dokumentasi Penelitian*)



Gambar 4.2 Pemeriksaan Berat Isi
(Sumber : *Dokumentasi Penelitian*)

Langkah pemeriksaan berat isi pada agregat halus, agregat kasar dan semen, pertama dimulai dengan menimbang berat wadah kosong dan dicatat. Selanjutnya, untuk kondisi lepas, material dituangkan ke dalam wadah secara perlahan tanpa pemadatan, kemudian permukaan material diratakan menggunakan alat perata. Setelah itu, wadah berisi material tersebut ditimbang dan dicatat. Berat isi lepas kemudian dihitung menggunakan rumus selisih berat dibagi volume wadah. Untuk kondisi padat, pengisian pasir dilakukan dalam tiga lapisan, dan setiap lapisan dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan. Setelah lapisan terakhir

terisi dan permukaan diratakan, wadah ditimbang, dan berat isi dihitung dengan cara yang sama.

Tabel 4.1 Berat Isi Lepas/Gembur Agregat Halus

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 rata-rata (gr/cm ³)	1,62		

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 4.2 Berat Isi Padat Agregat Halus

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 rata-rata (gr/cm ³)	1,70		

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 4.3 Berat isi Lepas/Gembur Agregat Kasar

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 rata-rata (gr/cm ³)	1,39		

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 4.4 Berat isi Padat Agregat Kasar

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 rata-rata (gr/cm ³)	1,51		

*(Sumber : Hasil Penelitian)***Tabel 4.5** Berat Isi Lepas/Gembur Semen

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 rata-rata (gr/cm ³)	1,08		

*(Sumber : Hasil Penelitian)***Tabel 4.6** Berat Isi Lepas/Gembur Semen

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 rata-rata (gr/cm ³)	1,25		

(Sumber : Hasil Penelitian)

Berat isi lepas rata-rata dari agregat halus, agregat kasar, dan semen masing-masing adalah 1,62 gr/cm³, 1,39 gr/cm³, dan 1,08 gr/cm³. Sementara itu, berat isi

padat rata-rata untuk agregat halus tercatat sebesar $1,70 \text{ gr/cm}^3$, agregat kasar $1,1 \text{ gr/cm}^3$, dan semen $1,25 \text{ gr/cm}^3$.

4.1.2 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan

Pengujian analisis saringan dilakukan dengan menggunakan saringan untuk menentukan distribusi gradasi butiran pada agregat kasar dan agregat halus.



Gambar 4.3 Analisa Saringan
(Sumber : Dokumentasi Penelitian)



Gambar 4.4 Analisa Saringan
(Sumber : Dokumentasi Penelitian)

Pengujian diawali dengan pengambilan sampel agregat. Sampel ini kemudian dikeringkan dalam oven dengan $\pm 110^\circ\text{C}$ selama beberapa jam hingga mencapai berat konstan. Setelah itu, sampel ditimbang sesuai kebutuhan, kemudian berat awal dicatat sebagai acuan. Langkah berikutnya adalah menyiapkan satu set saringan bertingkat, mulai dari ukuran saringan terbesar $12,5 \text{ mm}$ di atas hingga terkecil di bawah (biasanya sampai $0,075 \text{ mm}$), disusun sesuai urutan standar. Setelah saringan disusun, sampel agregat dituangkan pada saringan paling atas, kemudian seluruh set digoyangkan secara manual selama kurang lebih 10 menit agar material tersaring secara optimal. Setelah proses penyaringan selesai, material yang tertahan pada masing-masing saringan dikumpulkan dan ditimbang, kemudian dicatat sebagai berat fraksi tertahan pada tiap ukuran saringan. Penjumlahan seluruh berat fraksi harus mendekati berat awal sampel, sebagai bentuk pengecekan keakuratan. Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan persentase

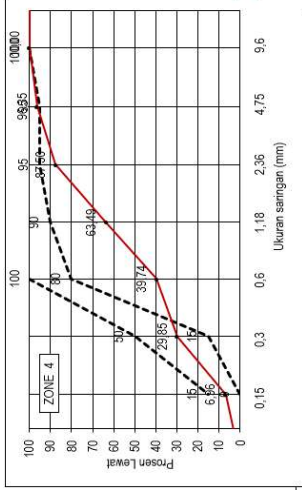
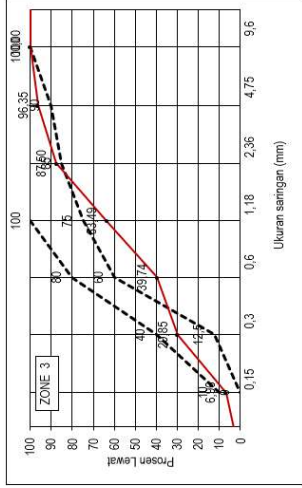
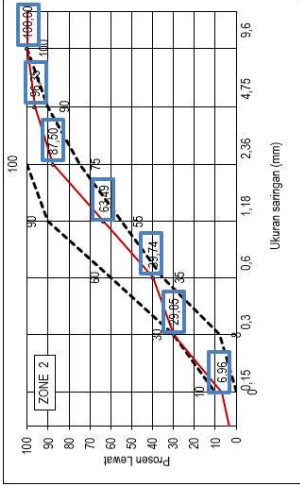
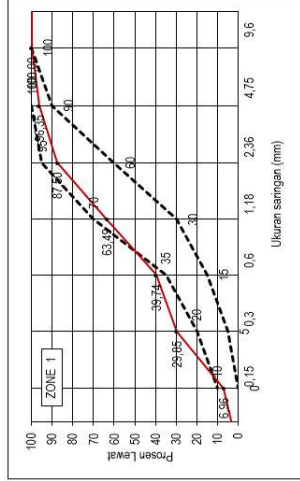
tertahan dan persentase lolos kumulatif berdasarkan data berat masing-masing fraksi.

Tabel 4.7 Data Pemeriksaan Gradasi 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 Gradasi Agregat Halus

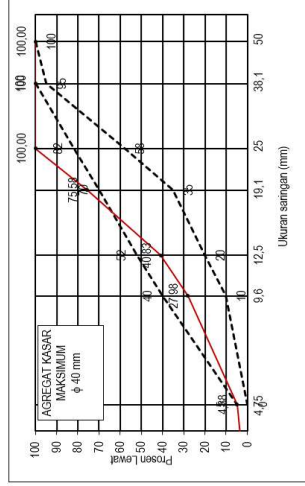
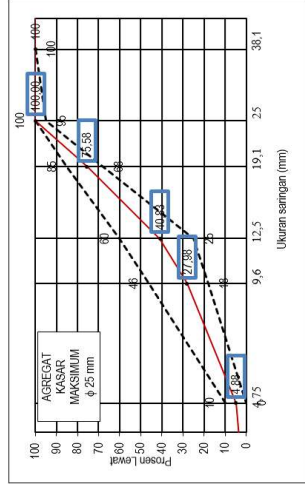
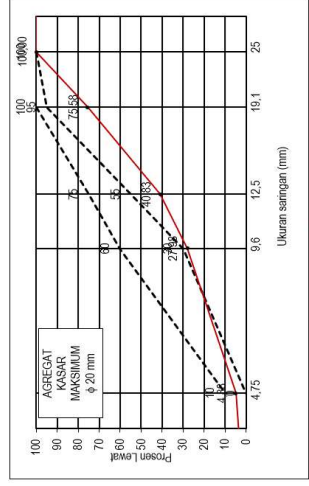
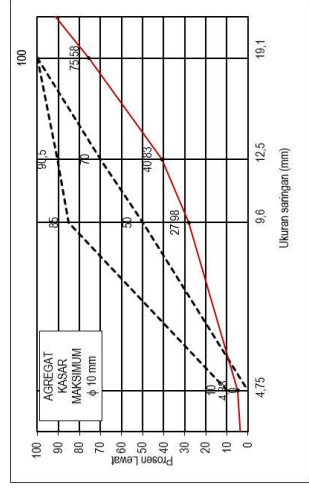
(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 4.8 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 4.6 Grafik Gradasi Agregat Kasar

(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan hasil pemeriksaan gradasi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan 4.2, agregat halus termasuk dalam zona 2, sementara agregat kasar memiliki ukuran maksimum sebesar 25 milimeter.

4.1.3 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat

Pemeriksaan kadar air pada agregat bertujuan untuk menentukan persentase kandungan air dalam agregat melalui metode pengeringan. Kadar air agregat didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat dengan berat agregat dalam kondisi kering.

Langkah pertama dalam pengujian ini adalah mengambil sampel agregat yang representatif dari tumpukan material di lapangan atau di laboratorium. Sampel kemudian ditimbang dalam kondisi basah (tanpa dikeringkan), dan beratnya dicatat sebagai berat basah (W_{basah}). Setelah itu, sampel tersebut dimasukkan ke dalam oven dan dikeringkan pada suhu sekitar $\pm 110^{\circ}\text{C}$ selama minimal 24 jam atau hingga beratnya menjadi konstan, yang berarti seluruh air di dalam butiran dan di permukaan agregat telah menguap. Setelah kering, sampel dikeluarkan dari oven, didinginkan dalam desikator atau udara terbuka, lalu ditimbang kembali untuk mendapatkan berat kering (W_{kering}).



Gambar 4.7 Proses Pemeriksaan Kadar Air Agregat

(Sumber : Dokumentasi Penelitian)

Hasil pemeriksaan kadar air pada agregat halus dan agregat kasar disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.9 Kadar Air Agregat Kasar

KETERANGAN		ASLI		SSD	
	Nomor test	A	B	I	II
A.	Berat tempat (gr)	2910	2740	133	154
B.	Berat tempat + contoh (gr)	23040	23050	3000	3019
C.	Berat tempat + contoh kering oven (gr)	22880	22880	2953	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 4.10 Kadar Air Agregat Halus

KETERANGAN		ASLI		SSD	
	Nomor test	F	C	I	II
A.	Berat tempat (gr)	2750	3040	108,2	114,7
B.	Berat tempat + contoh (gr)	10130	10160	1020	1024
C.	Berat tempat + contoh kering oven (gr)	9900	9940	1015	1018
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)

Hasil pemeriksaan kadar air pada agregat kasar dan agregat halus menunjukkan bahwa kadar air dalam kondisi asli, atau yang disebut juga sebagai kondisi lapangan, memiliki rata-rata sebesar 0,82% untuk kasar dan 3,20% untuk agregat halus.

4.1.4 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur dan Zat Organik Agregat Halus

Pemeriksaan kadar lumpur dilakukan untuk menentukan persentase kandungan lumpur dalam agregat halus, dengan batas maksimal yang diperbolehkan kurang dari 5%. Ketentuan ini merupakan standar yang harus dipenuhi dalam penggunaan

agregat halus untuk pembuatan beton. Untuk pengujian kadar lumpur, langkah pertama yang dilakukan adalah menimbang sampel agregat halus sebanyak ± 500 gram dalam kondisi kering. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam tabung gelas, lalu ditambahkan air bersih secukupnya. Setelah itu, campuran diaduk secara merata agar partikel-partikel halus (lumpur) terpisah dari butiran agregat. Selanjutnya, campuran dibiarkan mengendap selama beberapa jam (biasanya 24 jam). Setelah pengendapan, akan tampak lapisan lumpur halus di atas butiran agregat. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan tinggi lapisan lumpur terhadap tinggi total agregat di dalam tabung, lalu dinyatakan dalam persen.

Sementara itu, untuk pengujian kadar zat organik, prosedurnya sedikit berbeda. Sampel agregat halus (sekitar 300 gram) dimasukkan ke dalam tabung gelas atau silinder transparan. Kemudian, ditambahkan larutan natrium hidroksida (NaOH) 3% hingga agregat terendam seluruhnya. Campuran tersebut kemudian diaduk dan dibiarkan selama 24 jam di tempat yang teduh. Setelah waktu tersebut, warna larutan diamati.

Berikut ini adalah hasil pemeriksaan kadar lumpur pada agregat halus:

Volume agregat halus (V_1) = 498 ml

Volume lumpur (V_2) = 1 ml

Kadar lumpur = $(V_2/V_1 + V_2) \times 100\%$

= $(1/498 + 1) \times 100\%$

= 0,4%

Hasil pemeriksaan kadar lumpur pada agregat halus menunjukkan nilai sebesar 0,4%. Berdasarkan hasil tersebut, agregat halus memenuhi persyaratan sebagai material campuran dalam pembuatan beton.



Gambar 4.8 Pemeriksaan Kadar Lumpur dan Kadar Zat Organik

(Sumber : Dokumentasi Penelitian)

4.1.5 Hasil 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.

Pengujian berat jenis agregat dimulai dengan menyiapkan sampel agregat yang telah dicuci dan dikeringkan secara sebagian (kering permukaan jenuh atau SSD – *saturated surface dry*). Untuk agregat halus, biasanya digunakan keranjang kawat (*basket*) 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 tiga nilai penting, yaitu 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.

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



Gambar 4.9 Proses Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

(Sumber : Dokumentasi Penelitian)

Hasil pemeriksaan disajikan sebagai berikut:

Tabel 4.11 Berat Jenis dan Tingkat Penyerapan agregat Halus

Keterangan		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	Bk	499.77	499.75	499.76
Berat contoh kering permukaan jenuh	Bj	500.00	500.00	500.00
Berat piknometer diisi air pada 25°C	B	646.22	666.14	656.18
Berat piknometer + contoh + air (25°C)	Bt	964.46	983.61	974.04
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{(B + B_j - B_t)}$	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)	$\frac{Bk}{(B + Bk - Bt)}$	2.75	2.74	2.75
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{B_j - Bk}{Bk} \times 100\%$	0.05	0.05	0.05

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 4.12 Berat Jenis dan Tingkat Penyerapan Agregat Kasar

Keterangan		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	Bk	5949.6	6069.1	6009.35
Berat contoh kering permukaan jenuh	Bj	6026.8	6145.4	6086.1
Berat contoh di dalam air	Ba	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)	$\frac{B_j - Bk}{Bk} \times 100\%$	1.30	1.26	1.28

(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan data hasil penelitian yang disajikan dalam tabel di atas, rata-rata berat jenis curah (bulk) pada agregat halus adalah 2,74, sedangkan pada agregat kasar sebesar 2,71. Rata-rata berat jenis dalam kondisi jenuh permukaan pada agregat halus tercatat sebesar 2,75, sementara pada agregat kasar sebesar 2,75. Rata-rata berat jenis semu (apparent) pada agregat halus mencapai 2,75, sedangkan pada agregat kasar sebesar 2,81. Adapun rata-rata tingkat penyerapan (absorpsi) pada agregat halus adalah 0,05, dan pada agregat kasar sebesar 1,28.

4.1.6 Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar (Abrasi Test)

Pemeriksaan keausan agregat kasar (*Abrasi Test*) dilakukan untuk mengukur ketahanan agregat kasar dengan diameter kurang dari 37,5 mm ($1\frac{1}{2}$ ") terhadap keausan menggunakan alat Los Angeles.

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 5.000 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, sehingga 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.

Berikut ini adalah data hasil penelitian yang telah dilakukan:



Gambar 4.10 Proses Pemeriksaan Keausan Agregat
(Sumber : Dokumentasi Penelitian)

Tabel 4.13 Data Pemeriksaan keausan Agregat Kasar (Abrasi Test)

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

			I	II
a	Berat benda uji semula		5000	5000.7
b	Berat benda uji tertahan saringan No.12 (& No.4)		4201.1	4165.3
	Keausan : $\frac{a-b}{a} \times 100 \%$		15.98	16.71
				%

(Sumber : Hasil Penelitian)

Hasil pemeriksaan keausan agregat kasar yang tercantum dalam tabel di atas menunjukkan bahwa nilai keausan agregat kasar benda uji I 15,98 dan benda uji II 16,71%, yang lebih kecil dari batas keausan 50%. Dengan demikian, agregat kasar yang diuji memenuhi persyaratan untuk digunakan.

4.1.7 Hasil Pemeriksaan Konsistensi Normal dan Waktu Ikat Semen

Pemeriksaan konsistensi normal dan waktu ikat semen bertujuan untuk menentukan konsistensi normal yang digunakan dalam penentuan waktu pengikatan pasta semen. Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan alat *Vicat* dan *Gilmore* untuk memperoleh data waktu pengerasan pasta semen dalam kondisi konsistensi normal.

Langkah pertama adalah melakukan pengujian konsistensi normal, yaitu menentukan kadar air yang diperlukan untuk membentuk pasta semen yang memiliki kekentalan standar. Dalam uji ini, alat yang digunakan adalah *vicat* apparatus yang terdiri dari batang logam dengan jarum standar dan pelat pengukur. Mula-mula, sejumlah semen dicampur dengan air menggunakan takaran tertentu, biasanya dimulai dari 25% air terhadap berat 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 uji 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 resistansi 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

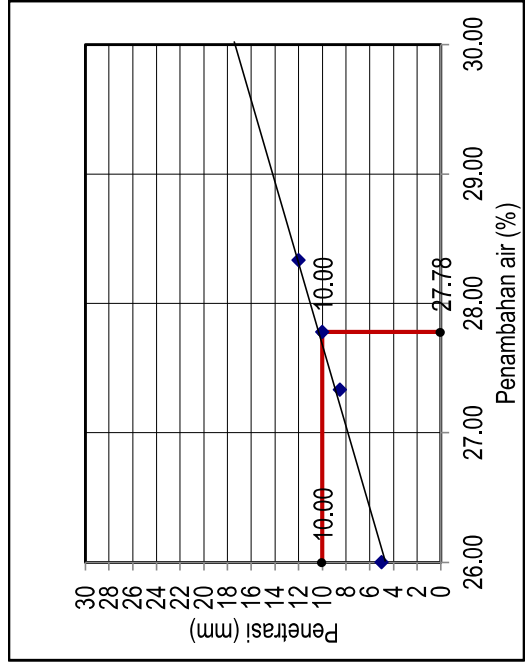
mengeras. Sedangkan waktu ikat akhir (*final setting time*) adalah saat jarum logam tidak lagi mampu menembus sama sekali ke dalam pasta, artinya pasta sudah cukup keras. Seluruh proses dilakukan pada kondisi standar suhu dan kelembaban.

Berikut ini adalah hasil pemeriksaan:

Tabel 4.14 Konsistensi Normal Pasta 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)



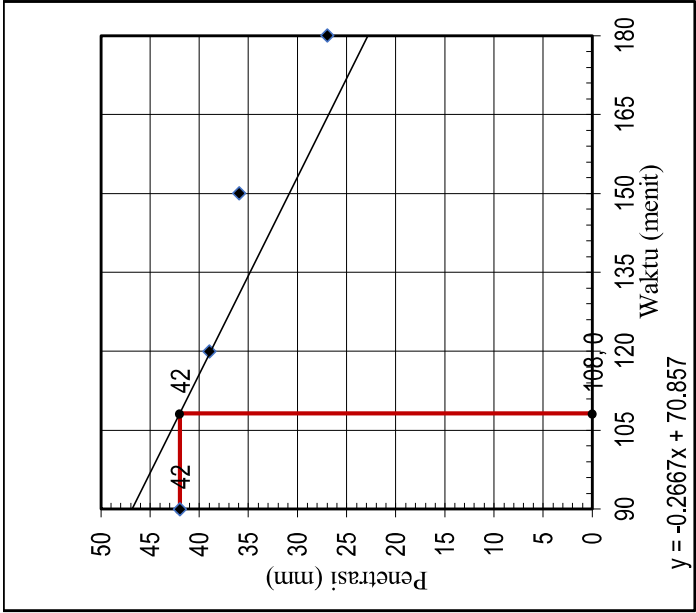
Gambar 4.11 Grafik Konsistensi Normal Pasta Semen

(Sumber : Hasil Analisa)

Tabel 4.15 Waktu Ikat Pasta Semen

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
10	360	Berbekas
11	390	Tidak Berbekas
Akhir		
390		

(Sumber : Hasil Analisa)



Gambar 4.12 Grafik Waktu Ikat Pasta semen

(Sumber : Hasil Analisa)

Berdasarkan hasil pemeriksaan yang telah dilakukan, konsistensi normal pasta semen diperoleh pada kedalaman penetrase sebesar 10 mm dengan penambahan air sebanyak 27,78% dari berat semen dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.11. Pemeriksaan waktu ikat menunjukkan bahwa waktu ikat awal pada penetrasi 42 mm diperoleh waktu ikat 108 menit, sedangkan waktu ikat akhir terjadi pada 390 menit berdasarkan tabel 4.15 dan Gambar 4.12.



Gambar 4.13 Pengujian Konsistensi Normal Semen

(Sumber : *Dokumentasi Penelitian*)



Gambar 4.14 Pengujian Waktu Ikut Semen

(Sumber : *Dokumentasi Penelitian*)

4.1.8 Pembahasan Hasil Pemeriksaan material

Berdasarkan hasil pemeriksaan material yang telah dilakukan, diperoleh data yang menunjukkan bahwa material tersebut telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk digunakan sebagai bahan penyusun beton. Rincian material tersebut disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.16 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Material

No.	Pengujian	Standar Acuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Isi Agregat Kasar (g/cm ³)	SNI 03-4804-1998	-	1,39 1,51	- -
	• Gembur • Padat				
2	Berat Isi Agregat Halus (g/cm ³)	SNI 03-4804-1998	-	1,62 1,70	- -
	• Gembur • Padat				
2	Berat Isi Semen (g/cm ³)	SNI 03-4804-1998	-	1,08 1,25	- -
	• Gembur • Padat				
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	2,70	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		0,82 1,63	- -
	• Asli • SSD				
10	Kadar Air Agregat Halus (%)	SNI 03-1971-1990	-	3,20 0,57	- -
	• Asli • SSD				
11	BJ dan Penyerapan Agregat Kasar	SNI 1970:2008		2,71 2,75 2,81 1,28	- - - -
	• Berat Jenis Bulk				
	• Berat Jenis Ssd				
	• Berat Jenis Apparent • Penyerapan (Absorpsi)				
12	BJ dan Penyerapan Agregat Halus	SNI 1969:2008	-	2,74 2,75 2,75 0,05	- - - -
	• Berat Jenis Bulk				
	• Berat Jenis Ssd				
	• Berat Jenis Apparent • Penyerapan (Absorpsi)				
13	Abrasi (<i>Los angeles</i>) %	SNI 2417 - 2008	Maks. 40	15,71	Memenuhi
14	Konsistensi dan Waktu ikat Semen	SNI 15-2049-2004	Min. 45 Maks. 375	90 390	Memenuhi
	• Waktu Ikat Awal (menit) • Waktu Ikat Akhir (menit)				

(Sumber : Dokumentasi Penelitian)

4.2 Perancangan campuran (*Mix Design*)

Metode pencampuran material (*Mix Design*) dalam penelitian ini mengacu pada SNI 03-2843-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Dalam menentukan komposisi campuran, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan agar memenuhi persyaratan sesuai dengan standar yang digunakan.

4.2.1 Perhitungan Kebutuhan Campuran Beton

a. Data Perencanaan

- $f'c$ Rencana = 24,9 Mpa
- Slump Rencana = 100 ± 20 mm
- Tipe Semen = Tipe I
- Ukuran Agregat Kasar Maksimum = 25 mm
- Jenis Agregat Kasar = Dipecah
- Zona Agregat Halus = Zona II
- B_j Agregat Kasar Kondisi SSD = 2,75
- B_J Agregat Halus Kondisi SSD = 2,75
- Volume Campuran Beton = < 1000

b. Perhitungan Kuat Tekan Rencana

Tabel 4.17 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, karena volume beton yang akan dikerjakan 30 atau lebih, maka deviasi standar yang ditetapkan untuk perencanaan campuran adalah 1 MPa.

- Target nilai kuat tekan rata-rata

$$\begin{aligned}
 f'_{cr} &= f'c + 1,64 \times S \\
 &= 24,9 + 1,64 \times 1 \\
 &= 26,54 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

f'_{cr} : Nilai kuat tekan rencana

S : Nilai deviasi standar

Berdasarkan perhitungan di atas, nilai kuat tekan rencana yang ditargetkan adalah sebesar 26,54 MPa.

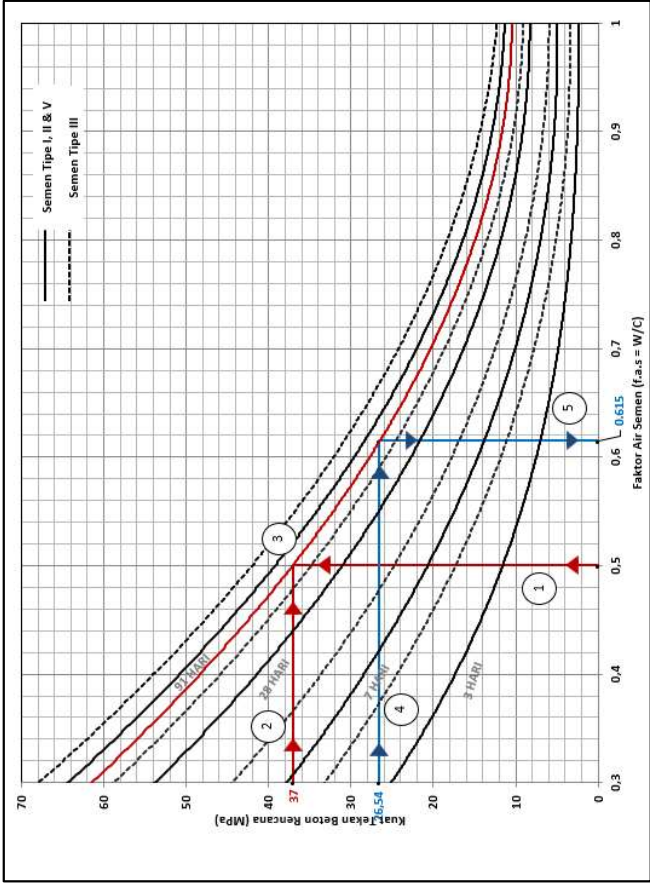
c. Perhitungan Faktor Air Semen

Tabel 4.18 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	32	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)

Kuat tekan beton dengan rasio air-semen (W/C) 0,5 pada umur rencana 28 hari sebesar 37 MPa, menggunakan agregat kasar berupa batu pecah dan semen tipe I, dapat ditentukan berdasarkan tabel di atas.



Gambar 4.15 Grafik Kurva Korelasi Antara Kuat Tekan Beton dengan (W/C)

(Sumber: SNI 03 - 2834 -2000)

Untuk menentukan nilai faktor air semen (f.a.s) yang diperlukan guna mencapai kuat tekan beton karakteristik tertentu, berdasarkan informasi dari Tabel 4.18, nilai kuat tekan beton dapat ditetapkan dengan faktor air-semen (W/C) sebesar 0,5, menggunakan agregat kasar yang telah dipecah, dengan nilai 37 MPa pada umur 28 hari, dilakukan analisis menggunakan grafik hubungan antara kuat tekan rencana beton terhadap faktor air semen. Adapun langkah-langkah analisisnya dijelaskan sebagai berikut:

1. Penarikan Garis Vertikal dari f.a.s = 0,50
Langkah awal dilakukan dengan menarik garis tegak lurus dari sumbu horizontal (X) pada nilai faktor air semen sebesar 0,50 ke arah atas hingga memotong grafik.
2. Penarikan Garis Horizontal dari Kuat Tekan Rencana $f'_c = 37$ MPa
Selanjutnya, ditarik garis mendatar dari sumbu vertikal (Y) pada nilai kuat tekan rencana sebesar 37 MPa ke arah kanan hingga memotong garis vertikal sebelumnya.
3. Menentukan Titik Potong pada Kurva Jenis Semen
Titik potong antara kedua garis tersebut (vertikal dari $W/C = 0,50$ dan horizontal dari $f'_c = 37$ MPa berada tepat pada kurva merah, yang dalam grafik mewakili Semen Tipe I. Dengan demikian, untuk kuat tekan 37 MPa, semen yang digunakan pada analisis ini adalah Semen Tipe I.
4. Menentukan Nilai Kuat Tekan Rencana (f'_{cr})
Nilai kuat tekan rencana yang ditetapkan adalah sebesar 26,54 MPa. Dari titik ini, ditarik garis horizontal ke kanan hingga memotong kurva merah (Semen Tipe I).
5. Menentukan Faktor Air Semen (f.a.s)
Dari titik potong antara garis horizontal $f'_{cr} = 26,54$ dan kurva merah, dilakukan penarikan garis tegak lurus ke bawah hingga memotong sumbu horizontal (X). Titik potong ini menunjukkan nilai faktor air semen (f.a.s) yang dibutuhkan untuk mencapai kuat tekan tersebut sebesar 0,615.

d. Menentukan Kadar Air Bebas

Tabel 4.19 Perkiraan Kadar Air Bebas

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

(Sumber: SNI 03 - 2834 -2000)

Dalam perancangan campuran beton, nilai slump direncanakan sebesar 100 mm $\pm$ 20 mm. Nilai ini ditetapkan untuk memastikan tingkat kelecakan yang baik selama proses pengecoran beton.

- Agregat maksimum 25 mm : $W_h = 190$ dan $W_k = 220$

Dimana :

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

W_k : Estimasi konten air agregat permukaan kasar (dipecah)

Dengan demikian, kadar air bebas dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

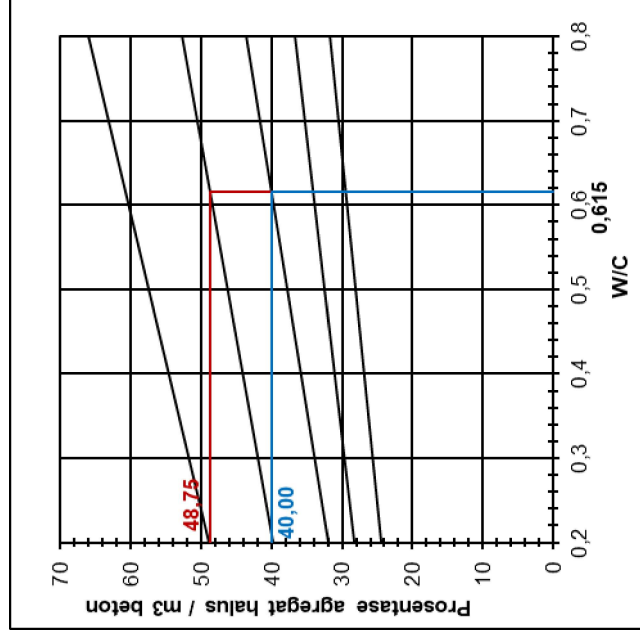
$$\begin{aligned}
 \text{➤ } W &= \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \\
 &= \frac{2}{3} \times 190 + \frac{1}{3} \times 220 \\
 &= 200 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Jumlah Semen (PC)} &= W / f.a.s \\
 &= 200 / 0,615 \\
 &= 325,20 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

e. Menentukan Presentase Agregat Halus dan Agregat Kasar

- f.a.s = 0,615
- Batas atas zona 2 = 48,75
- Batas bawah zona 2 = 40,00
- Presentase agregat halus = 44,38 %

- Presentase agregat kasar = $100\% - 44,38\% = 55,63\%$



Gambar 4.16 Grafik Presentase Agregat Halus

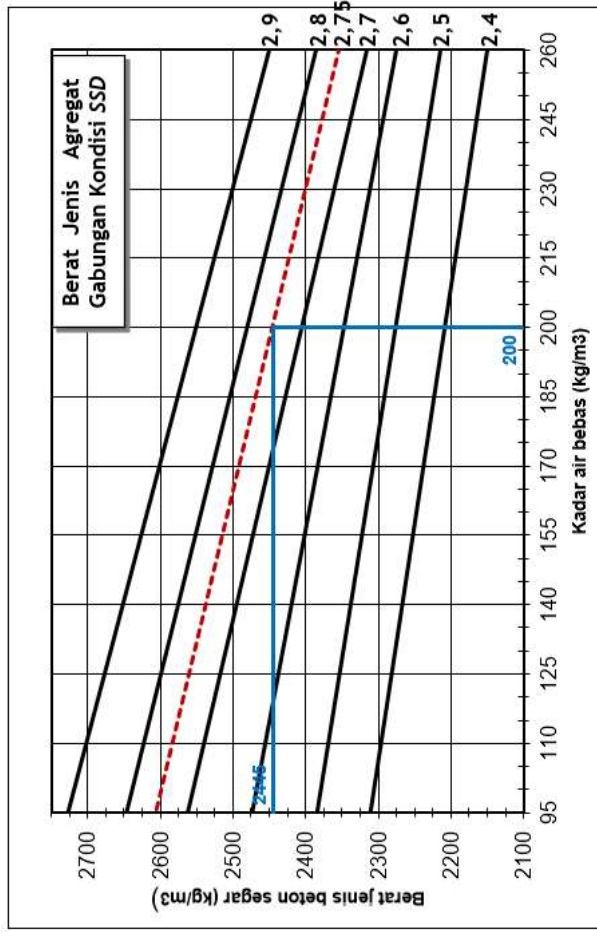
(Sumber: Hasil Analisa)

f. Menentukan Berat Jenis Beton Segar

Dari jumlah kadar air bebas (W) dan berat jenis gabungan (Bj gab), dapat diperkirakan bahwa berat jenis beton sebesar Bj gab.

Diketahui :

- Berat jenis agregat halus = 2,75
- Berat jenis agregat kasar = 2,75
- Berat jenis gabungan (bjgab) = $(44,38\% \times 2,75 + 55,63\% \times 2,75) / 100$
= 2,75



Gambar 4.17 Grafik Hubungan Berat Jenis Beton Segar dan Kadar Air Bebas
(Sumber: Hasil Analisa)

Nilai berat jenis gabungan (Bjgab) sebesar 2,73 dimasukkan ke dalam grafik, kemudian ditarik garis mengikuti kurva. Selanjutnya, masukkan nilai kadar air bebas sebesar 200, lalu tarik garis vertikal hingga memotong kurva yang telah dibuat sebelumnya (garis putus-putus). Setelah itu, tarik garis horizontal ke kiri hingga diperoleh nilai berat jenis beton segar sebesar 2445 kg/m³.

g. Menentukan Jumlah Agregat Kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*)

- 1) Total agregat
 - = Berat beton segar—jumlah semen—kadar air bebas
 - = 2445 — 325,20 —200
 - = 1919,8 kg/m³
- 2) Agregat halus
 - = Presentase agregat halus × berat total agregat
 - = 44,38 % × 1919,80
 - = 851,91 kg/m³
- 3) Agregat Kasar
 - = Presentase agregat kasar × berat total agregat
 - = 55,63% × 1919,80
 - = 1067,89 kg/m³

h. Menentukan Komposisi Campuran Kondisi Lapangan

- 1) Semen
= 325,20 kg/m³
- 2) Agregat halus (asli)
= agregat halus SSD + (((kadar air agregat halus – penyerapan agregat halus) agregat halus SSD)/100)
= 851,91 + (((3,20–0,05) × 851,91)/100)
= 878,78 kg/m³
- 3) Agregat kasar (asli)
= agregat kasar SSD + (((kadar air agregat kasar – penyerapan agregat kasar) agregat kasar SSD)/100)
= 1067,89 + (((0,82–1,28) × 1067,89/100)
= 1063,03 kg/m³

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa komposisi campuran beton di lapangan adalah sebagai berikut:

- Air = 177,98 kg/m³
- Semen = 325,20 kg/m³
- Agregat Halus = 878,78 kg/m³
- Agregat Kasar = 1063,03 kg/m³

4.2.2 Perhitungan Kebutuhan Bahan Campuran Beton

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan dimensi 15 cm x 30 cm untuk menguji kuat tekan dan Tarik belah beton.

- Volume silinder
 $V = \pi r^2 t$
 $= 3,14 \times (0,075)^2 \times 0,3$
 $= 0,0053 \text{ m}^3$
- Volume 15 Silinder untuk uji Kuat tekan
 $V = 15 \times (\pi r^2 t)$
 $= 15 \times 0,0053$
 $= 0,80 \text{ m}^3$

- Volume 15 silinder untuk uji tarik belah

$$V = 15 \times (\pi r^2 t)$$

$$= 15 \times 0,0053$$

$$= 0,80 \text{ m}^3$$
- Volume total 30 silinder dengan faktor tambahan 10%

$$V = 30 \times (\pi r^2 t) + (10\% \times 30 \times (\pi r^2 t))$$

$$= 0,16 + 0,016$$

$$= 0,175 \text{ m}^3$$
- Perhitungan jumlah bahan yang diperlukan untuk silinder dengan berbagai variasi penambahan air, dengan mempertimbangkan faktor kehilangan sebesar 1,18.
 - Komposisi campuran beton untuk 6 silinder dengan penambahan air semen 0%

Semen	= Volume 6 silinder $\times$ 1,18 $\times$ jumlah semen
	= $0,035 \times 1,18 \times 325,20$
	= 13,43 kg
 - Agregat halus = Volume 6 silinder $\times$ 1,18 $\times$ jumlah agregat
 $= 0,035 \times 1,18 \times 878,78$
 $= 36,28 \text{ kg}$
 - Agregat kasar = Volume 6 silinder $\times$ 1,18 $\times$ jumlah agregat
 $= 0,035 \times 1,18 \times 1063,03$
 $= 43,89 \text{ kg}$
 - Air
 $= \text{Volume 6 silinder} \times 1,18 \times \text{jumlah air}$
 $= 0,035 \times 1,18 \times 177,98$
 $= 7,35 \text{ kg}$
- Komposisi campuran beton untuk variasi penambahan air semen 2% (1% air dan 1% semen) dari kebutuhan air dan semen kondisi lapangan untuk 6 silinder

Semen	= Jumlah semen normal + penambahan variasi
	= $13,43 + (13,43 \times 1\%)$
	= 13,56 kg

$$\begin{aligned}\text{Agregat halus} &= \text{Volume 6 silinder} \times 1,18 \times \text{jumlah agregat} \\ &= 0,035 \times 1,18 \times 878,78 \\ &= 36,28 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat kasar} &= \text{Volume 6 silinder} \times 1,18 \times \text{jumlah agregat} \\ &= 0,035 \times 1,18 \times 1063,03 \\ &= 43,89 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Air} &= \text{Jumlah air normal} + \text{penambahan variasi} \\ &= 7,35 + (7,35 \times 1\%) \\ &= 7,42 \text{ kg}\end{aligned}$$

➤ Komposisi campuran beton untuk variasi penambahan air semen 4% (2% air dan 2% semen) dari kebutuhan air dan semen kondisi lapangan untuk 6 silinder

$$\begin{aligned}\text{Semen} &= \text{Jumlah semen normal} + \text{penambahan variasi} \\ &= 13,43 + (13,43 \times 2\%) \\ &= 13,70 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat halus} &= \text{Volume 6 silinder} \times 1,18 \times \text{jumlah agregat} \\ &= 0,035 \times 1,18 \times 878,78 \\ &= 36,28 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat kasar} &= \text{Volume 6 silinder} \times 1,18 \times \text{jumlah agregat} \\ &= 0,035 \times 1,18 \times 1063,03 \\ &= 43,89 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Air} &= \text{Jumlah air normal} + \text{penambahan variasi} \\ &= 7,35 + (7,35 \times 2\%) \\ &= 7,50 \text{ kg}\end{aligned}$$

➤ Komposisi campuran beton untuk variasi penambahan air semen 6% (3% air dan 3% semen) dari kebutuhan air dan semen kondisi lapangan untuk 6 silinder

$$\begin{aligned}\text{Semen} &= \text{Jumlah semen normal} + \text{penambahan variasi} \\ &= 13,43 + (13,43 \times 3\%) \\ &= 13,83 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat halus} &= \text{Volume 6 silinder} \times 1,18 \times \text{jumlah agregat} \\ &= 0,035 \times 1,18 \times 878,78 \\ &= 36,28 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat kasar} &= \text{Volume 6 silinder} \times 1,18 \times \text{jumlah agregat} \\ &= 0,035 \times 1,18 \times 1063,03 \\ &= 43,89 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Air} &= \text{Jumlah air normal} + \text{penambahan variasi} \\ &= 7,35 + (7,35 \times 3\%) \\ &= 7,57 \text{ kg}\end{aligned}$$

➤ Komposisi campuran beton untuk variasi penambahan air semen 8% (4% air dan 4% semen) dari kebutuhan air dan semen kondisi lapangan untuk 6 silinder

$$\begin{aligned}\text{Semen} &= \text{Jumlah semen normal} + \text{penambahan variasi} \\ &= 13,43 + (13,43 \times 4\%) \\ &= 13,96 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat halus} &= \text{Volume 6 silinder} \times 1,18 \times \text{jumlah agregat} \\ &= 0,035 \times 1,18 \times 878,78 \\ &= 36,28 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat kasar} &= \text{Volume 6 silinder} \times 1,18 \times \text{jumlah agregat} \\ &= 0,035 \times 1,18 \times 1063,03 \\ &= 43,89 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Air} &= \text{Jumlah air normal} + \text{penambahan variasi} \\ &= 7,35 + (7,35 \times 4\%) \\ &= 7,64 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kebutuhan seluruh campuran beton untuk tiap variasi penambahan air ditunjukkan pada table berikut.

Tabel 4.20 Kebutuhan Komposisi Campuran seluruh 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	0,035 m ³	0,00 m ³	0,035 m ³
2.	Faktor kehilangan	1,18	0,00	1,18
3.	Semen	13,43 kg	0,00 kg	13,43 kg
4.	Agregat halus	36,28 kg	0,00 kg	36,28 kg
5.	Agregat kasar	43,89 kg	0,00 kg	43,89 kg
6.	Air	7,35 kg	0,00 kg	7,35 kg
Komposisi campuran beton kondisi lapangan untuk benda uji 6 silinder		Penambahan Air Semen 2% (1% air dan 1% semen)		Total
7.	Volume 6 silinder 15 x 30 cm	0,035 m ³	0,00 m ³	0,035 m ³
8.	Faktor kehilangan	1,18	0,00	1,18
9.	Semen	13,43 kg	0,13 kg	13,56 kg
10.	Agregat halus	36,28 kg	0,00 kg	36,28 kg
11.	Agregat kasar	43,89 kg	0,00 kg	43,89 kg
12.	Air	7,35 kg	0,07 kg	7,42 kg
Komposisi campuran beton kondisi lapangan untuk benda uji 6 silinder		Penambahan Air Semen 4% (2% air dan 2% semen)		Total
13.	Volume 6 silinder 15 x 30 cm	0,035 m ³	0,00 m ³	0,035 m ³
14.	Faktor kehilangan	1,18	0,00	1,18
15.	Semen	13,43 kg	0,27 kg	13,70 kg
16.	Agregat halus	36,28 kg	0,00 kg	36,28 kg
17.	Agregat kasar	43,89 kg	0,00 kg	43,89 kg
18.	Air	7,35 kg	0,15 kg	7,50 kg
Komposisi campuran beton kondisi lapangan untuk benda uji 6 silinder		Penambahan Air Semen 6% (3% air dan 3% semen)		Total
19.	Volume 6 silinder 15 x 30 cm	0,035 m ³	0,00 m ³	0,035 m ³
20.	Faktor kehilangan	1,18	0,00	1,18
21.	Semen	13,43 kg	0,40 kg	13,83 kg
22.	Agregat halus	36,28 kg	0,00 kg	36,28 kg
23.	Agregat kasar	43,89 kg	0,00 kg	43,89 kg
24.	Air	7,35 kg	0,22 kg	7,57 kg
Komposisi campuran beton kondisi lapangan untuk benda uji 6 silinder		Penambahan Air Semen 8% (4% air dan 4% semen)		Total
25.	Volume 6 silinder 15 x 30 cm	0,035 m ³	0,00 m ³	0,035 m ³
26.	Faktor kehilangan	1,18	0,00	1,18
27.	Semen	13,43 kg	0,54 kg	13,96 kg
28.	Agregat halus	36,28 kg	0,00 kg	36,28 kg
29.	Agregat kasar	43,89 kg	0,00 kg	43,89 kg
30.	Air	7,35 kg	0,29 kg	7,64 kg

(Sumber: Hasil Penelitian)

4.3 Pengujian Slump Beton

Pengujian slump pada beton segar dilakukan untuk menilai kekonsistensi adukan beton dan kemudahan dalam pengerjaannya (workability) sebelum proses pengecoran.

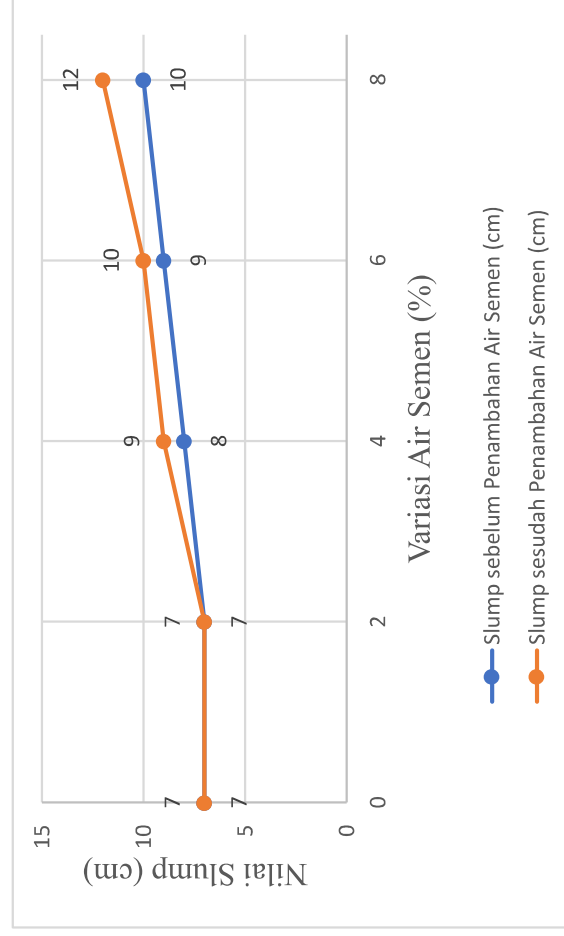
Tabel 4.21 Perbandingan Nilai Slump

Kode Benda Uji	Variasi Penambahan Air Semen	Slump Awal (sebelum Penambahan Air Semen) (cm)	Slump Akhir (45 menit sesudah Penambahan Air Semen) (cm)
F1a	0% (normal)	7	7
F1b	0% (normal)	7	7
F1c	0% (normal)	7	7
F1d	0% (normal)	7	7
F1e	0% (normal)	7	7
F1f	0% (normal)	7	7
F21	2%	7	8
F22	2%	7	8
F23	2%	7	8
F24	2%	7	8
F25	2%	7	8
F26	2%	7	8
F5a	4%	8	9
F5b	4%	8	9
F5c	4%	8	9
F5d	4%	8	9
F5e	4%	8	9
F5f	4%	8	9
F4a	6%	9	10
F4b	6%	9	10
F4c	6%	9	10
F4d	6%	9	10
F4e	6%	9	10
F4f	6%	9	10
F31	8%	10	12
F32	8%	10	12
F33	8%	10	12
F34	8%	10	12
F35	8%	10	12
F36	8%	10	12

(Sumber: Hasil Penelitian)

Berdasarkan data hasil uji slump di atas, grafik yang ditampilkan menggambarkan pengaruh penambahan air semen terhadap nilai slump beton, terlihat bahwa setiap peningkatan persentase penambahan air semen berpengaruh terhadap kenaikan nilai slump, baik sebelum maupun sesudah penambahan. Pada kondisi tanpa penambahan air semen (0%), nilai slump sebelum dan sesudah penambahan memiliki besaran yang sama, yaitu 7 cm. Namun, mulai pada penambahan 2% air semen, terjadi peningkatan nilai slump yang lebih tinggi pada kondisi sesudah penambahan dibanding sebelum penambahan.

Pola ini berlanjut hingga persentase penambahan tertinggi (8%), di mana nilai slump sebelum penambahan mencapai 10 cm, sedangkan setelah penambahan meningkat menjadi 12 cm. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan air semen secara langsung meningkatkan kelekakan (*workability*) campuran beton. Peningkatan tersebut lebih signifikan apabila penambahan dilakukan setelah proses pencampuran awal, yang mengindikasikan bahwa air tambahan mampu memperbesar jarak antar partikel dan mengurangi gesekan internal dalam campuran. Dengan demikian, penambahan air semen berperan penting dalam mengatur kemudahan pengerjaan beton di lapangan, namun tetap perlu dikendalikan agar tidak mengganggu kualitas kekuatan beton yang dihasilkan.



Gambar 4.18 Garfik Pengaruh Penambahan Air Semen terhadap Nilai Slump

(Sumber: Hasil Penelitian)



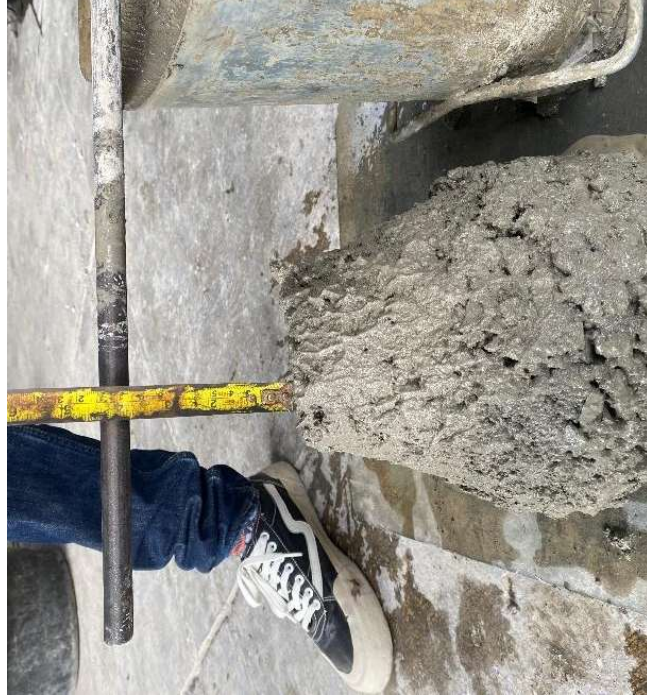
Gambar 4.19 Nilai Slump 7cm
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)



Gambar 4.20 Nilai Slump 8cm
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)



Gambar 4.21 Nilai Slump 9cm
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)



Gambar 4.22 Nilai Slump 10cm
(Sumber: Dokumentasi Penelitian)



Gambar 4.23 Nilai Slump 12cm

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

4.4 Analisis Data

Data hasil pengujian diperoleh dari pengukuran kuat tekan, modulus dan tarik belah pada benda uji berbentuk silinder dengan ukuran Ø15x30 cm. Berikut adalah hasil lengkap dari seluruh pengujian benda uji tersebut.

4.4.1 Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dengan ukuran silinder 15 x 30 cm dilakukan menggunakan sampel benda uji.

Dihitung dengan rumus:

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Dimana :

P = Beban tekan yang dapat diterima penampang beton (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

- ✓ Perhitungan kuat tekan beton pada benda uji dengan variasi 0% pada umur 26 hari, dengan penyesuaian menggunakan faktor umur untuk dikonversikan ke umur 28 hari
- Kode F1a :



Gambar 4.24 Pengujian Kuat Tekan Kode F1a

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 438 \text{ KN} = 438000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{438000}{17671,44}$$

$$= 24,79 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F1a) pada umur 26 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{26}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{24,79}{0,986}$$

$$= 25,14 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F1b :



Gambar 4.25 Pengujian Kuat Tekan Kode F1b

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 350 \text{ kN} = 350000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{350000}{17671,44}$$

$$= 19,81 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F1b) pada umur 26 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{26}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{19,81}{0,986}$$

$$= 20,09 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F1c :



Gambar 4.26 Pengujian Kuat Tekan Kode F1c

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 319 \text{ kN} = 319000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{319000}{17671,44}$$

$$= 18,05 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F1c) pada umur 26 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{26}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{18,05}{0,986}$$

$$= 18,31 \text{ Mpa}$$

- ✓ Perhitungan kuat tekan beton pada benda uji dengan variasi 2% pada umur 22 hari, dengan penyesuaian menggunakan faktor umur untuk dikonversikan ke umur 28 hari

➤ Kode F21 :



Gambar 4.27 Pengujian Kuat Tekan Kode F21

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 363 \text{ KN} = 363000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

$$f'_c = \frac{P}{A} = \frac{363000}{17671,44} = 20,54 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F21) pada umur 22 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{21}}{\text{koefisien konversi}} = \frac{20,54}{0,957} = 21,46 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F22 :



Gambar 4.28 Pengujian Kuat Tekan Kode F22

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 306 \text{ KN} = 306000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{306000}{17671,44}$$

$$= 17,32 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F22) pada umur 22 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{22}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{17,32}{0,957}$$

$$= 18,09 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F23 :



Gambar 4.29 Pengujian Kuat Tekan Kode F23

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 378 \text{ KN} = 378000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{378000}{17671,44}$$

$$= 21,39 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F23) pada umur 22 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{23}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{21,39}{0,957}$$

$$= 22,35 \text{ Mpa}$$

- ✓ Perhitungan kuat tekan beton pada benda uji dengan variasi 4% pada umur 25 hari, dengan penyesuaian menggunakan faktor umur untuk dikonversikan ke umur 28 hari

➤ Kode F5a :



Gambar 4.30 Pengujian Kuat Tekan Kode F5a

(Sumber: *Dokumentasi Penelitian*)

$$P = 344 \text{ KN} = 344000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{344000}{17671,44}$$

$$= 19,47 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F5a) pada umur 25 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{5a}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{19,47}{0,979}$$

$$= 19,88 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F5b :



Gambar 4.31 Pengujian Kuat Tekan Kode F5b

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 314 \text{ KN} = 314000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{314000}{17671,44}$$

$$= 17,77 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F5b) pada umur 25 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{5b}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{17,77}{0,979}$$

$$= 18,15 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F5c :



Gambar 4.32 Pengujian Kuat Tekan Kode F5c

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 404 \text{ KN} = 404000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{404000}{17671,44}$$

$$= 22,86 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F5c) pada umur 25 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{5c}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{22,86}{0,979}$$

$$= 23,35 \text{ Mpa}$$

- ✓ Perhitungan kuat tekan beton pada benda uji dengan variasi 6% pada umur 25 hari, dengan penyesuaian menggunakan faktor umur untuk dikonversikan ke umur 28 hari

➤ Kode F4a :



Gambar 4.33 Pengujian Kuat Tekan Kode F4a

(Sumber: *Dokumentasi Penelitian*)

$$P = 422 \text{ KN} = 422000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

$$f^c_c = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{422000}{17671,44}$$

$$= 23,88 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F4a) pada umur 25 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{4a}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{23,88}{0,979}$$

$$= 24,39 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F4b :



Gambar 4.34 Pengujian Kuat Tekan Kode F4b

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 385 \text{ KN} = 385000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{385000}{17671,44}$$

$$= 21,79 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F4b) pada umur 25 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{4b}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{21,79}{0,979}$$

$$= 22,25 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F4c :



Gambar 4.35 Pengujian Kuat Tekan Kode F4c

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 234 \text{ KN} = 234000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{234000}{17671,44}$$

$$= 13,24 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F5c) pada umur 25 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{5c}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{13,24}{0,979}$$

$$= 13,53 \text{ Mpa}$$

- ✓ Perhitungan kuat tekan beton pada benda uji dengan variasi 8% pada umur 22 hari, dengan penyesuaian menggunakan faktor umur untuk dikonversikan ke umur 28 hari

➤ Kode F31 :



Gambar 4.36 Pengujian Kuat Tekan Kode F31

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 312 \text{ KN} = 312000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{312000}{17671,44}$$

$$= 17,66 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F31) pada umur 22 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{31}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{17,66}{0,957}$$

$$= 18,45 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F32 :



Gambar 4.37 Pengujian Kuat Tekan Kode F32

(Sumber: *Dokumentasi Penelitian*)

$$P = 302 \text{ KN} = 302000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{302000}{17671,44}$$

$$= 17,09 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F32) pada umur 22 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{32}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{17,09}{0,957}$$

$$= 17,86 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F33 :



Gambar 4.38 Pengujian Kuat Tekan Kode F33

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 362 \text{ KN} = 362000 \text{ N}$$

$$A = 17671,44 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{362000}{17671,44}$$

$$= 20,49 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil kuat tekan beton (F33) pada umur 22 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{33}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{20,49}{0,957}$$

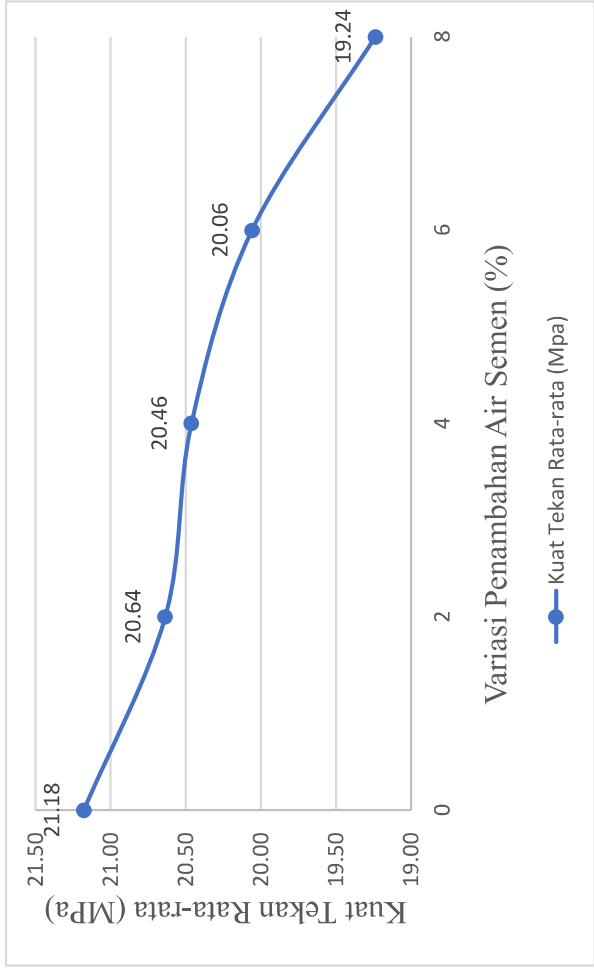
$$= 21,41 \text{ Mpa}$$

Tabel 4.22 Data Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi Benda Uji	Kode	Tanggal Buat	Tanggal Test	Umur (Hari)	Berat (Kg)	Tekan Hancur (KN)	Kuat Tekan Riil (Mpa)	Kuat Tekan 28 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata 28 Hari (Mpa)
0%	F1a	08/01/25	03/02/25	26	12,36	438	24,79	25,14	21,18
	F1b	08/01/25	03/02/25	26	12,38	350	19,81	20,09	
	F1c	08/01/25	03/02/25	26	12,44	319	18,05	18,31	
2%	F21	12/01/25	03/02/25	22	12,78	363	20,54	21,46	20,64
	F22	12/01/25	03/02/25	22	12,77	306	17,32	18,09	
	F23	12/01/25	03/02/25	22	12,79	378	21,39	22,35	
4%	F5a	09/01/25	03/02/25	25	12,77	344	19,47	19,88	20,46
	F5b	09/01/25	03/02/25	25	12,92	314	17,77	18,15	
	F5c	09/01/25	03/02/25	25	12,95	404	22,86	23,35	
6%	F4a	09/01/25	03/02/25	25	12,72	422	23,88	24,39	20,06
	F4b	09/01/25	03/02/25	25	12,75	385	21,79	22,25	
	F4c	09/01/25	03/02/25	25	12,85	234	13,24	13,53	
8%	F31	12/01/25	03/02/25	22	12,76	312	17,66	18,45	19,24
	F32	12/01/25	03/02/25	22	12,63	302	17,09	17,86	
	F33	12/01/25	03/02/25	22	12,52	362	20,49	21,41	

(Sumber: Hasil Penelitian)

Data hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi penambahan air semen kemudian digambarkan dalam bentuk grafik untuk melihat hubungan antara penambahan air dan kuat tekan beton. Grafik korelasi tersebut disajikan berikut ini.



Gambar 4.39 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Penambahan Air Semen

(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 4.42 Pola Retak Silinder F4a
(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 4.43 Pola Retak Silinder F4b
(Sumber: Hasil Penelitian)

Gambar 4.40 hingga Gambar 4.43 menunjukkan pola retak pada benda uji silinder beton yang telah mengalami pengujian kuat tekan. Setiap benda uji mewakili variasi campuran beton yang berbeda. Pola retak yang terbentuk memberikan informasi penting terkait jenis keruntuhan yang terjadi serta karakteristik perilaku material beton terhadap beban aksial.

- Gambar 4.40 Pola Retak Silinder F22

Benda uji F22 menunjukkan pola retak yang menyebar secara diagonal dari bagian bawah hingga atas permukaan silinder. Retakan terjadi secara menyilang pada permukaan silinder, menandakan terjadinya keruntuhan geser. Pola ini mengindikasikan bahwa beton mengalami kegagalan akibat perpaduan antara gaya tekan aksial dan gaya lateral, yang menyebabkan gaya dalam menyebar secara miring.

- Gambar 4.41 Pola Retak Silinder F32

Pada benda uji F32 tampak pola retak dominan secara vertikal yang memanjang dari atas ke bawah. Retakan ini merupakan karakteristik kegagalan tekan aksial murni, yang biasanya terjadi ketika distribusi beban merata dan sejajar dengan sumbu silinder. Pola ini mencerminkan perilaku beton yang cukup baik dalam menahan gaya tekan, dengan kegagalan yang terjadi secara simetris.

- Gambar 4.42 Pola Retak Silinder F4a
Benda uji F4a menunjukkan pola retak kombinasi antara retakan vertikal dan retakan miring. Hal ini menunjukkan adanya sedikit eksentrisitas dalam pembebanan atau penyimpangan dalam struktur internal beton. Retakan yang menyebar ke berbagai arah ini menunjukkan adanya tegangan kompleks yang menyebabkan keruntuhan tidak terfokus hanya pada satu garis lurus.
- Gambar 4.43 Pola Retak Silinder F4b
Pada benda uji F4b, pola retak juga terlihat menyebar namun cenderung ke arah tegak lurus dan sebagian diagonal. Pola seperti ini menunjukkan bahwa selain beban aksial, terdapat kemungkinan distribusi tegangan yang tidak seragam, bisa disebabkan oleh variasi agregat, kadar air, atau proses pemadatan yang kurang optimal.

Pola retak pada benda uji silinder beton memberikan indikasi penting terhadap mekanisme keruntuhan yang terjadi akibat pembebanan tekan. Retakan vertikal menandakan tekanan aksial murni, sementara retakan diagonal atau menyilang menunjukkan adanya kegagalan geser atau pengaruh gaya lateral. Analisis pola retak ini penting untuk memahami performa beton terhadap beban kerja dan sebagai bahan evaluasi terhadap mutu campuran beton yang digunakan.

3.4.2 Tarik Belah Beton

Nilai kuat tarik belah beton dengan dimensi silinder 15 x 30 cm diperoleh melalui pengujian terhadap sampel benda uji yang telah disiapkan.

Dihitung dengan rumus:

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Dimana:

f_{ct} = kuat tarik belah beton (MPa)
 P = beban maksimum saat benda uji mengalami keruntuhan (N)
 d = diameter benda uji silinder (mm)
 l = panjang (tinggi) benda uji silinder (mm)
 π = konstanta pi (≈ 3.1416)

- ✓ Perhitungan hasil Tarik belah beton pada benda uji dengan variasi 0% pada umur 26 hari, dengan penyesuaian menggunakan faktor umur untuk dikonversikan ke umur 28 hari

➤ Kode F1d :



Gambar 4.44 Pengujian Tarik Belah Kode F1d

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 173 \text{ KN} = 173000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 173}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 2,45 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F1a) pada umur 26 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{26}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{2,45}{0,986}$$

$$= 2,48 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F1e :



Gambar 4.45 Pengujian Tarik Belah Kode F1e

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 167 \text{ KN} = 167000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 167}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 2,36 \text{ Mpa}$$

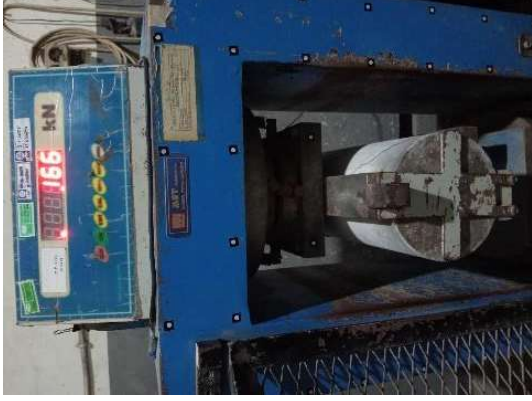
Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F1e) pada umur 26 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{26}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{2,36}{0,986}$$

$$= 2,40 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F1f:



Gambar 4.46 Pengujian Tarik Belah Kode F1f

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 166 \text{ kN} = 166000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 166}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 2,35 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F1f) pada umur 26 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{26}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{2,35}{0,986}$$

$$= 2,38 \text{ Mpa}$$

- ✓ Perhitungan hasil Tarik belah beton pada benda uji dengan variasi 2% pada umur 22 hari, dengan penyesuaian menggunakan faktor umur untuk dikonversikan ke umur 28 hari

➤ Kode F24 :



Gambar 4.47 Pengujian Tarik Belah Kode F24

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 163 \text{ KN} = 163000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 163}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 2,31 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F24) pada umur 22 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{22}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{2,31}{0,957}$$

$$= 2,41 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F25 :



Gambar 4.48 Pengujian Tarik Belah Kode F25

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 163 \text{ KN} = 163000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 163}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 2,31 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F25) pada umur 22 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{22}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{2,31}{0,957}$$

$$= 2,41 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F26 :



Gambar 4.49 Pengujian Tarik Belah Kode F26

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 159 \text{ KN} = 159000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 159}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 2,25 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F26) pada umur 22 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{22}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{2,25}{0,957}$$

$$= 2,35 \text{ Mpa}$$

- ✓ Perhitungan hasil Tarik belah beton pada benda uji dengan variasi 4% pada umur 25 hari, dengan penyesuaian menggunakan faktor umur untuk dikonversikan ke umur 28 hari

➤ Kode F5d :



Gambar 4.50 Pengujian Tarik Belah Kode F5d

(Sumber: *Dokumentasi Penelitian*)

$$P = 153 \text{ KN} = 153000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{et} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 153}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 2,17 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F5d) pada umur 25 ke umur 28 hari:

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

$$= \frac{2,17}{0,979}$$

$$= 2,21 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F5e :



Gambar 4.51 Pengujian Tarik Belah Kode F5e

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 153 \text{ KN} = 153000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 153}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 2,17 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F5e) pada umur 25 ke umur 28 hari:

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

$$= \frac{2,17}{0,979}$$

$$= 2,21 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F5f :



Gambar 4.52 Pengujian Tarik Belah Kode F5f

(Sumber: *Dokumentasi Penelitian*)

$$P = 152 \text{ kN} = 152000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 152}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 2,15 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F5f) pada umur 25 ke umur 28 hari:

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

$$= \frac{2,17}{0,979}$$

$$= 2,20 \text{ Mpa}$$

- ✓ Perhitungan hasil Tarik belah beton pada benda uji dengan variasi 6% pada umur 25 hari, dengan penyesuaian menggunakan faktor umur untuk dikonversikan ke umur 28 hari

➤ Kode F4d :



Gambar 4.53 Pengujian Tarik Belah Kode F4d

(Sumber: *Dokumentasi Penelitian*)

$$P = 146 \text{ kN} = 146000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{et} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 146}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 2,07 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F4d) pada umur 25 ke umur 28 hari:

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

$$= \frac{2,07}{0,979}$$

$$= 2,11 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F4e :



Gambar 4.54 Pengujian Tarik Belah Kode F4e

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 143 \text{ kN} = 143000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 143}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 2,02 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F4e) pada umur 25 ke umur 28 hari:

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

$$= \frac{2,02}{0,979}$$

$$= 2,07 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F4f :



Gambar 4.55 Pengujian Tarik Belah Kode F4f

(Sumber: *Dokumentasi Penelitian*)

$$P = 141 \text{ KN} = 141000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 141}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 2,00 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F4f) pada umur 25 ke umur 28 hari:

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

$$= \frac{2,00}{0,979}$$

$$= 2,04 \text{ Mpa}$$

- ✓ Perhitungan hasil Tarik belah beton pada benda uji dengan variasi 8% pada umur 22 hari, dengan penyesuaian menggunakan faktor umur untuk dikonversikan ke umur 28 hari

➤ Kode F34 :



Gambar 4.56 Pengujian Tarik Belah Kode F34

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 139 \text{ KN} = 139000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{et} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 139}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 1,97 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F34) pada umur 22 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{22}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{1,97}{0,957}$$

$$= 2,06 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F35 :



Gambar 4.57 Pengujian Tarik Belah Kode F35

(Sumber: Dokumentasi Penelitian)

$$P = 132 \text{ KN} = 132000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 132}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 1,87 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F35) pada umur 22 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{22}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{1,87}{0,957}$$

$$= 1,95 \text{ Mpa}$$

➤ Kode F36 :



Gambar 4.58 Pengujian Tarik Belah Kode F36

(Sumber: *Dokumentasi Penelitian*)

$$P = 131 \text{ KN} = 131000 \text{ N}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d}$$

$$= \frac{2 \times 131}{3,14 \times 300 \times 150}$$

$$= 1,85 \text{ Mpa}$$

Mengkonversi hasil Tarik belah beton (F36) pada umur 22 ke umur 28 hari:

$$f_{28} = \frac{f_{22}}{\text{koefisien konversi}}$$

$$= \frac{1,85}{0,957}$$

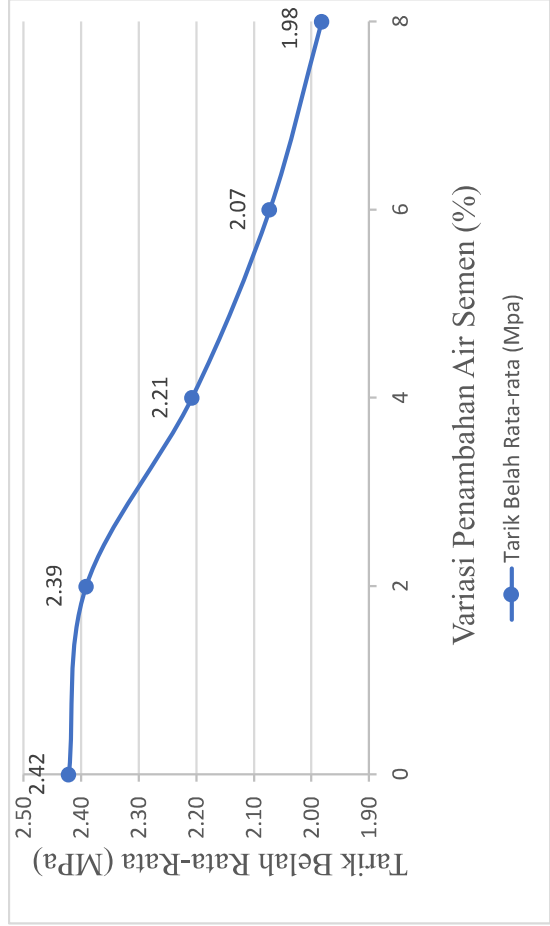
$$= 1,94 \text{ Mpa}$$

Tabel 4.23 Data Pengujian Tarik Belah Beton

Variasi Benda Uji	Kode	Tanggal Buat	Tanggal Test	Umur	P (KN)	fct (Mpa)	Traik Belah 28 Hari	Rata-Rata Tarik Belah 28 Hari
0%	F1d	08/01/25	03/02/25	26	173	2,45	2,48	2,42
	F1e	08/01/25	03/02/25	26	167	2,36	2,40	
	F1f	08/01/25	03/02/25	26	166	2,35	2,38	
2%	F24	12/01/25	03/02/25	22	163	2,31	2,41	2,39
	F25	12/01/25	03/02/25	22	163	2,31	2,41	
	F26	12/01/25	03/02/25	22	159	2,25	2,35	
4%	F5d	09/01/25	03/02/25	25	153	2,17	2,21	2,21
	F5e	09/01/25	03/02/25	25	153	2,17	2,21	
	F5f	09/01/25	03/02/25	25	152	2,15	2,20	
6%	F4d	09/01/25	03/02/25	25	146	2,07	2,11	2,07
	F4e	09/01/25	03/02/25	25	143	2,02	2,07	
	F4f	09/01/25	03/02/25	25	141	2,00	2,04	
8%	F34	12/01/25	03/02/25	22	139	1,97	2,06	1,98
	F35	12/01/25	03/02/25	22	132	1,87	1,95	
	F36	12/01/25	03/02/25	22	131	1,85	1,94	

(Sumber: Hasil Penelitian)

Data hasil pengujian Tarik belah beton dengan variasi kadar air semen kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk mengamati hubungan antara penambahan air semen dan nilai kuat tekan beton.



Gambar 4.59 Grafik Hubungan Tarik belah Beton dan Variasi Penambahan Air Semen

(Sumber: Hasil Penelitian)

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara variasi penambahan air terhadap semen (air semen) dengan kuat tarik belah beton rata-rata. Terlihat bahwa seiring dengan meningkatnya penambahan air terhadap campuran semen, nilai kuat tarik belah beton cenderung mengalami penurunan. Pada saat tidak terdapat penambahan air semen (0%), kuat tarik belah beton berada pada angka tertinggi, yaitu sebesar **2,42 MPa**. Kemudian, ketika persentase penambahan air semen meningkat menjadi 1%, kuat tarik menurun menjadi **2,39 MPa**, lalu terus menurun hingga mencapai **1,98 MPa** pada penambahan air semen sebesar 8%. Pola penurunan ini menggambarkan bahwa semakin tinggi kadar air semen dalam campuran beton, maka semakin besar kemungkinan terjadinya penurunan kekuatan tarik belah beton. Hal ini dapat disebabkan oleh peningkatan porositas akibat kelebihan air, yang mengakibatkan ikatan antar partikel semen dan agregat menjadi kurang optimal setelah proses pengerasan. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa penambahan air secara berlebih dalam campuran beton memberikan dampak negatif terhadap kuat tarik belah beton. Oleh karena itu, pengendalian rasio air terhadap semen (*w/c ratio*) sangat penting dalam perencanaan mutu beton, khususnya dalam menjaga kekuatan tariknya.



Gambar 4.60 Pola Retak Silinder F24
(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 4.61 Pola Retak Silinder F36
(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 4.62 Pola Retak Silinder F4e
(Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 4.63 Pola Retak Silinder F5d
(Sumber: Hasil Penelitian)

Pada pengujian kuat tarik belah, pola retak dominan berupa retakan lurus memanjang secara vertikal sepanjang garis diametral benda uji. Retakan jenis ini merupakan karakteristik umum dari gaya tarik tidak langsung yang bekerja secara simetris. Pola tersebut memperlihatkan bahwa gaya tarik maksimum terjadi di tengah-tengah bidang pembebanan dan menyebabkan belahan pada beton, membuktikan kemampuan tarik material secara keseluruhan.

.4.5 Pengujian Interval Kepercayaan

Data hasil pengujian kuat tekan beton yang diperoleh dianalisis menggunakan metode uji interval kepercayaan guna memastikan validitas data (Walpole R.E., 1988). Pada analisis ini diterapkan interval kepercayaan sebesar 95%, yang menunjukkan bahwa tingkat kesalahan yang dapat ditoleransi adalah 5%, sedangkan 95% sisanya dianggap sebagai data yang dapat dipercaya. Data yang berada di luar batas kepercayaan tersebut akan dikeluarkan, sehingga hanya data yang valid dan representatif yang digunakan dalam analisis statistik lanjutan.

a. Interval Kepercayaan Kuat Tekan

Tabel 4.24 Nilai Kuat Tekan Beton Variasi 0%

No.	Kuat Tekan (MPa)
1	25.14
2	20.09
3	18.31
$\bar{x}$	21.18

(Sumber: Hasil Penelitian)

Mengacu pada data yang disajikan dalam tabel, diperoleh nilai-nilai berikut untuk dianalisis lebih lanjut.

$$\bar{x} = 21,18 \text{ MPa}$$

$$S = \sqrt{\frac{((25,14-21,18)^2+(20,09-21,18)^2+(18,31-21,18)^2)}{3-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{12,553}{2}}$$

$$= 3,543$$

$$P = \frac{1}{2} (1 + 0,95) = 0,975$$

$$dk = n-1$$

$$= 3-1$$

$$= 2$$

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

Dimana:

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

S = Standar Deviasi

P = Persentil

$t_{0,975}$ = Nilai t pada persentil 0,975 (tabel distribusi t)

Sehingga dapat dihitung interval kepercayaan kuat tekan beton normal (0 %) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 &= \bar{x} - \left(t_{0,975} \times \frac{s}{\sqrt{n}}\right) < \mu < \bar{x} + \left(t_{0,975} \times \frac{s}{\sqrt{n}}\right) \\
 &= 21,18 - \left(4,303 \times \frac{3,543}{\sqrt{3}}\right) < \mu < 21,18 + \left(4,303 \times \frac{3,543}{\sqrt{3}}\right) \\
 &= 12,376 < \mu < 29,980
 \end{aligned}$$

Langkah serupa selanjutnya dilakukan untuk memperoleh interval kepercayaan kuat tekan beton dengan variasi penambahan sebesar 2%, 4%, 6%, dan 8%, yang hasilnya disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.25 Interval Kepercayaan Kuat Tekan Beton

Benda Uji	$\bar{x}$	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan
Variasi 0%	21.178	0.455	0,975	2	4,303	$12,376 < \mu < 29,980$
Variasi 2%	20.637	2.246	0,975	2	4,303	$15,056 < \mu < 26,217$
Variasi 4%	20.462	2.649	0,975	2	4,303	$13,881 < \mu < 27,043$
Variasi 6%	20.057	5.757	0,975	2	4,303	$5,756 < \mu < 34,359$
Variasi 8%	19.237	1.901	0,975	2	4,303	$14,515 < \mu < 23,960$

(Sumber: Hasil Penelitian)

Berdasarkan data pada tabel interval kepercayaan, dilakukan proses penyaringan terhadap data yang memenuhi maupun yang tidak memenuhi kriteria, sesuai dengan rentang interval kepercayaan yang telah ditentukan. Adapun hasil penyortiran data tersebut disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.26 Interval Kepercayaan Kuat Tekan Beton

Benda Uji	Kode	Kuat Tekan 28 Hari (Mpa)	Interval Kepercayaan	Keterangan	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
Variasi 0%	F1a	25.14	12,376 < μ < 29,980	Memenuhi	21.18
	F1b	20.09		Memenuhi	
	F1c	18.31		Memenuhi	
Varisi 2%	F21	21.46	15,056 < μ < 26,217	Memenuhi	20.64
	F22	18.09		Memenuhi	
	F23	22.35		Memenuhi	
Variasi 4%	F5a	19.88	13,881 < μ < 27,043	Memenuhi	20.46
	F5b	18.15		Memenuhi	
	F5c	23.35		Memenuhi	
Variasi 6%	F4a	24.39	5,756 < μ < 34,359	Memenuhi	20.06
	F4b	22.25		Memenuhi	
	F4c	13.53		Memenuhi	
Variasi 8%	F31	18.45	14,515 < μ < 23,960	Memenuhi	19.24
	F32	17.86		Memenuhi	
	F33	21.41		Memenuhi	

(Sumber: Hasil Pebelitian)

Berdasarkan hasil analisis data melalui uji interval kepercayaan, tidak ditemukan adanya perubahan maupun perbedaan nilai kuat tekan beton setelah dilakukan penyortiran berdasarkan validitas data.

b. Interval kepercayaan Tarik Belah Beton

Tabel 4.27 Nilai Tarik Belah Beton Variasi 0%

No.	Kuat Tarik Belah (MPa)
1	2.48
2	2.40
3	2.38
$\bar{x}$	2.42

(Sumber: Hasil Penelitian)

Mengacu pada data yang disajikan dalam tabel, diperoleh nilai-nilai berikut untuk dianalisis lebih lanjut.

$$\bar{x} = 2,42 \text{ MPa}$$

$$S = \sqrt{\frac{((2,48-2,42)^2 + (2,40-2,42)^2 + (2,38-2,42)^2)}{3-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,002954}{2}}$$

$$= 0,054$$

$$P = \frac{1}{2} (1 + 0,95) = 0,975$$

$$dk = n-1$$

$$= 3-1$$

$$= 2$$

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

Dimana:

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

$$S = \text{Standar Deviasi}$$

$$P = \text{Persentil}$$

$$t_{0,975} = \text{Nilai t pada persentil 0,975 (tabel distribusi t)}$$

Sehingga dapat dihitung interval kepercayaan tarik belah beton normal (0 %) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 &= \bar{x} - \left(t_{0,975} \times \frac{s}{\sqrt{n}}\right) < \mu < \bar{x} + \left(t_{0,975} \times \frac{s}{\sqrt{n}}\right) \\
 &= 2,42 - \left(4,303 \times \frac{0,054}{\sqrt{3}}\right) < \mu < 2,42 + \left(4,303 \times \frac{0,054}{\sqrt{3}}\right) \\
 &= 2,286 < \mu < 2,556
 \end{aligned}$$

Langkah serupa selanjutnya dilakukan untuk memperoleh interval kepercayaan tarik belah beton dengan variasi penambahan sebesar 2%, 4%, 6%, dan 8%, yang hasilnya disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.28 Interval Kepercayaan Tarik Belah Beton

Benda Uji	$\bar{x}$	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan
Variasi 0%	2.421	0.455	0,975	2	4,303	$2,286 < \mu < 2,556$
Variasi 2%	2.391	0.034	0,975	2	4,303	$2,306 < \mu < 2,476$
Variasi 4%	2.207	0.008	0,975	2	4,303	$2,187 < \mu < 2,228$
Variasi 6%	2.072	0.036	0,975	2	4,303	$1,982 < \mu < 2,163$
Variasi 8%	1.982	0.064	0,975	2	4,303	$1,822 < \mu < 2,142$

(Sumber: Hasil Penelitian)

Berdasarkan data pada tabel interval kepercayaan, dilakukan proses penyaringan terhadap data yang memenuhi maupun yang tidak memenuhi kriteria, sesuai dengan rentang interval kepercayaan yang telah ditentukan. Adapun hasil penyortiran data tersebut disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.29 Interval Kepercayaan Tarik Belah Beton

Benda Uji	Kode	Tarik Belah 28 Hari (Mpa)	Interval Kepercayaan	Keterangan	Tarik Belah Rata-Rata (Mpa)
Variasi 0%	F1a	2.48	$2,286 < \mu < 2,556$	Memenuhi	2.42
	F1b	2.40		Memenuhi	
	F1c	2.38		Memenuhi	
Variasi 2%	F21	2.41	$2,306 < \mu < 2,476$	Memenuhi	2.39
	F22	2.41		Memenuhi	
	F23	2.35		Memenuhi	
Variasi 4%	F5a	2.21	$2,187 < \mu < 2,228$	Memenuhi	2.21
	F5b	2.21		Memenuhi	
	F5c	2.20		Memenuhi	
Variasi 6%	F4a	2.11	$1,982 < \mu < 2,163$	Memenuhi	2.07
	F4b	2.07		Memenuhi	
	F4c	2.04		Memenuhi	
Variasi 8%	F31	2.06	$1,822 < \mu < 2,142$	Memenuhi	1.98
	F32	1.95		Memenuhi	
	F33	1.94		Memenuhi	

(Sumber: Hasil Pebelitian)

Berdasarkan hasil analisis data melalui uji interval kepercayaan, tidak ditemukan adanya perubahan maupun perbedaan nilai tarik belah beton setelah dilakukan penyortiran berdasarkan validitas data.

4.6 Pengujian Analisis Regresi

Setelah dilakukan pemilahan data menggunakan uji interval kepercayaan, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis regresi guna mengetahui tingkat kekuatan hubungan antara variasi penambahan air semen dengan kuat tekan dan tarik belah beton. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metode regresi linier, yang dinyatakan dalam bentuk persamaan $Y = a + bX$

Dengan:

Y : variabel terikat (kuat tekan, tarik belah)

X : variabel bebas (presentasi variasi penambahan air semen)

a : konstanta (intersep)

b : koefisien regresi

4.6.1 Pengujian analisis Regresi Kuat Tekan Beton

Tabel 4.30 Data Rata-Rata Kuat Tekan Beton

Variasi Air Semen (%)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
0	21.18
2	20.64
4	20.46
6	20.06
8	19.24

(Sumber: Hasil Penelitian)

Dari tabel data tersebut, selanjutnya dihitung regresi kuat tekan beton.

Tabel 4.31 Data Regresi Kuat Tekan Beton

No	X	Y	X ²	XY
1	0	21,18	0	0,00
2	2	20,64	4	41,27
3	4	20,46	16	81,85
4	6	20,06	36	120,34
5	8	19,24	64	153,90
Σ	20	101,5711	120	397,36

(Sumber: Hasil Penelitian)

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

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

$$b = \frac{5(397,36) - (20)(101,57)}{5(120) - (20)^2}$$

$$b = -0,223$$

Selanjutnya dihitung intersep (a):

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

$$a = \frac{101,57 - (-0,223)(20)}{5}$$

$$a = 21,206$$

sehingga didapat persamaan regresi sebagai berikut:

$$\hat{Y} = -0,223X + 21,206$$

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

$\bar{Y}$: 20,314

Tabel 4.32 Perhitungan Koefisien Dterminasi Kuat Tekan beton

No	X	Y	$\hat{Y}$	$(Y - \hat{Y})^2$	$(Y - \bar{Y})^2$
1	0	21.18	21.21	0.0008	0.7455
2	2	20.64	20.76	0.0152	0.1040
3	4	20.46	20.31	0.0218	0.0218
4	6	20.06	19.87	0.0358	0.0660
5	8	19.24	19.42	0.0342	1.1597
Σ	20	101.571	101.571	0.1079	2.0970

(Sumber: Hasil Penelitian)

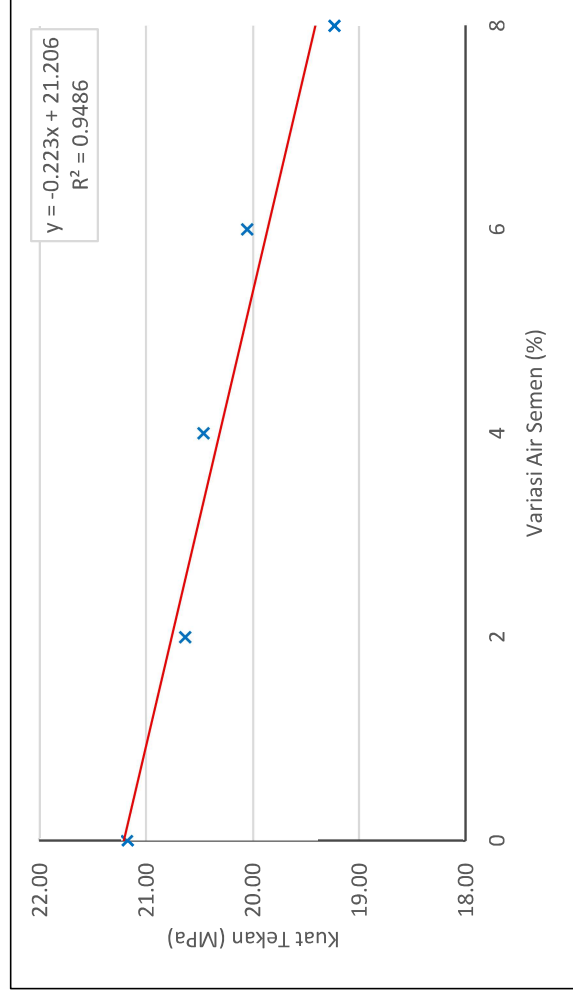
Mengacu pada data hasil perhitungan yang tercantum pada tabel di atas, selanjutnya dilakukan substitusi ke dalam rumus koefisien determinasi dengan tahapan sebagai berikut.

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

$$R^2 = 1 - \frac{0,1079}{2,0970}$$

$$R^2 = 0,9486$$

Hasil perhitungan tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik regresi linier yang menggambarkan hubungan antara variasi penambahan air semen dan kuat tekan beton.



Gambar 4.64 Grafik Regresi Linear Hubungan Variasi Air Semen terhadap Kuat Tekan Beton

(Sumber: Hasil Penelitian)

Berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa metode regresi linier memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menjelaskan pengaruh variasi penambahan air terhadap kuat tekan beton. Nilai R^2 sebesar 94,86% menunjukkan bahwa sebesar 94,86% variasi pada kuat tekan beton dipengaruhi oleh penambahan air semen, sementara sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model regresi.

4.6.2 Pengujian Analisis Regresi Tarik Belah Beton

Tabel 4.33 Data Rata-Rata Tarik Belah Beton

Variasi Air Semen (%)	Tarik Belah Rata-Rata (Mpa)
0	2.42
2	2.39
4	2.21
6	2.07
8	1.98

(Sumber: Hasil Penelitian)

Dari tabel tersebut, dihitung regresi kuat tekan beton.

Tabel 4.34 Data Regresi Tarik Belah Beton

No	X	Y	X ²	XY
1	0	2,42	0	0,00
2	2	2,39	4	4,78
3	4	2,21	16	8,83
4	6	2,07	36	12,43
5	8	1,98	64	15,86
Σ	20	11,074	120	41,90

(Sumber: Hasil Penelitian)

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

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

$$b = \frac{5(41,90) - (20)(11,074)}{5(120) - (20)^2}$$

$$b = -0,0599$$

Selanjutnya dihitung intersep (a):

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

$$a = \frac{11,074 - (-0,0599)(20)}{5}$$

$$a = 2,454$$

sehingga didapat persamaan regresi sebagai berikut:

$$\hat{Y} = -0,0599X + 2,454$$

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

$\bar{Y}$: 2,215

Tabel 4.35 Perhitungan Koefisien Dterminasi Tarik Belah beton

No	X	Y	$\hat{Y}$	$(Y - \hat{Y})^2$	$(Y - \bar{Y})^2$
1	0	2.421253	2.45	0.0011	0.0426
2	2	2.391093	2.33	0.0032	0.0311
3	4	2.207239	2.21	0.0001	0.0001
4	6	2.072299	2.10	0.0005	0.0203
5	8	1.981895	1.98	0.0000	0.0542
Σ	20	11.07378	11.07	0.0049	0.1483

(Sumber: Hasil Penelitian)

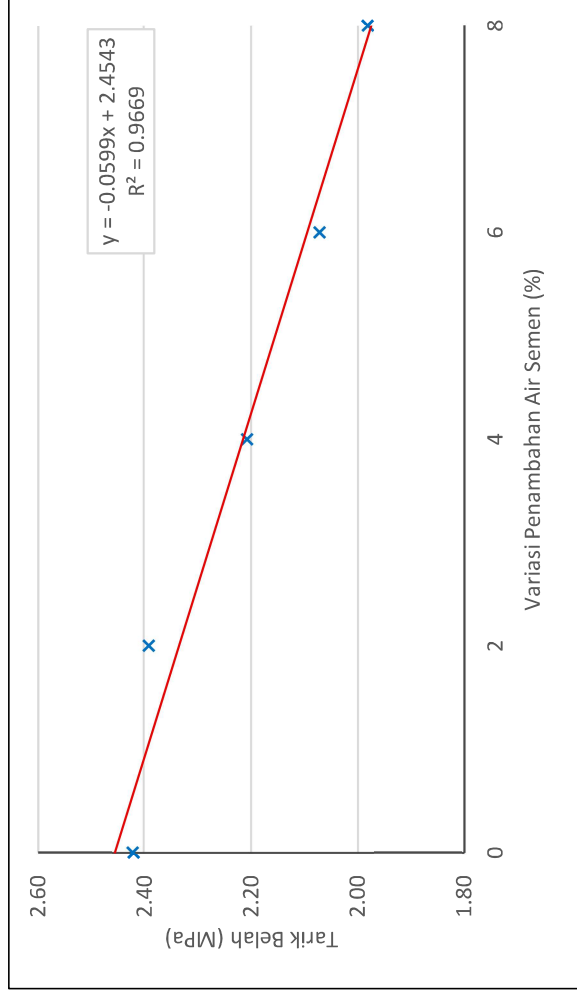
Mengacu pada data hasil perhitungan yang tercantum pada tabel di atas, selanjutnya dilakukan substitusi ke dalam rumus koefisien determinasi dengan tahapan sebagai berikut.

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

$$R^2 = 1 - \frac{0,0049}{0,1483}$$

$$R^2 = 0,9669$$

Hasil perhitungan tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik regresi linier yang menggambarkan hubungan antara variasi penambahan air semen dan tarik belah beton.



Gambar 4.65 Grafik Regresi Linear Hubungan Variasi Air Semen terhadap Tarik Belah Beton

(Sumber: Hasil Penelitian)

Berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa metode regresi linier memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menjelaskan pengaruh variasi penambahan air terhadap tarik belah beton. Nilai R^2 sebesar 96,69% menunjukkan bahwa sebesar 96,69% variasi pada kuat tekan beton dipengaruhi oleh penambahan air semen, sementara sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model regresi.

4.7 Pengujian Hipotesis

Tujuan dari pengujian hipotesis adalah untuk menghitung nilai statistik dan membandingkannya dengan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya. Apabila hasil pengujian tidak sesuai dengan yang diharapkan, maka hipotesis akan ditolak. Sebaliknya, apabila hasilnya berada dalam batas penerimaan yang ditetapkan, maka hipotesis dapat diterima.

Dalam penelitian ini, pengujian hipotesis dilakukan menggunakan uji signifikansi dua sisi dengan distribusi t-Student (uji t), yang bertujuan untuk mengetahui apakah variabel bebas (X) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel terikat (Y). Adapun yang dimaksud dengan variabel bebas (X) dalam penelitian ini adalah

persentase variasi penambahan air, sedangkan variabel terikat (Y) mencakup kuat tekan, modulus elastisitas, dan porositas beton.

Tabel 4.36 Distribusi Uji t

dlk	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	1,839	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
<i>∞</i>	0,674	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

(Sumber: Walpole, R.E. (1988). *Pengantar Statistika*)

4.7.1 Pengujian Hipotesis Variasi Air semen Terhadap Nilai Kuat Tekan

Hipotesis yang diajukan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- H_0 : Variasi penambahan air tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton
- H_1 : Variasi penambahan air memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton.

Nilai t_{hitung} ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Dengan:

- Koefisien korelasi dari regresi kuat tekan : $r = \sqrt{R^2} = \sqrt{0,9486} = 0,9739$
- $n = 5$ (jumlah pasangan data)

Maka:

$$t = \frac{0,9739\sqrt{5-2}}{\sqrt{1-0,9486}} = \frac{0,9739\sqrt{3}}{\sqrt{0,0514}} = \frac{1,687}{0,183} \approx 7,437$$

Menentukan t_{tabel} dengan data sebagai berikut:

- Derajat kebebasan (df) $= n - 2 = 3$
- Taraf signifikansi (α) $= 0,05$
- β untuk $\alpha/2$ (uji dua sisi) $= 1 - 0,05/2 = 0,975$

Sehingga, dari tabel 4.36 didapat nilai $t_{tabel} = 3,182$

Keputusan:

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh bahwa nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$ ($7,437 > 3,182$), sehingga H_0 ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa variabel penambahan air terhadap semen berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan beton.

4.7.1 Pengujian Hipotesis Variasi Air semen Terhadap Nilai Tarik Belah

Hipotesis yang diajukkan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- H_0 : Variasi penambahan air tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton
- H_1 : Variasi penambahan air memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton.

Nilai t_{hitung} ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Dengan:

- Koefisien korelasi dari regresi kuat tekan : $r = \sqrt{R^2} = \sqrt{0,9669} = 0,9833$
- $n = 5$ (jumlah pasangan data)

Maka:

$$t = \frac{0,9833\sqrt{5-2}}{\sqrt{1-0,9669}} = \frac{0,9833\sqrt{3}}{\sqrt{0,0331}} = \frac{1,703}{0,182} \approx 9,363$$

Menentukan t_{tabel} dengan data sebagai berikut:

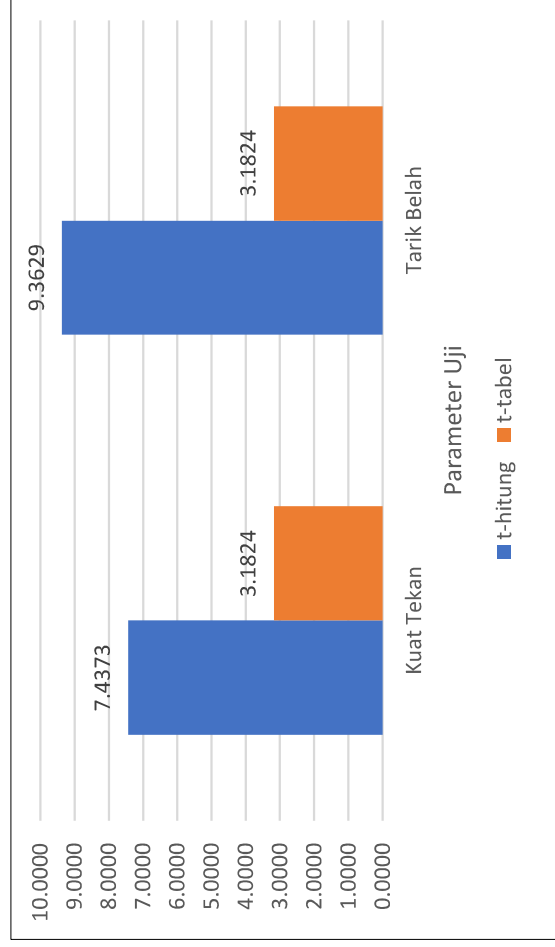
- Derajat kebebasan (df) $= n - 2 = 3$
- Taraf signifikansi (α) $= 0,05$
- β untuk $\alpha/2$ (uji dua sisi) $= 1 - 0,05/2 = 0,975$

Sehingga, dari tabel 4.36 didapat nilai $t_{tabel} = 3,182$

Keputusan:

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh bahwa nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$ ($9,363 > 3,182$), sehingga H_0 ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa variabel penambahan air terhadap semen berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan beton.

Setelah dilakukan uji hipotesis pada masing-masing variabel pengujian, selanjutnya disajikan grafik perbandingan antara nilai t_{hitung} dan t_{tabel} guna memberikan interpretasi visual yang lebih jelas terhadap hasil pengujian.



Gambar 4.66 Grafik Perbandingan Nilai t_{hitung} dan t_{tabel} Parameter Uji