

TUGAS AKHIR

PENGARUH LIMBAH PECAHAN KERAMIK SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT KASAR TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON NORMAL (*EFFECT OF WASTE CERAMIC SHARDS AS A SUBSTITUTION OF COARSE AGGREGATE ON MECHANICAL PROPERTIES OF NORMAL CONCRETE*)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Tyastari Daniya Adelin
20511174**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

PENGARUH LIMBAH PECAHAN KERAMIK SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT KASAR TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON NORMAL (*EFFECT OF CERAMIC WASTE SHARDS AS A SUBSTITUTION OF COARSE AGGREGATE ON MECHANICAL PROPERTIES OF NORMAL CONCRETE*)

Disusun oleh



Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 28 Juli 2025

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

 05/08 2025

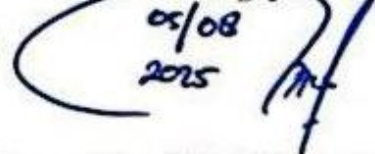
Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
NIK : 185111304

Penguji I

 5-08-25

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng
NIK : 165111301

Penguji II

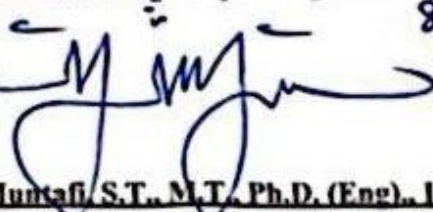
 05/08 2025

Jafar, S.T., MURP., M.T.
NIK : 185111305

Mengesahkan,



Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana

 8 Agustus 2025

Yonalia Muntali, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM
NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian - bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumber secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 10 Juli 2025

Yang membuat pernyataan,



Tyastari Daniya Adelin

(20511174)

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

"Allah memang tidak menjanjikan hidupmu akan selalu mudah, tapi dua kali Allah berjanji bahwa : fa inna ma'al-usri yusra, inna ma'al-usri yusra"

(Qs Al-Insyirah 94: 5-6)

"Semua jatuh bangunmu hal yang biasa, angan dan pertanyaan waktu yang menjawabnya, berikan tenggat waktu bersedihlah secukupnya, rayakan perasaanmu sebagai manusia"

(Baskara Putra - Hindia)

"Ketika aku melibatkan Allah dalam semua rencana dan impianku, dengan penuh keikhlasan dan keyakinan, akau percaya tidak ada yang tidak mungkin untuk diraih"

"Mau bagaimanapun hidupmu nanti, tetaplah menjadi perempuan manis yang kuat dan ceria ya? mau sesakit apapun itu tetaplah hargai dirimu, karena kamu lebih dari apapun <3"

(Tyastari Daniya Adelin)

Persembahan

Dengan mengucapkan Alhamdulillahairabbil'alamiin puji syukur kepada Allah SWT, yang telah memberikan nikmat akal sehat yang sangat luar biasa, kekuatan, membekali ilmu pengetahuan serta memperkenalkan saya dengan cinta. Sholawat serta salam selalu tercurah dan limpahkan kepada baginda Rasulullah SAW.

Rasa syukur dan bahagia ini saya persembahkan kepada orang-orang yang saya cintai dan sangat berarti dalam hidup penulis. Terima Kasih telah menjadi penyemangat atas segala perjuangan selama ini sehingga menjadi alasan terkuat dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini :

1. Teristimewa pintu surga yakni **Ibu Nur Rahmawati, S.E.**, seseorang yang telah melahirkan penulis, terimakasih atas tetes keringat dalam setiap pengorbanan dan kerja keras menjadi sosok ayah dan ibu yang hebat bagi 3 orang anak dalam kehidupan penulis, selalu menjadi tempat keluh kesah, mengusahakan segala kebutuhan secara moral maupun finansial, menunjukkan cinta dan kasih sayang yang tulus dalam bentuk apapun, mendidik, membimbing dan selalu mendoakan tiada henti dalam keadaan apapun agar penulis kuat dan mampu bertahan untuk melanjutkan hidup dalam meraih mimpi di masa depan. Terimakasih untuk selalu berada di sisi penulis dan jadi alasan dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini hingga memperoleh gelar Sarjana Teknik. Ma sehat selalu dan hidup lebih lama lagi ya? putri keduamu sudah dewasa dan siap melanjutkan mimpi setinggi-tingginya. *Home isn't home without you. I love u more more maa.*
2. Kakak tersayang **Radisya Daffa Rihadatul Aisy, S.Si (Mba Daffa)** dan Adik tersayang **Nisrina Hamidah Isyaratri (Ririn)**, selaku saudara kandung penulis yang selalu bersama meberikan dukungan, memotivasi serta mendoakan satu sama lain. Tumbuhlah menjadi versi yang lebih baik dan lebih hebat kakak dan adikku. Teruntuk adikku semangat kuliahnya ya rin doa terbaik buat kamu. *From childhood chaos to lifelong companionship.*
3. Bapak **Sigit Priastono, S.E.**, selaku sosok pengganti ayah yang baik dan peduli yang sudah datang di kehidupan penulis, terima kasih telah membantu studi penulis dan melengkapi keluarga penulis dalam senang maupun susah.
4. Kakek tercinta **(Alm.) Sudiyono Hadiwiyono**, selaku yang pernah menjadi sosok ayah juga bagi penulis, memberi hangatnya kasih sayang, perhatian, dan dukungan selama masa hidupnya. Semoga Allah SWT menempatkan mbah di sisi terbaik-Nya. Aamiin.
5. **Mohd. Ridho Alvindra Irawan**, seseorang yang telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis. Terima kasih telah sabar, mendukung, mendengarkan keluh kesah, menghibur, memberikan semangat, serta telah berkontribusi banyak baik meluangkan tenaga, waktu dan pikiran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Mari tetap berjuang bersama – sama yaa.

6. **Annisa Nur Evrilianti Utami**, selaku saudara jauh penulis yang telah membantu dalam pencarian bahan penelitian, memberikan tempat yang nyaman untuk berkeluh kesah dan menguatkan satu sama lain. Semangat studi S2 ya nis dan semoga ada jalan terbaik buat kamu kedepannya.
7. **Humnah Rizqi Apriliyanti, Luthfia Rahma Dhanti Andimi, Nurriyatuzzahrok, Thasya Azmeilia Sulistyو dan Nur Eka Lamusu**, selaku sahabat penulis di masa perkuliahan, terimakasih telah kebersamaan saat suka maupun duka, saling memberikan kasih sayang, doa, tenaga, waktu, *support* dan semangat satu sama lain. Meskipun setelah ini akan menjalani kehidupan dan kesibukan masing-masing yang berbeda, mungkin berada di kota atau negara yang berbeda, semoga pertemanan ini selalu terjaga selamanya. Hidup lebih lama lagi ya, selamat berproses! sehat dan bahagia selalu dimanapun nanti kalian berada. *People come and go, always stay & never change. Love you all.*
8. **Mukti, Nabil, Yandhi, Habib, Dimong, Hanif, Diwe, Jihan, Doni, Ishom, Mine, Alip, Devi, Firman, Angger, Alif, Sigit, Wisnu, Viony, Zahra**, selaku teman perkuliahan dan teman kkn penulis, yang telah sabar memberikan arahan, ilmu serta semangat dan mendukung penulis saat pelaksanaan di laboratorium dan proses penyusunan sehingga penelitian Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
9. **Ifa, Melinda, Idam, Ridwan, Rizal**, selaku sahabat penulis di masa sekolah menengah kejuruan yang selalu memberikan dukungan, memotivasi serta mendoakan penulis.
10. Mas **Miqdad Khosyi Akbar, S.T. M.T.**, Mas **Muhammad Kennyzyra Bintang, S.T.**, dan Mas **Raditya Pradhipta, S.T.**, selaku kakak tingkat maupun mantan asisten dosen yang telah baik untuk membimbing, membantu belajar lebih lagi dan memberikan arahan serta ilmu.
11. Teman – teman seperjuangan **Teknik Sipil UII 2020**, yang namanya tidak dapat di sebutkan satu persatu, terima kasih atas suka duka yang telah kita lalui bersama, tetap semangat di manapun kalian berada dan semoga kita semua menjadi orang sukses dunia akhirat.

12. Terakhir, **Tyastari Daniya Adelin**, ya! diri saya sendiri. Apresiasi sebesar-besarnya karena telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terimakasih kuat untuk bertahan secara fisik maupun mental, terus berusaha, tidak pernah menyerah, serta senantiasa menikmati setiap prosesnya yang bisa dibilang tidak mudah. Berbahagialah dimanapun kamu berada, Tyas. Adapun kurang lebihmu mari rayakan diri sendiri.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahiim.

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahilahirabil'alamiin, segala puji dan syukur bagi Allah Subhanahu wa ta'ala atas rahmat serta hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Pengaruh Limbah Pecahan Keramik Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Sifat Mekanik Beton Normal" dengan sungguh-sungguh dan maksimal. Shalawat serta salam selalu saya sanjungkan kepada pedoman hidup baginda Nabi Muhammad Shallallahu'alaihi wasallam, keluarga, sahabat serta pengikutnya di akhir zaman yang telah membawakan Islam Rahmatan lil'Alamin.

Tugas Akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat di akademik dalam menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pelaksanaan dan penyusunan Tugas Akhir ini sudah pasti ada banyak hambatan yang dihadapi penulis, akan tetapi penulis menyadari bahwa semua akan selesai sepenuhnya berkat semangat, bantuan, kerja sama, arahan, dukungan, doa tiada henti dari berbagai pihak. Hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan sebaik-baiknya. Untuk itu izinkanlah penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah sabar memberikan penulis bimbingan, arahan, masukan, nasihat, serta dorongan motivasi selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Sehat dan bahagia selalu Bapak.
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji 1 dalam sidang Tugas Akhir yang telah memberikan waktu, ilmu, saran, koreksi dan masukan yang membuat Tugas Akhir ini untuk selalu berkembang.

4. Bapak Jafar, S.T., MURP., M.T., selaku Dosen Penguji 2 dalam sidang Tugas Akhir yang telah memberikan waktu, ilmu, saran, koreksi dan masukan yang membuat Tugas Akhir ini untuk selalu berkembang.
5. Bapak Suwarno, Bapak Daru Salam, A.md dan Mas Win Fauzi Ahmad, S.Tr.T., selaku laboran di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta yang telah mengizinkan, memberikan arahan dan membantu penulis dalam proses pengambilan data maupun pengujian selama penelitian berlangsung.
6. Seluruh dosen dan tenaga kerja Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu selama masa perkuliahan ini selesai dengan baik dan memfasilitasi kegiatan pembelajaran penulis dalam perkuliahan.

Terima Kasih kepada semua pihak-pihak yang sudah memberi bantuan semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah diberikan. Aamiin. Semoga Tugas Akhir ini apat memberikan wawasan yang bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca.

Wassalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.

Yogyakarta, 8 Juli 2025
Penulis,

Tyastari Daniya Adelin
(20511174)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xix
ABSTRAK	xxi
ABSTRACT	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Umum	6
2.2 Penelitian Terdahulu	6
2.3 Perbandingan Penelitian	9
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Beton	13
3.2 Bahan Penyusun Beton	14
3.2.1 Agregat	14
3.2.2 Semen atau <i>Portland Cement</i> (PC)	22
3.2.3 Air	24

3.2.4 Bahan Pengganti (Limbah Pecahan Keramik)	25
3.3 Perencanaan Campuran Beton Normal	27
3.4 <i>Slump</i> Beton	38
3.5 Kuat Tekan Beton	39
3.6 Kuat Tarik Belah Beton	41
3.7 Umur Beton	42
3.8 Konsep Biaya	43
3.9 Harga Pokok Produksi	43
3.9.1 Standar Harga Barang dan Jasa (SHBJ)	45
3.9.2 Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)	45
BAB IV METODE PENELITIAN	47
4.1 Umum	47
4.2 Lokasi dan Sampel Benda Uji Penelitian	48
4.3 Bahan yang Digunakan	49
4.4 Alat yang Digunakan	50
4.5 Tahap Persiapan Penelitian	51
4.5.1 Studi Literatur	51
4.5.2 Izin Laboratorium	51
4.5.3 Persiapan Alat	51
4.5.4 Persiapan Material	51
4.5.5 Pemeriksaan Material	52
4.5.6 Pemeriksaan Semen	59
4.5.7 Pemeriksaan Air	59
4.6 Tahap Pelaksanaan Penelitian	59
4.6.1 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	59
4.6.2 Pembuatan Sampel dan Perawatan Benda Uji	59
4.6.3 Pengujian <i>Slump</i> Beton (<i>Workability</i>)	60
4.6.4 Perawatan Sampel Benda Uji	61
4.6.5 Pembuatan Kaping (<i>Capping</i>)	61
4.7 Tahap Pengujian Penelitian	62
4.8 Tahap Perhitungan Harga Pokok Produksi Beton	64

4.9	Olah Data	65
4.10	Analisis Data	65
4.11	Pembahasan	65
4.12	Kesimpulan dan Saran	65
4.13	Diagram Alir Penelitian	65
BAB V DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN		68
5.1	Tinjauan Umum	68
5.2	Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton	68
5.2.1	Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	68
5.2.2	Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar	79
5.2.3	Hasil Pemeriksaan Pecahan Keramik	88
5.3	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	97
5.4	Pengujian Beton	110
5.4.1	Hasil Pengujian <i>Slump</i>	110
5.4.2	Hasil Pengujian Berat Volume Beton	112
5.4.3	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	121
5.4.5	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	126
5.5	Harga Pokok Produksi	132
5.5.1	Penggolongan Standar Harga Barang dan Jasa (SHBJ)	132
5.5.2	Perhitungan Koefisien Bahan	133
5.5.3	Perhitungan Biaya Produksi Beton Per m ³	136
BAB VI		148
6.1	Kesimpulan	148
6.2	Saran	148
DAFTAR PUSTAKA		150
LAMPIRAN		153

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang	10
Tabel 3.1 Batas-Batas Gradasi Pasir	16
Tabel 3.2 Batas-Batas Gradasi Kerikil	21
Tabel 3.3 Senyawa Penyusun Semen Portland	24
Tabel 3.4 Faktor Pengali untuk (k) Standar Deviasi bila	28
Tabel 3.5 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang bisa dipakai di Indonesia	30
Tabel 3.6 Persyaratan fas dan Jumlah semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus	32
Tabel 3.7 Perkiraan kadar air bebas (kg/mm ³) yang dibutuhkan berdasarkan nilai slump	33
Tabel 3.8 Nilai Slump	39
Tabel 3.9 Jenis beton menurut kuat tekan	39
Tabel 3.10 Angka Konversi Umur Benda Uji	42
Tabel 4.1 Jumlah Sampel Benda Uji Beton	48
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	70
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	73
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	74
Tabel 5.4 Gradasi Agregat Halus	74
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	77
Tabel 5.6 Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	77
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200	79
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	81
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	84
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	84
Tabel 5.11 Gradasi Agregat Kasar	85
Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar	87
Tabel 5.13 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar	88

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air	90
Tabel 5.15 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pecahan Keramik Sampel 1	93
Tabel 5.16 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pecahan Keramik Sampel 2	93
Tabel 5.17 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Pecahan Keramik	96
Tabel 5.18 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Pecahan Keramik	97
Tabel 5.19 Faktor Pengali untuk (k) Standar Deviasi bila	98
Tabel 5.20 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas 0,5 dan Jenis Semen serta Agregat yang dipakai di Indonesia	99
Tabel 5.21 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	100
Tabel 5.22 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	102
Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton (Mix Design) Menggunakan Metode SNI 03-2834-2000	107
Tabel 5.24 Rekapitulasi Proporsi Kebutuhan Material Pada Campuran Beton	109
Tabel 5.25 Hasil Pengujian Slump	110
Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton Pada Variasi Pecahan Keramik (0%)	114
Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton Pada Variasi Pecahan Keramik (10%)	115
Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton Pada Variasi Pecahan Keramik (15%)	116
Tabel 5.29 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton Pada Variasi Pecahan Keramik (20%)	117
Tabel 5.30 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton Pada Variasi Pecahan Keramik (25%)	118
Tabel 5.31 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton Pada Variasi Pecahan Keramik (30%)	119
Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Uji Tekan Beton	123
Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Uji Tarik Belah Beton	128

Tabel 5.34 Tabel Persentase Kuat Tarik Belah Dari Kuat Tekan Beton	132
Tabel 5.35 Rekapitulasi Standar Harga Barang dan Jasa Pembuatan Beton	133
Tabel 5.36 AHSP 1m ³ Beton mutu, $f'c = 27,03$ MPa, slump (12±2) cm dengan (Pecahan Keramik 0%)	138
Tabel 5.37 AHSP 1m ³ Beton mutu, $f'c = 27,75$ MPa, slump (12±2) cm dengan (Pecahan Keramik 10%)	139
Tabel 5.38 AHSP 1m ³ Beton mutu, $f'c = 28,41$ MPa, slump (12±2) cm dengan (Pecahan Keramik 15%)	140
Tabel 5.39 AHSP 1m ³ Beton mutu, $f'c = 30,17$ MPa, slump (12±2) cm dengan (Pecahan Keramik 20%)	141
Tabel 5.40 AHSP 1m ³ Beton mutu, $f'c = 29,77$ MPa, slump (12±2) cm dengan (Pecahan Keramik 25%)	142
Tabel 5.41 AHSP 1m ³ Beton mutu, $f'c = 26,64$ MPa, slump (12±2) cm dengan (Pecahan Keramik 30%)	143
Tabel 5.42 Rekapitulasi Hasil Pengujian Sifat Mekanik dan Harga Pokok Produksi	145

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Agregat Halus	15
Gambar 3.2 Agregat Kasar	20
Gambar 3.3 Semen Portland Tipe I	23
Gambar 3.4 Limbah Pecahan Keramik Ukuran Maksimum 20 mm	26
Gambar 3.5 Grafik Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji bentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm)	31
Gambar 3.6 Persen Pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm	35
Gambar 3.7 Grafik perkiraan Berat Isi Beton yang telah selesai dipadatkan	36
Gambar 3.8 Cetakan untuk Uji Slump (Kerucut Abram)	38
Gambar 3.9 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton	40
Gambar 3.10 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	41
Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian	66
Gambar 5.1 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1	75
Gambar 5.2 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2	75
Gambar 5.3 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1	85
Gambar 5.4 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2	86
Gambar 5.5 Grafik Gradasi Pecahan Keramik Maksimum 20 mm Sampel 1	94
Gambar 5.6 Grafik Gradasi Pecahan Keramik Maksimum 20 mm Sampel 2	95
Gambar 5.7 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas) untuk Benda Uji Silinder Diameter 150mm dan Tinggi 300 mm	99
Gambar 5.8 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	103
Gambar 5.9 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah	104
Gambar 5.10 Grafik Pengujian Nilai Slump pada Tiap Variasi	111
Gambar 5.11 Contoh Hasil Pengujian Slump Beton	112
Gambar 5.12 Grafik Hasil Nilai Berat Volume Beton pada Tiap Kadar Variasi Pecahan Keramik	120

Gambar 5.13 Contoh Pengujian Kuat Tekan Beton	121
Gambar 5.14 Contoh Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	122
Gambar 5.15 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	125
Gambar 5.16 Contoh Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	127
Gambar 5.17 Grafik Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	130
Gambar 5.18 Contoh Hasil Uji Kuat Tarik Belah Beton	131
Gambar 5.19 Rekapitulasi Hasil Harga Pokok Produksi	144
Gambar 5.20 Grafik Rekapitulasi Hasil Pengujian Sifat Mekanik dan Harga Pokok Produksi Per m ³ Pada Tiap Kadar Pecahan Keramik Beton	146

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Laboratorium	154
Lampiran 2 Data Hasil Pemeriksaan Agregat	156
Lampiran 3 Data Hasil Perencanaan Campuran Beton	179
Lampiran 4 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	180
Lampiran 5 Data Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	182
Lampiran 6 Data Hasil Harga Pokok Produksi Beton	184
Lampiran 7 Gambar Material	186
Lampiran 8 Gambar Peralatan	188
Lampiran 9 Gambar Pengujian	196

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

SNI	= Standar Nasional Indonesia
SHBJ	= Standar Harga Barang dan Jasa
AHSP	= Analisa Harga Satuan Pekerjaan
HPP	= Harga Pokok Produksi
PC	= <i>Portland Cement</i>
FAS	= Faktor Air Semen
MHB	= Modulus Halus Butir
SSD	= <i>Saturated Surface-Dry</i>
f'_c	= Kuat Tekan Beton (MPa)
f'_{cr}	= Kuat Tekan rata-rata yang ditargetkan (MPa)
f'_{ct}	= Kuat Tarik Belah Beton (MPa)
M	= Nilai Tambah (MPa)
Sd	= Standar Deviasi (MPa)
P	= Beban Maksimum (N)
A	= Luas Penampang (mm ²)
V	= Volume (kg/cm ³)
c	= Jumlah semen (kg/m ³)
d	= Diameter Silinder (cm)
t	= Tinggi Silinder (cm)
MPa	= Megapascal
N	= Newton
kN	= Kilonewton
kg	= Kilogram
g	= Gram
m	= Meter
cm	= Centimeter
mm	= Milimeter
°C	= Derajat Celcius

Rp	= Rupiah
Wh	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m^3)
Wk	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m^3)
BJAG	= Berat Jenis Agregat Gabungan
BJAK	= Berat Jenis Agregat Kasar
BJAH	= Berat Jenis Agregat Halus
% AK	= Persentase Agregat Kasar (%)
% AH	= Persentase Agregat Halus (%)

ABSTRAK

Beton merupakan bahan yang sering digunakan dalam konstruksi bangunan, salah satu penyusun bahan campuran beton yaitu agregat kasar (kerikil). Melihat pembangunan konstruksi di Indonesia saat ini terus berkembang, sehingga akan meningkatkan kebutuhan bahan bangunan sesuai untuk pembangunan konstruksi. Hal ini dapat mempengaruhi terbatasnya bahan kerikil yang signifikan. Oleh karena itu, perlu adanya alternatif pemanfaatan bahan baku yaitu limbah pecahan keramik sebagai substitusi dari berat total agregat kasar dalam campuran beton. Keramik terbuat dari tanah liat yang memiliki sifat hampir sama dengan agregat kasar yang dapat mempengaruhi sifat mekanik beton.

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan SNI 03-2834-2000 sebagai standar perencanaan dalam campuran beton dengan kuat tekan rencana 25 MPa. Kadar variasi substitusi pecahan keramik sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% dari berat agregat kasar. Menggunakan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur uji 28 hari. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dan HPP per m³ beton.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa substitusi limbah pecahan keramik terhadap berat total agregat kasar dapat meningkatkan sifat mekanik dan menurunkan HPP setiap m³ pada beton. Dengan nilai kadar optimum yaitu sebesar 20% pada beton. Pada pengujian kuat tekan tertinggi didapatkan hasil sebesar 30,17 MPa, pengujian kuat tarik belah sebesar 2,963 MPa dan HPP sebesar Rp 1.289.598,42 per m³ beton. Semakin besar kadar limbah pecahan keramik yang disubstitusikan dapat menurunkan sifat mekanik dan memotong harga pokok produksi pada beton karena pecahan keramik didapatkan secara gratis.

Kata Kunci : Beton, Limbah Pecahan Keramik, Sifat Mekanik, Harga Pokok Produksi

ABSTRACT

Concrete is a material that is often used in building construction, one of the components of concrete mixtures is coarse aggregate (gravel). That construction in Indonesian is currently continuing to grow, this will increase the demand for building materials suitable for construction. This can to a significant shortage of gravel. Therefore, there is a need for an alternative use of raw materials, namely ceramic waste as a substitute for the total weight if coarse aggregate in concrete mixtures. Ceramics are made from clay, which has properties similar to coarse aggregate and can affect the mechanical properties of concrete.

In this study using experimental methods and SNI 03-2834-2000 as a planning standard in concrete mixtures with a compressive strength plan of 25 MPa. The level of ceramic waste substitution variations is 0%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% of the weight of coarse aggregate. Using cylindrical specimens with test age 28 days. To determine the mechanical properties and production cost of concrete.

The results of this study the substitution of ceramic waste for the weight of coarse aggregate can increase the mechanical properties and reduce the cost of production. The optimum level in the substitution of ceramic waste is 20%. In the results optimum compressive strength test, 30.17 MPa, tensile strength 2.963 MPa and cost of production Rp 1,289,598.42 m³ of concrete. The higher the substitution rate of ceramic waste the lower the mechanical properties and the lower the production cost of each m³ of concrete, as ceramic waste is free.

Keywords : Concrete, Waste Ceramic, Mechanical Properties, Cost of Production

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini pembangunan infrastruktur berkembang dengan cepat, terutama di bidang teknik sipil. Sebagian besar beton biasa digunakan dalam pembangunan infrastruktur, termasuk jalan raya, jembatan, gedung, bendungan, dan infrastruktur lainnya. Beton terdiri dari beberapa bahan campuran yaitu, agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), air, dan semen yang membentuk massa padat. Beton normal memiliki berat jenis berkisar antara 2200kg/m^3 - 2500kg/m^3 dari agregat alam yang dipecah (SNI 03-2834-2000).

Purnamasari dkk. (2023), menyatakan bahan pembuat beton dan sebuah infrastruktur berjalan beriringan karena beton merupakan salah satu bahan yang sering digunakan dalam bangunan konstruksi. Beton memiliki kemampuan untuk dibentuk dengan mudah sesuai dengan spesifikasi rencana dan bahan yang mudah didapat. Manfaat beton lainnya yaitu harga beton yang relatif murah, kuat tekan yang tinggi, tahan karat dan api.

Dalam menghasilkan sebuah konstruksi yang baik harus didukung oleh bahan campuran beton yang baik, sehingga konstruksi yang kokoh akan dihasilkan dan dapat bertahan saat bangunan digunakan. Hal ini merupakan dasar pemilihan dan penggunaan beton sebagai bahan bangunan yang merupakan faktor efisiensi dan efektivitas. Pemilihan bahan campuran beton sangat mempengaruhi kualitas beton yang akan mendukung tercapainya mutu beton yang baik. Karena mutu beton berpengaruh sangat besar terhadap kekuatan suatu bangunan.

Salah satunya bahan yang harus ada dalam proses setiap pembangunan konstruksi adalah kerikil. Melihat pembangunan konstruksi di Indonesia saat ini terus berkembang, sehingga akan meningkatkan kebutuhan bahan bangunan secara besar-besaran yang sesuai untuk pembangunan konstruksi. Suwarno & Nursandah (2019) menyatakan bahwa penggunaan bahan baku yang di ambil secara terus menerus dari alam akan mengalami terbatasnya bahan yang signifikan. Oleh karena

itu, perlu mencari bahan alternatif lain untuk pengganti sebagian kerikil tersebut yang dapat memberikan peningkatan mutu beton sebagai bahan konstruksi. Salah satunya yaitu, pemanfaatan limbah pecahan keramik untuk menggantikan sebagian dari berat total agregat kasar. Setiawan dkk. (2023), meneliti tentang pemanfaatan limbah keramik sebagai pengganti sebagian agregat kasar untuk beton mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 30,1 MPa dan hasil tersebut lebih tinggi dari beton normal sebesar 29,44 MPa.

Limbah pecahan keramik merupakan hasil dari renovasi bangunan, potongan proses pekerjaan konstruksi, sisa pembuangan tidak layak jual karena kualitasnya buruk atau kondisinya tidak memungkinkan yang akan menghasilkan butiran kasar. Keramik dibuat dari tanah liat atau tanah lempung yang dibakar pada suhu tinggi untuk pengerasan dan dikategorikan sebagai limbah padat, keramik hampir memiliki semua sifat yang sama dengan agregat kasar yang sering digunakan dalam beton. Besaran berat jenis dan gradasi agregat kasar maupun pecahan keramik yang digunakan dalam campuran beton, keduanya menunjukkan kesamaan karakteristik (Suwarno & Nursandah Fauzie, 2019).

Perkembangan ekonomi suatu daerah yang meningkat, juga berdampak pada kebutuhan beton. Tentunya, perusahaan yang ingin menjual beton harus siap untuk memenuhi kebutuhan pembangunan suatu daerah. Untuk dapat bersaing dengan perusahaan dalam bidang yang sama, perusahaan harus memperhatikan kualitas beton dan harga jual yang tepat dengan metode yang dipilih (Fardila & Sugian, 2023).

Berdasarkan penjelasan diatas, bahwa pembuatan beton untuk mengetahui pengaruh limbah pecahan keramik sebagai pengganti sebagian dari berat total agregat kasar. Pembuatan beton dilakukan untuk mendapatkan mutu beton yang optimal dan bisa digunakan sebagai alternatif pekerjaan beton lainnya. Pada penelitian yang telah dilakukan ini, digunakan beton dengan mutu yaitu 25 MPa menggunakan kadar pengganti sebagian limbah pecahan keramik dengan variasi 0%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% terhadap berat agregat kasar yang berbeda pada setiap mutu beton. Beton yang sudah dibuat sesuai standar dan rencana, kemudian dilakukan pengujian sifat mekanik betony aitu, uji kuat tekan dan uji kuat tarik

belah yang akan dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Selain itu, pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan terkait harga pokok produksi untuk beton normal dan beton dengan substitusi limbah pecahan keramik pada tiap variasinya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, dapat dirumuskan pembatasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh kadar variasi 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dari campuran limbah pecahan keramik sebagai bahan substitusi agregat kasar terhadap sifat mekanik beton normal?
2. Berapakah kadar variasi substitusi limbah pecahan keramik pada campuran beton yang menghasilkan mutu optimum terhadap sifat mekanik beton normal?
3. Berapakah harga pokok produksi optimum dari campuran limbah pecahan keramik sebagai bahan substitusi agregat kasar yang berpengaruh terhadap sifat mekanik beton normal?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh kadar variasi 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dari campuran limbah pecahan keramik sebagai bahan substitusi agregat kasar terhadap sifat mekanik beton normal.
2. Mengetahui kadar variasi substitusi limbah pecahan keramik pada campuran beton yang menghasilkan persentase mutu optimum terhadap sifat mekanik beton normal.
3. Mengetahui harga pokok produksi optimum dari campuran limbah pecahan keramik sebagai bahan substitusi agregat kasar yang berpengaruh terhadap sifat mekanik beton normal.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian yang dilakukan terhadap perkembangan teknologi beton khususnya, serta pengetahuan masyarakat umum sebagai berikut.

1. Memberikan informasi mengenai pemanfaatan penggunaan limbah pecahan keramik sebagai pengganti sebagian dari berat agregat kasar pada beton.
2. Menjadi salah satu bentuk solusi dalam permasalahan lingkungan dan untuk mengurangi limbah industri keramik.
3. Memberikan pengetahuan terkait teknologi beton mengenai limbah pecahan keramik sebagai beton berguna dalam bidang konstruksi

1.5 Batasan Penelitian

1. Mutu yang direncanakan (f'_c) adalah 25 MPa.
2. Nilai *Slump* 10 ± 2 cm.
3. Perencanaan campuran adukan beton (*Mix Design*) menggunakan metode yang mengacu pada tata cara pembuatan rencana campuran beton normal (SNI 03-2834-2000).
4. Variasi kadar imbah pecahan keramik yang digunakan sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% dari berat total agregat kasar.
5. Limbah pecahan keramik yang digunakan berasal dari tempat pembuangan akhir limbah (TPA) daerah Kabupaten Cikarang, Jawa Barat.
6. Ukuran maksimum limbah pecahan keramik dan agregat kasar yang digunakan adalah 20 mm.
7. Semen yang digunakan adalah semen *Portland Composite Cement* (PCC) Tipe 1 merek Semen Tiga Roda.
8. Agregat halus (Pasir) berasal dari Sungai Progo.
9. Agregat kasar (Kerikil) berasal dari Clereng.
10. Air berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
11. Benda uji yang digunakan adalah silinder beton berjumlah 60 buah, berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

12. Perawatan benda uji dilakukan pada bak yang sudah diisi air dengan cara merendam hingga seluruh permukaan silinder terendam air.
13. Pengujian yang dilakukan berupa sifat mekanik beton yaitu, kuat tekan dan kuat tarik belah dilakukan setelah umur 28 hari
14. Perhitungan harga pokok produksi beton menggunakan metode AHSP
15. Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Menurut SNI 2847-2019, beton merupakan campuran antara semen atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar, air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*adimixture*) yang membentuk masa padat.

Penelitian ini memerlukan literatur untuk mengetahui apa yang relevan atau berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan seperti persamaan dalam benda uji. Dengan adanya peninjauan dalam literatur dari penelitian-penelitian terdahulu memungkinkan penulis untuk melakukan perbandingan dengan topik yang berkaitan dengan penelitian penulis sekarang sebagai acuan.

2.2 Penelitian Terdahulu

Ada beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan dalam proses menunjang proses penyelesaian maupun bahan informasi sebagai acuan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Penelitian yang sudah dilakukan mengenai beton menggunakan limbah pecahan keramik dapat diuraikan sebagai berikut.

2.2.1 Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Koral Pada Campuran Beton Mutu Tinggi (Suwarno & Nursandah, 2019).

Pada penelitian ini dilakukan menggunakan benda uji dengan kuat tekan yang direncanakan adalah 25 MPa dan kadar pengganti dengan variasi limbah pecahan keramik yang digunakan 0%, 25%, 50%, dan 70% dari total agregat kasar. Tujuan dari Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai optimum kuat tekan beton menggunakan nilai faktor konversi uji umur 28 hari. Benda uji yang dibuat pada penelitian ini berupa cetakan silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm tiap variasi. Metode *mix design* yang digunakan adalah berdasarkan SNI 03-2834-2000. Hasil penelitian yang telah dilakukan ini menunjukkan nilai kuat tekan beton untuk variasi 0%, 25%, 50%, dan 70% berturut-turut adalah K-329,259, K-342,374, K-312,702, dan K-282,167. Didapatkan nilai kuat tekan optimum pada variasi 25% dari berat volume dengan hasil sebesar K-342,374.

2.2.2 Pemanfaatan Limbah Pecahan Keramik Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Pada Produksi Beton (Subedi dkk. 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah pecahan keramik sebagai bahan pengganti agregat kasar dan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton optimum pada umur 7 dan 28 hari. Pada penelitian ini menggunakan benda uji dengan kuat tekan yang di rencanakan adalah 25 MPa dan kadar bahan pengganti limbah pecahan keramik yang digunakan sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% dan 100% dari berat total agregat kasar. Benda uji yang dibuat pada penelitian ini berupa cetakan silinder berdiameter 10 cm x tinggi 15 cm untuk kuat tekan beton dan cetakan kubus berdiameter 1,5 x 1,5 x 1,5 cm untuk kuat tarik belah beton pada tiap variasi. Metode *mix design* yang digunakan adalah IS 10262: 2009, IS 456: 2000 dan SP 23. Hasil penelitian yang telah dilakukan ini menunjukkan nilai kuat tekan beton optimum untuk umur 28 hari terjadi pada variasi variasi 25% yaitu sebesar 32 MPa lebih besar dari kuat tekan rencana yaitu 29,67 MPa. Sedangkan nilai kuat tarik belah beton optimum terjadi pada variasi pecahan keramik 30% yaitu sebesar 3,29 MPa.

2.2.3 Kajian Kuat Tekan Beton SCC Menggunakan Agregt Pecahan Keramik (Poerwodihardjo & Sari, 2022)

Pada penelitian ini dilakukan menggunakan benda uji dengan kuat tekan yang di rencanakan adalah 25 MPa dan kadar bahan pecahan keramik yang digunakan sebesar 0%, 10%, dan 15% sebagai pengganti agregat kasar dan dengan bahan zat adiktif 1,5% dari berat semen. Mengetahui nilai optimum dari kuat tekan beton sebagai pengganti sebagian dari berat agregat kasar menggunakan perendaman bak yaitu pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari. Benda uji yang dibuat pada penelitian ini berupa cetakan silinder berdiameter 15 dan tinggi 30 cm dengan total jumlah sampel 3 buah dari tiap variasi dan tiap umur beton. Metode *mix design* yang digunakan adalah berdasarkan SNI 03-2834-2000. Hasil penelitian yang telah dilakukan ini menunjukkan pada umur 28 hari nilai kuat tekan optimum terjadi pada variasi pecahan keramik 15% dari berat agregat kasar dan 1,5% zat adiktif dari berat semen yaitu sebesar 25,29 MPa.

2.2.4 Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Untuk Beton Terhadap Absorpsi, Kuat Tekan, dan Kuat Tarik Belah (Setiawan dkk., 2023)

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan bahan limbah keramik, untuk mengetahui nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik pada beton. Pada penelitian ini dilakukan menggunakan benda uji dengan kuat tekan yang di rencanakan adalah 20 MPa dan kadar pengganti limbah pecahan keramik yang digunakan sebesar 0%, 20%, 22%, 24% dan 26% dari berat total agregat kasar. Benda uji yang dibuat pada penelitian ini yaitu berupa cetakan silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan jumlah total 30 buah benda uji dari semua variasi. Metode *mix design* yang digunakan adalah berdasarkan SNI 03-2834-2000. Hasil penelitian yang telah dilakukan ini menunjukkan nilai kuat tekan beton dengan bahan pengganti limbah keramik untuk umur 28 hari dengan variasi 0%, 20%, 22%, 24% dan 26% didapatkan nilai kuat tekan berturut-turut adalah 29,44 MPa, 30,1 MPa, 29,63 MPa, 29,25 MPa dan 29,06 MPa. Nilai kuat tarik belah berturut-turut adalah 2,29 MPa, 3,02 MPa, 2,97 MPa, 2,78 MPa dan 2,69 MPa. Nilai absorpsi optimum sebesar 3,674% dari persentase variasi 26%. Nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton terdapat pada variasi limbah pecahan keramik 20% sebagai pengganti sebagian agregat kasar yaitu sebesar 30,1 MPa dan 3,02 MPa.

2.2.5 Analisis Penggunaan Serbuk Kaca Dan Pecahan Keramik Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton (Danusaputra dkk., 2024)

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah pecahan keramik dengan mengetahui pengaruh variasi limbah pecahan keramik sebagai pengganti agregat kasar dan serbuk kaca sebagai pengganti agregat halus terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton. Serta mengetahui nilai persentase maskimal yang menghasilkan kuat tekan dan kuat lentur optimum. Pada penelitian ini dilakukan menggunakan benda uji dengan kuat tekan yang di rencanakan adalah 25 MPa dan kadar bahan limbah pecahan keramik yang digunakan sebesar 0%, 30%, 40%, 50% sebagai pengganti sebagian agregat kasar dan dengan variasi 10% untuk serbuk kaca sebagai pengganti agregat halus. Benda uji yang dibuat pada penelitian ini berupa cetakan silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk kuat tekan beton

dan cetakan kubus berdiameter balok 60 x 15 x 15 cm untuk kuat lentur beton pada tiap variasi. Metode *mix design* yang digunakan adalah SNI 03-2834-2000. Pengujian kuat tekan dan tarik beton dilakukan pada umur 28 hari. Nilai kuat tekan pada pengujian ini dengan variasi serbuk kaca 10% dan pecahan keramik 50% didapatkan hasil 26,21 MPa. Terjadi kuat lentur optimum pada saat penambahan serbuk kaca 10% dan pecahan keramik 30% maupun serbuk kaca 10% dan pecahan keramik 40% yaitu didapatkan nilai yang sama sebesar 3,87 MPa.

2.3 Perbandingan Penelitian

Dari penelitian terdahulu dan penelitian saat ini diperlukan perbandingan sebagai acuan dalam proses penyelesaian Tugas Akhir. Perbandingan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan saat ini dapat dilihat dan disajikan dalam tabel 2.1 dihalaman selanjutnya.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang telah dilakukan
Peneliti	Suwarno & Nursandah	Subedi & Wagle	Poerwodiharjo & Sari	Setiawan dkk.	Danusaputra dkk.	Adelin
Tahun	2019	2020	2022	2023	2024	2025
Judul Penelitian	Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Koral Pada Campuran Beton Mutu Tinggi	Pemanfaatan Limbah Pecahan Keramik Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Pada Produksi Beton	Kajian Kuat Tekan Beton SCC Menggunakan Agregat Pecahan Keramik	Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Untuk Beton Terhadap Absorpsi, Kuat Tekan, dan Kuat Tarik Belah	Analisis Penggunaan Serbuk Kaca Dan Pecahan Keramik Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton	Analisis Pengaruh Limbah Pecahan Keramik Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Sifat Mekanik Beton Normal
Tujuan Penelitian	Mengetahui nilai kuat tekan pada beton menggunakan limbah pecahan keramik.	Memanfaatkan limbah pecahan keramik sebagai pengganti sebagian agregat kasar dan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton optimum.	Mengetahui nilai optimum kuat tekan beton dan tekan mortar, dari pecahan limbah keramik sebagai pengganti agregat kasar dan ampas tebu sebagai pengganti semen.	Mengetahui nilai absorpsi, kuat tekan dan kuat tarik belah terhadap limbah keramik sebagai pengganti sebagian agregat kasar	Memanfaatkan limbah pecahan keramik dan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan nilai kuat lentur pada beton	Mengetahui nilai optimum pada pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan harga pokok produksi pada campuran beton menggunakan limbah pecahan keramik dengan variasi tertentu.

Sumber: Suwarno & Nursandah (2019), Subedi & Wagle (2020), Poerwodiharjo & Sari (2022), Setiawan dkk. (2023), Danusaputra dkk. (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang akan dilakukan
Parameter Pengujian	Kuat Tekan	Kuat Tekan Kuat Tarik	Kuat Tekan	Absorpsi, Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah	Kuat Tekan dan Kuat Lentur	Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Harga Pokok Produksi
Mutu Beton Rencana	25 MPa	25 MPa	25 MPa	20 MPa	25 MPa	25 MPa
Kadar	0%, 25%, 50% dan 70%	5%, 10%, dan 15%, 20%, 25%, 30%, 35% dan 100%	0 % 5%, 10%, 15% dan 20% untuk pecahan keramik 1,5% untuk zat adiktif dari berat semen	0%, 20%, 22%, 24% dan 26%	Sebuk kaca (10%) Pecahan Keramik 30%, 40%, 50%	0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%
Benda Uji	Kubus 1,5 x 1,5 cm	Silinder 10 x 15 cm Kubus 1,5 x 1,5 cm	Silinder 15 x 30 cm	Silinder 15 x 30 cm	Silinder 15 x 30 cm Balok 15 x 15 x 60 cm	Silinder 15 x 30 cm
Umur Beton	28 Hari	7 dan 28 Hari	7, 14, 21 dan 28 Hari	28 Hari	28 Hari	28 Hari

Sumber: Suwarno & Nursandah (2019), Subedi & Wagle (2020), Poerwodiharjo & Sari (2022), Setiawan dkk. (2023), Danusaputra dkk. (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang telah dilakukan
Metode Penelitian	Mix Design (SNI 03-2834-2000)	IS10262: 2009 IS 456: 2000 dan SP 23	Mix Design (SNI 03-2834-2000)	Mix Design (SNI 03-2834-2000)	Mix Design (SNI 03-2834-2000)	Mix Design (SNI 03-2834-2000)
Hasil Penelitian	Nilai kuat tekan beton yang diperoleh dengan variasi 0%, 25%, 50%, dan 70% berturut-turut adalah K-329,259, K-342,374, K-312,702, dan K-282,167. Didapatkan nilai kuat tekan optimum pada variasi 25% dari berat volume dengan hasil sebesar K-342,374.	Nilai kuat tekan beton optimum terjadi pada variasi 25% yaitu sebesar 32 MPa pada umur 28 hari lebih besar dari kuat tekan rencana yaitu 29,67 MPa. Sedangkan nilai kuat tarik belah beton optimum terjadi pada variasi pecahan keramik 30% yaitu sebesar 3,29 MPa	Pada penelitian ini didapatkan hasil nilai kuat tekan beton SCC optimum terjadi pada pecahan keramik 15% dan 1,5 zat adiktif dari berat semen yaitu sebesar 25,29 MPa pada umur 28 hari.	Pada variasi 0%, 20%, 22%, 24% dan 26% didapatkan nilai kuat tekan optimum adalah 30,1 MPa dan nilai kuat tarik belah optimum sebesar 3,02 MPa terdapat pada variasi 20%. Nilai absorpsi optimum 3,674% dari persentase variasi 26%.	Nilai kuat tekan pada pengujian ini dengan variasi Serbuk Kaca 10% dan Pecahan Keramik 50% didapatkan hasil 26,21 MPa. Terjadi kuat lentur optimum pada saat penambahan SK10%PK30% dan SK10%PK40% yaitu didapatkan nilai yang sama 3,87 MPa.	

Sumber: Suwarno & Nursandah (2019), Subedi & Wagle (2020), Poerwodiharjo & Sari (2022), Setiawan dkk (2023), Danusaputra dkk (2024)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan bahan komposit yang terdiri dari banyak bahan dengan susunan tertentu. Karena beton adalah material komposit, maka dari setiap komponen material pembentuknya memiliki dampak yang signifikan terhadap kualitas material secara keseluruhan. Bahan utama pembentuk beton adalah semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan dengan atau tanpa bahan tambah (*adimixture*) sesuai kebutuhan (Tjokrodinuljo, 2007).

Menurut Murdock & Brook (1999), bahan-bahan, proses penakaran, pencampuran, dan proses pelaksanaan semua berdampak pada kualitas akhir beton. Bahan-bahan ini termasuk gradasi agregat, kebersihan agregat, kadar air, kadar lumpur agregat, kebersihan agregat, jumlah air yang digunakan, kecepatan pengerasan, kualitas semen, dan bahan tambahan lainnya. Volume, berat, bahan yang terbuang dalam proses dan efektivitas mesin pencampur menjadi pertimbangan saat mengukur dan menggabungkan bahan. Proses pemadatan untuk mengurangi rongga udara di dalam beton dapat mempengaruhi kekuatan beton, perawatan diperlukan untuk meningkatkan kekuatan dan menjaga kualitas beton, serta kondisi cuaca selama pencetakan dan perawatan beton.

Beton mempunyai peran penting dalam kekuatan dan menentukan umur suatu bangunan, itu terjadi karena beton mempunyai kelebihan dan kekurangan. Menurut Mulyono (2004), kelebihan dari beton adalah sebagai berikut :

1. Beton segar dicetak dalam bentuk apapun sesuai ukuran dan kebutuhan konstruksi dan dapat dengan mudah diangkut.
2. Beton termasuk bahan awet yang tahan terhadap karat atau pembusukan dari lingkungan, tahan api dan air, sehingga biaya perawatan beton murah.
3. Beton memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan lain di bidang konstruksi.
4. Beton memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi.
5. Beton bertulang tidak membutuhkan biaya perawatan yang tinggi.

Selain memiliki kelebihan beton juga memiliki kekurangan. Menurut Mulyono (2004), kekurangan dari beton adalah sebagai berikut :

1. Bentuk yang dibuat sulit diubah.
2. Membutuhkan ketelitian yang tinggi dalam pelaksanaan pekerjaan.
3. Memiliki beban yang berat.
4. Memiliki daya pantul suara yang besar.

3.2 Bahan Penyusun Beton

Beton adalah suatu bahan untuk konstruksi bangunan, dimana sifat-sifatnya dapat ditentukan dari perencanaan, pemilihan, dan pengawasan material yang tepat dan baik. Material yang dipilih adalah agregat yang dapat mengikat dengan baik pada semen yang mengeras dengan ikatan kuat, yang dihasilkan oleh reaksi kimia antara semen, air, dan agregat. Dimana semen yang mengeras dapat ber-adhesi dengan baik maupun tidak. Agregat bisa berupa kerikil, batu pecah, agregat ringan buatan, bahan mentah dari tambang, dan bahan agregat sejenisnya (Murdock & Brook, 1999).

3.2.1 Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami yang digunakan sebagai pengisi dalam campuran beton atau mortar. Agregat membentuk sekitar 70% dari volume beton. Kualitas mutu atau kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh agregat yang digunakan, sehingga pemilihan agregat yang tepat sangat penting selama proses pembuatan (Tjokrodinuljo, 2007). Penggunaan agregat untuk mendapat kualitas beton yang baik dapat dibedakan berdasarkan pengelompokan ukuran, yaitu gregat dengan ukuran butiran lebih besar $>4,80$ mm disebut agregat kasar dan agregat dengan ukuran butiran $<4,80$ mm disebut agregat halus.

1. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang butirannya lolos saringan 4,8 mm, agregat halus pada beton yang dihasilkan dapat mempengaruhi kualitas beton, maka harus memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Berdasarkan SNI 03-6821-2002, spesifikasi umum yang berlaku untuk material agregat halus dalam campuran beton adalah sebagai berikut :

- a. Agregat halus, terdiri dari butir-butir tajam dan keras yang tahan terhadap kerusakan pada cuaca hujan dan panas.
- b. Agregat halus, terdiri dari butir-butir halus yang bersifat kekal atau tahan terhadap cuaca yang berarti tidak dapat pecah atau hancur. Larutan garam jenuh dapat digunakan untuk menguji ketahanan agregat halus. 10% berat adalah jumlah terbesar yang dapat dihancurkan saat menggunakan natrium sulfat.
- c. Agregat halus, tidak boleh mengandung lebih dari 5% kadar lumpur terhadap berat kering. Apabila kondisi tersebut terjadi, maka sebelum agregat halus digunakan harus dicuci terlebih dahulu.
- d. Agregat halus, tidak mengandung kotoran atau bahan organik yang banyak.
- e. Agregat Halus, terdiri dari butir-butir yang ukurannya bervariasi dan apabila diayak dapat memenuhi persyaratan sebagai berikut.
 - a) Sisa diatas ayakan 4 mm, harus memenuhi 2% dari berat agregat.
 - b) Sisa diatas ayakan 1 mm, harus minimum 10% dari berat agregat.
 - c) Sisa diatas ayakan 0,25 mm, harus sekitar 80%-90% dari berat agregat.
 - d) Pasir laut tidak dapat digunakan untuk semua mutu beton, kecuali dilakukan cara pemeriksaan bahan yang telah diakui.



Gambar 3.1 Agregat Halus

Agregat halus, dapat memenuhi tabel gradasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Batas-Batas Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Bahan Butiran yang Lolos Ayakan			
	Zona I (Kasar)	Zona II (Agak Kasar)	Zona III (Agak Halus)	Zona IV (Halus)
9,6	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-90	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-75	80-100
0,35	15-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : Tjrokrodimuljo (2007)

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir dari Sungai Progo. Untuk mengetahui kualitas pasir atau agregat halus yang digunakan sebagai komponen dalam campuran beton, maka dilakukan pengujian terhadap agregat halus. Berikut ini adalah pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus.

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Sebelum merencanakan desain campuran, pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan penyerapan air pada agregat halus. Ada tiga kategori berat jenis pada agregat halus, yaitu sebagai berikut :

1) Berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*)

Berdasarkan SNI 03-1970-2008, diartikan sebagai perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Analisis perhitungan berat jenis kering mutlak menggunakan Persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{B_k}{B + 500 - B_t} \quad (3.1)$$

2) Berat jenis jenuh kering permukaan (*Saturated and Surface Dry* / SSD)

Berdasarkan SNI 03-1970-2008, diartikan sebagai perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Analisis perhitungan berat jenis jenuh kering permukaan menggunakan Persamaan 3.2 dibawah ini.

$$\text{Berat Jenis (SSD)} = \frac{500}{B+500-B_t} \quad (3.2)$$

3) Berat jenis Semu

Berdasarkan SNI 03-1970-2008, diartikan sebagai perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu. Analisis perhitungan berat jenis semu menggunakan Persamaan 3.3 dibawah ini.

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{B_k}{B+B_k-B_t} \quad (3.3)$$

4) Penyerapan Air

Berdasarkan SNI 03-1970-2008, diartikan sebagai perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen. Analisis perhitungan penyerapan air menggunakan Persamaan 3.4 dibawah ini.

$$\text{Penyerapan} = \frac{500-B_k}{B_k} \quad (3.4)$$

dengan :

B_k = Berat pasir kering mutlak (gram),

B_t = Berat piknometer berat air dan pasir (gram),

B = Berat piknometer berisi air (gram).

b. Pengujian berat isi padat agregat halus

Berdasarkan SNI 03-4804-1998, diartikan sebagai perbandingan berat volume silinder yang digunakan dengan agregat dalam keadaan padat. Analisis perhitungan berat isi padat, menggunakan Persamaan 3.5 dibawah ini.

$$\text{Berat isi padat} = \frac{W}{Vol} \quad (3.5)$$

dengan :

W = Berat pasir (gram),

Vol = Volume silinder yang digunakan (cm³).

c. Analisa saringan agregat halus

Berdasarkan SNI 03-1968-1990, diartikan sebagai penentuan distribusi persentase berat butiran agregat lolos saringan dengan satu set saringan, yang kemudian angka tersebut dikelompokkan dan digambarkan dalam tabel atau grafik. Ada beberapa tujuan dari Analisa saringan agregat adalah sebagai berikut :

- 1) Untuk penyelidikan *quarry* agregat, mendapatkan batas gradasi yang tepat,
- 2) Untuk mendapatkan komposisi perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton yang baik,
- 3) Untuk mendapatkan beton yang mempunyai tingkat *workability* yang tinggi dan kelecakan yang baik yaitu mudah dikerjakan dalam proses mengaduk, mengalirkan, dan memdatakan,
- 4) Untuk mendapatkan kepadatan yang baik dan kuat tekan yang tinggi.

Analisis perhitungan analisa saringan, menggunakan Persamaan 3.6 dan 3.7 dibawah ini.

$$\text{Persentase berat yang hilang} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (3.6)$$

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{\Sigma(\%kom)-100}{100} \times 100\% \quad (3.7)$$

dengan :

a = Berat agregat kering mutlak sebelum diayak (gram),

b = Berat agregat yang diayak (gram),

Σ (%kom) = Berat tertinggalkumulatif (%)

d. Pengujian lolos saringan No.200 agregat halus

Berdasarkan SNI 03-4142-1996, diartikan sebagai banyaknya jumlah material yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) setelah agregat dicuci hingga air menjadi jernih. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan jumlah lumpur yang terkandung dalam material pada lolos ayakan no 200 dengan cara pencucian. Gumpalan atau lapisan yang menutupi permukaan butiran agregat melewati saringan no 200 disebut dengan lumpur.

Kekuatan dan ketahanan beton akan dipengaruhi oleh jumlah kandungan lumpur yang terdapat pada permukaan butir agregat, yang akan mempengaruhi pada kekuatan ikatan antara pasta semen dan agregat. Lumpur dan debu halus hasil pemecahan batu adalah partikel kerokan antara 0,002 mm s/d 0,006 mm (2 s/d 6 mikron). Menurut SNI 03-2461-2002, kadar lumpur maksimum untuk agregat halus adalah 5% dan kadar lupur maksimum untuk agregat kasar adalah 1%. Analisis perhitungan lolos saringan, menggunakan Persamaan 3.8 dibawah ini.

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (3.8)$$

dengan :

W1 = Berat agregat halus kering oven (gram),

W2 = Berat agregat halus kering oven setelah dicuci (gram).

2. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan material pengisi adukan campuran beton. Menurut SNI 2847-2019, bahwa agregat kasar merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir antara 5,00 mm sampai 40 mm. Agregat kasar dapat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Menurut SK SNI S-04-1989-F,

persyaratan umum agregat kasar yang digunakan sebagai campuran beton adalah sebagai berikut ini.

- a. Agregat kasar berupa kerikil yang berasal dari batu-batuan alami, atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecah batu.
- b. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori.
- c. Agregat kasar bersifat kekal yang artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
- e. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif sehingga dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
- f. Ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang samping cetakan, $\frac{1}{3}$ tebal pelat beton, $\frac{3}{4}$ jarak bersih antar tulangan.



Gambar 3.2 Agregat Kasar

Agregat kasar, dapat memenuhi tabel gradasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 di halaman selanjutnya.

Tabel 3.2 Batas-Batas Gradasi Kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Persen Bahan Butiran yang Lolos Ayakan		
	Gradasi Agregat		
	40 mm	20 mm	10 mm
76,0	100	-	-
38,1	95-100	100	100
19,0	35-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

Sumber: SNI 03-2834-2000

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah kerikil dari Sungai Progo. Untuk mengetahui kualitas kerikil atau pecahan keramik yang digunakan sebagai komponen dalam campuran beton, maka dilakukan pengujian terhadap agregat kasar. Berikut ini adalah pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar.

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Sebelum merencanakan desain campuran, pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan penyerapan air pada agregat halus. Ada tiga kategori berat jenis pada agregat halus, yaitu sebagai berikut :

1) Berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*)

Berdasarkan SNI 1969-2008, diartikan sebagai perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Analisis perhitungan berat jenis kering mutlak menggunakan Persamaan 3.1.

2) Berat jenis jenuh kering permukaan (*Saturated and Surface Dry / SSD*)

Berdasarkan SNI 1969-2008, diartikan sebagai perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Analisis perhitungan berat jenis jenuh kering menggunakan Persamaan 3.2.

3) Berat jenis Semu

Berdasarkan SNI 1969-2008, diartikan sebagai perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dalam keadaan kering pada suhu tertentu. Analisis perhitungan berat jenis semu menggunakan Persamaan 3.3.

4) Penyerapan Air

Berdasarkan SNI 1969-2008, diartikan sebagai perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen. Analisis perhitungan penyerapan air menggunakan Persamaan 3.4.

b. Pengujian berat isi padat agregat kasar

Berdasarkan SNI 03-4804-1998, diartikan sebagai perbandingan berat volume silinder yang digunakan dengan agregat dalam keadaan padat. Analisis perhitungan berat isi padat menggunakan Persamaan 3.5.

c. Analisa saringan agregat kasar

Berdasarkan SNI 03-1968-1990, diartikan sebagai penentuan distribusi persentase berat butiran agregat lolos saringan dengan satu set saringan, yang kemudian angka tersebut dikelompokkan dan digambarkan dalam tabel atau grafik. Ada beberapa tujuan dari saringan agregat adalah sebagai berikut :

- 1) Untuk penyelidikan *quarry* agregat, mendapatkan batas gradasi yang tepat,
- 2) Untuk mendapatkan komposisi perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton yang baik,
- 3) Untuk mendapatkan beton yang mempunyai tingkat *workability* yang tinggi dan kelecakan yang baik yaitu mudah dikerjakan dalam proses mengaduk, mengalirkan, dan memdatakan,
- 4) Untuk mendapatkan kepadatan yang baik dan kuat tekan yang tinggi.
- 5) Untuk mendapatkan kepadatan yang baik dan kuat tekan yang tinggi.

Analisis perhitungan saringan agregat kasar pada persentase berat yang hilang dan modulus halus butir menggunakan Persamaan 3.6 dan 3.7.

3.2.2 Semen atau *Portland Cement* (PC)

Semen adalah salah satu bahan penyusun beton berfungsi untuk mengikat agregat kasar dan agregat halus, sehingga dapat menyatu dan mengeras seperti

batuan saat pencampuran beton. Semen *Portland* atau *Portland Cement* merupakan jenis semen yang paling banyak digunakan sebagai bahan dasar dalam produksi beton, akan menjadi sekeras batuan ketika beton dicampur. Semen juga digunakan untuk menutup rongga antar butir-butir agregat untuk membentuk massa yang padat atau kompak, kadar semen umumnya berkisar 10% dari volume beton dalam campuran beton (Tjokrodinuljo, 2007).



Gambar 3.3 Semen Portland Tipe I

Menurut Mulyono (2004), jenis-jenis semen yang digunakan dalam konstruksi dibagi menjadi dua kategori yaitu :

1. Semen Hidraulis, merupakan semen yang beraksi dengan air dan membentuk massa padat di dalam air, sedangkan
2. Semen Non-Hidraulis merupakan semen yang tidak mampu bereaksi dengan air dan membentuk massa padat di dalam air, tetapi bisa mengeras di udara.

Terdapat senyawa kimia aktif seperti kapur, silika, oksidasi besi, dan alumina di dalam semen. Senyawa itu bereaksi dengan air untuk menghasilkan pasta yang setelah beberapa saat akan mengeras. Menurut Mulyono (2004), senyawa penyusun semen *Portland* dapat dilihat pada Tabel 3.3 di halaman selanjutnya.

Tabel 3.3 Senyawa Penyusun Semen Portland

Bahan Penyusun	Komposisi (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO ₂)	20 – 25
Oksidasi Besi (Fe ₂ O ₃)	7 – 12
Alumina (Al ₂ O ₃)	7 – 12

Sumber : Mulyono (2004)

Berdasarkan SNI 15-2049-2004, *Semen Portland* memiliki beberapa jenis yang sesuai dengan tujuan penggunaannya dibagi lima kategori sebagai berikut :

1. Tipe I, yaitu semen yang biasanya untuk pemakaian umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Tipe II, yaitu semen yang biasanya dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Tipe III, yaitu semen yang penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah proses pengikatan terjadi.
4. Tipe IV, yaitu semen yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Tipe V, yaitu semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

3.2.3 Air

Air adalah bahan dasar yang penting dalam pembuatan beton dengan harga yang paling murah dan mudah didapatkan. Penggunaan air dalam proses pembentukan semen dengan reaksi air yang membentuk pasta semen, sehingga mudah dikerjakan dalam pengadukan beton (*workability*), kekuatan, susut, dan keawetan beton. Air berfungsi sebagai bahan pelumas atau perekat antar butir-butir agregat (Tjokrodinuljo, 2007).

Menurut Mulyono (2004), air yang dapat dipakai untuk pembuatan beton berupa air tawar (sungai, telaga, danau, situ, kolam, dan lainnya), air laut dan air limbah asalkan memenuhi syarat yang ditentukan. Air limbah yang mengandung

asam basa tidak boleh dipakai dan juga air laut tidak boleh dipakai dalam bahan campuran beton bertulang ataupun beton pra-tegang, karena menyebabkan resiko korosi yang lebih besar. Pada umumnya air laut mengandung 3,5% larutan garam atau (sekitar 78% adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium klorida. Hal ini menyebabkan penurunan kualitas beton hingga mencapai 20%.

Berdasarkan SNI 03-6861.1-2002, dalam penggunaan air sebagai bahan dari bangunan memiliki beberapa persyaratan sebagai berikut ini.

1. Air yang dipakai harus bersih, tidak mengandung minyak, lumpur, atau benda melayang lainnya yang terlihat secara visual lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung benda yang tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam yang larut seperti asam dan zat lebih dari 15 gram/liter.
4. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter dan senyawa sulfat (SO₃) tidak lebih dari 1 gram/liter. Penurunan kuat tekan beton dengan air tidak boleh lebih dari 10%
5. Khusus untuk beton pratekan, air tidak boleh mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,005 gram/liter.

3.2.4 Bahan Pengganti (Limbah Pecahan Keramik)

Danusaputra dkk. (2024), menyatakan pecahan keramik adalah salah satu unsur bangunan yang terbuat dari tanah atau campuran tanah liat dan bahan mentah lainnya. Dibuat dengan cara dibakar pada suhu tertentu sehingga memiliki sifat fisik khusus. Biasa digunakan untuk melapisi lantai atau dinding untuk menambah estetika suatu bangunan yang umumnya berbentuk plat persegi dan tipis. Menurut Frick & Koesmartadi (1999), keramik dapat digolongkan menjadi 4 macam, yaitu :

1. Keramik Kasar, yaitu dibuat dengan tanah liat (pasir kuarsa, tanah pekat, tanah liat yang mengandung sedikit abu) yang dibakar pada suhu 1000° - 1400°C. Pengaplikasian keramik kasar untuk keperluan pipa pembuangan limbah (Pipa Keramik), untuk ubin lantai yang terbuat secara alami (Ubin Tanah Liat), Dinding batu merah terbuka terhadap udara (Batu bata klinker), sebagai genting keramik flam atau keramik pres (Genting tanah liat berglasir).

2. Keramik Halus, yaitu dibuat dengan campuran tanah liat yang sangat halus, digiling menggunakan tembikar merah atau tambahan felspar, kaolin, kuarsa, atau bubuk magnesium silika yang dibakar secara tunggal pada suhu 1330°. Kecuali keramik halus yang biasanya berwarna putih kekuning-kuningan maka tembikar berwarna agak merah. Digunakan untuk perlengkapan saniter seperti: wastafel, kloset, dan sebagainya dalam pembangunan.
3. Keramik Pelapis Dinding (*Fayence*), yaitu dibuat dengan tanah pekat putih yang sangat halus dan mengandung felspar, kaolin, kuarsa, atau bubuk magnesium silika hingga warna menjadi putih. Setelah dicetak keramik *fayence* dikeringkan dan dilapisi glasir (tembikar yang mengandung timah-oksida) selama masih basah dan dalam proses pewarnaan, kemudian ibakar secara ganda pada suhu 1110°C. Digunakan untuk tegel dinding dan barang pecah belah dalam pembangunan.
4. Porselen atau Tembikar Putih, yaitu dibuat dengan campuran 25% felspar, 25% kuarsa dan 50% kaolin. Porselen dibakar pada suhu 1200° - 1300°C sesudah dicetak. Setelah dingin diberi glasir halus (tembikar putih) dan dibakar kedua kalinya selama 24 jam pada suhu 1380° - 1450°C hingga menjadi lapisan kaca tipis. Digunakan untuk peralatan rumah tangga dan dekorasi.



Gambar 3.4 Limbah Pecahan Keramik Ukuran Maksimum 20 mm

Dalam hal ini, keramik lebih unggul daripada logam karena memiliki sifat tidak korosif, kuat, keras, dan ringan. Awalnya hanya digunakan sebagai tembikar dan barang pecah belah, setelah berkembangnya produksi keramik yang cukup besar keramik memiliki kegunaan sebagai salah satu bahan isolator listrik dan peralatan pabrik sebagai keramik porselin. (Sidabutar & Exaudi Tri, 2017). Keramik dapat dikategorikan dalam dua kelompok berdasarkan fungsinya :

1. Keramik Tradisional, yaitu keramik yang memiliki sifat tahan terhadap suhu tinggi, yang terbuat dari *clay*, *flint* dan *feldspar* yang tahan sampai dengan suhu 1200°C. Biasa digunakan untuk barang-barang dasar seperti: gelas, porselen, bahan tahan api, dan bahan bangunan seperti: beton, lantai, dsb.
2. Keramik Modern, yaitu keramik yang memiliki sifat tahan terhadap suhu tinggi, seperti keramik oksida tahan sampai dengan suhu 2000°C. Digunakan untuk teknologi canggih atau alat-alat teknik. Karena keramik modern memiliki kualitas mekanik, listrik, dan termalnya yang unggul.

Penelitian ini akan terus dikembangkan agar mendapatkan kekuatan beton yang maksimum dengan biaya yang minimum, salah satunya dengan menggunakan bahan alternatif, yaitu limbah pecahan keramik sebagai pengganti agregat kasar. Pecahan keramik yang digunakan memiliki ukuran maksimum 20 mm.

3.3 Perencanaan Campuran Beton Normal

Metode mengenai tata cara perencanaan campuran beton normal (*mix design*) yang digunakan untuk mencapai kuat tekan beton yang ditentukan adalah SNI 03-2834-2000. Adapun tahapan-tahapan perencanaan proposi campuran beton secara urut adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan rata-rata
Menetapkan kuat tekan beton yang direncanakan (f'_{cr}) pada umur dan bentuk benda uji yang dipergunakan dalam perencanaan beton.
2. Nilai standar deviasi
Menghitung nilai standar deviasi yang ditentukan dari perkalian deviasi standar dengan faktor pengalinya. Nilai standar deviasi dapat dilihat pada Tabel 3.4 di halaman selanjutnya.

**Tabel 3.4 Faktor Pengali untuk (k) Standar Deviasi bila
Data Hasil Uji yang Tersedia kurang dari 30**

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar (k)
< 15	-
15	1,16
20	1,08
25	1,03
> 30	1,00

Sumber : SNI 03-2384-2000

*) Bila data uji lapangan kurang dari 15, maka nilai kuat tekan rerata yang direncanakan (f'_{cr}) harus diambil tidak kurang dari ($f'_c + 12$ MPa).

3. Nilai Tambah

Menghitung nilai tambah (*margin*) dalam *mix design* untuk campuran beton digunakan rumus Persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.8)$$

dengan :

M = Nilai tambah/*margin* (MPa),

1,64 = Tetapan statistic (nilai disesuaikan pada persentase kegagalan hasil uji dengan nilai maksimum 5%), dan

S_r = Deviasi Standar

4. Kuat Tekan rata-rata (f'_{cr})

Kuat tekan rata-rata beton yang direncanakan dapat digunakan rumus Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (3.9)$$

dengan :

f'_{cr} = Kuat tekan beton rerata yang direncanakan (MPa)

f'_c = Kuat tekan beton yang direncanakan (MPa), dan

M = Nilai tambah/*margin* (MPa)

5. Jenis semen

Menentukan jenis semen agar nilai faktor air semen dapat ditentukan. Dalam penelitian ini menggunakan semen jenis I, yaitu Semen *Portland* dimana tidak menggunakan syarat khusus seperti jenis semen lain dalam penggunaannya.

6. Jenis agregat halus dan agregat kasar

Menentukan jenis agregat halus dan kasar yang digunakan adalah sebagai berikut.

- a. Agregat halus, yaitu pasir alami, dan
- b. Agregat kasar, yaitu kerikil atau batu pecah

7. Nilai faktor air semen (FAS)

Menentukan nilai faktor air semen (f_{as} , w/c) dilakukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang direncanakan berdasarkan tahapan sebagai berikut.

- a. Menentukan nilai kuat tekan dengan umur 28 hari dapat dilihat menggunakan Tabel 3.5 berdasarkan bentuk benda uji, jenis semen dan jenis agregat kasar yang dipakai pada umumnya di Indonesia sebagai acuan awal.
- b. Berdasarkan hubungan antara nilai kuat tekan yang sudah ditentukan pada butir 7a diatas dengan faktor air semen yang dipakai sebesar 0,5. Kemudian menentukan kurva lengkung baru pada Gambar Grafik 3.5.
- c. Kemudian menentukan faktor air semen yang diperlukan dengan menghubungkan kuat tekan beton rencana yang diperoleh pada butir 4 dengan kurva lengkung baru pada butir 7b.

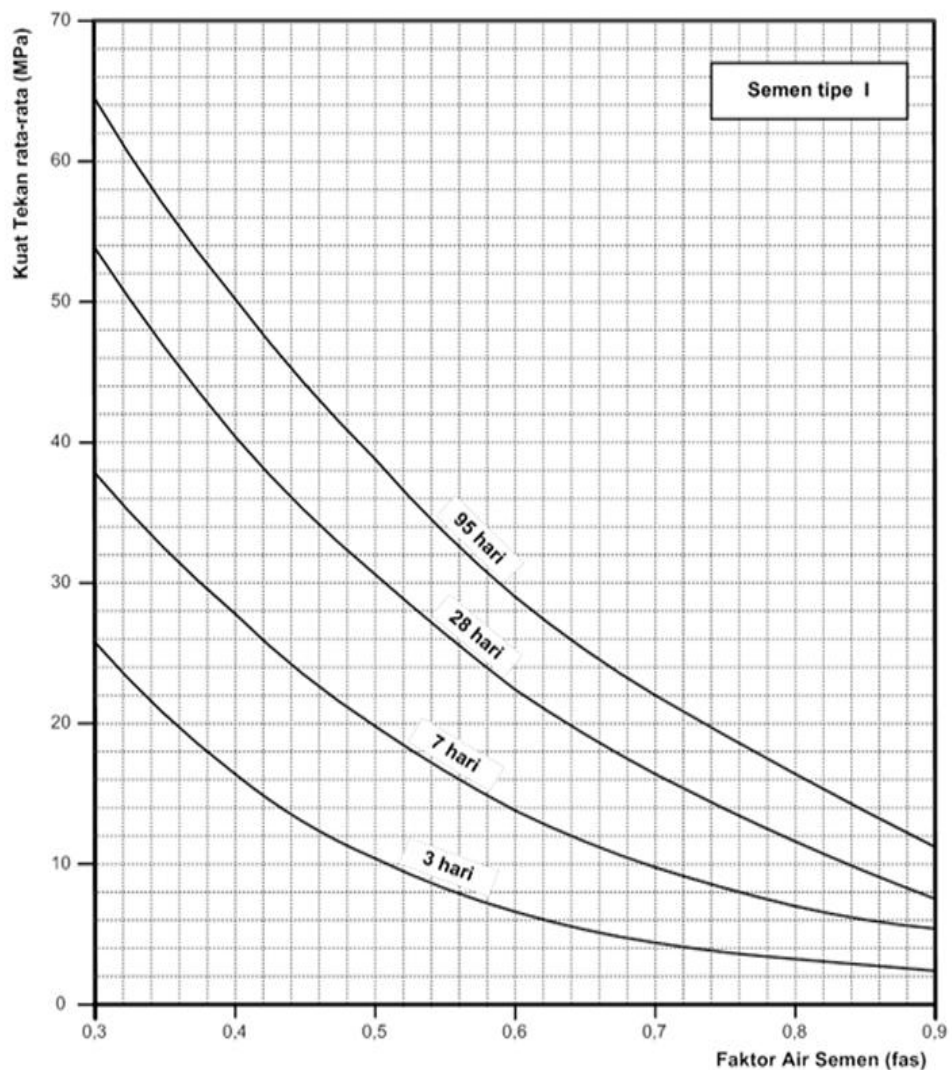
Adapun perkiraan kekuatan tekan beton dengan FAS dan agregat kasar yang dipakai di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 3.5 di halaman selanjutnya.

Tabel 3.5 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang bisa dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)					
		Umur ke- (hari)				Bentuk Benda Uji	
		3	7	28	29		
Semen Portland Tipe I	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder	
	Batu Pecah	19	27	37	45		
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus	
	Batu Pecah	23	32	45	54		
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder	
	Batu Pecah	25	33	44	48		
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus	
	Batu Pecah	30	40	53	60		

Sumber : SNI 03-2834-2000

Setelah memperkirakan kuat tekan beton yang ditentukan dari tabel diatas, maka didapatkan cara menentukan nilai faktor air semen menggunakan Grafik pada Gambar 3.5 di halaman selanjutnya.



Gambar 3.5 Grafik Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji bentuk silinder diameter 150mm dan tinggi 300mm)

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

8. Faktor Air Semen Maksimum (fas maksimum)

Menetapkan fas maksimum setelah mengetahui hasil fas menggunakan grafik diatas kemudian mengambil nilai fas terkecil antara perhitungan pada butir 7 dan 8. Persyaratan jumlah semen minimum dan fas maksimum dapat ditentukan dari Tabel 3.6 di halaman selanjutnya.

Tabel 3.6 Persyaratan fas dan Jumlah semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus

Jenis Pembetonan		Jumlah Semen Minimum per m ³ Beton (kg)	Nilai Fas Maksimum
Beton di dalam ruangan bangunan			
a.	Keadaan keliling non-kohefif	275	0,60
b.	Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondenssi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan			
a.	Tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari	325	0,55
b.	Terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah			
a.	Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b.	Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 3.4
Beton yang kontinyu berhubungan dengan air tawar dan air laut			Lihat Tabel 3.5

Sumber : SNI 03-2834-2000

9. *Slump*

Menetapkan ukuran tinggi *slump* sesuai yang direncanakan.

10. Ukuran butir agregat maksimum

Menetapkan ukuran agregat maksimum yang didapatkan dari data pengujian *properties* agregat. Ukuran agregat dapat mempengaruhi kemudahan pengerjaan (*Workability*) dan kekuatan pada beton. Dalam SNI-03-2834-2000 besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari:

- a. Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan,

- b. sepertiga dari tebal pelat,
- c. tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

Batas-batas ukuran agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.2 dihalaman sebelumnya.

11. Kadar air bebas

Kadar air bebas merupakan kebutuhan air per meter kubik beton yang digunakan dalam perencanaan proporsi campuran beton. Untuk menentukan nilai kadar air bebas dapat ditentukan dari Tabel 3.7 berikut ini.

Tabel 3.7 Perkiraan kadar air bebas (kg/mm³) yang dibutuhkan berdasarkan nilai slump

Ukuran saringan agregat (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 100
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : (SNI 03-2834-2000)

Setelah itu dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.10.

$$W = \frac{2}{3} w_h + \frac{1}{3} w_k \quad (3.10)$$

dengan :

W = Jumlah kadar air bebas (liter/m³).

w_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m³), dan

w_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m³).

12. Kebutuhan jumlah semen

Menentukan kebutuhan jumlah semen yang digunakan, yaitu dapat menjadi perekat hidraulis pada beton bila bercampur dengan air. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan dalam menentukan kebutuhan semen agar menghasilkan kekuatan beton yang diinginkan. Kebutuhan dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3.11 sebagai berikut.

$$c = \frac{w_{air}}{f_{as}} \quad (3.11)$$

dengan :

c = Jumlah semen (kg/m^3)

W_{air} = Kadar air bebas (kg/m^3)

f_{as} = Faktor air semen

13. Kebutuhan semen minimum dan fas maksimum

Menentukan kebutuhan semen minimum dapat ditentukan berdasarkan lokasi beton yang direncanakan dapat menggunakan Tabel 3.6 dan Tabel 4 dalam SNI 03-2843-2000.

14. Menetapkan jumlah kebutuhan semen dilihat dari perhitungan kebutuhan semen yang diperoleh. Jika dari perhitungan cara pertama lebih sedikit dari kebutuhan semen minimum, maka diambil nilai kebutuhan semen yang terbesar dari kedua cara tersebut.

15. Susunan besar butir (gradasi) agregat halus

Menentukan berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agregat di laboratorium ditentukan dengan gradasi pasir yang digunakan.

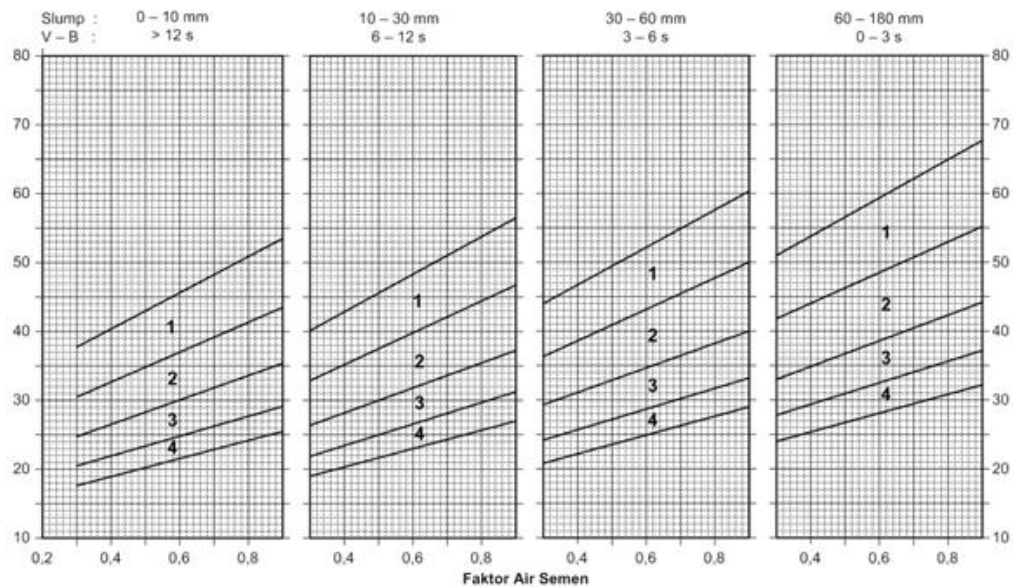
16. Susunan besar butir (ukuran maksimum) agregat kasar

Menentukan berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agregat di laboratorium ditentukan ukuran maksimum kerikil yang digunakan.

17. Presentase jumlah agregat halus dan agregat kasar

Menentukan persentase jumlah agregat halus (pasir), berdasarkan besar ukuran maksimum dari agregat kasar, nilai *slump*, faktor air semen, dan daerah gradasi agregat halus yang sudah didapat. Menentukan persentase

jumlah agregat halus menggunakan Grafik 15 atau pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



Gambar 3.6 Persen Pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

18. Berat jenis relatif agregat gabungan

Menentukan berat jenis agregat gabungan diambil berdasarkan data hasil pengujian *properties* agregat halus dan agregat kasar di laboratorium. Berat jenis agregat gabungan dihitung berdasarkan Persamaan 3.12 sebagai berikut.

$$BJ_{gab} = \%Ag.Halus \times BJ_{ag.halus} + \% Ag.Kasar \times BJ_{ag.kasar} \quad (3.12)$$

dengan :

BJ_{gab} = Berat jenis relatif/gabungan agregat

$\%Ag.Halus$ = Presentase agregat halus (%)

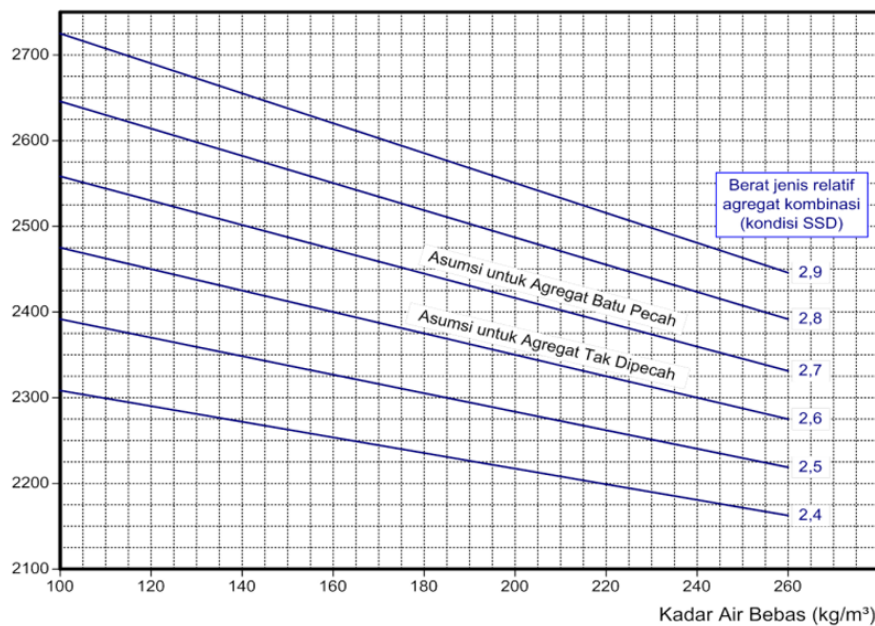
$\%Ag.Kasar$ = Presentase agregat kasar (%)

$BJ_{ag.halus}$ = Berat jenis agregat halus

$BJ_{ag.kasar}$ = Berat jenis agregat kasar

19. Berat isi beton

Berat isi merupakan berat dari seluruh campuran yang terdiri dari semen, air, agregat kasar, dan agregat halus dengan satuan kilogram per meter kubik. Dalam menentukan berat isi beton dapat digunakan grafik 16 atau pada Gambar 3.7 dengan memasukkan berat jenis gabungan agregat dan kadar air bebas yang sudah ditentukan sebelumnya.



Gambar 3.7 Grafik perkiraan Berat Isi Beton yang telah selesai dipadatkan
(Sumber : SNI-03-2834-2000)

Cara menggunakan grafik di atas adalah sebagai berikut.

- Tarik garis sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan sejajar dengan garis linier yang telah ada pada grafik.
- Kemudian, tarik garis vertikal ke atas sampai memotong garis yang telah dibuat tadi sesuai dengan nilai kadar air bebas.
- Terakhir tarik garis horizontal ke kiri pada perpotongan kedua garis di atas dan catat nilainya.

20. Kadar agregat gabungan

Menghitung kadar agregat gabungan dengan persamaan 3.13 sebagai berikut.

$$W_{ag.gab} = W_{beton} - W_{semen} - w \quad (3.13)$$

dengan :

$W_{ag.gab}$ = Kadar agregat gabungan (kg/m^3)

W_{beton} = Berat isi beton (kg/m^3)

W_{semen} = Kadar semen (kg/m^3)

w = Kadar air bebas (kg/m^3)

21. Kadar agregat halus

Menghitung kadar agregat halus dengan persamaan 3.14 sebagai berikut.

$$W_{ag.halus} = \%Ag.Halus \times W_{ag.gab} \quad (3.14)$$

dengan :

$W_{ag.halus}$ = Kadar agregat halus (kg/m^3)

$\%Ag.Halus$ = Presentase agregat halus (%)

$W_{ag.gab}$ = Kadar agregat gabungan (kg/m^3)

22. Kadar agregat kasar

Menghitung kadar agregat kasar dengan persamaan 3.15 sebagai berikut.

$$W_{ag.kasar} = W_{ag.kasar} - W_{ag.halus} \quad (3.15)$$

dengan :

$W_{ag.halus}$ = Kadar agregat halus (kg/m^3)

$W_{ag.kasar}$ = Kadar agregat kasar (%)

$W_{ag.gab}$ = Kadar agregat gabungan (kg/m^3)

23. Proporsi campuran beton (Kondisi SSD)

Campuran beton terdiri dari semen, air, agregat kasar, dan agregat halus.

Proporsi campuran beton perlu dihitung terlebih dahulu sebelum dilakukan

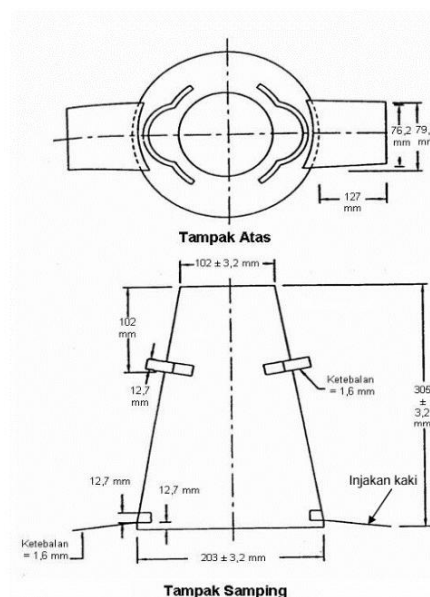
pencampuran. Kemudian diperoleh proporsi campuran untuk tiap m^3 beton dengan kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD).

24. Proporsi campuran limbah pecahan keramik

Menghitung masing-masing proporsi campuran beton menggunakan substitusi limbah pecahan keramik dengan cara mengalikan variasi kadar limbah pecahan keramik yaitu sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% dari proporsi campuran berat total agregat kasar untuk tiap m^3 beton dikali volume jumlah benda uji yang digunakan.

3.4 Slump Beton

Slump mengacu pada SNI 1972-2008, yang merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui ukuran kekentalan adukan beton dan tingkat (*workability*) atau seberapa mudah adukan beton segar dapat dikerjakan yang ditetapkan sesuai pada kondisi pelaksanaan pekerjaan. Menggunakan alat kerucut abram sebagai cetakan dengan cara memasukan adukan beton pada 1/3 tinggi kerucut abram dan dipadatkan menggunakan besi baja dengan 25 kali pukulan. Kemudian cetakan *slump* diangkat dan melakukan pengukuran pada penurunan ketinggian pusat permukaan atas beton. Nilai penurunan tersebut merupakan nilai *slump* pada beton.



Gambar 3.8 Cetakan untuk Uji Slump (Kerucut Abram)

(Sumber : SNI 1927:2008)

Kemudian nilai *slump* dapat ditentukan berdasarkan kegunaan beton yang dapat dilihat pada Tabel 3.8 sebagai berikut.

Tabel 3.8 Nilai *Slump*

No.	Elemen Struktur	<i>Slump</i> maks (cm)	<i>Slump</i> (cm)
1	Plat pondasi, pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
2	Pondasi telapak tak bertulang, klakson, dan konstruksi di bawah tanah	9,0	2,5
3	Plat (lantai), balok, kolom, dan dinding	15,0	7,5
4	Jalan beton bertulang	7,5	5,0
5	Pembetonan massal	7,5	2,5

Sumber : PBI (1971)

3.5 Kuat Tekan Beton

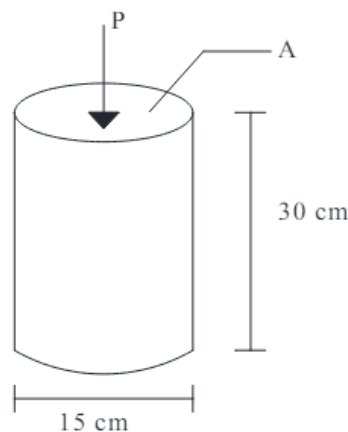
Menurut Mulyono (2004), kuat tekan beton adalah kemampuan beton yang bebannya diukur sebagai rasio gaya tekan terhadap luas area, yang menyebabkan benda uji beton hancur jika dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton dapat digunakan untuk menentukan kualitas struktur, jenis beton menurut kuat tekannya pada Tabel 3.9 sebagai berikut.

Tabel 3.9 Jenis beton menurut kuat tekan

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton sederhana	Sampai 10
Beton normal	15 – 30
Beton pra tegang	30 – 40
Beton kuat tekan tinggi	40 – 80
Beton kuat tekan sangat tinggi	> 80

Sumber : Tjkrodimuljo (2007)

Menurut Dipohusodo (1991), umur beton mempengaruhi nilai kuat tekan yang ditentukan oleh waktu yaitu ketika beton mencapai umur 28 hari setelah pengecoran dilakukan. Biasanya ketika umur 7 hari, kuat tekan beton mencapai 70% dan pada umur 14 hari mencapai 85% - 90% dari kuat tekan beton umur 28 hari. Campuran beton yang sudah direncanakan harus dipersiapkan selama tahap produksi dengan cara meminimalkan frekuensi beton dengan kuat tekan yang lebih besar dari kuat tekan yang ditentukan. Adapun sketsa pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3.9 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 1974-2011, nilai kuat tekan beton diperoleh dengan cara pengujian menggunakan mesin uji tekan. Rumus kuat tekan beton didapatkan dari data sampel pengujian kuat tekan beton di laboratorium dengan Persamaan 3.20 sebagai berikut.

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.20)$$

dengan :

f'_c = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm²)

P = Beban Maksimum (N), dan

A = Luas Penampang benda uji (mm²)

Tingkat pemadatan dan angka faktor air semen (fas) yang digunakan dalam campuran beton adalah dua faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan beton. Beton

dengan nilai faktor air semen (fas) yang tinggi memiliki nilai kuat tekan yang rendah dibandingkan dengan beton dengan nilai faktor air semen (fas) rendah yang biasanya memiliki kuat tekan beton lebih tinggi. Selain tingkat pemadatan dan faktor air semen (fas), faktor-faktor lain juga mempengaruhi kuat tekan beton.

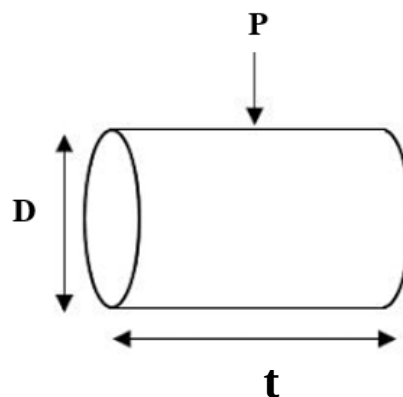
Faktor-faktor tersebut antara lain adalah sebagai berikut :

1. Jenis dan kualitas semen,
2. Proporsi semen
3. Kualitas agregat,
4. Bentuk dan jenis permukaan agregat,
5. Kepadatan beton
6. Umur beton

3.6 Kuat Tarik Belah Beton

Menurut (SNI 03-2491-2002, kuat tarik belah pada benda uji silinder beton dilakukan bertujuan untuk menentukan nilai kuat tarik belah dari benda uji tersebut yang diperoleh dari hasil pembebanan dengan cara meletakkan benda uji secara mendatar/sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan.

Pengujian kuat tarik belah beton menggunakan benda uji berbentuk silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, diletakkan arah memanjang atau horizontal diatas alat penguji. Kemudian diberi beban tekan secara merata arah tegak lurus dari atas keseluruhan silinder. Adapun sketsa pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



Gambar 3.10 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Menurut SNI 03-2491-2002, rumus yang digunakan dalam menganalisis kuat tarik belah menggunakan Persamaan 3.21 berikut ini.

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot P}{D \cdot L} \quad (3.21)$$

dengan :

f_{ct} = Kuat tarik/belah beton pada umur 28 hari (MPa)

P = Beban Maksimum (N), dan

t = Tinggi silinder benda uji (mm)

D = Diameter silinder benda uji (mm)

Nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9-15 % dari kuat tekannya.

3.7 Umur Beton

Menurut Mulyono (2004), kuat tekan beton akan terus bertambah seiring dengan bertambahnya umur beton. Kuat tekan beton meningkat secara cepat sampai umur beton 7 hari, selanjutnya kenaikan kuat tekan yang terjadi hanya sedikit. Kuat desak rencana pada umumnya dihitung dalam 28 hari. Pengujian kuat tekan beton dapat dilakukan bahkan sebelum beton mencapai umur 28 hari. Pengujian kuat tekan beton umumnya dilakukan pada umur benda uji 3, 7, 14, 21 dan 28 hari, Adapun angka konversi beton dapat dilihat pada Tabel 3.10 sebagai berikut.

Tabel 3.10 Angka Konversi Umur Benda Uji

Umur Benda Uji	Angka Konversi
3 hari	0,40
7 hari	0,65
14 hari	0,88
21 hari	0,95
28 hari	1,00

Sumber : PBI (1971)

3.8 Konsep Biaya

Menurut (Mulyadi, 2010), biaya dapat diukur dalam satuan uang merupakan pengorbanan sumber ekonomi yang akan terjadi atau yang telah terjadi untuk tujuan Tiga kategori yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan biaya berdasarkan fungsi utama dalam perusahaan, yaitu :

1. Biaya Produksi, merupakan biaya yang dihabiskan dalam pengolahan bahan baku menjadi barang jadi yang siap untuk dijual.
2. Biaya Penjualan, merupakan biaya yang dihabiskan dalam melakukan kegiatan penjualan produk.
3. Biaya Administrasi dan Umum, merupakan biaya dalam mengatur kegiatan produksi dan penjualan produk.

Klasifikasi biaya berdasarkan hubungan antara biaya yang dibiayainya dibagi dalam dua kategori yaitu :

1. Biaya Langsung, merupakan biaya yang diukur secara akurat berkaitan langsung dalam produksi barang atau jasa. Terdiri dari biaya bahan baku dan tenaga kerja langsung, dan pengiriman.
2. Biaya Tidak Langsung, merupakan biaya yang sulit diukur secara akurat berkaitan dengan biaya operasional umum suatu perusahaan. Terdiri dari biaya sewa, utilitas, perawatan, dll.

3.9 Harga Pokok Produksi

Menurut Rokhman (2022) yang dikutip dalam (Adristi dkk., 2023). Harga pokok produksi (HPP) adalah keseluruhan jumlah biaya yang dihabiskan untuk memproduksi suatu produk dan mentransfernya ke dalam persediaan barang jadi untuk dijual selama jangka waktu tertentu dalam sebuah perusahaan.

Menurut Yudistira (2021) yang dikutip dalam (Fardila & Sugian, 2023). Dalam prakteknya perhitungan harga pokok produksi sangat penting dalam keberhasilan produksi perusahaan dagang, manufaktur maupun konstruksi. Karena dapat membantu mengukur biaya produksi yang akan dikeluarkan dalam memproduksi barang atau jasa dengan tujuan untuk menentukan harga jual agar

mendapatkan keuntungan yang diinginkan. Menurut (Adikoesoemah, 1982), manfaat dari harga pokok produksi adalah sebagai berikut.

1. Penetapan Harga Jual

Harga jual produk yang dihasilkan ditentukan menggunakan HPP. Perusahaan dapat menetapkan nilai harga jual yang sesuai untuk menghasilkan keuntungan/laba dan menghindari kerugian setelah memperhitungkan biaya yang dibayarkan dengan mengetahui HPP untuk memproduksi suatu produk

2. Penentuan Keuntungan

Harga pokok produksi digunakan sebagai dasar untuk menentukan keuntungan perusahaan. Suatu usaha akan menghasilkan uang jika harga jual lebih besar dari HPP, jika harga jual lebih rendah maka usaha akan rugi.

3. Pengendalian Evaluasi Kinerja Biaya Produksi

Harga pokok dapat menjadi harga dasar untuk menghitung biaya tidak langsung, mengelola penggunaan material, dan upah tenaga kerja. Selain itu, dapat digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi efisiensi kerja dan efektivitas biaya dengan menetapkan harga pokok standar dan membandingkannya dengan harga pokok di lapangan. Pelaksanaan produksi yang belum efisien ditunjukkan dengan adanya selisih negatif dalam harga pokok produksi, maka perlu mencari penyebabnya dan memperbaiki kesalahan tersebut. Sedangkan selisih positif dalam pelaksanaan produksi, menunjukkan bahwa harga pokok produksi sudah dijalankan secara efisien.

4. Penetapan Keputusan Manajemen

Sebagai dasar dalam pengambilan keputusan manajemen harga pokok dapat menjadi pedoman penting dalam pengambilan keputusan khusus perusahaan, misalnya:

- 1) Merencanakan ekspansi perusahaan.
- 2) Menetapkan strategi persaingan di pasaran luas.
- 3) Menetapkan penyesuaian proses produksi.
- 4) Menetapkan perubahan harga penjualan.

3.9.1 Standar Harga Barang dan Jasa (SHBJ)

Standar Harga Barang dan Jasa atau biasa disebut SHBJ adalah pedoman yang digunakan pemerintah daerah untuk menyusun anggaran belanja daerah dan menetapkan harga maksimum suatu barang atau jasa dalam jangka waktu tertentu. Berdasarkan perhitungan analisis, harga satuan pekerjaan adalah total biaya tenaga kerja, dan alat. Harga bahan diperoleh dari pasaran dan dicatat dalam daftar tabel yang dikenal sebagai Daftar Harga Satuan Material, sedangkan upah tenaga kerja yang diperoleh dari lokasi pekerjaan dikumpulkan dan ditulis dalam daftar yang dikenal sebagai Daftar Harga Satuan Upah / Jasa.

Dengan terjadinya perbedaan harga pasaran bahan dan harga tenaga kerja yang berlaku pada setiap daerah, maka harga satuan pekerjaan akan berbeda antara satu daerah dengan daerah lainnya. Oleh karena itu, harga satuan bahan di pasaran dan tenaga kerja di lokasi pekerjaan harus dipertimbangkan saat menentukan dan membuat anggaran proyek (Ibrahim, 2001).

3.9.2 Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

Analisa Harga Satuan Pekerjaan atau biasa disebut AHSP adalah perhitungan kebutuhan biaya tenaga kerja, bahan baku, dan peralatan untuk mendapatkan harga satuan atau jenis pekerjaan tertentu. AHSP digunakan sebagai dasar penyusunan *owner estimate* (OE) dan *engineering estimate* (EE) untuk pekerjaan di bidang pekerjaan umum salah satunya pembuatan beton. AHSP juga dimaksudkan sebagai metode untuk menghitung harga pokok sebagai kelengkapan dalam proses produksi beton dengan substitusi limbah pecahan keramik. (Siregar, 2013). Untuk memperoleh harga satuan atau satu jenis pekerjaan tertentu sudah diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) nomor 2/PRT/M/2023.

Menurut Ibrahim (2001), angka koefisien yang menampilkan nilai satuan tenaga kerja, bahan, dan alat berdampak pada analisis harga satuan pekerjaan dan digunakan sebagai acuan untuk merencanakan biaya suatu pekerjaan. Dalam perhitungan harga satuan perlu memperhatikan keadaan lapangan, keadaan alat dan metode pelaksanaan. Sebelum menentukan harga pokok produksi, perlu diperhatikan harga satuan penentu. Beberapa harga satuan penentu sebagai berikut.

1. Analisa Harga Satuan Bahan (HSB)

Biaya yang dikeluarkan untuk memperoleh bahan baku berdasarkan besarnya nilai bahan baku yang dimasukkan dalam proses produksi untuk diubah menjadi barang jadi. Contoh: kerikil, pasir, semen, air, keramik. Perhitungan biaya bahan baku menggunakan Persamaan 3.22 sebagai berikut.

$$\Sigma \text{ Bahan} = \text{Harga Satuan Bahan} \times \text{Koefisien Bahan} \quad (3.22)$$

2. Analisa Harga Satuan Upah Tenaga Kerja (HSJ)

Biaya yang dikeluarkan untuk menggunakan tenaga kerja yang terlibat langsung dalam melakukan proses produksi pembuatan beton keramik. Contoh: upah pekerja, upah tukang batu, dll. Perhitungan biaya upah tenaga dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.23 sebagai berikut.

$$\Sigma \text{ Upah} = \text{Harga Satuan Upah} \times \text{Koefisien Upah} \quad (3.23)$$

3. Analisa Harga Satuan Alat (HSA)

Biaya yang dikeluarkan untuk menyewa alat yang digunakan dalam waktu tertentu pada proses produksi pembuatan beton keramik. Contoh : pembelian dan sewa peralatan. Perhitungan harga alat dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.24 sebagai berikut.

$$\Sigma \text{ Upah} = \text{Harga Satuan Alat} \times \text{Koefisien Alat} \quad (3.24)$$

4. Harga Satuan Pekerjaan (HSP)

perhitungan jumlah harga bahan, upah tenaga kerja, dan alat keseluruhan dalam produksi pembuatan campuran beton dengan limbah pecahan keramik dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.25 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ HSP} &= \text{Harga Satuan Upah} + \text{Harga Satuan Bahan} \\ &+ \text{Harga Satuan Alat} \end{aligned} \quad (3.25)$$

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian merupakan proses mengambil, menganalisis dan menentukan suatu pokok permasalahan agar mendapatkan hasil yang dapat digunakan untuk mendefinisikan, memvalidasi, mengembangkan dan menemukan informasi terkait masalah tersebut. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental yaitu dengan memodifikasi kadar substitusi limbah pecahan keramik pada campuran beton. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar bahan tambah limbah pecahan keramik terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan harga pokok produksi maksimum pada dalam campuran beton. Tahapan penelitian secara umum adalah sebagai berikut.

1. Tahap persiapan meliputi: studi literatur, izin laboratorium, persiapan alat dan bahan serta pemeriksaan bahan sesuai dengan spesifikasi yang berlaku.
2. Tahap pelaksanaan penelitian meliputi: perencanaan campuran, pembuatan benda uji, pengecekan nilai *slump*, perawatan, pembuatan *capping* beton.
3. Tahap pengujian, yaitu setelah benda uji selesai dicetak dan dilakukan proses perawatan maupun pembuatan *capping*, selanjutnya dilakukan pengujian sifat mekanik kuat tekan dan kuat tarik belah pada benda uji.
4. Tahap pengolahan data, yaitu dilakukan pada saat didapatkan hasil pengujian di laboratorium yang akan disortir untuk menjadi informasi yang bermakna.
5. Tahap analisis data meliputi: hasil olah data pengujian dan perhitungan yang sudah sesuai dengan standar, kemudian diinterpretasikan ke dalam tabel maupun grafik untuk mengetahui perbedaan nilai yang ada.
6. Tahap pembahasan meliputi: hasil analisis data yang sudah diinterpretasikan, kemudian dilakukan penjelasan sesuai teori pada penelitian terdahulu untuk memberikan pemahaman mendalam tentang penemuan penelitian.
7. Tahap kesimpulan dan saran meliputi: hasil pengolahan data, interpretasi data dan pembahasan yang sudah tersedia dan kemudian memberikan

rekomendasi pemikiran sebagai bahan pertimbangan untuk mendukung pelaksanaan penelitian selanjutnya dengan baik dan tepat.

4.2 Lokasi dan Sampel Benda Uji Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Sampel penelitian berupa benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Menurut SNI 03-2847-2002, banyaknya benda uji minimum 3 buah untuk masing-masing jenis kondisi pengujian beton yaitu kuat tekan dan kuat tarik belah. Umur rencana beton 28 hari dan mutu rencana beton 25 MPa. Dengan diberi bahan pengganti limbah pecahan keramik menggunakan variasi kadar sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% terhadap berat agregat kasar. Jumlah benda uji yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Jumlah Sampel Benda Uji Beton

No.	Variasi Pecahan Keramik (%)	Kode Benda Uji Beton	Jumlah Benda Uji dan Jenis Pengujian Beton		Umur Benda Uji Beton (hari)	Jumlah Benda Uji Beton (buah)
			Kuat Tekan	Kuat Tarik Belah		
1	0	B-0-28-N	5	5	28 hari	10
		B-0-28-K				
2	10	PKB-10-28-N	5	5		10
		PKB-10-28-K				
3	15	PKB-15-28-N	5	5		10
		PKB-15-28-K				
4	20	PKB-20-28-N	5	5		10
		PKB-20-28-K				
5	25	PKB-25-28-N	5	5		10
		PKB-25-28-K				
6	30	PKB-30-28-N	5	5		10
		PKB-30-28-K				
Total Keseluruhan Benda Uji (Silinder)						60

Keterangan:

B-0-28-N = Uji kuat tekan, beton normal 0%, umur beton 28 hari

PKB-10-28-N = Uji kuat tekan, kadar Pecahan Keramik 10%, umur beton 28 hari

PKB-15-28-N = Uji kuat tekan, kadar Pecahan Keramik 15%, umur beton 28 hari

PKB-20-28-N = Uji kuat tekan, kadar Pecahan Keramik 20%, umur beton 28 hari

PKB-25-28-N = Uji kuat tekan, kadar Pecahan Keramik 25%, umur beton 28 hari

PKB-30-28-N = Uji kuat tekan, kadar Pecahan Keramik 30%, umur beton 28 hari

B-0-28-K = Uji kuat tarik, beton normal 0%, umur beton 28 hari

PKB-10-28-K = Uji kuat tarik, kadar Pecahan Keramik 10%, umur beton 28 hari

PKB-15-28-K = Uji kuat tarik, kadar Pecahan Keramik 15%, umur beton 28 hari

PKB-20-28-K = Uji kuat tarik, kadar Pecahan Keramik 20%, umur beton 28 hari

PKB-25-28-K = Uji kuat tarik, kadar Pecahan Keramik 25%, umur beton 28 hari

PKB-30-28-K = Uji kuat tarik, kadar Pecahan Keramik 30%, umur beton 28 hari

4.3 Bahan yang Digunakan

1. Semen *Portland*

Semen yang digunakan untuk pembuatan beton merupakan semen *Portland Composite Cement* (PCC) tipe I dengan berat 40 kg merek Tiga Roda. Semen disimpan ditempat teduh dan kering untuk menjaga kualitasnya.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan berasal dari Sungai Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta yang dilakukan analisa saringan terlebih dahulu untuk menentukan gradasi agregat. Dengan kondisi permukaan SSD

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah berasal dari Clereng, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta ukuran maksimum 20 mm. Dengan kondisi permukaan SSD.

4. Air

Air yang digunakan didapatkan dari Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

5. Pecahan Keramik

Limbah pecahan keramik yang digunakan berasal dari tempat pembuangan akhir limbah (TPA) Kabupaten Cikarang, Provinsi Jawa Barat. Dilakukan pemecahan sampai ukuran maksimum 20 mm, dengan variasi substitusi agregat kasar 0%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%.

4.4 Alat yang Digunakan

1. Satu set Ayakan Agregat
2. Timbangan ketelitian 0,1 gram
3. Oven
4. Piknometer
5. Gelas Ukur
6. Talam
7. Kerucut Abram
8. Sekop
9. Alat Perata
10. Batang Penumbuk
11. Palu Karet
12. Penggaris
13. Kuas
14. Bejana Air
15. Ember
16. Cetakan silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm
17. *Concrete Mixer* (Molen)
18. Pelat penuangan adukan beton segar,
19. Pelat *Capping* Silinder,
20. Kompor Listrik dan Cawan untuk adukan belerang,
21. *Hand Pallet*
22. Gerobak Dorong
23. Mesin Uji Tekan (CTM)
24. Mesin Uji Tarik (UTM)

4.5 Tahap Persiapan Penelitian

Dalam melakukan penelitian diperlukan adanya prosedur yang perlu dilakukan secara bertahap untuk mendapatkan hasil yang baik. Tahapan yang dilakukan harus sesuai dengan persyaratan yang sudah ditentukan terutama dalam pengendalian mutu.

4.5.1 Studi Literatur

Melakukan tinjauan studi literatur yang berkaitan dengan topik penelitian yang dilakukan peneliti bertujuan untuk mendapatkan pemahaman yang menyeluruh mengenai teori, konsep, dan kemajuan yang berkaitan dengan topik penelitian. Hal ini dilakukan dengan membaca buku-buku, jurnal ilmiah, artikel dan penelitian-penelitian terdahulu yang dilakukan dalam kurun waktu lima tahun terakhir. Dalam penelitian ini latar belakang, tujuan, manfaat, rumusan masalah, landasan teori, dan metode yang akan digunakan juga dimaksudkan untuk diidentifikasi melalui studi dan literatur.

4.5.2 Izin Laboratorium

Melakukan persiapan laboratorium dengan memastikan bahwa laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, sudah memenuhi persyaratan standar untuk penelitian. Selanjutnya, mengurus izin penggunaan laboratorium sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan adanya partisipasi dari laboran selama pelaksanaan penelitian termasuk konfigurasi alat, tata tertib dalam penggunaan alat dan bahan, dan tata letak ruang kerja yang sesuai dengan pedoman keselamatan.

4.5.3 Persiapan Alat

Sebelum melakukan penelitian, mempersiapkan peralatan yang akan dipakai terlebih dahulu. Persiapan alat-alat yang akan digunakan dilakukan dengan cara membersihkan kotoran yang menempel pada alat, mengecek apakah rusak dan apakah dapat berfungsi dengan baik atau tidak. Bertujuan untuk menjaga kualitas pembuatan campuran beton dan mendukung proses penelitian berjalan dengan baik.

4.5.4 Persiapan Material

Sebelum melakukan penelitian, juga perlu mempersiapkan bahan yang dibutuhkan. Persiapan bahan-bahan yang akan digunakan dilakukan dengan

membersihkan atau mencuci material agregat dan pecahan keramik dari kotoran yang menempel. Bertujuan untuk menjaga mutu atau kualitas dari bahan, memenuhi syarat dan tidak merusak hasil dari penelitian.

Penelitian ini akan menggunakan pecahan keramik yang berasal dari sisa-sisa pembuangan dari industri keramik di Kabupaten Cikarang, Jawa Barat. Keramik tersebut berupa potongan memanjang yang dihancurkan menggunakan palu dan diayak menggunakan saringan dengan ukuran maksimum 20 mm. Sedangkan agregat kasar juga diayak menggunakan saringan dengan ukuran maksimum 20 mm. Tujuan dari kedua prosedur tersebut adalah untuk memisahkan potongan keramik yang tidak lolos ayakan dengan yang sudah lolos ayakan. Campuran beton akan dibuat dari pecahan keramik dan kerikil yang berhasil melewati saringan 20 mm atau memenuhi syarat ukuran maksimum.

4.5.5 Pemeriksaan Material

Dalam penelitian ini, sebelum pembuatan benda uji perlu dilakukan pemeriksaan pada material semen dan air dan dilakukan pengujian pada material agregat kasar dan halus. Tahapan pengujian agregat adalah sebagai berikut.

1. Agregat Halus (Pasir)

Pengujian agregat halus atau pasir terdiri dari beberapa pengujian, meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, pengujian analisa saringan, pengujian berat isi padat, dan pengujian lolos saringan No.200 atau pengujian kandungan lumpur. Berikut adalah tahapan pada pengujian agregat halus.

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Berdasarkan SNI 03-1970-1990, tahapan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus adalah sebagai berikut :

- 1) Mempersiapkan bahan dan alat yang akan digunakan
- 2) Memasukkan agregat halus ke dalam talam dan mengeringkan ke dalam oven pada temperature $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ hingga berat bahan uji tetap,
- 3) Mendinginkan agregat halus pada suhu ruangan, rendam dalam air dan membiarkan (24 ± 4) jam pada suhu ruangan,
- 4) Membuang air rendaman dengan hati-hati supaya tidak ada butiran yang terjatuh atau hilang, kemudian memindahkan agregat halus ke

dalam talam, dan mengeringkan merata pada cuaca panas hingga mencapai kondisi kering permukaan jenuh,

- 5) Menyiapkan cetakan kerucut terpancung untuk melakukan pemeriksaan kondisi kering permukaan jenuh agregat halus dengan pengujian kerucut. Meletakkan cetakan diatas wadah yang rata dengan posisi lubang besar dibagian bawah,
- 6) Memasukkan agregat ke dalam cetakan sampai penuh tetapi tidak melebihi dan memadatkan agregat dengan batang penusuk sebanyak 25 kali secara merata kemudian meratakan bagian permukaan atas. Penumbukan dilakukan dengan menjatuhkan batang penusuk secara bebas pada ketinggian 5 mm dari permukaan penusuk ke permukaan agregat. Agregat halus dengan keadaan permukaan kering jenuh tercapai bila kerucut diangkat dan agregat runtuh sedikit demi sedikit, akan tetapi jika masih dalam keadaan bentuk cetakan Ketika diangkat maka kondisi permukaan kering jenuh belum tercapai,
- 7) Pada point 1,2,3,4,5,6 merupakan pemeriksaan benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Jika telah tercapai SSD, maka agregat halus sebanyak 500 gram dimasukkan kedalam piknometer dan memasukkan air suling sampai 90% dari kapasitas piknometer. Untuk menghilangkan gelembung udara di dalam piknometer maka harus memutar dan mengguncangkan secara hati-hati dengan tangan sampai gelembung udara tidak terlihat,
- 8) Merendam piknometer ke dalam air, mengukur air suling dengan menyesuaikan suhu (23 ± 2) °C dan menambahkan air suling sampai mencapai tanda batas,
- 9) Menimbang piknometer berisi air dan agregat halus dengan timbangan ketelitian 0,1 gram,
- 10) Mengeluarkan agregat halus dari dalam piknometer dan mengeringkan ke dalam oven sampai berat tetap pada suhu (110 ± 5) °C. Kemudian mendinginkan agregat halus pada suhu ruangan selama ($1,0 \pm 0,5$) jam dan menimbang beratnya,

- 11) Menimbang berat saat berisi air penuh dalam piknometer sampai batas pembacaan yang telah ditentukan dan mengukur suhu air dengan penyesuaian suhu standar (23 ± 2) °C,
- 12) Setelah semua hasil data didapatkan, maka data pengujian sudah bisa dihitung dengan Persamaan 3.1-3.4.

b. Pengujian Berat Isi Padat

Berdasarkan SNI 4804-1998, tahapan pengujian berat isi padat adalah sebagai berikut :

- 1) Menggunakan agregat halus dalam keadaan jenuh atau permukaan kering (SSD),
- 2) Mengukur dimensi ukuran cetakan silinder,
- 3) Menimbang cetakan silinder dalam keadaan kosong tanpa agregat halus. Cetakan silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm,
- 4) Meletakkan cetakan silinder diatas permukaan yang datar, kemudian memasukkan agregat halus ke dalam cetakan dengan sekop pada 1/3 bagian pertama dari volume cetakan,
- 5) Menusuk lapisan pertama agregat ke dalam cetakan dengan batang penusuk sebanyak 25x secara merata sarah jarum jam,
- 6) Mengisi agregat halus ke dalam cetakan dengan sekop pada 2/3 bagian kedua dari volume cetakan.
- 7) Menusuk lapisan pertama agregat ke dalam cetakan dengan batang penusuk sebanyak 25x secara merata sarah jarum jam,
- 8) Mengisi agregat halus ke dalam cetakan dengan sekop sampai berlebih memenuhi volume cetakan.
- 9) Meratakan agregat halus yang terisi penuh dalam cetakan silinder dengan alat,
- 10) Menimbang cetakan silinder berisi agregat halus dan mencatat beratnya,
- 11) Setelah semua hasil data didapatkan, maka data pengujian sudah bisa dianalisis menggunakan Persamaan 3.5.

c. Pengujian Analisa Saringan

Berdasarkan SNI 03-1968-1990, tahapan pengujian 55bagia saringan adalah sebagai berikut :

- 1) Menimbang wadah dan agregat halus sesuai dengan yang disyaratkan,
- 2) Memasukkan agregat halus ke dalam wadah dan mengeringkan ke dalam oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap. Untuk mendapatkan hasil dengan ketelitian yang tinggi, perlu dilakukan pengujian minimal 2 kali,
- 3) Mengeluarkan agregat halus dari oven dan mendinginkan pada suhu ruangan selama 1-3 jam
- 4) Setelah kering mutlak, menimbang agregat halus sebanyak 2000 gram.
- 5) Menyiapkan satu set saringan, dengan posisi saringan mulai dari ukuran lubang paling besar berada di atas hingga lubang paling kecil dan pan di posisi paling bawah,
- 6) Memasukkan agregat halus ke dalam saringan yang sudah tersusun dan meletakkan saringn pada mesin pengguncang (*shieve shaker*). Jika mesing pengguncang saringan (*shieve shaker*) tidak tersedia, bisa dilakukan dengan cara manual,
- 7) Melakukan proses mesin penggetar saringan selama sekitar 10-15 menit,
- 8) Mengeluarkan agregat halus dari tiap saringan dan meletakkan pada masing-masing wadah/cawan (jangan sampai ada yang tercecer),
- 9) Menimbang dan mencatat agregat halus yang tertahan pada setiap ukuran saringan. Dalam pembersihan saringan menggunakan sikat kawat untuk ukuran lubang yang besar dan kuas untuk lubang yang kecil/halus,
- 10) Setelah semua hasil data didapatkan, maka data pengujian sudah bisa dianalisis dengan Persamaan 3.6 dan 3.7.

d. Pengujian lolos saringan No.200 (uji kadar lumpur)

Berdasarkan SNI 4142-1996, tahapan pengujian kadar lumpur adalah sebagai berikut :

- 1) Menimbang pan tanpa agregat halus,
- 2) Menimbang agregat halus dan dimasukkan ke dalam pan,
- 3) Menggunakan agregat halus dalam keadaan kering oven,
- 4) Meletakkan agregat halus diatas saringan dan mengalirkan air diatasnya,
- 5) Menggerakkan agregat halus dalam saringan dengan aliran air. Agregat halus dialiri air secukupnya hingga bagian yang harus menembus saringan no.200 dan bagian yang kasar tertinggal diatasnya,
- 6) Melakukan pengulangan pekerjaan pada *point* 3 hingga air pencucian menjadi jernih.
- 7) Semua agregat halus dimasukkan kedalam talam yang telah diketahui beratnya,
- 8) Mengeringkan agregat halus ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai beratnya tetap,
- 9) Menimbang dan mencatat agregat halus yang tertahan pada saringan no.200 (0,075 mm),
- 10) Setelah semua hasil data didapatkan, maka data pengujian sudah bisa dianalisis dengan Persamaan 3.8.

2. Agregat Kasar dan Pecahan Keramik

Pada penelitian ini, pengujian agregat kasar atau limbah pecahan keramik dilakukan dengan metode pengujian yang sama karena pecahan keramik pada penelitian ini digunakan untuk substitusi dari agregat kasar. Pengujian agregat dan pecahan keramik terdiri dari beberapa pengujian, meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, pengujian analisa saringan, pengujian berat isi padat, dan pengujian berat isi gembur. Berikut adalah tahapan pada pengujian agregat kasar.

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Berdasarkan SNI 03-1969-1990, Tahapan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus adalah sebagai berikut :

- 1) Memasukkan agregat kasar ke dalam wadah dan mengeringkan ke dalam oven pada temperature $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ hingga berat benda uji tetap.

Artinya keadaan agregat selama 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven selang 2 jam berturut-turut tidak akan mengalami perubahan kadar air $> 0,1\%$,

- 2) Mengeluarkan benda uji dari oven, kemudian dinginkan benda uji pada suhu ruangan.
- 3) Merendam dalam air dan membiarkan (24 ± 4) jam pada suhu ruangan,
- 4) Membuang air rendaman dengan hati-hati supaya tidak ada yang terjatuh atau hilang. Mengelap benda uji dengan kain yang menyerap air pada permukaannya. Untuk butiran yang besar pengeringan kasar dilakukan secara satu persatu sampai kering,
- 5) Setelah dilap semua, menimbang benda uji untuk mendapatkan permukaan kering jenuh (SSD),
- 6) Memasukkan benda uji ke dalam keranjang dan memutar alat untuk mengeluarkan udara yang terperangkap,
- 7) Menentukan berat benda uji didalam air dan mengukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan dalam suhu standar 25°C ,
- 8) Setelah semua hasil data didapatkan, maka data pengujian sudah bisa dianalisis dan dihitung dengan persamaan 3.1-3.4.

b. Pengujian Berat Isi Padat

Berdasarkan SNI 4804-1998, tahapan pengujian berat isi padat adalah sebagai berikut :

- 1) Menggunakan benda uji dalam keadaan jenuh atau permukaan kering (SSD),
- 2) Mengukur dimensi ukuran cetakan silinder,
- 3) Menimbang cetakan silinder dalam keadaan kosong tanpa agregat halus. Cetakan silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm,
- 4) Meletakkan cetakan silinder diatas permukaan yang datar, kemudian memasukkan benda uji ke dalam cetakan dengan sekop pada 1/3 bagian pertama dari volume cetakan,
- 5) Menusuk lapisan pertama benda uji ke dalam cetakan dengan batang penusuk sebanyak 25 kali secara merata sarah jarum jam,

- 6) Mengisi agregat halus ke dalam cetakan dengan sekop pada 2/3 bagian kedua dari volume cetakan.
- 7) Menusuk lapisan pertama benda uji ke dalam cetakan dengan batang penusuk sebanyak 25 kali secara merata sarah jarum jam,
- 8) Mengisi benda uji ke dalam cetakan dengan sekop sampai berlebih memenuhi volume cetakan.
- 9) Meratakan benda uji yang terisi penuh dalam cetakan silinder dengan alat,
- 10) Menimbang cetakan silinder berisi benda uji dan mencatat beratnya,
- 11) Setelah semua hasil data didapatkan, maka data pengujian sudah bisa dianalisis menggunakan persamaan 3.5.

c. Pengujian Analisa Saringan

Berdasarkan SNI 1968-1990, tahapan pengujian analisa saringan adalah sebagai berikut :

- 1) Menimbang wadah dan benda uji sesuai dengan yang disyaratkan,
- 2) Memasukkan benda uji ke dalam wadah dan mengeringkan ke dalam oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap. Untuk mendapatkan hasil dengan ketelitian yang tinggi, perlu dilakukan pengujian minimal 2 kali,
- 3) Mengeluarkan benda uji dari oven dan mendinginkan pada suhu ruangan selama 1-3 jam
- 4) Setelah kering mutlak, menimbang benda uji sebanyak 5000 gram.
- 5) Menyiapkan satu set saringan, dengan posisi saringan mulai dari ukuran lubang paling besar berada di atas hingga lubang paling kecil dan pan di posisi paling bawah,
- 6) Memasukkan benda uji ke dalam saringan yang sudah tersusun dan meletakkan saringn pada mesin pengguncang (*shieve shaker*). Jika mesin pengguncang saringan (*shieve shaker*) tidak tersedia, bisa dilakukan dengan cara manual,
- 7) Melakukan proses mesin penggetar saringan selama sekitar 10-15 menit,

- 8) Mengeluarkan benda uji dari tiap saringan dan meletakkan pada masing-masing wadah/cawan (jangan sampai ada yang tercecer),
- 9) Menimbang dan mencatat benda uji yang tertahan pada setiap ukuran saringan. Dalam pembersihan saringan menggunakan sikat kawat untuk ukuran lubang yang besar dan kuas untuk lubang yang kecil/halus,
- 10) Setelah semua hasil data didapatkan, maka data pengujian sudah bisa dianalisis pada persamaan 3.6 dan 3.7.

4.5.6 Pemeriksaan Semen

Dilakukan secara visual pada tiap satu sak atau kantong kemasan 40 kg semen untuk memastikan apakah semen sudah dalam kondisi yang baik yaitu tidak menggumpal dan tertutup rapat.

4.5.7 Pemeriksaan Air

Dilakukan secara visual pada air yang digunakan untuk memastikan bahwa air yang digunakan adalah air bersih, tidak berbau, tidak berasa dan tidak berwarna atau bening.

4.6 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu tahapan perencanaan campuran, pembuatan benda uji, pengujian *slump*, perawatan benda uji, pengujian sampel benda uji, olah data, pembahasan dan kesimpulan.

4.6.1 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Pada tahap ini digunakan perencanaan campuran beton berdasarkan hasil dari pengujian agregat. Perencanaan tata cara pembuatan campuran beton normal dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000, yang detail perhitungannya dapat dilihat pada bab V yaitu pembahasan.

4.6.2 Pembuatan Sampel dan Perawatan Benda Uji

Melakukan tahap pembuatan sampel beton dibuat sesuai pedoman yaitu dengan komposisi bahan penyusun beton yang diperoleh dari tahapan perhitungan *mix design* yang kemudian dicampur dengan *concrete mixer* dan diuji berdasarkan acuan pengujian yang telah ditentukan.

4.6.3 Pengujian *Slump* Beton (*Workability*)

Pada tahap ini, beton harus melalui proses pengujian *slump* yaitu sebelum campuran dimasukkan ke dalam cetakan. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan tingkat kekentalan atau konsistensi (*workability*) melalui campuran beton segar dan beton yang diproduksi bisa mencapai mutu rencana. Pengujian ini dilakukan menggunakan kerucut abram yang telah dimasukkan beton segar dari proporsi campuran yang telah ditentukan. Prosedur pengujian *slump* menurut SNI 1972-2008 adalah sebagai berikut:

1. Membasahi terlebih dahulu cetakan kerucut abram dan meletakkan di atas permukaan yang datar, tidak menyerap air, kaku dan lembab. Selama pengisian beton segar ke dalam cetakan, bagian dasar injakan cetakan dan kerucut abram ditahan dengan kokoh oleh operator,
2. Mengisi beton segar pada lapisan pertama pada $\frac{1}{3}$ bagian volume cetakan kerucut abram,
3. Melakukan pemadatan dengan batang logam secara merata dan menembus lapisan sebelumnya tanpa menyentuh dasar cetakan. Dilakukan sebanyak 25x penusukan, lapisan yang ditusuk pada bagian tepi menggunakan besi yaitu miring sesuai dinding cetakan dan sesuai arah jarum jam,
4. Mengisi beton segar pada lapisan kedua pada $\frac{2}{3}$ bagian volume pada cetakan abram,
5. Memadatkan dengan cara penusukan sebanyak 25x seperti cara sebelumnya. Batas penusukan lapisan kedua yaitu pada atas garis $\frac{1}{3}$ lapisan pertama,
6. Mengisi beton segar pada lapisan terakhir yaitu secara penuh dalam bagian volume cetakan abram dan dilakukan pemadatan yang sama seperti cara sebelumnya,
7. Setelah pemadatan pada ketiga lapisan selesai, meratakan bagian permukaan atas cetakan kerucut abram dengan batang penusuk dengan cara diggelingkan,
8. Menunggu sekitar 30 detik dan membersihkan kelebihan beton diluar cetakan dan bagian pelat,

9. Melepaskan cetakan dengan cara diangkat perlahan tegak lurus vertikal secara hati-hati. Angkat cetakan dengan jarak 300 mm dalam waktu 3-7 detik tanpa lateral atau torsional selama pengangkatan,
10. Seluruh pekerjaan pengujian slump diselesaikan dalam waktu kurang dari 2 menit 30 detik,
11. Setelah cetakan diangkat, melakukan pengukuran nilai *slump* menggunakan meteran dengan cara membalikkan kerucut abram dan menaruh cetakan di samping beton yang menunjukkan penurunan pada permukaan. Mengukur dan mencatat beda tinggi rata-rata atau nilai penurunan permukaan pada pusat atas beton dengan tinggi cetakan kerucut abram,
12. Nilai toleransi *slump* pada beton segar yaitu 10 ± 2 cm atau dalam *range* 8 – 12 cm. Apabila nilai *slump* sudah sesuai dengan standar yang ditentukan, maka beton segar siap digunakan.

4.6.4 Perawatan Sampel Benda Uji

Pada tahap ini, setelah beton mengeras atau mencapai *setting time*, beton dilepas dari cetakan dan diberi perawatan. Metode perawatan beton yang digunakan adalah SNI 2493-2011, berupa perendaman benda uji di dalam air di Laboratorium sampai mencapai umur rencana yaitu 28 hari dan benda uji diberikan kode.

4.6.5 Pembuatan Kaping (*Capping*)

Pembuatan kaping dilakukan berdasarkan pedoman Badan Standarisasi Nasional (2008) mengenai Tata Cara Pembuatan Kaping untuk Benda Uji Silinder Beton. Pembuatan kaping bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang rata pada bagian atas dari silinder beton yang sudah dicetak dan supaya saat diuji tekan tidak langsung mengenai benda uji tersebut. Sehingga menghasilkan distribusi beban yang merata dan mencegah kerusakan akibat distribusi beban yang tidak merata. Adapun prosedur tentang pembuatan kaping silinder beton adalah sebagai berikut.

1. Menyiapkan bubuk sulfur dalam kondisi kering yang akan dituangkan ke dalam cawan peleleh, kemudian memanaskan pada kompor listrik dengan suhu 129°C - 143°C , diaduk sambil mengamati secara berkala menggunakan batang logam sampai mencair.

2. Membersihkan permukaan pelat kaping dan diolesi oli secara merata dan tuangkan adukan sulfur ke permukaan pelat kaping dalam kondisi masih panas,
3. Posisikan benda uji silinder secara terbalik yaitu, permukaan atas berada dibagian bawah untuk ditempelkan pada sisi samping pelat kaping hingga menyentuh bagian permukaan pelat kaping (jangan sampai miring), dan menjaga adukan agar benda uji silinder menyatu dengan adukan kaping sulfur yang sudah kering atau mengeras.
4. Setelah adukan sulfur kering atau mengeras, angkat benda uji silinder menggunakan batang logam dengan cara mendorong pada bagian sisi belakang dan angkat benda uji silinder secara perlahan dan hati-hati.
5. Benda uji silinder siap dilakukan untuk uji desak beton.

4.7 Tahap Pengujian Penelitian

Pada tahap ini, mengacu pada pedoman dilakukan ketika benda uji telah mencapai umur rencana. Pengujian dalam penelitian ini yaitu pengujian kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur. Adapun penjelasan dari setiap pengujian yang akan dilakukan sebagai berikut.

1. Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 1974-2011. Dilakukan ketika umur beton mencapai 28 hari setelah perawatan dengan tujuan untuk mengetahui nilai estimasi kuat tekan dalam menahan gaya tekan pada sampel beton. Menggunakan cetakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Berikut adalah langkah-langkah pengujian kuat tekan beton.

- a) Mengambil benda uji silinder dari bak perendaman, membersihkan kotoran yang menempel dengan kain basah dan mengeringkan benda uji,
- b) Mengeringkan benda uji selama ± 24 jam,
- c) Menimbang berat dan mengukur setiap benda uji,
- d) Meletakkan benda uji ke dalam mesin sebagian secara sentris dengan memberi lapisan alas kaping (dengan bahan pasta sulfur) pada permukaan atas benda uji,

- e) Mengoperasikan mesin uji tekan menggunakan stopwatch untuk memulai dengan kecepatan konstan yaitu penambahan beban antara 2 – 4 kg/cm² per detik hingga mencapai beban puncak dan sampai benda uji hancur,
- f) Mencatat beban maksimum yang diterima saat benda uji hancur dan menentukan pola retak dari benda uji.

2. Uji Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik beton mengacu pada pedoman SNI 2491-2014. Dilakukan ketika umur beton mencapai 28 hari setelah perawatan dengan tujuan untuk mengetahui nilai estimasi kuat tarik dalam menahan gaya tarik pada sampel beton. Menggunakan cetakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Adapun langkah-langkah pengujian kuat tarik belah beton sebagai berikut.

- a) Mengambil benda uji silinder dari bak perendaman, membersihkan kotoran yang menempel dengan kain basah dan mengeringkan benda uji,
- b) Mengeringkan benda uji selama ± 24 jam,
- c) Menimbang berat dan mengukur setiap benda uji.
- d) Memberikan tanda menggunakan spidol dan alat bantu yang sesuai pada benda uji, dengan cara menarik garis tengah pada setiap sisi ujung pada benda uji,
- e) Meletakkan bantalan bantu pembebanan pada atas meja tekan bagian bawah pada bagian tengah-tengah dari mesin uji,
- f) Meletakkan benda uji diatas bantalan, hingga tanda pada garis tengah benda uji terlihat tegak lurus terhadap titik pusat bantalan bantu pembebanan tersebut,
- g) Mengatur posisi pengujian hingga tercapai kondisi. Proyeksi dari bidang ditandai oleh garis tengah pada kedua ujung benda uji tepat sejajar dengan titik pusat meja penekan bagian atas dari mesin uji,
- h) Menjalankan mesin uji tarik secara konstan hingga benda uji terbelah dengan pemberian beban dan mencatat hasil bebannya.

4.8 Tahap Perhitungan Harga Pokok Produksi Beton

Penelitian ini dimulai pada bulan Desember 2024 sampai bulan Januari 2025 dilakukan dengan waktu terhadap objek tertentu, menggunakan berbagai jenis pengumpulan data untuk mendapatkan informasi yang akurat. Dibutuhkan untuk penyusunan laporan harga pokok produksi beton melalui studi literatur maupun peninjauan langsung ke lapangan.

Penentuan harga pokok produksi dalam penelitian ini menggunakan metode Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) dan nantinya seluruh perhitungan AHSP akan dikalikan dengan Standar Harga Barang dan Jasa (SHBJ) di Wilayah Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Unsur harga produksi menggunakan metode AHSP terdiri dari harga satuan bahan bangunan, harga satuan upah pekerja dan harga satuan alat. Adapun langkah-langkah perhitungan harga pokok produksi dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Mempelajari referensi sesuai dengan metode analisis yang digunakan,
2. Mencari literatur online untuk membantu dalam penelitian, berupa data yang dikumpulkan yaitu, SHBJ dan koefisien AHSP sesuai dengan Peraturan Wilayah Kota Yogyakarta Tahun 2023 atau Permen PUPR No.8 Tahun 2023,
3. Menentukan perhitungan harga pokok produksi (HPP) menggunakan metode analisa harga satuan pekerjaan (AHSP) dengan beberapa tahapan, yaitu:
 - a. Mengumpulkan data SHBJ sesuai dengan Peraturan Wilayah Kota Yogyakarta Tahun 2023 dan merekapitulasi pada suatu tabel untuk pembuatan beton 1m³ dengan mutu rencana yaitu 25 MPa,
 - b. Menghitung koefisien semua bahan campuran beton sesuai yang dibutuhkan untuk menentukan AHSP dalam pembuatan beton sesuai data perhitungan *mix design*,
 - c. Menghitung analisa harga satuan tenaga kerja, analisa harga satuan bahan dan analisa harga satuan alat untuk pembuatan 1m³ beton menggunakan persamaan 3.22 - 3.25, kemudian membuat AHSP 1m³ pembuatan beton dan membuat rekapitulasi hasil AHSP pada tiap variasi substitusi limbah pecahan keramik sesuai dengan Peraturan Wilayah Kota Yogyakarta Tahun 2023,

4. Membuat rekapitulasi data hasil AHSP pembuatan 1m^3 beton dan hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton ke dalam satu tabel sesuai dengan kadar variasi limbah pecahan keramik.

Berdasarkan penjabaran di atas dengan menggunakan limbah pecahan keramik untuk substitusi dari berat agregat kasar dalam campuran beton. Maka, penentuan HPP beton yang diperkirakan dengan metode AHSP dapat dikurangi menggunakan limbah pecahan keramik.

4.9 Olah Data

Pada tahapan ini, data mentah yang diperoleh dari hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik, dan harga pokok produksi beton diolah berdasarkan *code* dan landasan teori yang digunakan untuk memperoleh parameter yang mempunyai makna.

4.10 Analisis Data

Pada tahapan ini, parameter yang diperoleh dari hasil olah data uji kuat tekan dan kuat tarik. Kemudian melakukan perhitungan terkait harga pokok produksi pada beton normal dengan beton yang sudah diganti sebagian menggunakan limbah pecahan keramik pada tiap variasi kadar bahan tambah dan dibandingkan hasilnya dalam sebuah grafik untuk mengetahui perbedaan nilai yang terjadi.

4.11 Pembahasan

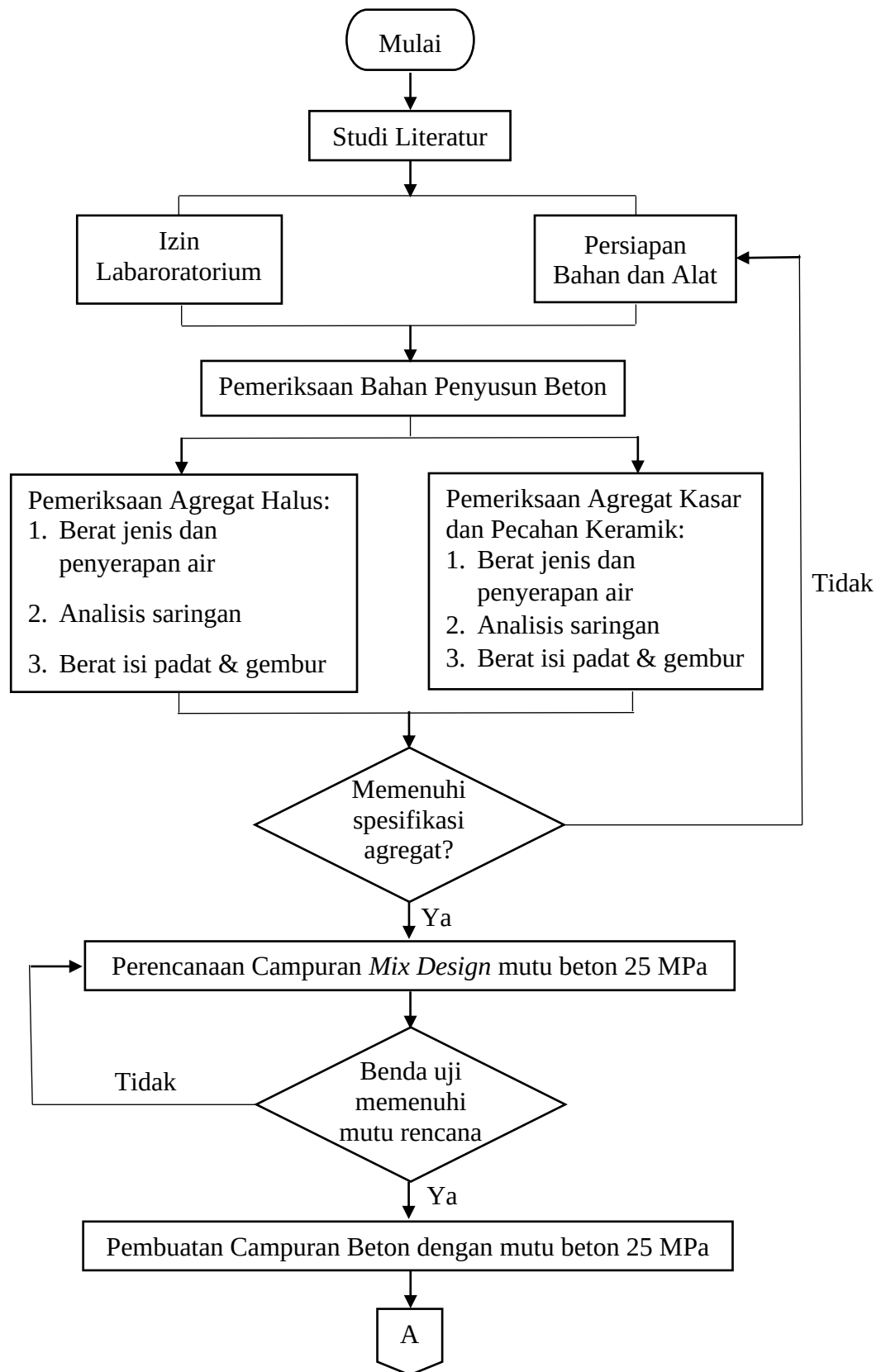
Pada tahapan ini, hasil analisis data dibahas untuk menghasilkan jawaban dan penjelasan terhadap perbedaan nilai yang ditemukan pada tahap analisis data.

4.12 Kesimpulan dan Saran

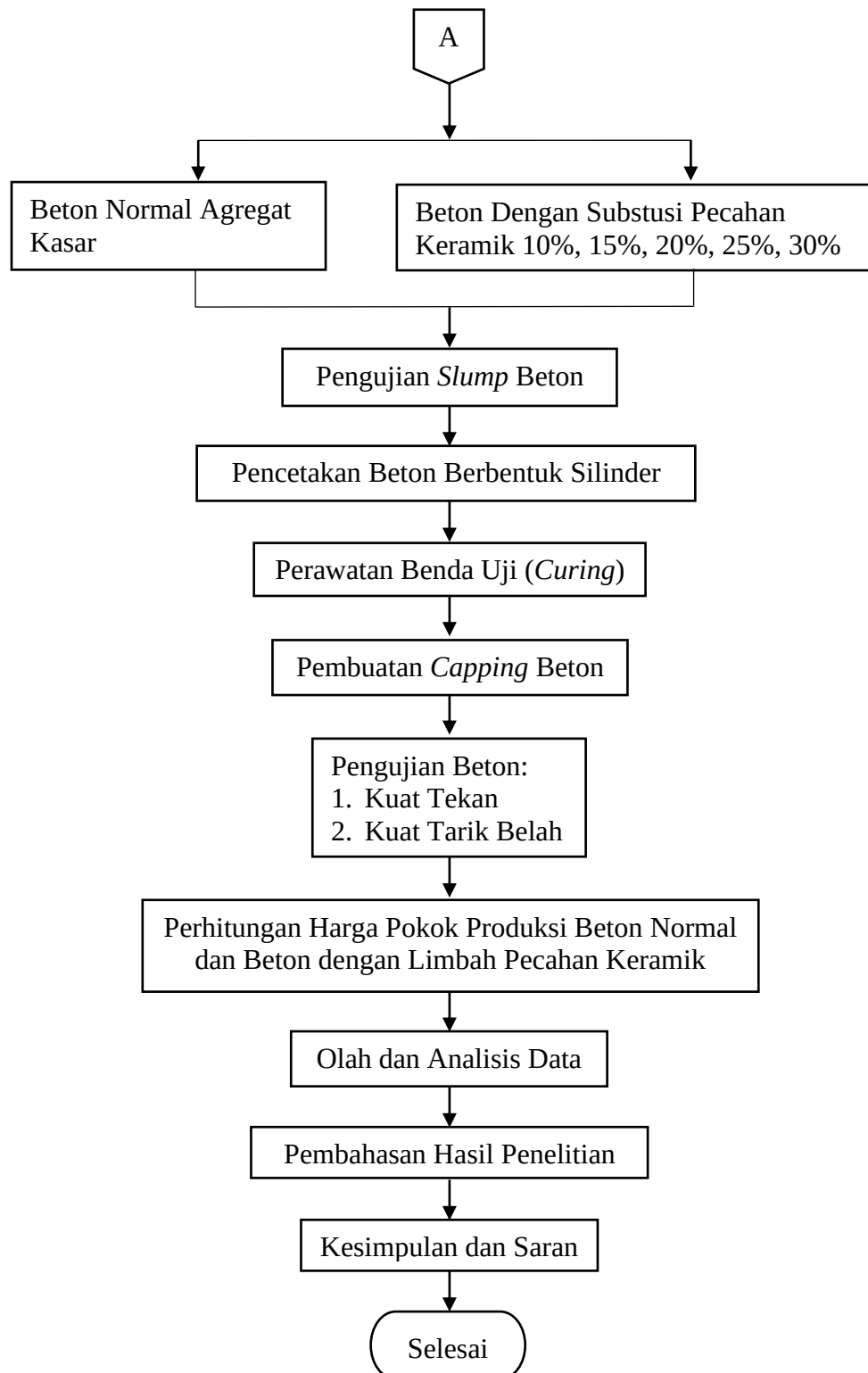
Pada tahap ini hasil yang diperoleh dari analisis data dan pembahasan dibuat kesimpulan yang mengacu pada tujuan penelitian. Selain itu, dibuat saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya berdasarkan kesimpulan yang diperoleh.

4.13 Diagram Alir Penelitian

Diagram Alir Penelitian merupakan tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada tiap proses penelitian. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 di halaman selanjutnya.



Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian

BAB V

DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Diperlukan sebuah analisis, pemeriksaan, dan pembahasan terhadap data penelitian yang telah dilakukan untuk mencapai hasil dan tujuan yang telah direncanakan dari penelitian tersebut. Pada bab ini akan membahas dan menguraikan hasil seluruh data yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi (BKT). Dimulai dari analisis pemeriksaan bahan yang digunakan untuk membuat beton, perencanaan campuran beton, pencampuran bahan untuk membuat beton, hingga pengujian beton yang telah dihasilkan. Data hasil penelitian ini akan dipresentasikan dengan pengolahan perhitungan, analisis, dan berakhir dalam bentuk tabel maupun gambar grafik, pecahan keramik sebagai substitusi sebagian dari berat agregat kasar merupakan dasar pembahasan dalam tujuan penelitian ini dengan 6 variasi kadar substitusi yaitu 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% dari berat agregat kasar. Kemudian, pembahasan dari penelitian ini akan menjadi sarana dalam menguraikan temuan terhadap bidang yang sudah diteliti.

5.2 Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Bahan-bahan penyusun dalam pencampuran pembuatan beton memiliki beberapa persyaratan yang perlu dipenuhi sebelum melakukan perencanaan campuran (*mix design*). Memiliki tujuan untuk mengetahui sifat bahan penyusun beton yang akan digunakan. Adapun data pemeriksaan bahan penyusun beton (agregat dan pecahan keramik) dibagi menjadi dua, yaitu pemeriksaan agregat halus dan pemeriksaan agregat kasar, serta tambahan untuk pemeriksaan pecahan keramik yang dilakukan sama seperti pemeriksaan pada agregat kasar.

5.2.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Pada penelitian ini menggunakan pasir yang berasal dari Sungai Progo. Dilakukan beberapa pemeriksaan agregat halus meliputi pengujian berat jenis dan

penyerapan air, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume, dan pengujian lolos saringan no.200 (pengujian kadar lumpur). Hasil dari pengujian agregat halus dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Hasil pelaksanaan dari pengujian ini menggunakan metode SNI 03-1970-2008 untuk mengetahui nilai berat jenis dan penyerapan air agregat halus dengan berat sampel 500 gram.

a. Analisa Perhitungan

Analisa perhitungan dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus yang dilakukan pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

1) Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{486}{(718+500-1021)} \\ &= 2,467\end{aligned}$$

2) Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis jenuh kering muka} &= \frac{500}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{500}{(718+500-1021)} \\ &= 2,538\end{aligned}$$

3) Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \\ &= \frac{486}{(718+486-1021)} \\ &= 2,655\end{aligned}$$

4) Penyerapan Air

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan air} &= \frac{(500-Bk)}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{(500-486)}{486} \times 100\% \\ &= 2,88 \%\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, dilakukan juga perhitungan nilai berat jenis dan penyerapan air agregat halus untuk sampel 2 dan nilai rata-ratanya.

b. Rekapitulasi Data Pengujian

Hasil rekapitulasi data pada pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus ini menggunakan 2 sampel. Adapun rekapitulasi data dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	486	488	487
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1021	1010	1016
Berat piknometer berisi air, gram (B)	718	708	713
Berat jenis curah ($Bk/(B+500-Bt)$)	2,467	2,464	2,465
Berat jenis jenuh kering muka ($500/(B+500-Bt)$)	2,538	2,525	2,532
Berat jenis semu, ($Bk/(B+Bk-Bt)$)	2,655	2,624	2,639
Penyerapan air, ($((500-Bk)/(Bk \times 100))$)	2,88%	2,46%	2,67%

c. Pembahasan

Berdasarkan perhitungan dari data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus diatas. Diperoleh berat jenis curah rata-rata sebesar 2,465, berat jenis jenuh kering muka (SSD) rata-rata sebesar 2,532, berat jenis semu rata-rata sebesar 2,639 dan penyerapan air rata-rata sebesar 2,67%. Menurut SNI 03-1970-1990, syarat nilai berat jenis agregat normal yang ada pada agregat halus yaitu berada diantara 2,5 – 2,7. Maka, hasil pengujian diatas telah memenuhi syarat yang ada pada SNI dan agregat halus dapat digunakan sebagai bahan campuran beton.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Hasil pelaksanaan dari pengujian ini menggunakan metode SNI 1968-1990. Untuk mengetahui klasifikasi agregat halus (pasir) berdasarkan MHB. Dengan berat 2000 gram yang lolos saringan N0.4 (4,75 mm) pada tiap sampel.

a. Analisa Perhitungan

Analisa perhitungan dalam pengujian 71ebagia saringan agregat halus akan didapatkan nilai modulus halus butir (MHB) perhitungan yang dilakukan pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

1) Persentase Berat Tertinggal (%)

$$\text{Persentase Berat Teringgal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\text{Jumlah}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{a) Lubang ayakan 4,80 mm} &= \frac{0}{1999} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Lubang ayakan 2,40 mm} &= \frac{102}{1999} \times 100\% \\ &= 5,10\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) Lubang ayakan 1,20 mm} &= \frac{246}{1999} \times 100\% \\ &= 12,31\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) Lubang ayakan 0,60 mm} &= \frac{668}{1999} \times 100\% \\ &= 33,42\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) Lubang ayakan 0,30 mm} &= \frac{745}{1999} \times 100\% \\ &= 37,27\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f) Lubang ayakan 0,15 mm} &= \frac{193}{1999} \times 100\% \\ &= 9,65\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g) Pan (sisal)} &= \frac{45}{1999} \times 100\% \\ &= 2,25\% \end{aligned}$$

2) Berat Tertinggal Kumulatif (%)

Berat tertinggal kumulatif merupakan hasil penambahan dari berat yang tertinggal pada tiap lubang ayakan secara berurutan.

a) Lubang ayakan 4,80 mm	= 0%
b) Lubang ayakan 2,40 mm	= 0+5,10%
	= 5,10%
c) Lubang ayakan 1,20 mm	= 5,10% + 12,31%
	= 17,41%
d) Lubang ayakan 0,60 mm	= 17,41% + 33,42%
	= 50,83%
e) Lubang ayakan 0,30 mm	= 50,83% + 37,27%
	= 88,09%
f) Lubang ayakan 0,15 mm	= 88,09% + 9,65%
	= 97,75%
g) Pan	= 97,75% + 2,25%
	= 100%
3) Persen Lolos Kumulatif (%)	
Persentase Lolos Kumulatif	= 100% - Berat Tertinggal Kumulatif
a) Lubang ayakan 4,80 mm	= 100% - 0%
	= 100%
b) Lubang ayakan 2,40 mm	= 100% - 5,10%
	= 94,90%
c) Lubang ayakan 1,20 mm	= 100% - 17,41%
	= 82,59%
d) Lubang ayakan 0,60 mm	= 100% - 50,83%
	= 49,17%
e) Lubang ayakan 0,30 mm	= 100% - 88,09%
	= 11,91%
f) Lubang ayakan 0,15 mm	= 100% - 97,75%
	= 2,25%
g) Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Dengan cara yang sama, dilakukan juga perhitungan nilai analisa saringan agregat halus untuk sampel 2, kemudian menghitung nilai modulus halus butir (MHB) agregat halus dan nilai rata-ratanya.

4) Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{a) MHB sampel 1} &= \frac{259,18}{100} \\ &= 2,592 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) MHB sampel 2} &= \frac{253,78}{100} \\ &= 2,538 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) MHB rata-rata} &= \frac{2,592 + 2,538}{2} \\ &= 2,565 \end{aligned}$$

b. Rekapitulasi Data Pengujian

Hasil rekapitulasi data pada pengujian analisa saringan agregat halus ini menggunakan 2 sampel. Adapun rekapitulasi data dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40				
20				
10				
4,8	0	0	0	100
2,4	102	5,10	5,10	94,9
1,2	246	12,31	17,41	82,6
0,6	668	33,42	50,83	49,2
0,3	745	37,27	88,09	11,9
0,15	193	9,65	97,75	2,3
Pan	45	2,25	100,00	0
Jumlah	1999	100	259,18	
MHB			2,592	

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40				
20				
10				
4,8	0	0	0	100
2,4	97	4,85	4,85	95,1
1,2	239	11,96	16,81	83,2
0,6	672	33,62	50,43	49,6
0,3	701	35,07	85,49	14,5
0,15	214	10,71	96,20	3,8
Pan	76	3,80	100,00	0
Jumlah	1999	100	253,78	
MHB			2,538	

c. Pembahasan

Berdasarkan perhitungan dari data hasil pengujian analisa saringan diatas, diperoleh nilai MHB agregat halus rata-rata sebesar 2,56. Menurut SK SNI S-04-1989-F, syarat nilai MHB pada agregat halus berada diantara 1,5 – 3,8. Selain itu, hasil pengujian analisa saringan juga digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat halus. Adapun gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Gradasi Agregat Halus

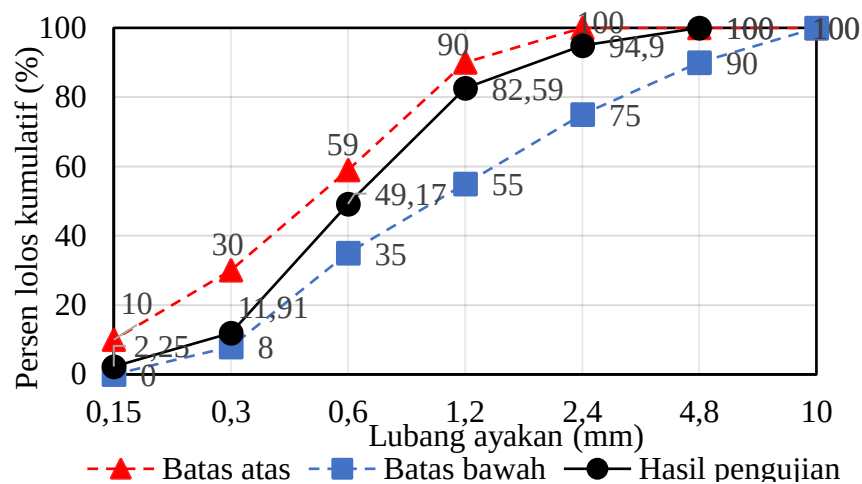
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10.00	100	100	100	100
4.80	90-100	90-100	90-100	95-100
2.40	60-95	75-100	85-100	95-100
1.20	30-70	55-90	75-100	90-100
0.60	15-34	35-59	60-79	80-100
0.30	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 2834-2000

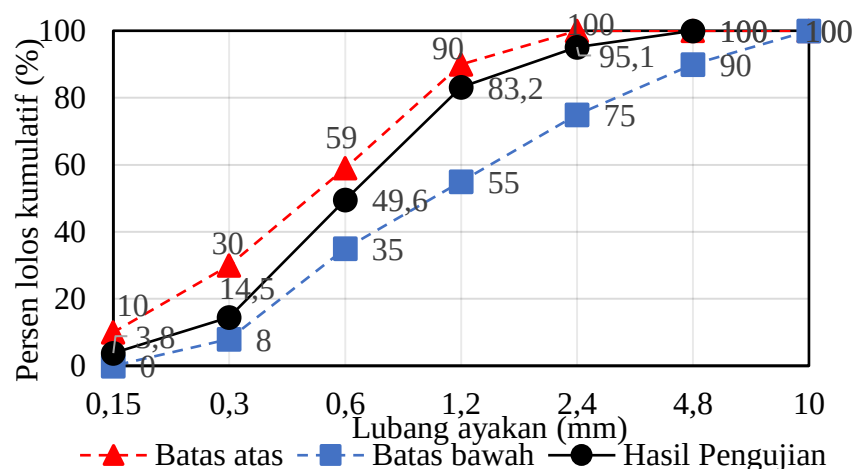
Keterangan:

- 1) Daerah I : pasir kasar
- 2) Daerah II : pasir agak kasar
- 3) Daerah III : pasir agak halus
- 4) Daerah IV : pasir halus

Berdasarkan data gradasi hasil pengujian pada Tabel 5.4 diatas, agregat halus yang digunakan pada sampel 1 dan 2 memenuhi persyaratan gradasi II dengan jenis pasir agak kasar. Kemudian dibuat grafik gradasi agregat halus tiap sampel yaitu grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lolos saringan gradasi II. Grafik dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 di sebagai berikut.



Gambar 5.1 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1



Gambar 5.2 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

Hasil pelaksanaan dari pengujian ini menggunakan metode SNI 03-4804-1998. Untuk mengetahui nilai berat isi gembur dan berat isi padat agregat halus yaitu perbandingan antara nilai berat agregat halus kering dengan volume silinder.

a. Analisa Perhitungan

Analisa perhitungan dalam pengujian berat volume gembur dan volume padat agregat halus yang dilakukan pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

1) Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat agregat (W3)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 18208 - 10674 \\
 &= 7534 \text{ gram} \\
 \text{b) Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 15,1^2 \times 30,3 \\
 &= 5426,08 \text{ cm}^3 \\
 \text{c) Berat volume gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7534}{5426,08} \\
 &= 1,389 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

2) Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat agregat (W3)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 19657 - 10674 \\
 &= 8985 \text{ gram} \\
 \text{b) Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 15,1^2 \times 30,3 \\
 &= 5426,08 \text{ cm}^3 \\
 \text{c) Berat volume padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8985}{5426,08} \\
 &= 1,656 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, dilakukan juga perhitungan nilai berat isi gembur dan berat isi padat agregat halus untuk sampel 2 dan dicari nilai rata-ratanya.

b. Rekapitulasi Data Pengujian

Hasil rekapitulasi data pada pengujian berat volume gembur dan volume padat agregat halus ini menggunakan 2 sampel. Adapun rekapitulasi data dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat volume padat (W_3/V), gram/cm ³	1,376	1,386	1,381
Diameter silinder (d), cm	15,10	15,30	15,20
Tinggi silinder (t), cm	30,30	30,20	30,25
Berat tabung (W_1), gram	10674	10830	10752
Berat tabung + agregat SSD (W_2), gram	18208	18648	18428
Berat agregat (W_3), gram	7534	7818	7676
Volume tabung (V), gram	5426,082	5552,38	5489,23
Berat volume padat (W_3/V), gram/cm ³	1,388	1,408	1,398

Tabel 5.6 Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15,1	15,3	15,2
Tinggi silinder (t), cm	30,3	30,2	30,25
Berat tabung (W_1), gram	10672	10830	10751
Berat tabung + agregat SSD (W_2), gram	19657	19921	19789
Berat agregat (W_3), gram	8985	9091	9038
Volume tabung (V), gram	5426,08	5552,38	5489,23
Berat volume padat (W_3/V), gram/cm ³	1,655	1,637	1,647

c. Pembahasan

Berdasarkan perhitungan dari data hasil pengujian berat volume gembur dan volume padat agregat halus diatas. Diperoleh nilai pengujian berat volume gembur agregat halus rata-rata sebesar 1,398 gram/cm³ dan berat volume padat agregat halus rata-rata sebesar 1,647 gram/cm³.

Menurut SNI 4804-1998, syarat nilai berat volume gembur dan berat volume padat yang ada pada beton normal yaitu berada diantara 1,5 – 3,8. Berat volume padat memiliki nilai yang lebih besar dari gembur, karena dalam pengujian berat volume padat dilakukan proses penumbukan pasir pada tiap 1/3 volume silinder atau tabung untuk mengurangi rongga udara.

4. Pengujian Lolos Saringan No.200 (Uji Kadar Lumpur dalam Pasir)

Hasil pelaksanaan dari pengujian ini menggunakan metode SNI 03-4142-1996. Untuk mengetahui nilai berat isi gembur dan berat isi padat agregat halus yaitu perbandingan antara nilai berat agregat halus kering dengan volume silinder.

a. Analisa Perhitungan

Analisa perhitungan dalam pengujian lolos saringan no. 200 atau uji kadar lumpur agregat halus yang dilakukan pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} 1) \text{ Kadar lumpur dalam pasir} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{500 - 495}{500} \times 100\% \\ &= 1,00\% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, dilakukan juga perhitungan nilai kadar lumpur dalam agregat halus (pasir) untuk sampel 2 dan dicari nilai rata-ratanya.

b. Rekapitulasi Data Pengujian

Hasil rekapitulasi data pada pengujian pengujian lolos saringan no. 200 atau uji kadar lumpur agregat halus ini menggunakan 2 sampel. Adapun rekapitulasi data dapat dilihat pada Tabel 5.7 di halaman selanjutnya.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicucui (W2), gram	495	497	496
Persentase yang lolos ayakan No. 200 [(W1-W2/W1)] x 100	1,0%	0,6%	0,8%

c. Pembahasan

Berdasarkan perhitungan dari data hasil pengujian pengujian lolos saringan no. 200 atau uji kadar lumpur agregat halus. Diperoleh berat lolos saringan no.200 rata-rata sebesar 0,8%. Menurut PUBI-1982 dalam Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia syarat nilai kadar lumpur yang ada pada agregat halus yaitu tidak diperbolehkan lebih dari atau maksimal 5%. Maka, hasil pengujian diatas telah memenuhi syarat yang ada pada PUBI yaitu <5% dan agregat halus dapat digunakan sebagai bahan campuran beton.

5.2.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Pada penelitian ini menggunakan agregat kasar atau kerikil yang berasal dari Clereng, Kulon Progo. Dilakukan beberapa pemeriksaan agregat kasar meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisis saringan, dan pengujian berat volume. Hasil dari pengujian agregat kasar dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Hasil pelaksanaan dari pengujian ini menggunakan metode SNI 03-1969-2008. Untuk mengetahui nilai berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dengan berat sampel 5000 gram.

a. Analisa Perhitungan

Analisa perhitungan dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar yang dilakukan pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

1) Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{(Bj-Bt)} \\
 &= \frac{4894}{(5000-3046)} \\
 &= 2,505
 \end{aligned}$$

2) Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis jenuh kering muka} &= \frac{Bj}{(Bj-Ba)} \\
 &= \frac{5000}{(5000-3046)} \\
 &= 2,554
 \end{aligned}$$

3) Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{(Bk-Bt)} \\
 &= \frac{4894}{(4894-3046)} \\
 &= 2,648
 \end{aligned}$$

4) Penyerapan Air

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan air} &= \frac{(Bj-Bk)}{Bk} \times 100\% \\
 &= \frac{(5000-4894)}{4894} \times 100\% \\
 &= 2,17\%
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, dilakukan juga perhitungan nilai berat jenis dan penyerapan air agregat kasar untuk sampel 2 dan dicari nilai rata-ratanya.

b. Rekapitulasi Data Pengujian

Hasil rekapitulasi data pada pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar ini menggunakan 2 sampel. Adapun rekapitulasi data dapat dilihat pada Tabel 5.8 di halaman selanjutnya.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	4894	4892	4893
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	3046	3044	3045
Berat jenis curah ($Bk/(B+500-Bt)$)	2,505	2,501	2,503
Berat jenis jenuh kering muka ($500/(B+500-Bt)$)	2,554	2,553	2,554
Berat jenis semu, ($Bk/(B+Bk-Bt)$)	2,648	2,647	2,648
Penyerapan air, ($((500-Bk)/(Bk \times 100))$)	2,17%	2,21%	2,19%

c. Pembahasan

Berdasarkan perhitungan dari data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar diatas. Diperoleh berat jenis curah rata-rata sebesar 2,503, berat jenis jenuh kering muka (SSD) rata-rata sebesar 2,554, berat jenis semu rata-rata sebesar 2,648 dan penyerapan air rata-rata sebesar 2,19%. Menurut SNI 03-1969-2008, syarat nilai berat jenis agregat normal yang ada pada agregat kasar yaitu berada diantara 2,5 – 2,7. Maka, hasil pengujian diatas telah memenuhi syarat yang ada pada SNI dan agregat kasar dapat digunakan sebagai bahan campuran beton.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Hasil pelaksanaan dari pengujian ini menggunakan metode SNI 03-1968-1990. Untuk mengetahui klasifikasi agregat kasar (kerikil) berdasarkan MHB. Dengan berat benda uji 5000 gram tiap sampel.

a. Analisa Perhitungan

Analisa perhitungan dalam pengujian analisa saringan agregat kasar akan didapatkan nilai modulus halus butir (MHB) perhitungan yang dilakukan pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

1) Persentase Berat Tertinggal (%)

$$\text{Persentase Berat Tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\text{Jumlah}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{a) Lubang ayakan 40 mm} &= \frac{0}{5000} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Lubang ayakan 20 mm} &= \frac{41}{5000} \times 100\% \\ &= 0,82\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) Lubang ayakan 10 mm} &= \frac{3359}{5000} \times 100\% \\ &= 67,18\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{1445}{5000} \times 100\% \\ &= 28,9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{83}{5000} \times 100\% \\ &= 1,66\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f) Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{7}{5000} \times 100\% \\ &= 0,14\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g) Pan} &= \frac{65}{5000} \times 100\% \\ &= 1,30\% \end{aligned}$$

2) Berat Tertinggal Kumulatif (%)

Berat tertinggal kumulatif merupakan hasil penambahan dari berat yang tertinggal pada tiap lubang ayakan secara berurutan.

$$\text{a) Lubang ayakan 40 mm} = 0\%$$

$$\begin{aligned} \text{b) Lubang ayakan 20 mm} &= 0\% + 0,82\% \\ &= 0,82\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) Lubang ayakan 10 mm} &= 0,82\% + 67,18\% \\ &= 68,00\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) Lubang ayakan 4,8 mm} &= 68,00\% + 28,90\% \\ &= 96,90\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) Lubang ayakan 2,4 mm} &= 96,90\% + 1,66\% \\ &= 98,56\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{f) Lubang ayakan 1,2 mm} &= 98,56\% + 0,14\% \\
 &= 98,70\% \\
 \text{g) Pan} &= 98,70\% + 1,3\% \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

3) Persen Lolos Kumulatif (%)

$$\begin{aligned}
 \text{a) Lubang ayakan 40 mm} &= 100\% - 0\% \\
 &= 100\% \\
 \text{b) Lubang ayakan 20 mm} &= 100\% - 0,82\% \\
 &= 99,18\% \\
 \text{c) Lubang ayakan 10 mm} &= 100\% - 68,00\% \\
 &= 32,00\% \\
 \text{d) Lubang ayakan 4,8 mm} &= 100\% - 96,90\% \\
 &= 3,10\% \\
 \text{e) Lubang ayakan 2,4 mm} &= 100\% - 98,56\% \\
 &= 1,44\% \\
 \text{f) Lubang ayakan 1,2 mm} &= 100\% - 98,70\% \\
 &= 1,30\% \\
 \text{g) Pan} &= 100\% - 100\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, dilakukan juga perhitungan nilai analisa saringan agregat kasar sampel 2, kemudian menghitung nilai modulus halus butir (MHB) agregat kasar dan nilai rata-ratanya sebagai berikut.

4) Modulus Halus Butir (MHB)

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 \text{a) MHB sampel 1} &= \frac{659,08}{100} \\
 &= 6,590 \\
 \text{b) MHB sampel 2} &= \frac{658,96}{100} \\
 &= 6,589 \\
 \text{c) MHB rata-rata} &= \frac{6,590 + 6,589}{2} \\
 &= 6,5895
 \end{aligned}$$

b. Rekapitulasi Data Pengujian

Hasil rekapitulasi data pada pengujian analisa saringan agregat kasar ini menggunakan 2 sampel. Adapun rekapitulasi data dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	41	0,82	0,82	99,18
10	3359	67,18	68,00	32,00
4,8	1445	28,9	96,90	3,10
2,4	83	1,66	98,56	1,44
1,2	7	0,14	98,70	1,30
0,6	0	0	98,70	
0,3	0	0	98,70	
0,15	0	0	98,70	
Pan	65	1,3		
Jumlah	5000	100	659,08	
MHB			6,590	

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	53	1,06	1,06	98,94
10	3226	64,52	65,58	34,42
4,8	1591	31,82	97,40	2,60
2,4	76	1,52	98,92	1,08
1,2	4	0,08	99,00	1,00
0,6	0	0	99,00	
0,3	0	0	99,00	
0,15	0	0	99,00	
Pan	50	1		
Jumlah	5000	100	658,96	
MHB			6,589	

c. Pembahasan

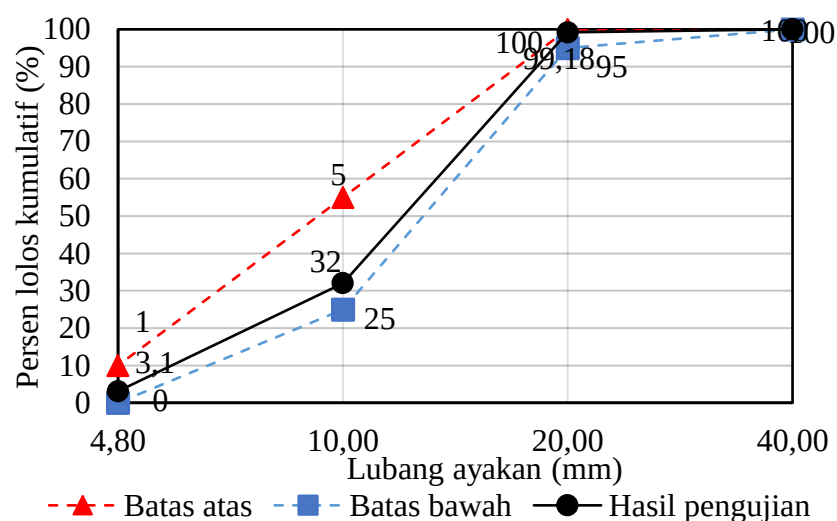
Berdasarkan perhitungan dari data hasil pengujian analisa saringan diatas. Diperoleh nilai modulus butir agregat kasar rata-rata sebesar 6,585. Menurut SK SNI S-04-1989-F, syarat nilai modulus halus butir yang ada pada agregat kasar yaitu berada diantara 5,0 – 8,0. Adapun tabel gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5.11 Gradasi Agregat Kasar

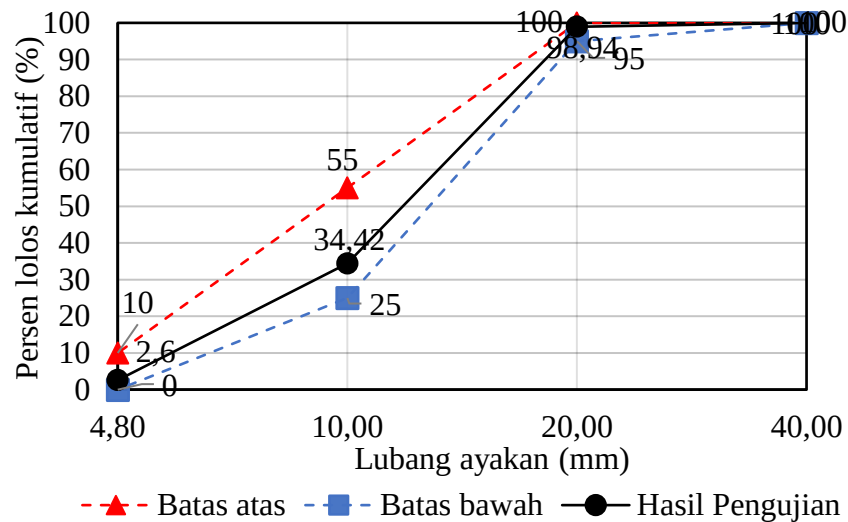
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan / Besar Butiran Maksimum		
	40 mm	20 mm	10 mm
40,00	95-100	100	-
20,00	30-70	95-100	100
10,00	10-35	25-55	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Sumber: SNI 2834-2000

Berdasarkan data gradasi hasil pengujian pada Tabel 5.11 diatas, agregat kasar menggunakan ukuran maksimum 20 mm sesuai dengan persyaratan gradasi agregat. Kemudian dibuat grafik gradasi agregat kasar tiap sampel. Grafik dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 di halaman selanjutnya.



Gambar 5.3 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1



Gambar 5.4 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar

Hasil pelaksanaan dari pengujian ini menggunakan metode SNI 03-4804-1998. Untuk mengetahui nilai berat isi gembur dan berat isi padat agregat kasar yaitu perbandingan antara nilai berat agregat kasar kering dengan volume silinder.

a. Analisa Perhitungan

Analisa perhitungan dalam pengujian berat volume gembur dan volume padat agregat kasar yang dilakukan pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

1) Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 18076 - 10674 \\
 &= 7402 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 15,1^2 \times 30,3 \\
 &= 5426,08 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) Berat volume gembur} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{7402}{5426,08} \\
 &= 1,364 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

2) Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 19514 - 10672 \\
 &= 8840 \text{ gram} \\
 \text{b) Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 15,1^2 \times 30,3 \\
 &= 5426,08 \text{ cm}^3 \\
 \text{c) Berat volume padat} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{8712}{5426,08} \\
 &= 1,629 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, dilakukan juga perhitungan nilai berat isi gembur dan berat isi padat agregat kasar untuk sampel 2 dan nilai rata-ratanya.

b. Rekapitulasi Data Pengujian

Hasil rekapitulasi data pada pengujian berat volume gembur dan volume padat agregat kasar ini menggunakan 2 sampel. Adapun rekapitulasi data dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 sebagai berikut.

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15,10	15,30	15,20
Tinggi silinder (t), cm	30,30	30,20	30,25
Berat tabung (W1), gram	10674	10830	10752
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18076	18483	18280
Berat agregat (W3), gram	7402	7653	7528
Volume tabung (V), gram	5426	5552	5489
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,364	1,378	1,371

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15,10	15,30	15,20
Tinggi silinder (t), cm	30,30	30,20	30,25
Berat tabung (W1), gram	10674	10830	10752
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19514	19744	19629
Berat agregat (W3), gram	8840	8914	8877
Volume tabung (V), gram	5426	5552	5489
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,629	1,605	1,617

c. Pembahasan

Berdasarkan perhitungan dari data hasil pengujian berat volume gembur dan volume padat agregat kasar diatas. Diperoleh nilai pengujian berat volume gembur agregat kasar rata-rata sebesar 1,371 gram/cm³ dan berat volume padat agregat kasar rata-rata sebesar 1,617 gram/cm³. Menurut SNI 4804-1998, syarat nilai berat volume gembur dan berat volume padat yang ada pada beton normal yaitu berada diantara 1,5 – 3,8. Berat volume padat memiliki nilai yang lebih besar dari gembur, karena dalam pengujian berat volume padat dilakukan proses penumbukan kerikil pada tiap 1/3 volume silinder atau tabung untuk mengurangi rongga udara.

5.2.3 Hasil Pemeriksaan Pecahan Keramik

Pemeriksaan pecahan keramik dilakukan sebagai pengganti sebagian dari total berat agregat kasar. Pada penelitian ini menggunakan pecahan keramik yang berasal dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) di Kabupaten Cikarang, Jawa Barat. Dilakukan beberapa pemeriksaan pecahan keramik sama seperti pemeriksaan pada agregat kasar meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, dan pengujian berat volume. Hasil dari pengujian pecahan keramik dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pecahan Keramik

Hasil pelaksanaan dari pengujian ini menggunakan metode SNI 03-1969-2008 untuk mengetahui nilai berat jenis dan penyerapan air pecahan keramik dengan berat sampel 5000 gram.

a. Analisa Perhitungan

Analisa perhitungan dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air pecahan keramik yang dilakukan pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

1) Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{(Bj-Bt)} \\ &= \frac{4893}{(5000-3161)} \\ &= 2,661\end{aligned}$$

2) Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis jenuh kering muka} &= \frac{Bj}{(Bj-Ba)} \\ &= \frac{5000}{(5000-3161)} \\ &= 2,719\end{aligned}$$

3) Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{(Bk-Bt)} \\ &= \frac{4894}{(4894-3046)} \\ &= 2,825\end{aligned}$$

4) Penyerapan Air

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan air} &= \frac{(Bj-Bk)}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{(5000-4893)}{4893} \times 100\% \\ &= 2,19 \%\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, dilakukan juga perhitungan nilai berat jenis dan penyerapan air agregat kasar untuk sampel 2 dan nilai rata-ratanya.

b. Rekapitulasi Data Pengujian

Hasil rekapitulasi data pada pengujian berat jenis dan penyerapan air pecahan keramik ini menggunakan 2 sampel. Adapun rekapitulasi data

dapat dilihat pada Tabel 5.14 sebagai berikut.

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pecahan Keramik

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	4893	4882	4888
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	3161	3093	3127
Berat jenis curah ($Bk/(B+500-Bt)$)	2,661	2,560	2,610
Berat jenis jenuh kering muka ($500/(B+500-Bt)$)	2,719	2,622	2,670
Berat jenis semu, ($Bk/(B+Bk-Bt)$)	2,825	2,729	2,777
Penyerapan air, $((500-Bk)/(Bk \times 100))$	2,19%	2,42%	2,30%

c. Pembahasan

Berdasarkan perhitungan dari data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pecahan keramik diatas. Diperoleh berat jenis curah rata-rata sebesar 2,610, berat jenis jenuh kering muka (SSD) rata-rata sebesar 2,670, berat jenis semu rata-rata sebesar 2,777 dan penyerapan air rata-rata sebesar 2,30%. Menurut SNI 03-1969-1990, syarat nilai berat jenis agregat normal yang ada pada pecahan keramik yaitu berada diantara 2,5 – 2,7.

2. Pengujian Analisa Saringan Pecahan Keramik

Hasil pelaksanaan dari pengujian ini menggunakan metode SNI 1968-1990. Untuk mengetahui klasifikasi agregat kasar (kerikil) berdasarkan MHB. Dengan berat benda uji 5000 gram tiap sampel.

a. Analisa Perhitungan

Analisa perhitungan dalam pengujian analisa saringan pecahan keramik akan juga didapatkan nilai modulus halus butir (MHB) yang dilakukan pada sampel 1 sebagai berikut.

1) Persentase Berat Tertinggal (%)

$$\text{Persentase Berat Tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\text{Jumlah}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{a) Lubang ayakan 40 mm} &= \frac{0}{5000} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Lubang ayakan 20 mm} &= \frac{48}{5000} \times 100\% \\ &= 0,96\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) Lubang ayakan 10 mm} &= \frac{3514}{5000} \times 100\% \\ &= 70,28\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{1342}{5000} \times 100\% \\ &= 26,84\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{57}{5000} \times 100\% \\ &= 1,14\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f) Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{5}{5000} \times 100\% \\ &= 0,1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g) Pan} &= \frac{34}{5000} \times 100\% \\ &= 0,68\% \end{aligned}$$

2) Berat Tertinggal Kumulatif (%)

Berat tertinggal kumulatif merupakan hasil penambahan dari berat yang tertinggal pada tiap lubang ayakan secara berurutan.

$$\text{a) Lubang ayakan 40 mm} = 0\%$$

$$\begin{aligned} \text{b) Lubang ayakan 20 mm} &= 0\% + 0,96\% \\ &= 0,96\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) Lubang ayakan 10 mm} &= 0,96\% + 70,28\% \\ &= 71,24\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) Lubang ayakan 4,8 mm} &= 71,24\% + 26,84\% \\ &= 98,08\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) Lubang ayakan 2,4 mm} &= 98,08\% + 1,14\% \\ &= 99,22\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{f) Lubang ayakan 1,2 mm} &= 99,22\% + 0,1\% \\
 &= 99,32\% \\
 \text{g) Pan} &= 99,32\% + 0,68\% \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

3) Persen Lolos Kumulatif (%)

$$\begin{aligned}
 \text{a) Lubang ayakan 40 mm} &= 100\% - 0\% \\
 &= 100\% \\
 \text{b) Lubang ayakan 20 mm} &= 100\% - 0,96\% \\
 &= 99,04\% \\
 \text{c) Lubang ayakan 10 mm} &= 100\% - 71,24\% \\
 &= 28,76\% \\
 \text{d) Lubang ayakan 4,8 mm} &= 100\% - 98,08\% \\
 &= 0,78\% \\
 \text{e) Lubang ayakan 2,4 mm} &= 100\% - 99,22\% \\
 &= 0,78\% \\
 \text{f) Lubang ayakan 1,2 mm} &= 100\% - 99,32\% \\
 &= 0,68\% \\
 \text{g) Pan} &= 100\% - 100\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, dilakukan juga perhitungan nilai analisa saringan pecahan keramik untuk sampel 2, kemudian menghitung nilai modulus halus butir (MHB) agregat kasardan nilai rata-ratanya.

4) Modulus Halus Butir (MHB)

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\Sigma \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 \text{a) MHB sampel 1} &= \frac{666,78}{100} \\
 &= 6,668 \\
 \text{b) MHB sampel 2} &= \frac{663,46}{100} \\
 &= 6,635 \\
 \text{c) MHB rata-rata} &= \frac{6,668 + 6,635}{2} \\
 &= 6,651
 \end{aligned}$$

b. Rekapitulasi Data Pengujian

Hasil rekapitulasi data pada pengujian analisa saringan pecahan keramik ini menggunakan 2 sampel. Adapun rekapitulasi data dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan Tabel 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pecahan Keramik Sampel 1

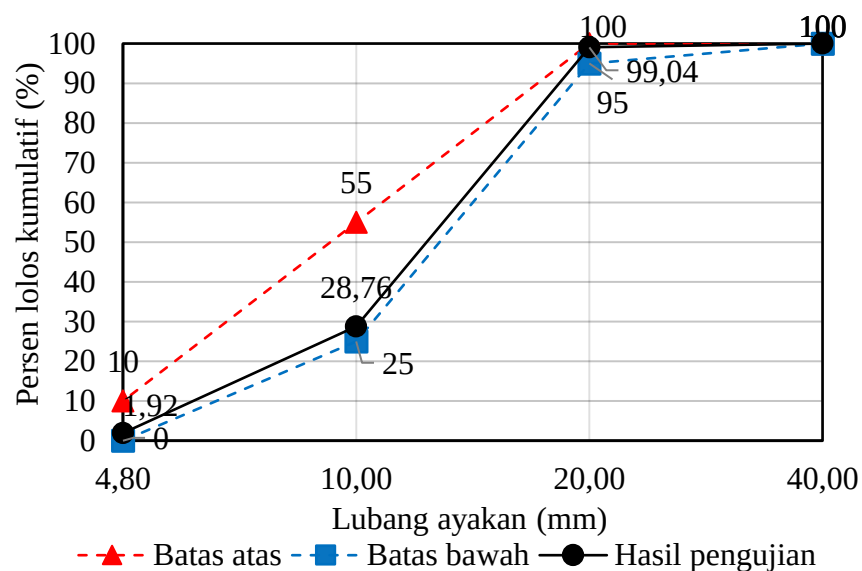
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	48	0,96	0,96	99,04
10	3514	70,28	71,24	28,76
4,8	1342	26,84	98,08	1,92
2,4	57	1,14	99,22	0,78
1,2	5	0,1	99,32	0,68
0,6	0	0	99,32	
0,3	0	0	99,32	
0,15	0	0	99,32	
Pan	34	0,68		
Jumlah	5000	100	666,78	
MHB			6,668	

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pecahan Keramik Sampel 2

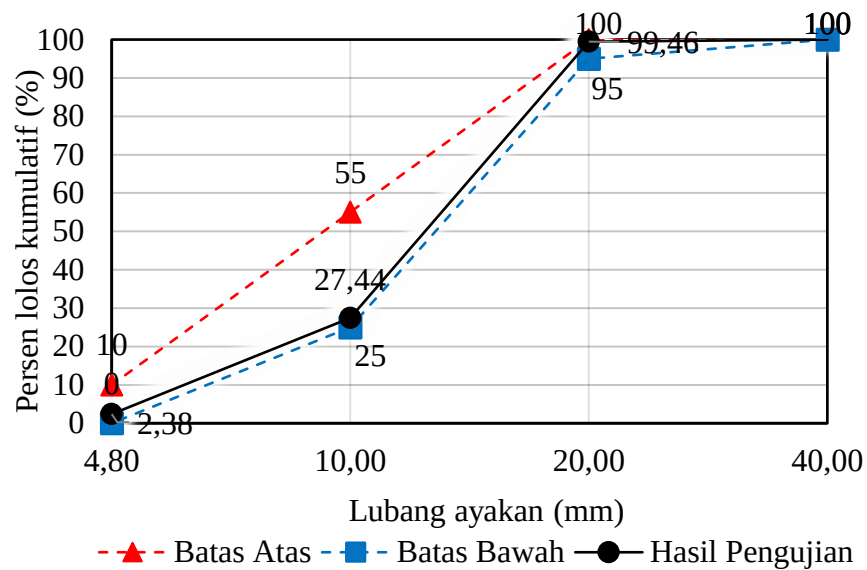
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	27	0,54	0,54	99,46
10	3601	72,02	72,56	27,44
4,8	1253	25,06	97,62	2,38
2,4	40	0,8	98,42	1,58
1,2	8	0,16	98,58	1,42
0,6	0	0	98,58	
0,3	0	0	98,58	
0,15	0	0	98,58	
Pan	71	1,42		
Jumlah	5000	100	663,46	
MHB			6,635	

c. Pembahasan

Berdasarkan perhitungan dari data hasil pengujian analisa saringan diatas. Diperoleh nilai modulus butir pecahan keramik rata-rata sebesar 6,651. Menurut SK SNI S-04-1989-F, syarat nilai modulus halus butir yang ada pada pecahan keramik sama dengan agregat kasar yaitu berada diantara 5,0 – 8,0. Selain itu, hasil pengujian analisa saringan juga digunakan untuk menentukan gradasi pecahan keramik berdasarkan tabel gradasi agregat halus. Maka, hasil diatas telah memenuhi syarat yang ada pada SNI dan pecahan keramik dapat digunakan sebagai bahan campuran beton. Berdasarkan data gradasi hasil pengujian pada Tabel 5.16 diatas, pecahan keramik menggunakan ukuran maksimum 20 mm mengikuti persyaratan gradasi agregat kasar yang ada pada Tabel 5.11. Kemudian dibuat grafik gradasi pecahan keramik tiap sampel yaitu grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lolos saringan gradasi II. Grafik dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 di halaman selanjutnya



Gambar 5.5 Grafik Gradasi Pecahan Keramik Maksimum 20 mm Sampel 1



Gambar 5.6 Grafik Gradasi Pecahan Keramik Maksimum 20 mm Sampel 2

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Pecahan Keramik

Hasil pelaksanaan dari pengujian ini menggunakan metode SNI 03-4804-1998. Untuk mengetahui nilai berat isi gembur dan berat isi padat agregat pecahan keramik yaitu perbandingan antara nilai berat agregat halus kering dengan volume silinder.

a. Analisa Perhitungan

Analisa perhitungan dalam pengujian berat volume gembur dan volume padat pecahan keramik yang dilakukan pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

1) Berat Volume Gembur

- a) Berat agregat (W3) = $W_2 - W_1$
 $= 18141 - 10674$
 $= 7467 \text{ gram}$
- b) Volume tabung (V) = $\frac{1}{4} \pi d^2 t$
 $= \frac{1}{4} \pi \times 15,1^2 \times 30,3$
 $= 5426,08 \text{ cm}^3$
- c) Berat volume gembur = $\frac{W_3}{V}$

$$= \frac{7467}{5426,08}$$

$$= 1,376 \text{ gram/cm}^3$$

d) Berat Volume Padat

$$\begin{aligned} \text{d) Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 19584 - 10672 \\ &= 8912 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\ &= \frac{1}{4} \pi \times 15,1^2 \times 30,3 \\ &= 5426,08 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f) Berat volume padat} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{8985}{5426,08} \\ &= 1,642 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, dilakukan juga perhitungan nilai berat isi gembur dan berat isi padat agregat kasar untuk sampel 2 dan dicari nilai rata-ratanya.

b. Rekapitulasi Data Pengujian

Hasil rekapitulasi data pada pengujian berat volume menggunakan 2 sampel. Dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan Tabel 5.18 sebagai berikut.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Pecahan Keramik

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15,1	15,300	15,2
Tinggi silinder (t), cm	30,3	30,200	30,25
Berat tabung (W1), gram	10674	10830	10752
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18141	18528	18335
Berat agregat (W3), gram	7467	7698	7583
Volume tabung (V), gram	5426	5552	5489
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,376	1,386	1,381

Tabel 5.18 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Pecahan Keramik

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15,1	15,300	15,2
Tinggi silinder (t), cm	30,3	30,200	30,25
Berat tabung (W1), gram	10672	10830	10751
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19584	19936	19760
Berat agregat (W3), gram	8912	9106	9009
Volume tabung (V), gram	5426,08	5552,38	5489,23
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,642	1,640	1,641

c. Pembahasan

Berdasarkan perhitungan dari data hasil pengujian diatas. Diperoleh nilai pengujian berat volume gembur pecahan keramik rata-rata sebesar 1,381 gram/cm³ dan berat volume padat pecahan keramik rata-rata sebesar 1,641 gram/cm³. Menurut SNI 4804-1998, syarat nilai berat volume gembur dan berat volume padat yang ada pada beton normal yaitu berada diantara 1,5 – 3,8. Berat volume padat memiliki nilai yang lebih besar dari berat volume gembur, karena pengujian berat volume padat dilakukan proses penumbukan pecahan keramik pada tiap 1/3 volume silinder.

5.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Dalam melakukan perencanaan beton (mix design) perlu menggunakan acuan spesifikasi yaitu menggunakan SNI 03-2834-2000. Adapun perhitungan rencana campuran adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana (f'_c) sebesar 25 MPa dengan benda uji silinder bediameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Dilakukan pengujian pada umur rencana 28 hari.
2. Semen yang digunakan adalah semen tipe I merek Tiga Roda tipe PCC.
3. Bahan pengganti sebagian agregat kasar yang digunakann yaitu limbah pecahan keramik yang berasal dari Cikarang, Jawa Barat. Menggunakan variasi substitusi limbah pecahan keramik sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% dari berat total agregat kasar.

4. Pada pengujian berat jenis dan penyerapan dari agregat halus dan agregat kasar, diperoleh hasil berat jenis agregat halus (SSD) sebesar 2,53 dan berat jenis agregat kasar (SSD) sebesar 2,56.
5. Pada pengujian analisa saringan agregat kasar menggunakan ukuran maksimum sebesar 20 mm dari Clereng.
6. Pada pengujian analisa saringan agregat halus diperoleh susunan butir agregat halus yang masuk dalam gradasi Daerah II.
7. Nilai standar deviasi (Sd) merupakan nilai yang diambil berdasarkan tingkat pengendalian mutu pekerjaan. Dalam perencanaan campuran beton belum memiliki pengalaman dan sampel pengujian sebanyak 5 buah, maka diambil nilai *margin* (M) sebesar 12 MPa berdasarkan Tabel 5.19 di halaman selanjutnya.

**Tabel 5.19 Faktor Pengali untuk (k) Standar Deviasi bila
Data Hasil Uji yang Tersedia kurang dari 30**

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar (k)
< 15	*)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
> 30	1,00

Sumber : (SNI 03-2384-2000)

*) Bila data uji lapangan kurang dari 15 dan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan di atas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f'_{cr} harus diambil tidak kurang dari $(f'_c + 12 \text{ MPa})$.

8. Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan dengan menggunakan rumus :

$$f'_{cr} = f'_c + M$$

$$= 25 + 12$$

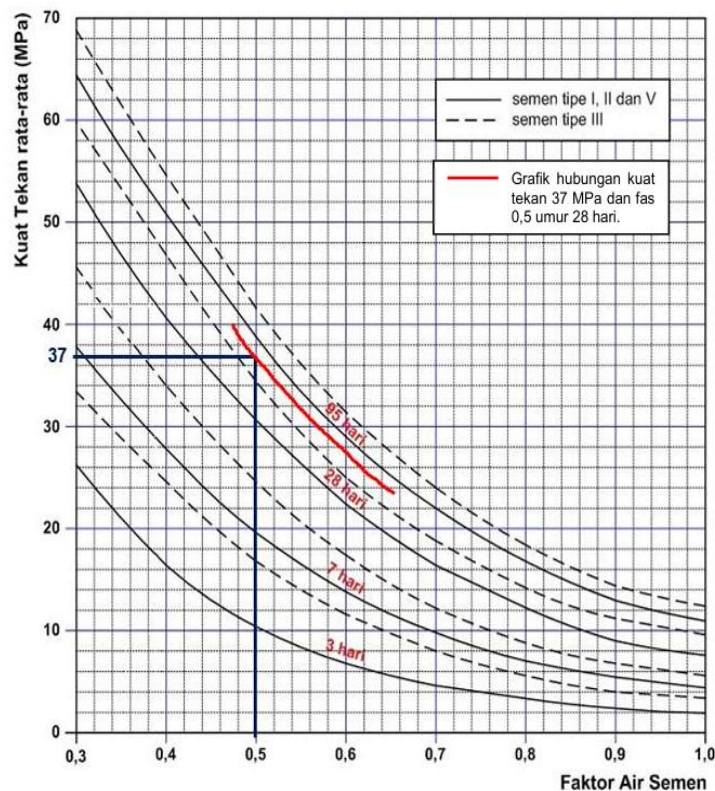
$$f'_{cr} = 37 \text{ MPa}$$

9. Menghitung nilai fas berdasarkan Tabel 5.20 dan Gambar 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.20 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas 0,5 dan Jenis Semen serta Agregat yang dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (MPa)				Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland tipe I atau	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan Sulfat tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland 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 2834-2000



Gambar 5.7 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas) untuk Benda Uji Silinder Diameter 150mm dan Tinggi 300 mm (Sumber: SNI 2834-2000)

Nilai faktor air semen yang digunakan sesuai dengan Tabel 5.20 dan Gambar 5.7 adalah sebagai berikut.

- a. Digunakan semen tipe I, jenis agregat kasar batu pecah dengan benda uji silinder dan kuat tekan pada umur 28 hari dengan bentuk benda uji silinder ukuran 15 cm x 30 cm. Maka, diperoleh perkiraan kuat tekan beton dengan fas 0,5 sebesar 37 MPa berdasarkan Tabel 5.21 diatas.
 - b. Membuat kurva baru yang memotong titik perpotongan pada butir b.
 - c. Tarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) sebesar 37 MPa sampai memotong kurva pada butir c.
 - d. Tarik garis vertikal ke bawah dari titik perpotongan pada butir d, sehingga diperoleh nilai fas sebesar 0,5.
 - e. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar Grafik 5.7 diatas.
10. Menentukan kadar air yang dibutuhkan dalam campuran beton berdasarkan Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5.21 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0-10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 2834-2000

Berdasarkan Tabel 5.21 perkiraan kadar air bebas yang dibutuhkan dalam tingkat kemudahan dalam pengerjaan campuran adukan beton diatas ditentukan sebagai berikut.

- a. Ukuran butir maksimum agregat kasar dari hasil pengujian analisa saringan agregat kasar diperoleh sebesar 20 mm.
- b. Jenis batuan terdiri dari agregat halus (batu tak dipecahkan) dan agregat kasar (batu pecah).
- c. *Slump* yang direncanakan sebesar 10 ± 2 cm, sehingga masuk pada *range slump* 60 – 180 mm.
- d. Nilai perkiraan jumlah air untuk agregat halus (W_h) adalah 195 sedangkan untuk agregat kasar (W_k) adalah 225. Diperoleh kadar air bebas (w) yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{2}{3} W_h + \frac{2}{3} W_k \\
 &= \frac{2}{3} \times 195 + \frac{2}{3} \times 225 \\
 w &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

11. Menentukan jumlah semen minimum dan fas maksimum.

Jumlah semen minimum dan fas maksimum ditentukan berdasarkan Tabel 5.22 di halaman selanjutnya.

Tabel 5.22 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per-m ³ beton (kg)	Nilai fas maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,52
Beton masuk ke dalam tanah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti – ganti	325	0,60
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Tabel 6

Sumber : SNI 2834-2000

Berdasarkan Tabel 5.22 persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus diatas ditentukan.

- a. Jenis pembetonan yang digunakan adalah beton dalam ruang bangunan dengan keadaan keliling non korosif,
- b. Jumlah semen minimum sebesar 275 kg/m³ dan nilai faktor air semen maksimum sebesar 0,60.

12. Menentukan kadar semen

- a. Nilai faktor air semen dari hasil pembacaan grafik sebesar 0,5 dan faktor air semen maksimum berdasarkan jenis pembetonan sebesar 0,60. Diambil nilai faktor air semen terkecil, yaitu fas dari hasil pembacaan grafik sebesar

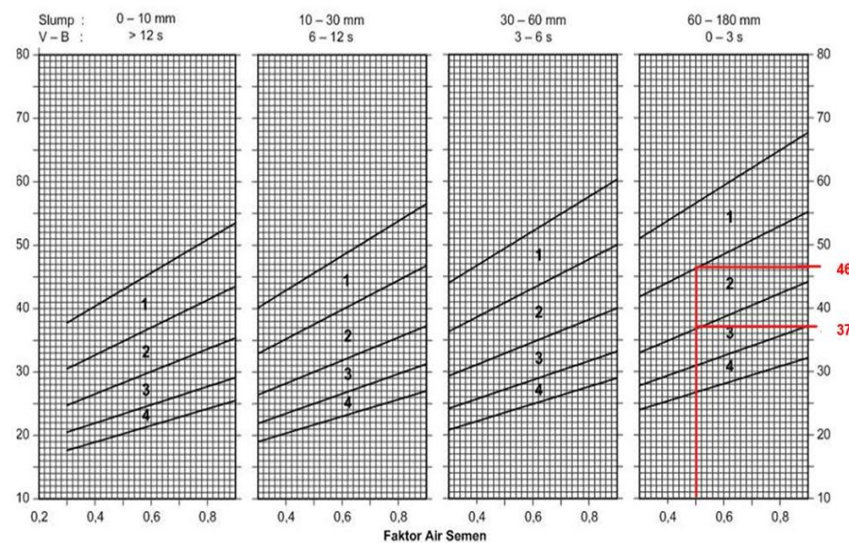
0,5. Maka diperoleh kadar semen berdasarkan nilai fas dan kadar air yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kadar semen minimum per m}^3 \text{ beton} = \frac{w}{FAS} = \frac{205}{0,5} = 410 \text{ kg/m}^3$$

- b. Kadar semen minimum berdasarkan jenis pembetonan sebesar 275 kg/m³ dan hasil perhitungan kadar semen minimum diperoleh sebesar 410 kg/m³, sehingga kadar semen yang digunakan sebesar 410 kg/m³.

13. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar.

Menggunakan ukuran maksimum agregat yang digunakan adalah 20 mm, slump yang direncanakan masuk dalam *range* 60 – 180 mm, nilai fas sebesar 0,5 dan gradasi agregat halus masuk dalam gradasi II. Persentase agregat halus ditentukan berdasarkan Gambar 5.8 sebagai berikut.



Gambar 5.8 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

Berdasarkan Gambar 5.8 di atas, diperoleh persentase batas agregat halus sebesar 46% dan persentase sebesar 37%. Dilakukan dengan cara menarik garis vertikal keatas dari nilai fas 0,5 hingga memotong dua buah kurva yang membatasi daerah gradasi II. Setelah itu menarik garis horizontal ke kanan hingga didapatkan nilai persentase batas atas dan batas bawah. Sehingga digunakan nilai persentase agregat halus rata-rata dan persentase agregat kasar dengan perhitungan sebagai berikut.

Batas Atas = 37%

Batas Bawah = 46%

$$\begin{aligned} \text{a. Persentase rata-rata agregat halus} &= \frac{46\% + 37\%}{2} \\ &= 41,50\% \end{aligned}$$

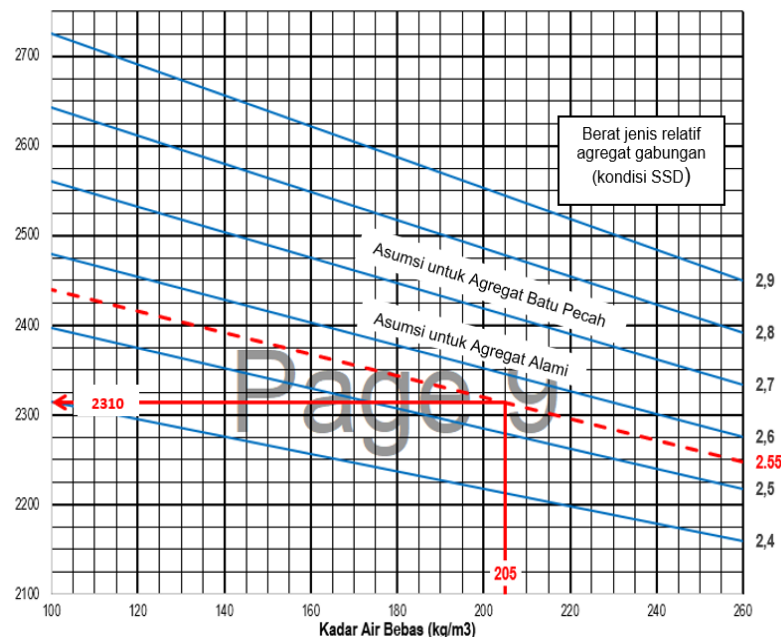
$$\begin{aligned} \text{b. Persentase agregat kasar} &= 100\% - \text{Persentase agregat halus} \\ &= 100\% - 41,50\% \\ &= 58,50\% \end{aligned}$$

14. Menghitung berat jenis relatif gabungan agregat (kondisi SSD) dengan nilai yang diperoleh dari pemeriksaan bahan susun beton, nilai berat jenis agregat halus ($B_{J_{AH}}$) sebesar 2,53 dan berat jenis agregat kasar ($B_{J_{AK}}$) sebesar 2,56. Maka dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis agregat gabungan } (B_{J_{AG}}) &= (\% AH \times B_{J_{AH}}) + (\% AK \times B_{J_{AK}}) \\ &= (41,50\% \times 2,53) + (58,50\% \times 2,56) \\ &= 2,55 \end{aligned}$$

15. Menentukan berat isi beton

Nilai berat isi beton basah yang diperkirakan diperoleh sebesar 2310 kg/m³ dapat dilihat pada Gambar 5.9 sebagai berikut.



Gambar 5.9 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

Berdasarkan Gambar 5.9 di atas, berat isi beton didapatkan dengan cara menarik garis putus-putus memanjang lurus ke kiri dari nilai berat jenis relatif agregat gabungan (SSD) sebesar 2,55 hingga membetuk kurva baru. Setelah itu menarik garis vertikal ke atas dari nilai kadar air bebas yang sudah dihitung sebesar 205 kg/m^3 hingga memotong kurva sebelumnya. Terakhir, menarik garis horizontal ke kiri, dari hasil titik perpotongan kurva sebelumnya. Sehingga didapatkan nilai perkiraan berat isi beton yang diperoleh

16. Menentukan kadar agregat gabungan dalam campuran beton yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat gabungan} &= \text{Berat isi beton} - \text{Kadar semen} - \text{Kadar air bebas} \\ &= 2310 - 410 - 205 \\ &= 1695 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

17. Menentukan kadar agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat halus} &= \text{Persen agregat halus} \times \text{Kadar agregat gabungan} \\ &= 41,50\% \times 1695 \\ &= 703,425 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat kasar} &= \text{Kadar agregat gabungan} - \text{Kadar agregat halus} \\ &= 1695 - 703,425 \\ &= 991,575 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

18. Proporsi campuran beton (agregat dalam kondisi SSD)

Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan campuran diatas, diperoleh proporsi teoritis tiap material dalam 1 m^3 beton adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 410 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat Halus = 703,425 kg
- d. Agregat Kasar = 991,575 kg

19. Proporsi campuran beton untuk satu kali *mixing* setiap berat masing-masing material dan dengan penambahan angka penyusutan sebesar (25%).

Proporsi campuran beton untuk setiap m^3 adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 410 kg

$$\begin{aligned}\text{Penyusutan (25\%)} &= 410 \times 1,25 \\ &= 512,500 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{b. Air} = 205 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}\text{Penyusutan (25\%)} &= 205 \times 1,25 \\ &= 256,250 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{c. Agregat Halus} = 703,425 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}\text{Penyusutan (25\%)} &= 703,425 \times 1,25 \\ &= 879,281 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{d. Agregat Kasar} = 991,575 \times 0,053$$

$$\begin{aligned}\text{Penyusutan (25\%)} &= 991,575 \times 1,25 \\ &= 1239,469 \text{ kg}\end{aligned}$$

20. Hasil perencanaan campuran beton

Adapun rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton (*mix design*) dapat dilihat pada Tabel 5.23 di halaman selanjutnya.

Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)
Menggunakan Metode SNI 03-2834-2000

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan (f'_c)	25	MPa
2	Standar Deviasi	7	
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	MPa
5	Jenis Semen	Portland Tipe I	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu pecah	
7	Jenis Agregat Halus	Alami	
8	Faktor air semen bebas (Fas)	0,5	
9	Faktor air semen maksimum	0,6	
10	FAS yang digunakan	0,5	
11	Slump	60-180	mm
12	Ukuran agregat maksimum	20	mm
15	Kadar air bebas	205	kg/m ³
16	Kadar semen	410	kg/m ³
17	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
18	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
19	Kadar semen digunakan	410	kg/m ³
20	Fas disesuaikan	0,5	
21	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2	
22	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,56	
23	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,53	
24	Persen Agregat Halus	41,50	%
25	Persen Agregat Kasar	58,50	%
26	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,55	
27	Berat isi Beton	2310	kg/m ³
28	Kadar agregat gabungan	1695	kg/m ³
29	Kadar agregat halus	703,425	kg/m ³
30	Kadar agregat kasar	991,575	kg/m ³
31	Kadar semen dengan angka penyusutan	512,5	kg/m ³
32	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	879,281	kg/m ³
33	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1239,469	kg/m ³
34	Kadar air dengan angka penyusutan	256,250	kg/m ³

21. Volume benda uji (Silinder Beton)

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini pada tiap variasi terdiri dari 10 silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm uji. Adapun volume benda uji dihitung berdasarkan jumlah benda uji dalam satu kali *mixing*.

Volume 10 silinder ($D = 0,15$ m; $T = 0,3$ m)

$$\begin{aligned} \text{a. Volume 10 silinder} &= 10 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= 10 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,0530 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

22. Menghitung proporsi campuran material masing-masing variasi dengan benda uji silinder sebanyak 10 buah.

$$\begin{aligned} \text{a. Semen} &= \text{volume untuk setiap m}^3 \times \text{volume benda uji} \\ &= 512,500 \times 0,0530 \\ &= 27,170 \text{ kg} \\ \text{b. Air} &= \text{volume untuk setiap m}^3 \times \text{volume benda uji} \\ &= 256,250 \times 0,0530 \\ &= 13,585 \text{ kg} \\ \text{c. Agregat Halus} &= \text{volume untuk setiap m}^3 \times \text{volume benda uji} \\ &= 879,281 \times 0,0530 \\ &= 46,615 \text{ kg} \\ \text{d. Agregat Kasar} &= \text{volume untuk setiap m}^3 \times \text{volume benda uji} \\ &= 1239,469 \times 0,0530 \\ &= 65,710 \text{ kg} \end{aligned}$$

Bahan pengganti sebagian dari berat agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah pecahan keramik yang berjumlah 10 sampel tiap kadar terdiri dari beberapa 6 variasi sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% dari berat agregat kasar. Adapun rekapitulasi proporsi campuran setiap bahan pada masing-masing variasi dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.24 di halaman selanjutnya.

Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Proporsi Kebutuhan Material Pada Campuran Beton

No.	Kode Benda Uji	Kadar Pecahan Keramik	Jumlah Sampel		Volume (m ³)	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Keramik (kg)
			Tekan	Tarik Belah						
1	BN	0%	5	5	0,053	27,170	13,585	46,615	65,710	-
2	PKB10	10%	5	5	0,053	27,170	13,585	46,615	59,139	6,571
3	PKB15	15%	5	5	0,053	27,170	13,585	46,615	55,853	9,856
4	PKB20	20%	5	5	0,053	27,170	13,585	46,615	52,568	13,142
5	PKB25	25%	5	5	0,053	27,170	13,585	46,615	49,282	16.427
6	PKB30	30%	5	5	0,053	27,170	13,585	46,615	45,997	19,713

5.4 Pengujian Beton

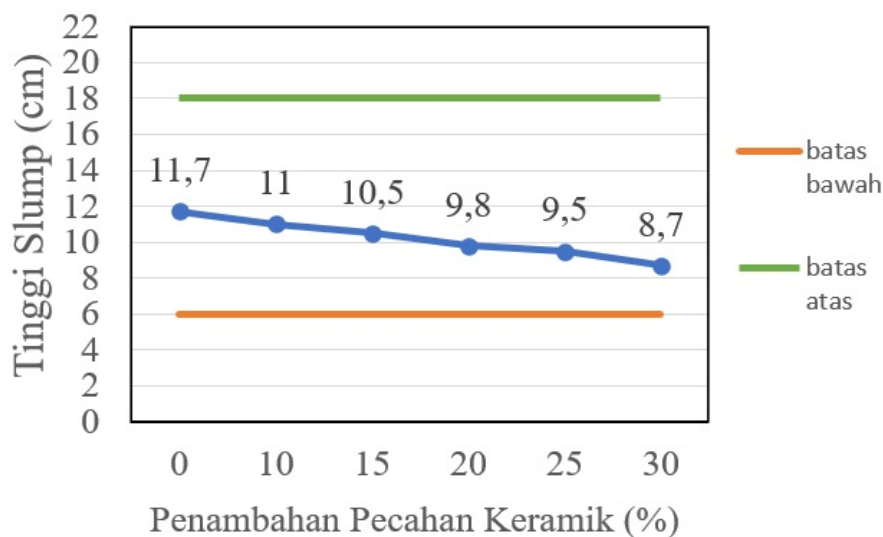
5.4.1 Hasil Pengujian *Slump*

Pengujian *Slump* pada beton segar merupakan salah satu pengujian sederhana yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kemudahan pekerjaan (*workability*) beton segar sebelum diterima dan diaplikasikan dalam pengerjaan pengecoran. Beton lebih mudah dikerjakan ketika nilai *slump* lebih tinggi yaitu dengan adukan beton segar yang encer, dan sebaliknya beton lebih sulit dikerjakan ketika nilai *slump* rendah yaitu dengan adukan beton segar yang kental. Beton segar yang baik adalah beton yang mudah dikerjakan (*workability* baik), tidak memisahkan antara agregat dengan campuran (*segregasi*), dan tidak memisahkan air dari campuran (*bleeding*). Adapun hasil pengujian *slump* dari variasi pecahan keramik yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.25 sebagai berikut.

Tabel 5.25 Hasil Pengujian *Slump*

No	Kode Benda Uji	Variasi Kadar Pecahan Keramik (%)	<i>Slump</i>		Keterangan
			Tinggi (cm)	Batas (cm)	
1	BN	0	11,7	6 – 18	Memenuhi
2	PKB	10	11	6 – 18	Memenuhi
3	PKB	15	10,5	6 – 18	Memenuhi
4	PKB	20	9,8	6 – 18	Memenuhi
5	PKB	25	9,5	6 – 18	Memenuhi
6	PKB	30	8,7	6 – 18	Memenuhi
Rata-rata Nilai <i>Slump</i>			10,2	6 – 18	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5.25 di atas, diperoleh grafik hasil pengujian *slump* pada beton dengan variasi pecahan keramik yang dapat dilihat pada Gambar Grafik 5.10 di halaman selanjutnya.



Gambar 5.10 Grafik Pengujian Nilai Slump pada Tiap Variasi

Berdasarkan Gambar Grafik 5.10 di atas, hasil pengujian *slump* pada penelitian ini, didapatkan nilai *slump* rata-rata sebesar 10,2 cm. Nilai *slump* yang telah didapatkan secara keseluruhan telah memenuhi syarat nilai *slump* yang direncanakan yaitu sebesar 6 – 18 cm. Nilai *slump* tertinggi yaitu sebesar 11,7 cm terdapat pada beton normal 0%, sedangkan pada pecahan keramik yang disubstitusikan terhadap berat agregat kasar pada variasi 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% secara berturut-turut menurunkan nilai *slump* sebesar 11,7 cm, 11 cm, 10,5 cm, 9,8 cm, 9,5 cm dan 8,7 cm.

Penurunan nilai *slump* pada setiap variasi kadar pecahan keramik yang di substitusikan terhadap berat agregat kasar terjadi dikarenakan pecahan keramik memiliki sifat yaitu mudah menyerap air yang tinggi pada beton. Nilai *slump* akan mempengaruhi nilai kelecakan (*workability*) ketika kadar pecahan keramik yang digunakan semakin tinggi. Sehingga, beton keramik memiliki adukan beton yang padat atau sulit untuk dikerjakan. (Suwarno & Nursandah, 2019) menyatakan semakin besarnya persentase penambahan pecahan keramik dalam campuran beton dapat menurunkan tingkat *workability* atau sulit dikerjakan pada beton segar.



Gambar 5.11 Contoh Hasil Pengujian Slump Beton

5.4.2 Hasil Pengujian Berat Volume Beton

Berat volume beton adalah perbandingan antara berat beton dengan volume beton, yang terdapat pada komposisi material dan proses pemadatan beton segar. Pengujian berat volume dilakukan menggunakan benda uji silinder yang sudah didiamkan selama 24 jam di suhu ruangan, dengan cara menimbang beton dan menghitung volume beton berdasarkan pengukuran dimensi beton. Pada penelitian ini sebelum adanya uji kuat tekan dan kuat tarik beton, terlebih dahulu dilakukan pengujian berat volume beton pada benda uji silinder. Perhitungan berat volume beton dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

1. Berat Volume silinder beton normal 0% sampel 1

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume (W)} &= \frac{W}{\text{Vol}} \\
 &= \frac{12,652}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,15186^2 \times 0,3006} \\
 &= \frac{12,652}{0,00545} \\
 &= 2323,063 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

2. Berat volume beton normal rata-rata 0%

$$\text{Berat Volume (W)} = \frac{\Sigma W}{\Sigma \text{silinder}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{11714,334}{5} \\ &= 2342,965 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Adapun hasil rekapitulasi pengujian berat volume pada kuat tekan dan kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel 5.26-5.31 di halaman selanjutya.

Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton Pada Variasi Pecahan Keramik (0%)

Variasi Kadar Pecahan Keramik	Kode Silinder Beton	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Volume Silinder (m³)	Berat (kg)	Berat Volume Silinder (kg/m³)	Berat Volume Silinder Rerata (kg/m³)	Umur Silinder Beton
0%	BN1	300,672	151,865	0,00545	12,652	2323,063	2342,965	28 Hari
	BN2	302,286	150,634	0,00539	12,591	2337,256		
	BN3	301,536	149,726	0,00531	12,544	2362,722		
	BN4	302,368	151,216	0,00543	12,747	2347,398		
	BN5	301,873	150,923	0,00540	12,658	2343,905		
	BN6	300,334	150,300	0,00533	12,346	2316,935		
	BN7	300,667	148,983	0,00524	12,498	2384,468		
	BN8	302,485	149,560	0,00531	12,621	2375,030		
	BN9	299,804	150,486	0,00533	12,409	2327,112		
	BN10	303,129	149,706	0,00534	12,335	2311,763		

Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton Pada Variasi Pecahan Keramik (10%)

Variasi Kadar Pecahan Keramik	Kode Silinder Beton	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Volume Silinder (m³)	Berat (kg)	Berat Volume Silinder (kg/m³)	Berat Volume Silinder Rerata (kg/m³)	Umur Silinder Beton
10%	PKB1	301,489	148,989	0,00526	12,588	2394,898	2330,453	28 Hari
	PKB2	301,283	150,816	0,00538	12,371	2298,505		
	PKB3	299,366	149,883	0,00528	12,350	2338,136		
	PKB4	302,120	150,743	0,00539	12,492	2316,799		
	PKB5	300,672	151,677	0,00543	12,455	2292,564		
	PKB6	301,270	151,201	0,00541	12,613	2331,650		
	PKB7	304,168	149,646	0,00535	12,525	2321,790		
	PKB8	301,535	150,532	0,00537	12,421	2333,955		
	PKB9	299,686	150,919	0,00536	12,462	2324,575		
	PKB10	302,325	149,828	0,00533	12,535	2351,659		

Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton Pada Variasi Pecahan Keramik (15%)

Variasi Kadar Pecahan Keramik	Kode Silinder Beton	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Volume Silinder (m³)	Berat (kg)	Berat Volume Silinder (kg/m³)	Berat Volume Silinder Rerata (kg/m³)	Umur Silinder Beton
15%	PKB1	301,638	150,947	0,00540	12,444	2305,341	2322,647	28 Hari
	PKB2	300,114	149,984	0,00530	12,565	2369,717		
	PKB3	302,786	150,145	0,00536	12,429	2318,402		
	PKB4	303,238	151,563	0,00547	12,557	2295,229		
	PKB5	300,241	150,752	0,00536	12,452	2323,556		
	PKB6	302,477	149,853	0,00533	12,410	2326,262		
	PKB7	301,850	150,549	0,00537	12,653	2354,814		
	PKB8	300,361	151,290	0,00540	12,386	2293,914		
	PKB9	301,707	152,462	0,00551	12,667	2299,722		
	PKB10	302,233	149,717	0,00532	12,448	2339,514		

Tabel 5.29 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton Pada Variasi Pecahan Keramik (20%)

Variasi Kadar Pecahan Keramik	Kode Silinder Beton	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Volume Silinder (m³)	Berat (kg)	Berat Volume Silinder (kg/m³)	Berat Volume Silinder Rerata (kg/m³)	Umur Silinder Beton
20%	PKB1	305,373	149,424	0,00536	12,512	2336,498	2310,815	28 Hari
	PKB2	306,550	149,874	0,00541	12,376	2288,424		
	PKB3	301,478	150,517	0,00536	12,355	2303,171		
	PKB4	300,189	151,467	0,00541	12,369	2286,725		
	PKB5	299,076	150,942	0,00535	12,463	2328,793		
	PKB6	302,353	149,413	0,00530	12,457	2349,809		
	PKB7	304,522	151,645	0,00550	12,582	2287,626		
	PKB8	306,326	150,280	0,00543	12,567	2312,893		
	PKB9	300,507	152,325	0,00548	12,641	2308,312		
	PKB10	301,665	150,928	0,00540	12,445	2305,900		

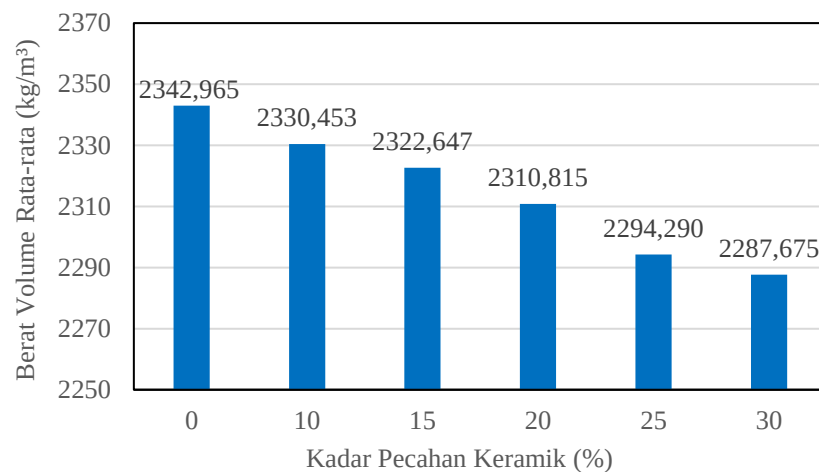
Tabel 5.30 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton Pada Variasi Pecahan Keramik (25%)

Variasi Kadar Pecahan Keramik	Kode Silinder Beton	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Volume Silinder (m³)	Berat (kg)	Berat Volume Silinder (kg/m³)	Berat Volume Silinder Rerata (kg/m³)	Umur Silinder Beton
25%	PKB1	304,476	151,489	0,00549	12,469	2272,095	2294,290	28 Hari
	PKB2	303,163	151,101	0,00544	12,376	2276,562		
	PKB3	301,835	149,712	0,00531	12,297	2314,336		
	PKB4	300,945	150,167	0,00533	12,237	2295,879		
	PKB5	301,059	149,836	0,00531	12,258	2309,116		
	PKB6	301,613	149,654	0,00531	12,313	2320,851		
	PKB7	303,210	149,349	0,00531	12,355	2325,973		
	PKB8	302,740	152,525	0,00553	12,478	2255,814		
	PKB9	300,855	150,626	0,00536	12,280	2290,611		
	PKB10	300,402	151,170	0,00539	12,302	2281,665		

Tabel 5.31 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton Pada Variasi Pecahan Keramik (30%)

Variasi Kadar Pecahan Keramik	Kode Silinder Beton	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Volume Silinder (m³)	Berat (kg)	Berat Volume Silinder (kg/m³)	Berat Volume Silinder Rerata (kg/m³)	Umur Silinder Beton
30%	PKB1	149,416	307,042	0,00538	12,304	2285,412	2287,675	28 Hari
	PKB2	151,293	305,383	0,00549	12,455	2268,670		
	PKB3	150,572	304,506	0,00542	12,322	2272,516		
	PKB4	151,364	300,165	0,00540	12,231	2264,471		
	PKB5	149,084	299,791	0,00523	12,284	2347,304		
	PKB6	151,239	306,345	0,00550	12,306	2236,087		
	PKB7	152,525	302,717	0,00553	12,430	2247,307		
	PKB8	150,829	302,626	0,00541	12,338	2281,807		
	PKB9	149,705	301,489	0,00531	12,250	2308,352		
	PKB10	150,280	300,915	0,00534	12,277	2300,150		

Berdasarkan Tabel 5.26 - 5.31 di atas, diperoleh grafik hasil berat volume rata-rata pada beton dengan variasi pecahan keramik yang dapat dilihat pada Gambar 5.12 dibawah ini.



Gambar 5.12 Grafik Hasil Nilai Berat Volume Beton pada Tiap Kadar Variasi Pecahan Keramik

Berdasarkan pada Tabel 5.26 - Tabel 5.31 dan Gambar 5.12 di atas, diperoleh nilai berat volume beton rata-rata menggunakan kadar limbah pecahan keramik 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% sebagai pengganti sebagian dari berat agregat kasar pada umur 28 hari secara berturut-turut sebesar 2342,965 kg/m³, 2330,453 kg/m³, 2322,647 kg/m³, 2310,815 kg/m³, 2294,290 kg/m³, 2287,675 kg/m³.

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, berat volume beton menurun seiring dengan bertambahnya pecahan keramik. Hal ini dikarenakan penyerapan air dan berat volume saling berhubungan, beton padat dengan penyerapan air yang rendah memiliki berat volume yang tinggi begitupun sebaliknya.

Setiawan (2023), menyatakan bahwa berat volume beton akan semakin rendah dengan bertambahnya pecahan keramik sebagai pengganti sebagian dari berat agregat kasar. Hal ini dikarenakan penyerapan air pada pecahan keramik lebih tinggi dibandingkan dengan penyerapan air pada agregat kasar.

5.4.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton menggunakan metode SNI 1974-2011, dilakukan untuk mengetahui nilai dari kekuatan beton itu sendiri dari pemberian beban oleh alat uji tekan (*compression testing machine*). Pada penelitian ini pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah proses *curing* pada beton berumur 28 hari dengan kuat tekan rencana (f'_{cr}) sebesar 25 Mpa dan menggunakan benda uji silinder berjumlah 30 sampel yang terdiri dari 6 variasi. Masing – masing menggunakan kadar limbah pecahan keramik sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% dari berat agregat kasar.

Dilakukan proses *capping* pada permukaan atas beton menggunakan belerang dengan cara dipanaskan dan kemudian dicetak dengan alat cetak silinder sebelum adanya uji tekan. *Capping* bertujuan untuk meratakan permukaan atas beton agar beban dari alat uji tekan (*compression machine*) terdistribusi merata pada permukaan beton dalam menerima tekanan. Pengujian terus berlanjut hingga benda uji retak (*crack*), yang menandakan bahwa benda uji tidak lagi mampu menopang beban yang diberikan oleh alat uji.



Gambar 5.13 Contoh Pengujian Kuat Tekan Beton

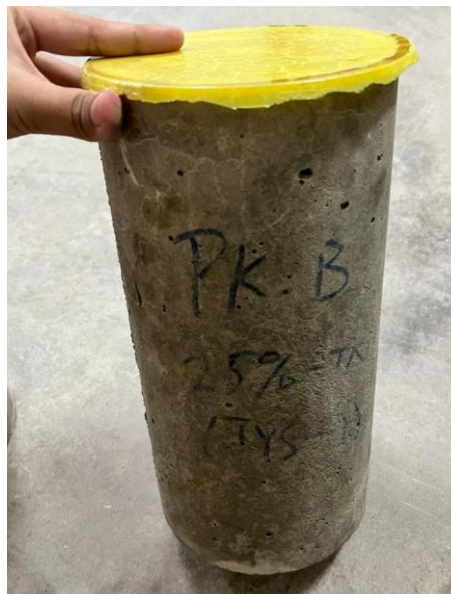
Hasil perhitungan kuat tekan beton normal (BN) dan beton dengan variasi pecahan keramik 20% (PKB20) adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton normal variasi 0% umur 28 hari sampel 1

$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P \text{ (N)}}{A \text{ (mm}^2\text{)}} \\ &= \frac{478,5 \times 10^3}{18113,621} \\ &= 26,42 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Rata – rata kuat tekan beton normal variasi pecahan keramik 0% umur 28 hari adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f'_c \text{ rata-rata} &= \frac{f'_{c1} + f'_{c2} + f'_{c3} + f'_{c4} + f'_{c5}}{5} \\ &= \frac{135,17}{5} \\ &= 27,03 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Gambar 5.14 Contoh Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk sampel beton pada variasi lainnya. Adapun rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.32 di halaman selanjutnya.

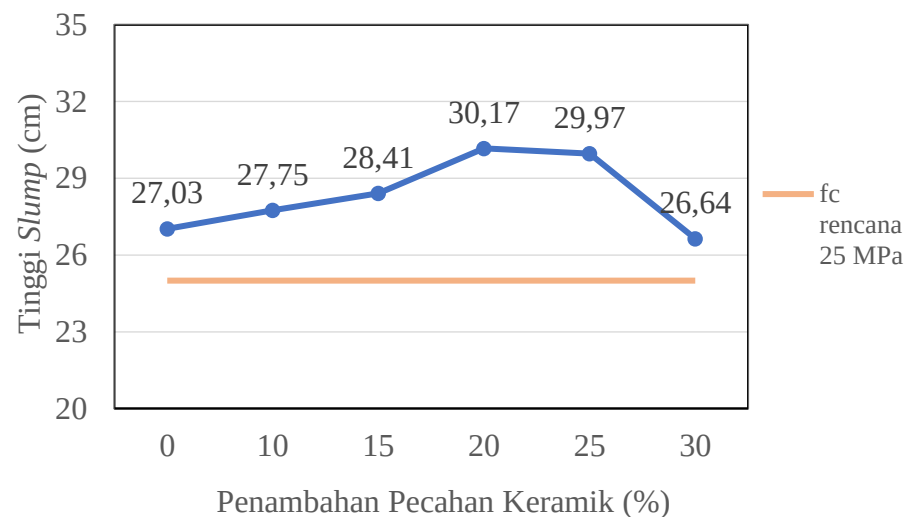
Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Uji Tekan Beton

Variasi Kadar Pecahan Keramik	Kode Beton	Dimensi Benda Uji		Luas (A)	Beban Maksimum (P max)	Kuat Tekan (F'c)	Kuat Tekan (F'c) Rerata
(%)	Silinder	T (mm)	D (mm)	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(MPa)
0	BN1	300,672	151,865	18113,621	478,5	26,42	27,03
	BN2	302,286	150,634	17821,157	430,8	24,17	
	BN3	301,536	149,726	17606,958	512,6	29,11	
	BN4	302,368	151,216	17959,133	465,7	25,93	
	BN5	301,873	150,923	17889,605	528,3	29,53	
10	PKB1	301,489	148,989	17434,050	486,3	27,89	27,75
	PKB2	301,283	150,816	17864,247	493,2	27,61	
	PKB3	299,366	149,883	17643,902	530,3	30,06	
	PKB4	302,120	150,743	17846,957	508,4	28,48	
	PKB5	300,672	151,677	18068,801	446,5	24,71	
15	PKB1	301,638	150,947	17895,295	486,8	27,20	28,41
	PKB2	300,114	149,984	17667,689	545,7	30,88	
	PKB3	302,786	150,145	17705,640	525,7	29,69	
	PKB4	303,238	151,563	18041,651	436,8	24,21	
	PKB5	300,24	150,752	17849,089	536,8	30,07	

Lanjutan Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Uji Tekan Beton

Variasi Kadar Pecahan Keramik	Kode Beton	Dimensi Benda Uji		Luas (A)	Beban Maksimum (P max)	Kuat Tekan (F'c)	Kuat Tekan (F'c) Rerata
(%)	Silinder	T (mm)	D (mm)	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(MPa)
20	PKB1	305,373	149,424	17536,002	549,9	31,36	30,17
	PKB2	306,550	149,874	17641,783	508,2	28,81	
	PKB3	301,478	150,517	17793,484	534,5	30,04	
	PKB4	300,189	151,467	18018,803	527,9	29,30	
	PKB5	299,076	150,942	17894,109	560,9	31,34	
25	PKB1	304,476	151,489	18024,037	498,8	27,67	29,77
	PKB2	303,163	151,101	17931,828	505,1	28,17	
	PKB3	301,835	149,712	17603,665	564,7	32,08	
	PKB4	300,945	150,167	17710,829	529,8	29,92	
	PKB5	301,059	149,836	17632,838	546,5	30,99	
30	PKB1	307,042	149,416	17534,125	504,9	28,80	26,64
	PKB2	305,383	151,293	17977,428	474,8	26,41	
	PKB3	304,506	150,572	17806,490	488,9	27,46	
	PKB4	300,165	151,364	17994,305	469,9	26,12	
	PKB5	299,791	149,084	17456,290	426,4	24,42	

Berdasarkan Tabel 5.32 di atas, didapatkan grafik hubungan hasil pengujian kuat tekan antara beton pecahan keramik dengan beton normal umur 28 hari. Adapun grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.14 sebagai berikut.



Gambar 5.15 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan pada Tabel 5.28 dan Gambar 5.15 di atas, diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata menggunakan variasi 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% limbah pecahan keramik sebagai pengganti sebagian dari berat agregat kasar pada umur 28 hari secara berturut-turut sebesar 27,03 MPa, 27,75 MPa, 28,41 MPa, 30,17 MPa, 29,77 MPa, 26,64 MPa.

Penggunaan limbah pecahan keramik pada beton dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton seiring dengan bertambahnya kadar variasi limbah pecahan keramik pada kadar variasi yaitu 10%, 15% dan 20% dari berat total agregat kasar. Hal ini dikarenakan pecahan keramik dengan variasi tersebut sudah mampu mengisi rongga kosong pada saat pemadatan campuran beton ke dalam bekisting, sehingga nilai kuat tekan beton mengalami kenaikan.

Nilai kuat tekan beton mengalami penurunan pada saat kadar pecahan keramik beton 25% dan 30%, hal ini terjadi dikarenakan campuran beton mengandung rongga udara yang perlu dipadatkan secara merata untuk mengurangi rongga pada beton karena proses pemadatan yang belum optimal dan adanya potensi penyerapan air yang tinggi oleh pecahan keramik karena sifatnya dan terbuat dari tanah liat.

Setiawan (2023), menyatakan semakin banyaknya proporsi pecahan keramik yang digunakan sebagai pengganti sebagian dari berat agregat kasar mengakibatkan penurunan kuat tekan terhadap beton, dimana pada saat melebihi kadar variasi pecahan keramik optimum yaitu 20%. Hal ini disebabkan karena material keramik memiliki sifat yang mudah rapuh dan mudah menyerap air yang lebih tinggi dibandingkan dengan kerikil sehingga menyebabkan kekuatan beton akan semakin menurun.

5.4.5 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton menggunakan metode SNI 03-2491-2002, tentang pengujian kuat tarik belah beton menggunakan alat uji tarik (CTM). Dilakukan dengan menekan benda uji silinder dan memposisikan secara horizontal dan memberi bantalan pada sisi kanan dan kiri agar beton tetap pada posisi yang lurus dan didapat nilai maksimum benda uji tersebut.

Menghitung luas penampang benda uji silinder dengan cara mengukur diameter dan tinggi yang sudah dimiliki, sebelum melakukan pengujian kuat tarik belah beton. Pada penelitian ini pengujian kuat tarik belah beton sama dengan pengujian kuat tekan dilakukan setelah proses *curing* pada beton berumur 28 hari dengan kuat tekan rencana (f'_{cr}) sebesar 25 MPa dan menggunakan benda uji silinder berjumlah 30 sampel yang terdiri dari 6 variasi. Masing – masing variasi menggunakan limbah pecahan keramik sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% sebagai pengganti sebagian dari berat total agregat kasar.



Gambar 5.16 Contoh Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Adapun contoh perhitungan kuat tarik belah beton normal (BN) dan beton dengan variasi pecahan keramik 20% (PKB20) adalah sebagai berikut.

1. Kuat tarik belah beton normal variasi 0% umur 28 hari sampel 1

$$\begin{aligned}
 f_{ct} &= \frac{2.P}{\pi LD} \\
 &= \frac{2 \times 190}{141812,121} \\
 &= 2,680 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Kuat tarik belah maksimum beton variasi limbah pecahan keramik 20% umur 28 hari sampel 1

$$\begin{aligned}
 f_{ct} &= \frac{2.P}{\pi LD} \\
 &= \frac{2 \times 179}{141922,921} \\
 &= 2,522 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk sampel beton pada variasi lainnya. Adapun rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik belah beton sebanyak 30 silinder dapat dilihat pada Tabel 5.33 di halaman selanjutnya.

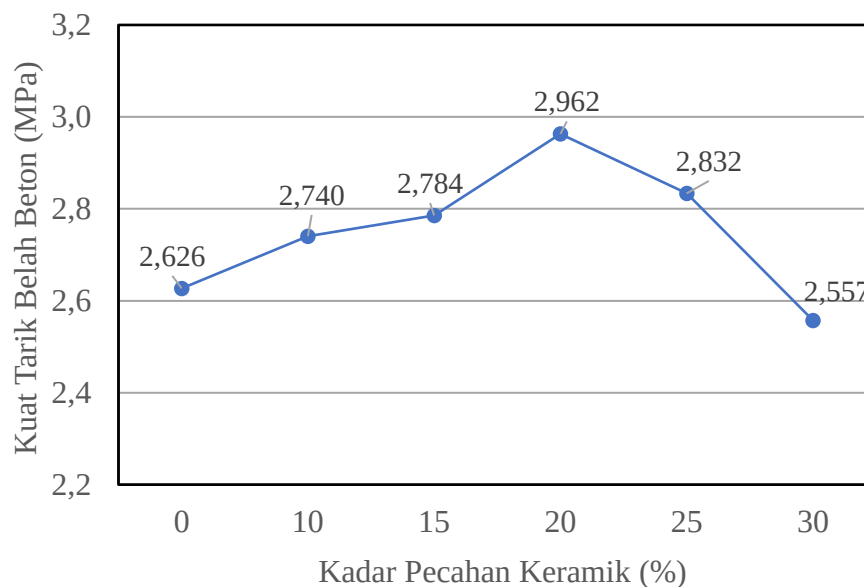
Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Uji Tarik Belah Beton

Variasi Kadar Pecahan Keramik	Kode Beton	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (A)	Beban Maksimum (P max)	Kuat Tarik Belah	Kuat Tarik Belah Rerata
(%)	Silinder	T (mm)	D (mm)	(mm ²)	(N)	(MPa)	(MPa)
0	BN1	300,3	150,3	141812,121	190	2,680	2,626
	BN2	300,7	149,0	140725,355	183	2,601	
	BN3	302,5	149,6	142124,573	168	2,364	
	BN4	299,8	150,5	141737,052	175	2,469	
	BN5	303,1	149,7	142566,197	215	3,016	
10	PKB1	301,3	151,2	143106,850	203	2,837	2,740
	PKB2	304,2	149,6	142997,521	221	3,091	
	PKB3	301,5	150,5	142598,985	183	2,567	
	PKB4	299,7	150,9	142088,931	175	2,463	
	PKB5	302,3	149,8	142303,937	195	2,741	
15	PKB1	302,5	149,9	142399,240	225	3,160	2,784
	PKB2	301,9	150,5	142764,072	170	2,382	
	PKB3	300,4	151,3	141274,744	188	2,661	
	PKB4	301,7	152,5	144509,658	214	2,962	
	PKB5	302,2	149,7	142155,239	196	2,758	

Lanjutan Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Uji Tarik Belah Beton

Variasi Kadar Pecahan Keramik	Kode Beton	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (A)	Beban Maksimum (P max)	Kuat Tarik Belah	Kuat Tarik Belah Rerata
(%)	Silinder	T (mm)	D (mm)	(mm ²)	(N)	(MPa)	(MPa)
20	PKB1	302,4	149,4	141922,921	179	2,522	2,962
	PKB2	304,5	151,6	145076,357	218	3,005	
	PKB3	306,3	150,3	144622,185	252	3,485	
	PKB4	300,5	152,3	143805,552	231	3,213	
	PKB5	301,7	150,9	143035,756	185	2,587	
25	PKB1	301,6	149,7	141803,927	196	2,764	2,832
	PKB2	303,2	149,3	142264,228	248	3,486	
	PKB3	302,7	152,5	145064,356	182	2,509	
	PKB4	300,9	150,6	142366,251	175	2,458	
	PKB5	300,4	151,2	142665,284	210	2,944	
30	PKB1	306,3	151,2	145554,108	155	2,130	2,557
	PKB2	302,7	152,5	145053,335	193	2,661	
	PKB3	302,6	150,8	143397,296	180	2,511	
	PKB4	301,5	149,7	141793,933	205	2,892	
	PKB5	300,9	150,3	142067,552	184	2,590	

Berdasarkan Tabel 5.33 di atas, didapatkan grafik hubungan hasil pengujian kuat tekan antara beton pecahan keramik dengan beton normal umur 28 hari. Adapun grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.17 sebagai berikut.



Gambar 5.17 Grafik Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan pada Tabel 5.33 dan Gambar 5.17 di atas, diperoleh nilai kuat tarik belah beton rata-rata menggunakan kadar variasi limbah pecahan keramik sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% sebagai pengganti sebagian dari berat total agregat kasar pada umur 28 hari secara berturut-turut sebesar 2,626 MPa, 2,740 MPa, 2,784 MPa, 2,962 MPa, 2,832 MPa, 2,557 MPa.

Seiring bertambahnya kadar variasi limbah pecahan keramik 10%, 15% dan 20% nilai kuat tarik belah beton mengalami kenaikan. Dikarenakan pecahan keramik dapat membuat beton menjadi padat dengan permukaannya yang halus, sehingga dapat mengisi rongga-rongga pada beton. Terjadi penurunan kuat tarik belah beton pada variasi pecahan keramik 25% hingga 30% dikarenakan kadar pecahan keramik bertambah dalam penggantian agregat kasar, sehingga mengalami penurunan perekatan pada jumlah agregat kasar dan salah satu faktor yaitu pemadatan yang kurang sempurna saat beton segar dituangkan ke dalam cetakan.

Nilai optimum kuat tarik belah beton terjadi pada variasi limbah pecahan keramik 20% (PKB20) dari berat agregat kasar yaitu sebesar 2,962 MPa, lebih besar dari nilai kuat tarik belah beton normal (BN) 0% yaitu sebesar 2,626 MPa. Sedangkan nilai kuat tarik belah beton terendah terdapat pada substitusi pecahan keramik 30% yaitu sebesar 2,557 MPa. Adapun hasil pengujian kuat tarik belah beton normal dapat dilihat pada Gambar 5.18 sebagai berikut.



Gambar 5.18 Contoh Hasil Uji Kuat Tarik Belah Beton

Hasil nilai kuat tarik belah beton tidak berbanding lurus dengan nilai kuat tekan beton. Kuat tarik beton hanya sedikit meningkat seiring dengan kenaikan mutu kekuatan tekan beton (Mulyono, 2004). Kekuatan tarik beton konvensional biasanya berkisar antara 10%-15% dari kekuatan tekan beton. Adapun contoh perhitungan persentase kuat tarik belah beton normal (BN) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase (\%)} &= \frac{f_{c_{rata-rata}}}{f_{ct_{rata-rata}}} \times 100 \\
 &= \frac{27,03}{2,626} \\
 &= 10,29\%
 \end{aligned}$$

Dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk sampel beton pada variasi pecahan keramik lainnya. Adapun rekapitulasi hasil persentase pengujian

kuat tarik belah dari kuat tekan beton sebanyak dapat dilihat pada Tabel 5.34 sebagai berikut.

Tabel 5.34 Tabel Persentase Kuat Tarik Belah Dari Kuat Tekan Beton

Kode Beton	Kuat Tekan Rata – rata	Kuat Tarik Belah Rata – rata	Persentase
Silinder	(MPa)	(MPa)	(%)
BN	27,03	2,627	10,29
PKB10%	27,75	2,740	10,13
PKB15%	28,41	2,784	10,20
PKB20%	30,17	2,962	10,17
PKB25%	29,77	2,832	10,51
PKB30%	26,64	2,587	10,42

Berdasarkan Tabel 5.34 di atas, nilai persentase kuat tarik belah untuk beton normal (BN) sebesar 10,28% dari kuat tekan beton. Persentase kuat tarik belah beton dari kuat tekan berkisar antara 10,13% - 10,51%, hasil optimum terdapat pada beton variasi kadar limbah pecahan keramik 25% (PKB25) yaitu sebesar 10,51%.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Setiawan dkk. (2023), hasil nilai kuat tarik belah dari kuat tekan beton berkisar antara 9,96% - 10,80%. Menggunakan 5 variasi kadar pecahan keramik berkisar antara 0% - 26% didapatkan nilai kuat tarik belah 2 - 3 MPa untuk beton umur 28 hari.

Maka, hasil nilai kuat tarik belah pada penelitian ini, menunjukkan sudah sebanding dengan beton normal pada umumnya yaitu berkisar antara 10% - 15% dari kuat tekan beton dan tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya.

5.5 Harga Pokok Produksi

5.5.1 Penggolongan Standar Harga Barang dan Jasa (SHBJ)

Dalam menentukan biaya produksi yang dihabiskan selama proses produksi beton, peneliti mengumpulkan data dan informasi yang relevan yang diperoleh dari studi literatur online dan peninjauan langsung ke lapangan. Untuk mengidentifikasi

biaya produksi, yang mana digunakan sebagai analisa harga tenaga kerja, analisa harga bahan baku dan analisa harga alat, menggunakan Peraturan Walikota Yogyakarta Tahun 2023 tentang Standar Harga Barang dan Jasa (SHBJ). SHBJ yang terdapat dalam produksi beton dapat dilihat pada Tabel 5.35 sebagai berikut

Tabel 5.35 Rekapitulasi Standar Harga Barang dan Jasa Pembuatan Beton

No.	BIAYA PRODUKSI BETON		
	KETERANGAN	SATUAN	HARGA
Biaya Tenaga Kerja Langsung			
1	Pekerja	OH	Rp 110.000
2	Tukang Batu	OH	Rp 112.000
3	Kepala Tukang	OH	Rp 118.000
4	Mandor	OH	Rp 129.000
Biaya Material			
1	Semen Portland	kg	Rp 1.375
2	Pasir Beton	m ³	Rp 200.000
3	Kerikil	m ³	Rp 250.000
4	Air	Liter	Rp 500,00
5	Minyak Bekisting	Liter	Rp 75.000
6	Pecahan Keramik	kg	-
Biaya Alat			
1	Molen	Sewa/Hari	Rp 350.000
2	Vibrator	Sewa/Hari	Rp 300.000
3	Sekop	Buah	Rp 65.000
4	Cetok	Buah	Rp 10.000

Sumber: Peraturan Walikota Yogyakarta (2023)

5.5.2 Perhitungan Koefisien Bahan

Perhitungan AHSP menggunakan koefisien dan harga satuan untuk menghitung harga pokok produksi per m³ sesuai data *mix design* dan SHBJ menurut sumber literatur online dan data ketika proses produksi yang telah didapatkan dan ditentukan sebelumnya. Berikut akan disajikan perhitungan koefisien bahan baku

dalam produksi beton menurut data perhitungan *mix design* peneliti sesuai kebutuhan.

1. Koefisien Semen *Portland*

Dapat ditentukan dengan menghitung jumlah kebutuhan semen yang sudah tertera dalam *mix design* beton peneliti dengan cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Koefisien Semen} &= \frac{\text{Kebutuhan Air}}{FAS} \\ &= \frac{205}{0,5} \\ &= 410 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

2. Koefisien Pasir Beton

Dapat ditentukan dengan menghitung proporsi campuran pasir yang sudah tertera dalam *mix design* beton peneliti dengan cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Koefisien Pasir} &= \text{Persentase Agregat Halus} \times \text{Berat Agregat Campuran} \\ &= 41,50\% \times 1695 \\ &= 703,425 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Jenis Pasir} &= 1.400 \text{ kg/m}^3 \\ 1\text{m}^3 &= 703,425 / 1.400 \\ &= 0,502 \text{ m}^3\end{aligned}$$

3. Koefisien Kerikil

Dapat ditentukan dengan menghitung proporsi campuran kerikil yang sudah tertera dalam *mix design* beton peneliti dengan cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Koefisien Kerikil } 0\% &= \text{Persentase Agregat Kasar} \times \text{Berat Agregat Campuran} \\ &= 58,50\% \times 1695 \\ &= 991,575 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Jenis Kerikil} &= 1.350 \text{ kg/m}^3 \\ 1\text{m}^3 &= 991,575 / 1.350 \\ &= 0,735 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Dapat ditentukan dengan menghitung proporsi substitusi kadar variasi limbah pecahan keramik dari berat total agregat kasar dengan cara sebagai berikut.

$$\text{Substitusi} = (\text{Koefisien Kerikil}) - (\text{Kadar Pecahan Keramik} \times \text{Koefisien Kerikil})$$

$$\begin{aligned} \text{a. Koefisien Kerikil } 10\% &= (991,575 \text{ kg/m}^3) - (10\% \times 991,575 \text{ kg/m}^3) \\ &= 892,418 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3 &= 892,418 \text{ kg} / 1.350 \text{ (kg/m}^3\text{)} \\ &= 0,661 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Koefisien Kerikil } 15\% &= (991,575 \text{ kg/m}^3) - (15\% \times 991,575 \text{ kg/m}^3) \\ &= 842,839 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3 &= 892,418 \text{ kg} / 1.350 \text{ (kg/m}^3\text{)} \\ &= 0,624 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. Koefisien Kerikil } 20\% &= (991,575 \text{ kg/m}^3) - (20\% \times 991,575 \text{ kg/m}^3) \\ &= 793,260 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3 &= 892,418 \text{ kg} / 1.350 \text{ (kg/m}^3\text{)} \\ &= 0,587 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. Koefisien Kerikil } 25\% &= (991,575 \text{ kg/m}^3) - (25\% \times 991,575 \text{ kg/m}^3) \\ &= 743,681 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3 &= 892,418 / 1.350 \\ &= 0,550 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Koefisien Kerikil } 30\% &= (991,575 \text{ kg/m}^3) - (30\% \times 991,575 \text{ kg/m}^3) \\ &= 694,103 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\text{m}^3 &= 892,418 / 1.350 \\ &= 0,514 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

4. Koefisien Air

Dapat ditentukan dengan menghitung jumlah kebutuhan air yang sudah tertera dalam *mix design* beton peneliti dengan cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Air} &= \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \\ &= \frac{2}{3} 195 + \frac{1}{3} 225 \\ &= 205 \text{ Liter} \end{aligned}$$

5. Koefisien Limbah Pecahan Keramik

Dapat ditentukan dengan menghitung proporsi substitusi kadar variasi limbah pecahan keramik dengan cara sebagai berikut

$$\text{Substitusi} = (\text{Kadar Pecahan Keramik} \times \text{Koefisien Kerikil})$$

- a. 10% Pecahan Keramik = $10\% \times 991,575 \text{ kg/m}^3$
= 99,157 Kg
- b. 15% Pecahan Keramik = $15\% \times 991,575 \text{ kg/m}^3$
= 148,736 Kg
- c. 20% Pecahan Keramik = $20\% \times 991,575 \text{ kg/m}^3$
= 198,315 Kg
- d. 25% Pecahan Keramik = $25\% \times 991,575 \text{ kg/m}^3$
= 247,893 Kg
- e. 30% Pecahan Keramik = $30\% \times 991,575 \text{ kg/m}^3$
= 297,472 Kg

5.5.3 Perhitungan Biaya Produksi Beton Per m^3

Biaya produksi merupakan biaya yang digunakan untuk mengubah bahan baku yang telah diperoleh menjadi barang jadi yang kemudian akan dijual. Untuk menentukan harga pokok produksi, perlu melakukan perhitungan analisa harga satuan produksi terlebih dahulu. Peneliti harus menggolongkan semua biaya untuk diperhitungkan sesuai dengan tiap kadar variasi limbah pecahan keramik beton, kemudian melakukan perhitungan harga pokok produksi dan bisa menyesuaikan dengan biaya produksi yang akan dikeluarkan. Penggolongan biaya produksi yang akurat akan mendukung perhitungan harga pokok produksi yang baik dan benar.

Tujuan dari perhitungan biaya produksi beton dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa harga optimum yang dibutuhkan untuk memproduksi beton menggunakan limbah pecahan keramik sebagai pengganti sebagian dari berat total agregat kasar terhadap sifat mekanik beton.

Peneliti membuat produksi beton normal dan beton menggunakan limbah pecahan keramik sebagai pengganti sebagian dari berat total agregat kasar pada Desember 2024. Produk yang dibuat menggunakan bentuk silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm menggunakan 6 variasi kadar pecahan keramik yaitu 0%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% dengan jumlah sampel 60 buah.

Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) merupakan langkah selanjutnya untuk membantu perhitungan dalam penentuan harga pokok produksi dari pembuatan produksi beton. Langkah-langkah perhitungan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) dalam penentuan harga pokok produksi, yaitu :

1. Analisa Harga Satuan Upah Tenaga Kerja

Upah : harga satuan upah tenaga kerja x koefisien tenaga kerja

2. Analisa Harga Satuan Bahan

Bahan : harga satuan bahan x koefisien bahan

3. Analisa Harga Satuan Alat

Alat : harga satuan alat x koefisien alat

4. Hasil Akhir

Σ HSP : Σ Harga Satuan Upah + Σ Harga Satuan Bahan +
 Σ Harga Satuan Alat

Hasil perhitungan AHSP produksi beton per m³ pada tiap variasinya dapat dilihat pada Tabel 5.36 - 5.41 di halaman selanjutnya.

**Tabel 5.36 Membuat AHSP per m³ Beton mutu, f'_c = 27,03 MPa,
slump (12±2) cm dengan (Pecahan Keramik 0%)**

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	1,323	Rp 100.000,00	Rp 132.300,00
2	Tukang Batu	L.02	OH	0,189	Rp 112.000,00	Rp 21.168,00
3	Kepala Tukang	L.03	OH	0,019	Rp 118.000,00	Rp 2.242,00
4	Mandor	L.04	OH	0,132	Rp 129.000,00	Rp 17.028,00
Jumlah Harga Tenaga Kerja						Rp 172.738,00
B	MATERIAL					
1	Semen Portland		Kg	410	Rp 1.375,00	Rp 563.750,00
2	Pasir Beton		m ³	0,502	Rp 200.000,00	Rp 100.428,57
3	Kerikil		m ³	0,735	Rp 250.000,00	Rp 183.703,70
4	Air		Liter	205	Rp 500,00	Rp 102.500,00
5	Minyak Bekisting		Liter	0,200	Rp 75.000,00	Rp 15.000,00
Jumlah Harga Bahan						Rp 965.382,28
C	PERALATAN					
1	Molen		Sewa/Hari	0,250	Rp 350.000,00	Rp 87.500,00
2	Vibrator		Sewa/Hari	0,086	Rp 300.000,00	Rp 25.830,00
3	Sekop		Buah	1	Rp 65.000,00	Rp 65.000,00
4	Cetok		Buah	1	Rp 10.000,00	Rp 10.000,00
Jumlah Harga Alat						Rp 188.330,00
D	HASIL AKHIR					
	Tenaga Kerja, Material, Peralatan (A+B+C)					Rp 1.326.450,28

**Tabel 5.37 Membuat AHSP per m³ Beton mutu, f'c = 27,75 MPa,
slump (12±2) cm dengan (Pecahan Keramik 10%)**

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	1,323	Rp 100.000,00	Rp 132.300,00
2	Tukang Batu	L.02	OH	0,189	Rp 112.000,00	Rp 21.168,00
3	Kepala Tukang	L.03	OH	0,019	Rp 118.000,00	Rp 2.242,00
4	Mandor	L.04	OH	0,132	Rp 129.000,00	Rp 17.028,00
Jumlah Harga Tenaga Kerja						Rp 172.738,00
B	MATERIAL					
1	Semen Portland		Kg	410	Rp 1.375,00	Rp 563.750,00
2	Pasir Beton		m ³	0,502	Rp 200.000,00	Rp 100.428,57
3	Kerikil		m ³	0,661	Rp 250.000,00	Rp 165.185,70
4	Air		Liter	205	Rp 500,00	Rp 102.500,00
5	Minyak Bekisting		Liter	0,200	Rp 75.000,00	Rp 15.000,00
6	Pecahan Keramik		Kg	99	-	-
Jumlah Harga Bahan						Rp 946.863,76
C	PERALATAN					
1	Molen		Sewa/Hari	0,250	Rp 350.000,00	Rp 87.500,00
2	Vibrator		Sewa/Hari	0,086	Rp 300.000,00	Rp 25.830,00
3	Sekop		Buah	1	Rp 65.000,00	Rp 65.000,00
4	Cetok		Buah	1	Rp 10.000,00	Rp 10.000,00
Jumlah Harga Alat						Rp 188.330,00
D	HASIL AKHIR					
	Tenaga Kerja, Material, Peralatan (A+B+C)					Rp 1.307.931,76

**Tabel 5.38 Membuat AHSP per m³ Beton mutu, f'c = 28,41 MPa,
slump (12±2) cm dengan (Pecahan Keramik 15%)**

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	1,323	Rp 100.000,00	Rp 132.300,00
2	Tukang Batu	L.02	OH	0,189	Rp 112.000,00	Rp 21.168,00
3	Kepala Tukang	L.03	OH	0,019	Rp 118.000,00	Rp 2.242,00
4	Mandor	L.04	OH	0,132	Rp 129.000,00	Rp 17.028,00
Jumlah Harga Tenaga Kerja						Rp 172.738,00
B	MATERIAL					
1	Semen Portland		Kg	410	Rp 1.375,00	Rp 563.750,00
2	Pasir Beton		m ³	0,502	Rp 200.000,00	Rp 100.428,57
3	Kerikil		m ³	0,624	Rp 250.000,00	Rp 155.925,93
4	Air		Liter	205	Rp 500,00	Rp 102.500,00
5	Minyak Bekisting		Liter	0,200	Rp 75.000,00	Rp 15.000,00
6	Pecahan Keramik		Kg	149	-	-
Jumlah Harga Bahan						Rp 937.604,50
C	PERALATAN					
1	Molen		Sewa/Hari	0,250	Rp 350.000,00	Rp 87.500,00
2	Vibrator		Sewa/Hari	0,086	Rp 300.000,00	Rp 25.830,00
3	Sekop		Buah	1	Rp 65.000,00	Rp 65.000,00
4	Cetok		Buah	1	Rp 10.000,00	Rp 10.000,00
Jumlah Harga Alat						Rp 188.330,00
D	HASIL AKHIR					
	Tenaga Kerja, Material, Peralatan (A+B+C)					Rp 1.298.672,50

**Tabel 5.39 Membuat AHSP per m³ Beton mutu, f_c = 30,17 MPa,
slump (12±2) cm dengan (Pecahan Keramik 20%)**

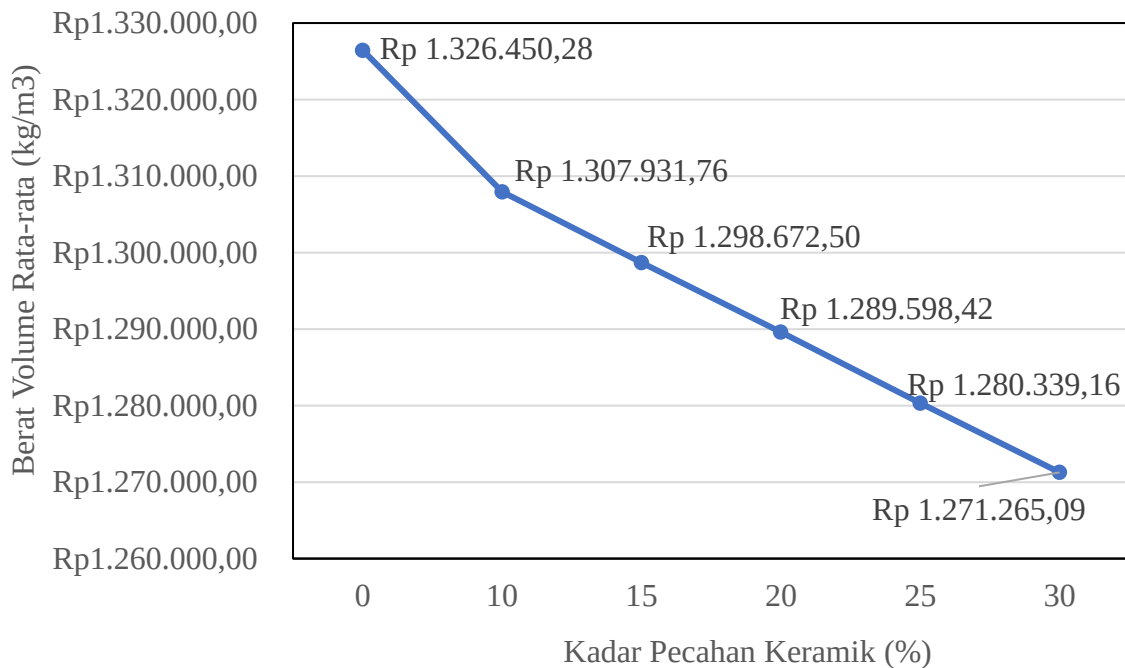
No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	1,323	Rp 100.000,00	Rp 132.300,00
2	Tukang Batu	L.02	OH	0,189	Rp 112.000,00	Rp 21.168,00
3	Kepala Tukang	L.03	OH	0,019	Rp 118.000,00	Rp 2.242,00
4	Mandor	L.04	OH	0,132	Rp 129.000,00	Rp 17.028,00
Jumlah Harga Tenaga Kerja						Rp 172.738,00
B	MATERIAL					
1	Semen Portland		Kg	410	Rp 1.375,00	Rp 563.750,00
2	Pasir Beton		m ³	0,502	Rp 200.000,00	Rp 100.428,57
3	Kerikil		m ³	0,587	Rp 250.000,00	Rp 146.851,85
4	Air		Liter	205	Rp 500,00	Rp 102.500,00
5	Minyak Bekisting		Liter	0,200	Rp 75.000,00	Rp 15.000,00
6	Pecahan Keramik		Kg	198	-	-
Jumlah Harga Bahan						Rp 928.530,42
C	PERALATAN					
1	Molen		Sewa/Hari	0,250	Rp 350.000,00	Rp 87.500,00
2	Vibrator		Sewa/Hari	0,086	Rp 300.000,00	Rp 25.830,00
3	Sekop		Buah	1	Rp 65.000,00	Rp 65.000,00
4	Cetok		Buah	1	Rp 10.000,00	Rp 10.000,00
Jumlah Harga Alat						Rp 188.330,00
D	HASIL AKHIR					
	Tenaga Kerja, Material, Peralatan (A+B+C)					Rp 1.289.598,42

**Tabel 5.40 Membuat AHSP per m³ Beton mutu, $f'_c = 29,77$ MPa,
slump (12±2) cm dengan (Pecahan Keramik 25%)**

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	1,323	Rp 100.000,00	Rp 132.300,00
2	Tukang Batu	L.02	OH	0,189	Rp 112.000,00	Rp 21.168,00
3	Kepala Tukang	L.03	OH	0,019	Rp 118.000,00	Rp 2.242,00
4	Mandor	L.04	OH	0,132	Rp 129.000,00	Rp 17.028,00
Jumlah Harga Tenaga Kerja						Rp 172.738,00
B	MATERIAL					
1	Semen Portland		Kg	410	Rp 1.375,00	Rp 563.750,00
2	Pasir Beton		m ³	0,502	Rp 200.000,00	Rp 100.428,57
3	Kerikil		m ³	0,550	Rp 250.000,00	Rp 128.518,52
4	Air		Liter	205	Rp 500,00	Rp 102.500,00
5	Minyak Bekisting		Liter	0,200	Rp 75.000,00	Rp 15.000,00
6	Pecahan Keramik		Kg	248	-	-
Jumlah Harga Bahan						Rp 919.271,16
C	PERALATAN					
1	Molen		Sewa/Hari	0,250	Rp 350.000,00	Rp 87.500,00
2	Vibrator		Sewa/Hari	0,086	Rp 300.000,00	Rp 25.830,00
3	Sekop		Buah	1	Rp 65.000,00	Rp 65.000,00
4	Cetok		Buah	1	Rp 10.000,00	Rp 10.000,00
Jumlah Harga Alat						Rp 188.330,00
D	HASIL AKHIR					
	Tenaga Kerja, Material, Peralatan (A+B+C)					Rp 1.280.339,16

**Tabel 5.41 Membuat AHSP per m³ Beton mutu, f'c = 26,64 MPa,
slump (12±2) cm dengan (Pecahan Keramik 30%)**

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	1,323	Rp 100.000,00	Rp 132.300,00
2	Tukang Batu	L.02	OH	0,189	Rp 112.000,00	Rp 21.168,00
3	Kepala Tukang	L.03	OH	0,019	Rp 118.000,00	Rp 2.242,00
4	Mandor	L.04	OH	0,132	Rp 129.000,00	Rp 17.028,00
Jumlah Harga Tenaga Kerja						Rp 172.738,00
B	MATERIAL					
1	Semen Portland		Kg	410	Rp 1.375,00	Rp 563.750,00
2	Pasir Beton		m ³	0,502	Rp 200.000,00	Rp 100.428,57
3	Kerikil		m ³	0,514	Rp 250.000,00	Rp 128.518,52
4	Air		Liter	205	Rp 500,00	Rp 102.500,00
5	Minyak Bekisting		Liter	0,200	Rp 75.000,00	Rp 15.000,00
6	Pecahan Keramik		Kg	297	-	-
Jumlah Harga Bahan						Rp 910.197,00
C	PERALATAN					
1	Molen		Sewa/Hari	0,250	Rp 350.000,00	Rp 87.500,00
2	Vibrator		Sewa/Hari	0,086	Rp 300.000,00	Rp 25.830,00
3	Sekop		Buah	1	Rp 65.000,00	Rp 65.000,00
4	Cetok		Buah	1	Rp 10.000,00	Rp 10.000,00
Jumlah Harga Alat						Rp 188.330,00
D	HASIL AKHIR					
	Tenaga Kerja, Material, Peralatan (A+B+C)					Rp 1.271.265,09



**Gambar 5.19 Rekapitulasi Hasil Harga Pokok Produksi
Pada Tiap Kadar Variasi Pecahan Keramik**

Berdasarkan AHSP pada Tabel 5.36-5.41 dan Gambar 5.18 di atas, hasil harga pokok produksi beton per m³ yang sudah dihitung menggunakan metode AHSP pada variasi kadar pecahan keramik 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% secara berturut-turut didapatkan harga sebesar Rp 1.326.450,28, Rp 1.307.931,76, Rp 1.298.672,50, Rp 1.289.598,42, Rp 1.280.339,16, Rp 1.271.265,09.

5.5.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Beton

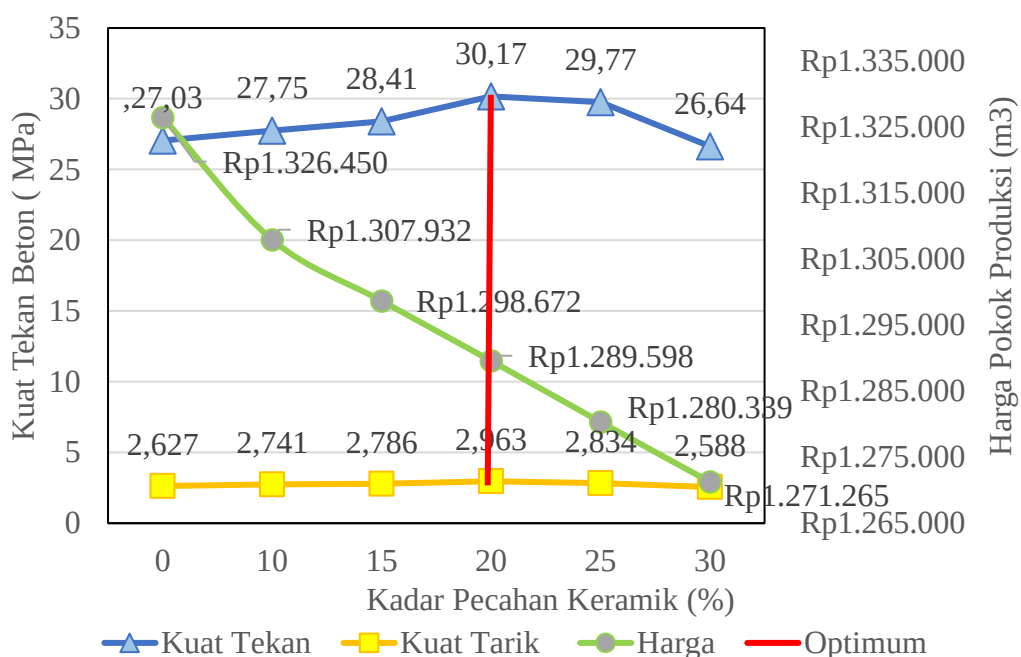
Melakukan penggabungan hasil dari pengujian beton yang telah dilakukan. Dengan cara memasukkan total dari analisa harga tenaga kerja, bahan baku, dan alat. Berdasarkan data pengujian beton menggunakan kadar variasi pecahan keramik yaitu BN dengan nilai kuat tekan sebesar 27,03 MPa, PKB10% sebesar 27,75 MPa, PKB15% sebesar 28,41 MPa, PKB20% sebesar 30,17 MPa, PKB25% sebesar 29,77 MPa, dan PKB30% sebesar 26,64 MPa.

Dilakukan untuk mengetahui proporsi campuran pecahan keramik yang optimal pada variasi kadar tertentu. Dengan jumlah benda uji sebanyak 60 silinder telah diuji, dimana 30 silinder untuk uji kuat tekan dan 30 silinder untuk uji tarik belah dengan 6 variasi kadar pecahan keramik. Digunakan variasi kadar pecahan keramik yaitu 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% untuk pengganti sebagian dari berat agregat kasar.

Perolehan hasil terbaik setiap data uji kuat tekan dan uji kuat tarik belah beton digunakan untuk menentukan variasi kadar limbah pecahan keramik yang paling optimum, kemudian hasil tersebut di gabungkan dengan harga pokok produksi beton. Hasil rekapitulasi pengujian beton dan harga pokok produksi pada tiap variasi kadar limbah pecahan keramik dapat dilihat pada Tabel 5.42 dan Gambar 5.20 sebagai berikut.

Tabel 5.42 Rekapitulasi Hasil Pengujian Sifat Mekanik dan Harga Pokok Produksi Per 1m³ Pada Tiap Kadar Variasi Pecahan Keramik Beton

NO.	Kadar Pecahan Keramik	Kuat Tekan Rata-rata	Kuat Tarik Belah Rata-rata	Jumlah Harga Produksi
	(%)	(MPa)	(MPa)	(m ³)
1	BN	27,03	2,627	Rp 1.326.450,28
2	PKB 10	27,75	2,741	Rp 1.307.931,76
3	PKB 15	28,41	2,786	Rp 1.298.672,50
4	PKB 20	30,17	2,963	Rp 1.289.598,42
5	PKB 25	29,77	2,834	Rp 1.280.339,16
6	PKB 30	26,64	2,588	Rp 1.271.265,09



Gambar 5.20 Grafik Rekapitulasi Hasil Harga Pokok Produksi Per m³ Pada Tiap Kadar Variasi Pecahan Keramik Beton Terhadap Sifat Mekanik Beton

Berdasarkan Tabel 5.42 dan Gambar 5.20 di atas, hasil rekapitulasi pengujian beton di atas, beton normal memiliki nilai kuat tekan sebesar 27,03 MPa dan kuat tarik belah sebesar 2,627 MPa. Pada kadar variasi pecahan keramik 10%, 15%, 20% hasil nilai kuat tekan mengalami peningkatan yaitu sebesar, 27,75 MPa, 28,41 MPa, dan 30,17 MPa. Begitu juga hasil dari nilai kuat tarik belah betonnya, mengalami peningkatan yaitu sebesar 2,741 MPa, 2,786 MPa, 2,963 MPa. Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan harga pokok produksi beton, semakin banyak kadar variasi pecahan keramik yang disubstitusikan pada beton, maka jumlah harga pokok produksi akan semakin rendah. Sehingga penurunan harga pokok produksi terjadi pada penambahan kadar variasi pecahan keramik yaitu 25% dan 30%.

Pecahan keramik merupakan limbah yang diperoleh secara gratis, maka biaya produksi beton dengan pecahan keramik sebagai pengganti sebagian dari berat total agregat kasar akan berkurang seiring dengan bertambahnya kadar pecahan keramik dalam campuran beton. Dapat disimpulkan bahwa limbah dapat mengurangi sedikit harga pokok produksi jika digunakan untuk produksi beton massal.

Setelah diketahui semua hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton diatas, didapatkan nilai optimum uji kuat tekan beton pada variasi pecahan keramik 20% yaitu sebesar 30,17 MPa dan nilai optimum uji kuat tarik belah pada variasi pecahan keramik 20% yaitu sebesar 2,963 MPa. Dalam penelitian ini, hasil harga pokok produksi beton terhadap sifat mekanik beton tidak mengalami penurunan harga produksi yang signifikan, maka dipilih hasil uji kuat tekan dan kuat tarik belah beton optimum pada kadar variasi pecahan keramik yaitu sebesar 20% dengan total harga Rp 1.289.598,42 untuk produksi per m³ beton.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, mengenai penerapan limbah pecahan keramik terhadap uji kuat tekan dan uji kuat tarik belah beton. Dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Penggunaan substitusi limbah pecahan keramik pada campuran beton sebanyak 10% sampai 20% dari berat agregat kasar dapat mempengaruhi mutu beton, yaitu meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton pada umur 28 hari. Kemudian terjadi penurunan hasil kuat tekan dan kuat tarik belah beton ketika persentase substitusi limbah pecahan keramik sebanyak 25% dan 30% dari berat agregat kasar dalam campuran beton.
2. Kadar optimum dari penggunaan limbah pecahan keramik sebagai substitusi dari berat agregat kasar terhadap sifat mekanik beton normal terjadi pada persentase 20%. Dengan nilai hasil uji kuat tekan beton yaitu sebesar 30,17 MPa atau 11,61% lebih tinggi dari kuat tekan beton tanpa substitusi pecahan keramik dan nilai hasil uji kuat tarik belah beton yaitu sebesar 2,963 MPa meningkat 12,79% dari beton tanpa substitusi pecahan keramik.
3. Harga pokok produksi optimum beton per m³ menggunakan limbah pecahan keramik sebagai substitusi agregat kasar terhadap sifat mekanik beton, dipilih pada kadar variasi optimum yaitu sebesar 20% dengan jumlah harga pokok produksi beton Rp 1.289.598,42. Semakin bertambah kadar pecahan keramik dapat memotong sedikit harga pokok produksi, karena pecahan keramik didapatkan secara gratis. Sehingga dapat digunakan untuk produksi beton secara massal.

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada beton normal dengan substitusi limbah pecahan keramik terhadap agregat kasar. Penulis dapat memberikan saran yang dapat dijadikan pengembangan dalam penelitian selanjutnya untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. adalah sebagai berikut.

1. Perlu memperhatikan *mix design* dalam proses pembuatan beton dengan benar dan teliti agar pencampuran komposisi material penyusun beton dapat merata dengan baik
2. Perlu memaksimalkan penumbukan, bisa dengan cara manual atau menggunakan alat vibrator. Karena pemadatan yang kurang maksimal dapat menyebabkan benda uji menjadi keropos yang dapat berdampak pada hasil kekuatan benda uji.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, mengenai kuat tekan beton dengan substitusi pecahan keramik dibawah kadar optimum 20%. Bisa menggunakan peningkatan kadar yang lebih kecil misalnya dengan interval 2,5% sehingga mendapatkan hasil kuat tekan yang lebih optimal.
4. Perlu dilakukan penelitian mengenai perbandingan pada umur beton 7, 14 dan 21 hari menggunakan limbah pecahan keramik sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Adikoesoemah, S. (1982). *Biaya dan Harga Pokok* (1 ed.). Tarsito.
- Adristi, N. Z., Hendrarini, H., & Setiawan, R. F. (2023). Penentuan Harga Pokok Produksi Melalui Metode Full Costing Di Pabrik Tahu Sumber Makmur Kabupaten Sidoarjo. *Agroteksos*, 33(2), 2023.
- Danusaputra, M., Setiawan, A., & Yunus, A. Y. (2024). Analisis Penggunaan Serbuk Kaca Dan Pecahan Keramik Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, 2(1), 43–49. <https://doi.org/10.56326/jptsk.v2i1.3321>
- Dipohusodo, I. (1991). *Struktur Beton Bertulang*. Departemen Pekerjaan Umum RI.
- Fardila, D., & Sugian, A. (2023). Analisis Perhitungan Harga Pokok Produksi Beton Ready Mix Dengan Menggunakan Metode Activity Based Costing (ABC). *Spektrum Sipil*, 10(1), 81–87. <https://doi.org/10.29303/spektrum.v10i1.284>
- Frick, H., & Koesmartadi, Ch. (Ed.). (1999). *Ilmu Bahan Bangunan : eksploitasi, pembuatan, penggunaan dan pembuangan* (Jilid 1). Kanisius.
- Hendarto, M. F. M., Nurchasanah, Y., Solikin, M., & Trinugroho, S. (2023). Pengaruh Substitusi Limbah Pecahan Keramik Dan Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan Pada Beton Dan Mortar. <https://doi.org/10.30737/jurmateks>
- Ibrahim, H. B. (2001). *Rencana dan Estimate Real of Cost* (Cetakan ke-3). Bumi Aksara.
- Mulyadi. (2010). *Akutansi Biaya* (Edisi 5 Cetakan 10). STIM YKPN.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Andi.
- Murdock, L. J., & Brook, K. M. (1999). *Bahan dan Praktek Beton*. Erlangga.
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (Cetakan ke - 7), Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan (1971).

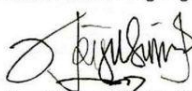
- Poerwodihardjo, F. E., & Sari, R. N. (2022). Kajian Kuat Tekan Beton SCC Menggunakan Agregat Pecahan Keramik. *TEODOLITA : Media Komunikasi Ilmiah Dibidang Teknik*, 23(2), 65–75.
- Purnamasari, E., Fathurrahman, & Alfatari, F. (2023). *Pengaruh Variasi Penambahan Limbah Pecahan Keramik Terhadap Kuat Tekan Beton*. <https://doi.org/10.30737/jurmateks>
- Setiawan, R., Lutfi, H., Auliya, D., Makrifa, I., Eng, M., Kunci:, K., Keramik, L., Absorpsi, K., Tekan, K., & Tarik, B. (2023). *Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Untuk Beton Terhadap Absorpsi, Kuat Tekan, dan Kuat Tarik Belah*.
- Sidabutar, & Exaudi Tri. (2017). *Pembuatan dan Karateristik Keramik Magnesium Alumina Silika Dari Abu Vulkanik Gunung Sinabung*.
- Siregar, B. (2013). *Akutansi Manajemen* (1 ed.). Salemba Empat.
- SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar, Badan Standardisasi Nasional (1990).
- SNI 03-1970-2008 Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus, Badan Standardisasi Nasional (2008).
- SNI 03-2461-2002 Spesifikasi agregat ringan untuk beton ringan struktural, Badan Standardisasi Nasional (2002).
- SNI 03-2491-2002 Metode pengujian kuat tarik belah beton, Badan Standardisasi Nasional (2002).
- SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, Badan Standardisasi Nasional (2000).
- SNI 03-4142-1996 Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no.200 (0,075 mm), Bdan Standardisasi Nasional (1996).
- SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Berat Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat, Badan Standardisasi Nasional (1998).
- SNI 03-6821-2002 Spesifikasi agregat ringan untuk batu cetak beton pasangan dinding, Badan Standardisasi Nasional (2002).
- SNI 03-6861.1-2002 Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A , Badan Standardisasi Nasional (2002).

- SNI 15-2049-2004 Semen Portland, Badan Standardisasi Nasional (2004).
- SNI 1969-2008 Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, Badan Standardisasi Nasional (1990).
- SNI 1972-2008 Cara uji slump beton, Badan Standardisasi Nasional (2008).
- SNI 1974-2011 Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder, Badan Standardisasi Nasional (2011).
- SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan , Badan Standardisasi Nasional (2019).
- SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, Badan Standardisasi Nasional (2019).
- Subedi, B., Wagle, D. K., & Basnet, K. (2020). *Utilization of Crushed Ceramic Tile Wastes as Partial Replacement of Coarse Aggregate in Concrete Production*. 9(7). www.ijert.org
- Suwarno, & Nursandah Fauzie. (2019). *Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Koral Pada Campuran Beton Mutu Tinggi* (Vol. 4, Nomor 2).
- Tjokrodinuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Laboratorium

Surat Izin Peminjaman Laboratorium

 <p>UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</p>	<p>FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN</p>	<p>Gedung KH. Moh. Natsir Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584 T: (0274) 898444 ext 3200, 3201 F: (0274) 895330 E: dekanat.ftsp@uii.ac.id W: ftsp.uii.ac.id</p>
<p>Nomor : 137/Sek. Prodi PSTS/20/TA/VI/2024 Hal : Permohonan Izin Peminjaman Laboratorium</p>		
<p>Kepada Yth: Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia</p>		
<p><i>Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,</i></p>		
<p>Sehubungan dengan Penelitian untuk menyusun Tugas Akhir, maka melalui surat ini kami bermaksud mengajukan permohonan bantuan bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:</p>		
Nama	:	Tyastari Daniya Adelin
NIM	:	20511174
Judul Tugas Akhir	:	Analisis Pengaruh Penggunaan Limbah Pecahan Keramik Sebagai Substitusi Parsial Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Beton Normal
<p>Melalui surat ini, kami mohon bantuan untuk dapat mengajukan permohonan izin peminjaman Penggunaan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.</p>		
<p>Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.</p>		
<p><i>Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.</i></p>		
 <p>Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,  Dinia Anggraeni, S.T., M. Eng</p>	<p>Yogyakarta, 27 Juni 2024 Dosen Pembimbing Tugas Akhir,  Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.</p>	

No. 089539572105 (1703) WA

Scanned with CamScanner

Surat Bebas Tanggungan Laboratorium



FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM

Nomor : 17 / Ka.Lab/60/LBKT/VII/2025

Bismillaahirrohmaanirrohiim

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK : 165111301
Jabatan Struktural : Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik JTS FTSP UII

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : TyastariDaniya Adelin
N I M : 20511174
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Dosen Pembimbing TA : Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
Instansi : Universitas Islam Indonesia

Telah melaksanakan penelitian / Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan judul Tugas Akhir **"PENGARUH LIMBAH PECAHAN KERAMIK SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT KASAR TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON NORMAL"** serta sudah menyelesaikan semua administrasinya^{*)}.

Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 8 Juli 2025

Disahkan oleh :

Kepala Laboratorium BKT

Astriana Hardawati, S. T., M. Eng.

Didata oleh :

PLP/Teknisi

Daru Salam, A.Md.

^{*)} Kwitansi/bukti transfer terlampir

Lampiran 2 Data Hasil Pemeriksaan Agregat

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS

Asal Pasir : Sungai Progo

Keperluan : Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	486	488	487
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1021	1010	1016
Berat piknometer berisi air, gram (B)	718	708	713
Berat jenis curah ($Bk/(B+500-Bt)$)	2,467	2,464	2,465
Berat jenis jenuh kering muka ($500/(B+500-Bt)$)	2,538	2,525	2,532
Berat jenis semu, ($Bk/(B+Bk-Bt)$)	2,655	2,624	2,639
Penyerapan air, ($((500-Bk)/(Bk \times 100))$)	2,88%	2,46%	2,67%

Diperiksa Oleh:

Laboran

Yogyakarta, 29 Juli 2024

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Tyastari Daniya Adelin)

**PEMERIKSAAN ANALISA SARINGAN / MODULUS
HALUS BUTIR (MHB) AGREGAT HALUS**

Asal Pasir : Sungai Progo

Keperluan : Tugas Akhir

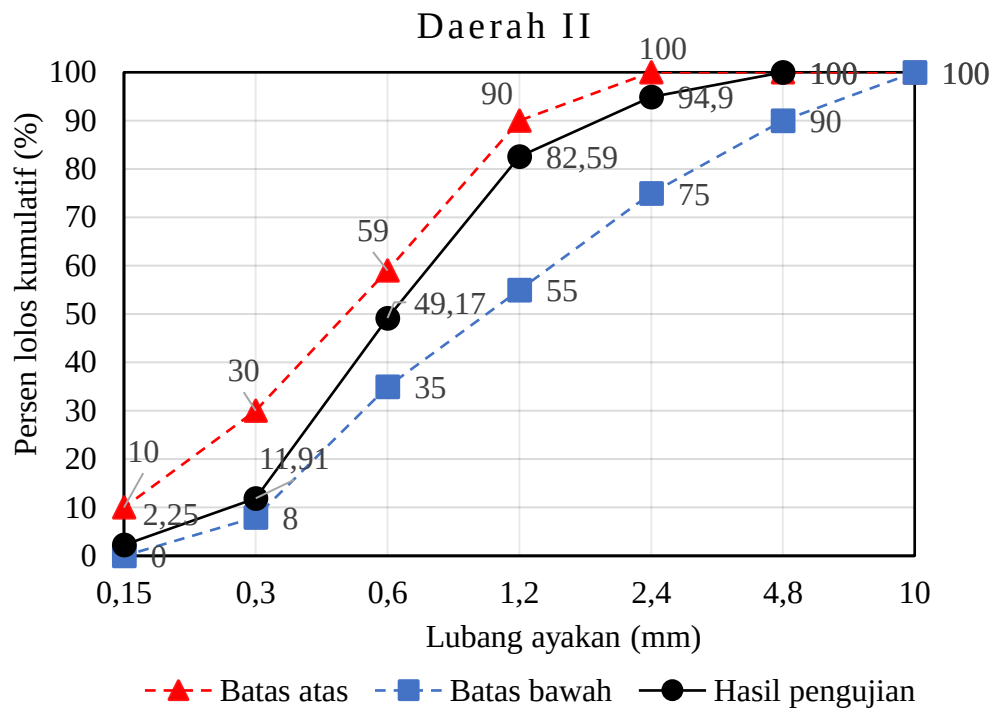
Sampel : 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40				
20				
10				
4,8	0	0	0	100
2,4	102	5,10	5,10	94,9
1,2	246	12,31	17,41	82,6
0,6	668	33,42	50,83	49,2
0,3	745	37,27	88,09	11,9
0,15	193	9,65	97,75	2,3
Pan	45	2,25	100,00	0
Jumlah	1999	100	259,18	
MHB			2,592	

Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 1} &= \frac{259,18}{100} \\ &= 2,592 \end{aligned}$$

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS (PASIR) SAMPEL 1

Sampel : 2

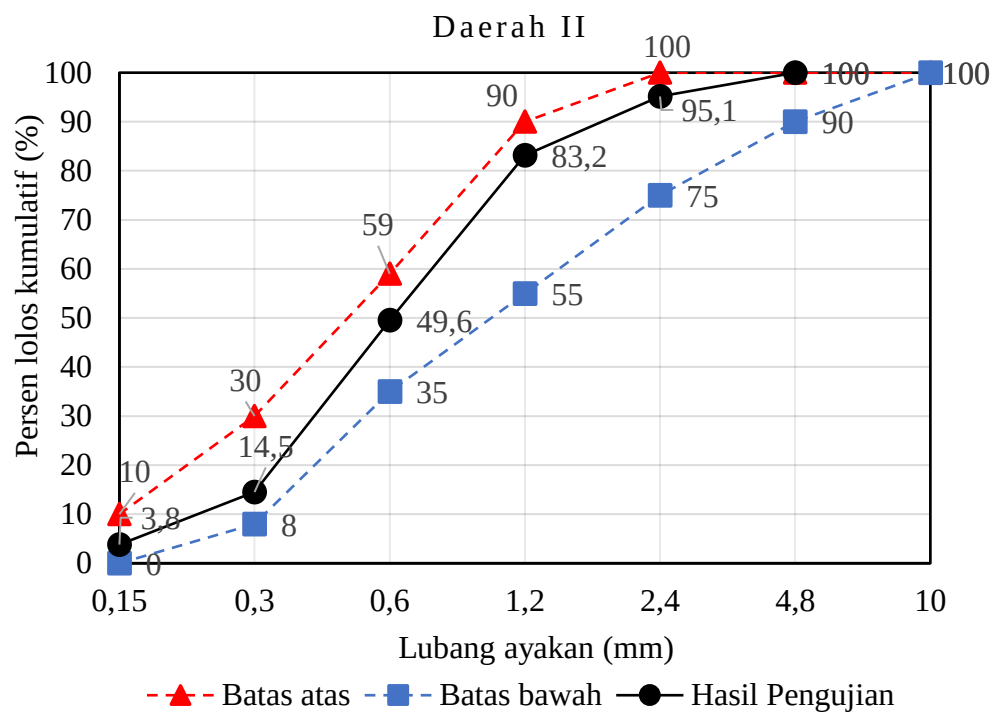
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40				
20				
10				
4,8	0	0	0	100
2,4	97	4,85	4,85	95,1
1,2	239	11,96	16,81	83,2
0,6	672	33,62	50,43	49,6
0,3	701	35,07	85,49	14,5
0,15	214	10,71	96,20	3,8
Pan	76	3,80	100,00	0
Jumlah	1999	100	253,78	
MHB			2,538	

Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 2} &= \frac{253,78}{100} \\ &= 2,538 \end{aligned}$$

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS (PASIR) SAMPEL 2



SYARAT GRADASI AGREGAT HALUS (PASIR)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10.00	100	100	100	100
4.80	90-100	90-100	90-100	95-100
2.40	60-95	75-100	85-100	95-100
1.20	30-70	55-90	75-100	90-100
0.60	15-34	35-59	60-79	80-100
0.30	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 2834-2000

Keterangan:

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

Daerah IV : Pasir Halus

HASIL GRADASI AGREGAT HALUS (PASIR) DAERAH II SAMPEL 1

Lubang Ayakan (mm)	Batas Bawah	Hasil Pengujian	Batas Atas
10.00	100	100	100
4.80	90	100	100
2.40	75	94,9	100
1.20	55	82,6	90
0.60	35	49,2	59
0.30	8	11,9	30
0.15	0	2,3	10

HASIL GRADASI AGREGAT HALUS (PASIR) DAERAH II SAMPEL 2

Lubang Ayakan (mm)	Batas Bawah	Hasil Pengujian	Batas Atas
10.00	100	100	100
4.80	90	100	100
2.40	75	95,1	100
1.20	55	83,2	90
0.60	35	49,6	59
0.30	8	14,5	30
0.15	0	3,8	10

Hasil Analisa Saringan

Sampel 1 : Pasir masuk Daerah II (Pasir Agak Kasar)

Sampel 2 : Pasir masuk Daerah II (Pasir Agak Kasar)

Diperiksa Oleh:

Laboran

Yogyakarta, 29 Juli 2024

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Tyastari Daniya Adelin)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR
AGREGAT HALUS**

Asal Pasir : Sungai Progo

Keperluan : Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15,10	15,30	15,20
Tinggi silinder (t), cm	30,30	30,20	30,25
Berat tabung (W1), gram	10674	10830	10752
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18208	18648	18428
Berat agregat (W3), gram	7534	7818	7676
Volume tabung (V), gram	5426,082	5552,38	5489,23
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,388	1,408	1,398

Diperiksa Oleh:

Laboran

Yogyakarta, 29 Juli 2024

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Tyastari Daniya Adelin)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT
AGREGAT HALUS**

Asal Pasir : Sungai Progo

Keperluan : Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15,1	15,3	15,2
Tinggi silinder (t), cm	30,3	30,2	30,25
Berat tabung (W1), gram	10672	10830	10751
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19657	19921	19789
Berat agregat (W3), gram	8985	9091	9038
Volume tabung (V), gram	5426,08	5552,38	5489,23
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,655	1,637	1,647

Diperiksa Oleh:

Laboran

Yogyakarta, 29 Juli 2024

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Tyastari Daniya Adelin)

**PEMERIKSAAN LOLOS SARINGAN NO.200 / UJI
KANDUNGAN LUMPUR AGREGAT HALUS**

Asal Pasir : Sungai Progo

Keperluan : Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicucui (W2), gram	495	497	496
Persentase yang lolos ayakan No. 200 [(W1-W2/W1)] x 100	1,0%	0,6%	0,8%

Diperiksa Oleh:

Laboran

Yogyakarta, 29 Juli 2024

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Tyastari Daniya Adelin)

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR
AGREGAT KASAR (KERIKIL)**

Asal Kerikil : Clereng

Keperluan : Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	4894	4892	4893
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	3046	3044	3045
Berat jenis curah ($Bk/(B+500-Bt)$)	2,505	2,501	2,503
Berat jenis jenuh kering muka ($500/(B+500-Bt)$)	2,559	2,556	2,558
Berat jenis semu, ($Bk/(B+Bk-Bt)$)	2,648	2,647	2,648
Penyerapan air, ($((500-Bk)/(Bk \times 100))$)	2,17%	2,21%	2,19%

Diperiksa Oleh:

Laboran

Yogyakarta, 29 Juli 2024

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Tyastari Daniya Adelin)

**PEMERIKSAAN ANALISA SARINGAN / MODULUS
HALUS BUTIR (MHB) AGREGAT KASAR (KERIKIL)**

Asal Kerikil : Clereng

Keperluan : Tugas Akhir

Sampel : 1

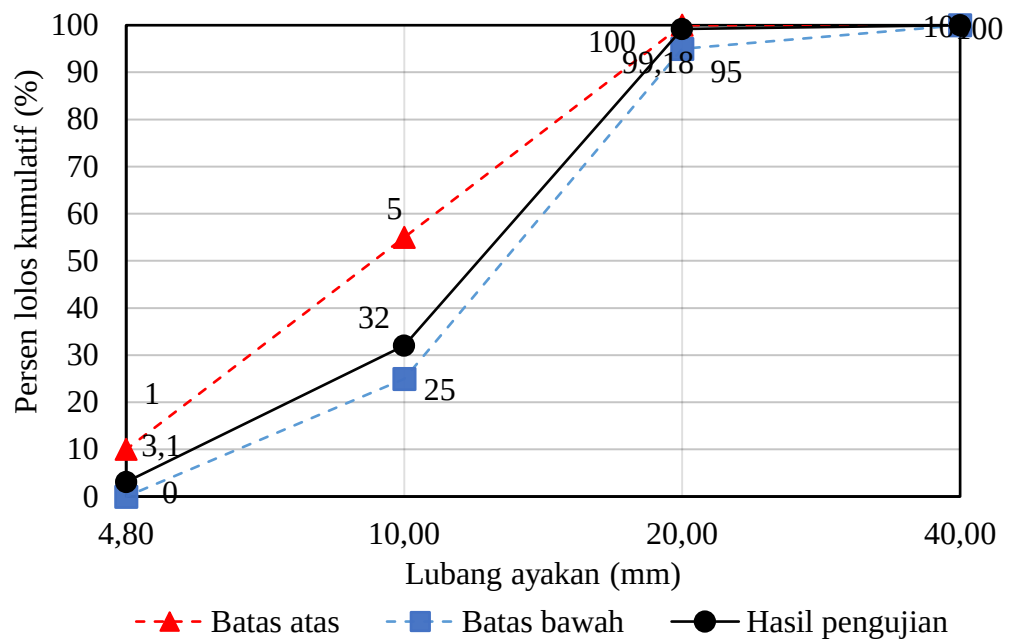
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	41	0,82	0,82	99,18
10	3359	67,18	68,00	32,00
4,8	1445	28,9	96,90	3,10
2,4	83	1,66	98,56	1,44
1,2	7	0,14	98,70	1,30
0,6	0	0	98,70	
0,3	0	0	98,70	
0,15	0	0	98,70	
Pan	65	1,3		
Jumlah	5000	100	659,08	
MHB			6,590	

Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 1} &= \frac{659,08}{100} \\ &= 6,590 \end{aligned}$$

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR (KERIKIL)
SAMPEL 1



Sampel : 2

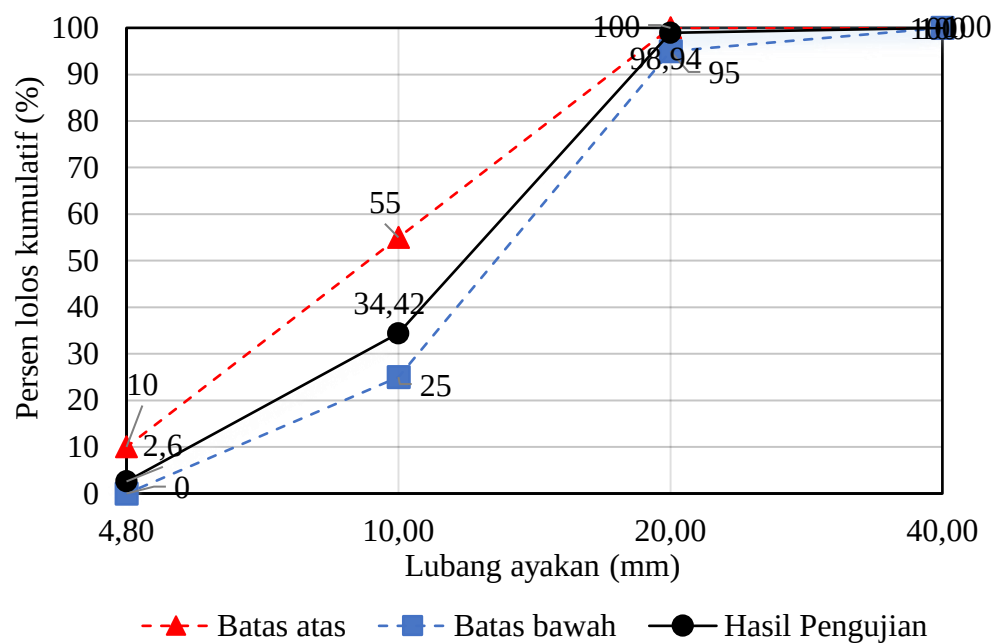
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	53	1,06	1,06	98,94
10	3226	64,52	65,58	34,42
4,8	1591	31,82	97,40	2,60
2,4	76	1,52	98,92	1,08
1,2	4	0,08	99,00	1,00
0,6	0	0	99,00	
0,3	0	0	99,00	
0,15	0	0	99,00	
Pan	50	1		
Jumlah	5000	100	658,96	
MHB			6,589	

Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 2} &= \frac{658,96}{100} \\ &= 6,589 \end{aligned}$$

**GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR (KERIKIL)
SAMPEL 2**



SYARAT GRADASI AGREGAT KASAR (KERIKIL)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan / Besar Butiran Maksimum		
	40 mm	20 mm	10 mm
40,00	95-100	100	-
20,00	30-70	95-100	100
10,00	10-35	25-55	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Sumber: SNI 2834-2000

HASIL GRADASI AGREGAT KASAR (KERIKIL) DAERAH II SAMPEL 1

Lubang Ayakan (mm)	Batas Bawah	Hasil Pengujian	Batas Atas
40,00	100	100	100
20,00	95	99,18	100
10,00	25	32	55
4,8	0	3,10	10

HASIL GRADASI AGREGAT KASAR (KERIKIL) DAERAH II SAMPEL 2

Lubang Ayakan (mm)	Batas Bawah	Hasil Pengujian	Batas Atas
40,00	100	100	100
20,00	95	98,94	100
10,00	25	34,42	55
4,8	0	2,60	10

Hasil Analisa Saringan

Sampel 1 : Ukuran maksimum agregat kasar (kerikil) 20 mm

Sampel 2 : Ukuran maksimum agregat kasar (kerikil) 20 mm

Diperiksa Oleh:

Laboran

Yogyakarta, 29 Juli 2024

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Tyastari Daniya Adelin)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR
AGREGAT KASAR (KERIKIL)**

Asal Kerikil : Clereng

Keperluan : Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15,10	15,30	15,20
Tinggi silinder (t), cm	30,30	30,20	30,25
Berat tabung (W1), gram	10674	10830	10752
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18076	18483	18280
Berat agregat (W3), gram	7402	7653	7528
Volume tabung (V), gram	5426	5552	5489
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,364	1,378	1,371

Diperiksa Oleh:

Laboran

Yogyakarta, 29 Juli 2024

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Tyastari Daniya Adelin)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT
AGREGAT KASAR (KERIKIL)**

Asal Kerikil : Clereng

Keperluan : Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15,10	15,30	15,20
Tinggi silinder (t), cm	30,30	30,20	30,25
Berat tabung (W1), gram	10674	10830	10752
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19514	19744	19629
Berat agregat (W3), gram	8840	8914	8877
Volume tabung (V), gram	5426	5552	5489
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,629	1,605	1,617

Diperiksa Oleh:

Laboran

Yogyakarta, 29 Juli 2024

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Tyastari Daniya Adelin)

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR
PECAHAN KERAMIK**

Asal Keramik : Cikarang

Keperluan : Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	4893	4882	4888
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	3161	3093	3127
Berat jenis curah ($Bk/(B+500-Bt)$)	2,661	2,560	2,610
Berat jenis jenuh kering muka ($500/(B+500-Bt)$)	2,719	2,622	2,670
Berat jenis semu, ($Bk/(B+Bk-Bt)$)	2,825	2,729	2,777
Penyerapan air, ($((500-Bk)/(Bk \times 100))$)	2,19%	2,42%	2,30%

Diperiksa Oleh:

Laboran

Yogyakarta, 29 Juli 2024

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Tyastari Daniya Adelin)

**PEMERIKSAAN ANALISA SARINGAN / MODULUS
HALUS BUTIR (MHB) PECAHAN KERAMIK**

Asal Keramik : Cikarang

Keperluan : Tugas Akhir

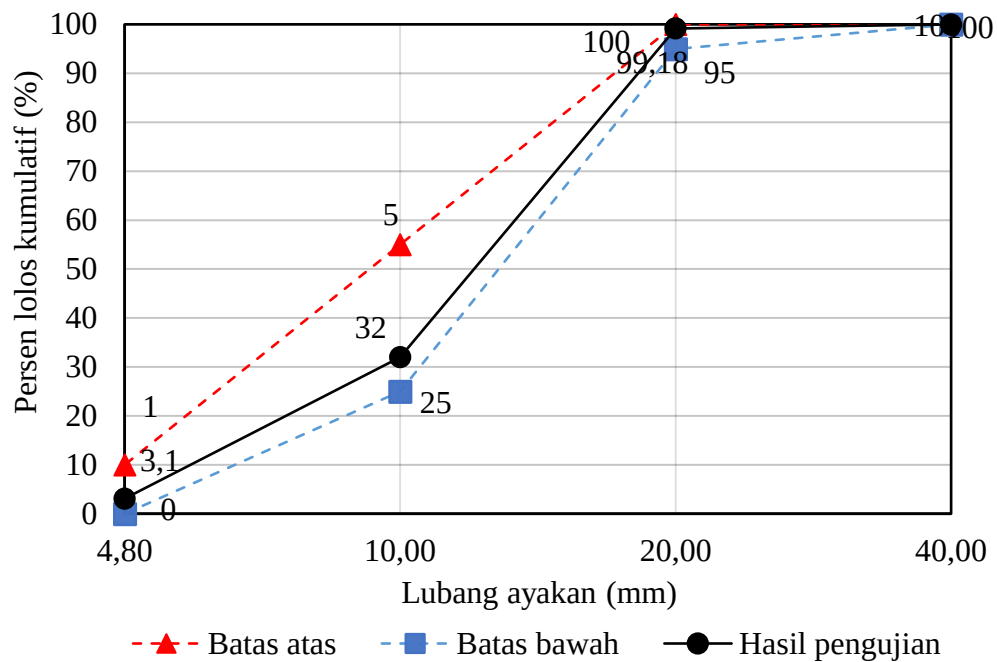
Sampel : 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	48	0,96	0,96	99,04
10	3514	70,28	71,24	28,76
4,8	1342	26,84	98,08	1,92
2,4	57	1,14	99,22	0,78
1,2	5	0,1	99,32	0,68
0,6	0	0	99,32	
0,3	0	0	99,32	
0,15	0	0	99,32	
Pan	34	0,68		
Jumlah	5000	100	666,78	
MHB			6,668	

Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 1} &= \frac{666,78}{100} \\ &= 6,668 \end{aligned}$$

GAMBAR ANALISA SARINGAN PECAHAN KERAMIK SAMPEL 1

Sampel : 2

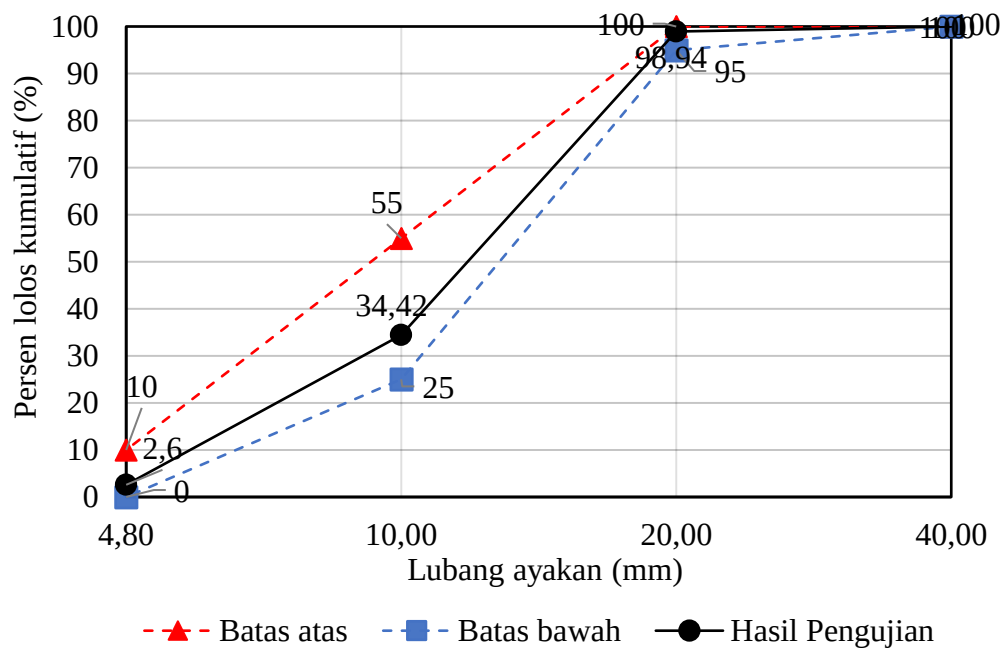
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	27	0,54	0,54	99,46
10	3601	72,02	72,56	27,44
4,8	1253	25,06	97,62	2,38
2,4	40	0,8	98,42	1,58
1,2	8	0,16	98,58	1,42
0,6	0	0	98,58	
0,3	0	0	98,58	
0,15	0	0	98,58	
Pan	71	1,42		
Jumlah	5000	100	663,46	
MHB			6,635	

Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 2} &= \frac{663,46}{100} \\ &= 6,635 \end{aligned}$$

GAMBAR ANALISA SARINGAN PECAHAN KERAMIK SAMPEL 2



SYARAT GRADASI PECAHAN KERAMIK

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan / Besar Butiran Maksimum		
	40 mm	20 mm	10 mm
40,00	95-100	100	-
20,00	30-70	95-100	100
10,00	10-35	25-55	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Sumber: SNI 2834-2000

HASIL GRADASI PECAHAN KERAMIK DAERAH II SAMPEL 1

Lubang Ayakan (mm)	Batas Bawah	Hasil Pengujian	Batas Atas
40,00	100	100	100
20,00	95	99,04	100
10,00	25	28,76	55
4,8	0	1,92	10

HASIL GRADASI PECAHAN KERAMIK DAERAH II SAMPEL 2

Lubang Ayakan (mm)	Batas Bawah	Hasil Pengujian	Batas Atas
40,00	100	100	100
20,00	95	99,46	100
10,00	25	27,44	55
4,8	0	2,38	10

Hasil Analisa Saringan

Sampel 1 : Ukuran maksimum pecahan keramik 20 mm

Sampel 2 : Ukuran maksimum pecahan keramik 20 mm

Diperiksa Oleh:

Laboran

Yogyakarta, 29 Juli 2024

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Tyastari Daniya Adelin)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR
PECAHAN KERAMIK**

Asal Keramik : Cikarang

Keperluan : Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15,1	15,300	15,2
Tinggi silinder (t), cm	30,3	30,200	30,25
Berat tabung (W1), gram	10674	10830	10752
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18141	18528	18335
Berat agregat (W3), gram	7467	7698	7583
Volume tabung (V), gram	5426	5552	5489
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,376	1,386	1,381

Diperiksa Oleh:

Laboran

Yogyakarta, 29 Juli 2024

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Tyastari Daniya Adelin)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT
PECAHAN KERAMIK**

Asal Keramik : Cikarang

Keperluan : Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	15,1	15,300	15,2
Tinggi silinder (t), cm	30,3	30,200	30,25
Berat tabung (W1), gram	10672	10830	10751
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19584	19936	19760
Berat agregat (W3), gram	8912	9106	9009
Volume tabung (V), gram	5426,08	5552,38	5489,23
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,642	1,640	1,641

Diperiksa Oleh:

Laboran

Yogyakarta, 29 Juli 2024

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Tyastari Daniya Adelin)

Lampiran 3 Data Hasil Perencanaan Campuran Beton

HASIL PERENCANAAN CAMPURAN BETON (*MIX DESIGN*) METODE SNI 03-2834-2000

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan (f'_c)	25	MPa
2	Standar Deviasi	7	
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	MPa
5	Jenis Semen	Portland Tipe I	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu pecah	
7	Jenis Agregat Halus	Alami	
8	Faktor air semen bebas (Fas)	0,5	
9	Faktor air semen maksimum	0,6	
10	FAS yang digunakan	0,5	
11	Slump	60-180	mm
12	Ukuran agregat maksimum	20	mm
15	Kadar air bebas	205	kg/m ³
16	Kadar semen	410	kg/m ³
17	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
18	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
19	Kadar semen digunakan	410	kg/m ³
20	Fas disesuaikan	0,5	
21	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2	
22	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,56	
23	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,53	
24	Persen Agregat Halus	41,50	%
25	Persen Agregat Kasar	58,50	%
26	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,55	
27	Berat isi Beton	2310	kg/m ³
28	Kadar agregat gabungan	1695	kg/m ³
29	Kadar agregat halus	703,425	kg/m ³
30	Kadar agregat kasar	991,575	kg/m ³
31	Kadar semen dengan angka penyusutan	512,5	kg/m ³
32	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	879,281	kg/m ³
33	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1239,469	kg/m ³
34	Kadar air dengan angka penyusutan	256,250	kg/m ³

Lampiran 4 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON

Peneliti : Tyastari Daniya Adelin
Jenjang Studi : S1-Teknik Sipil
Instansi : Universitas Islam Indonesia
Judul Penelitian : Pengaruh Limbah Pecahan Keramik Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Sifat Mekanik Beton Normal
Dosen Pembimbing : Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
Tanggal Pengujian : 02 Januari 2025

Variasi Kadar Pecahan Keramik	Kode Beton	Dimensi Benda Uji		Luas (A)	Beban Maksimum (P max)	Kuat Tekan (F'c)	Kuat Tekan (F'c) Rerata
(%)	Silinder	T (mm)	D (mm)	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(MPa)
0	BN1	300,672	151,865	18113,621	478,5	26,42	27,03
	BN2	302,286	150,634	17821,157	430,8	24,17	
	BN3	301,536	149,726	17606,958	512,6	29,11	
	BN4	302,368	151,216	17959,133	465,7	25,93	
	BN5	301,873	150,923	17889,605	528,3	29,53	
10	PKB1	301,489	148,989	17434,050	486,3	27,89	27,75
	PKB2	301,283	150,816	17864,247	493,2	27,61	
	PKB3	299,366	149,883	17643,902	530,3	30,06	
	PKB4	302,120	150,743	17846,957	508,4	28,48	
	PKB5	300,672	151,677	18068,801	446,5	24,71	

Variasi Kadar Pecahan Keramik	Kode Beton	Dimensi Benda Uji		Luas (A)	Beban Maksimum (P max)	Kuat Tekan (F'c)	Kuat Tekan (F'c) Rerata
(%)	Silinder	T (mm)	D (mm)	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(MPa)
15	PKB1	301,638	150,947	17895,295	486,8	27,20	28,41
	PKB2	300,114	149,984	17667,689	545,7	30,88	
	PKB3	302,786	150,145	17705,640	525,7	29,69	
	PKB4	303,238	151,563	18041,651	436,8	24,21	
	PKB5	300,24	150,752	17849,089	536,8	30,07	
20	PKB1	305,373	149,424	17536,002	549,9	31,36	30,17
	PKB2	306,550	149,874	17641,783	508,2	28,81	
	PKB3	301,478	150,517	17793,484	534,5	30,04	
	PKB4	300,189	151,467	18018,803	528,0	29,30	
	PKB5	299,076	150,942	17894,109	560,9	31,34	
25	PKB1	304,476	151,489	18024,037	498,8	27,67	29,77
	PKB2	303,163	151,101	17931,828	505,1	28,17	
	PKB3	301,835	149,712	17603,665	564,7	32,08	
	PKB4	300,945	150,167	17710,829	529,8	29,92	
	PKB5	301,059	149,836	17632,838	546,5	30,99	
23	PKB1	307,042	149,416	17534,125	504,9	28,80	26,64
	PKB2	305,383	151,293	17977,428	474,8	26,41	
	PKB3	304,506	150,572	17806,490	488,9	27,46	
	PKB4	300,165	151,364	17994,305	469,9	26,12	
	PKB5	299,791	149,084	17456,290	426,4	24,42	

Diperiksa Oleh:
Kepala Lab. BKT

Didata Oleh:
PLP/Teknisi

Astria Hardawati, S.T., M.Eng

Daru Salam, A.Md.

Lampiran 5 Data Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON

Peneliti : Tyastari Daniya Adelin
Jenjang Studi : S1-Teknik Sipil
Instansi : Universitas Islam Indonesia
Judul Penelitian : Pengaruh Limbah Pecahan Keramik Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Sifat Mekanik Beton Normal
Dosen Pembimbing : Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
Tanggal Pengujian : 02 Januari 2025

Variasi Kadar Pecahan Keramik	Kode Beton	Dimensi Benda Uji		Luas (A)	Beban Maksimum (P max)	Kuat Tekan (F'c)	Kuat Tekan (F'c) Rerata
(%)	Silinder	T (mm)	D (mm)	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(MPa)
0	BN1	300,3	150,3	141812,121	190	2,680	2,626
	BN2	300,7	149,0	140725,355	183	2,601	
	BN3	302,5	149,6	142124,573	168	2,364	
	BN4	299,8	150,5	141737,052	175	2,469	
	BN5	303,1	149,7	142566,197	215	3,016	
10	PKB1	301,3	151,2	143106,850	203	2,837	2,740
	PKB2	304,2	149,6	142997,521	221	3,091	
	PKB3	301,5	150,5	142598,985	183	2,567	
	PKB4	299,7	150,9	142088,931	175	2,463	
	PKB5	302,3	149,8	142303,937	195	2,741	

Variasi Kadar Pecahan Keramik	Kode Beton	Dimensi Benda Uji		Luas (A)	Beban Maksimum (P max)	Kuat Tekan (F'c)	Kuat Tekan (F'c) Rerata
(%)	Silinder	T (mm)	D (mm)	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(MPa)
15	PKB1	302,5	149,9	142399,240	225	3,160	2,962
	PKB2	301,9	150,5	142764,072	170	2,382	
	PKB3	300,4	151,3	141274,744	188	2,661	
	PKB4	301,7	152,5	144509,658	214	2,962	
	PKB5	302,2	149,7	142155,239	196	2,758	
20	PKB1	302,4	149,4	141922,921	179	2,522	2,962
	PKB2	304,5	151,6	145076,357	218	3,005	
	PKB3	306,3	150,3	144622,185	252	3,485	
	PKB4	300,5	152,3	143805,552	231	3,213	
	PKB5	301,7	150,9	143035,756	185	2,587	
25	PKB1	301,6	149,7	141803,927	196	2,764	2,832
	PKB2	303,2	149,3	142264,228	248	3,486	
	PKB3	302,7	152,5	145064,356	182	2,509	
	PKB4	300,9	150,6	142366,251	175	2,458	
	PKB5	300,4	151,2	142665,284	210	2,944	
23	PKB1	306,3	151,2	145554,108	155	2,130	2,557
	PKB2	302,7	152,5	145053,335	193	2,661	
	PKB3	302,6	150,8	143397,296	180	2,511	
	PKB4	301,5	149,7	141793,933	205	2,892	
	PKB5	300,9	150,3	142067,552	184	2,590	

Diperiksa Oleh:
Kepala Lab. BKT

Didata Oleh:
PLP/Teknisi

Astria Hardawati, S.T., M.Eng

Daru Salam, A.Md.

Lampiran 6 Data Hasil Harga Pokok Produksi Beton

HARGA SATUAN BARANG DAN JASA (SHBJ)

No.	BIAYA PRODUKSI BETON		
	KETERANGAN	SATUAN	HARGA
Biaya Tenaga Kerja Langsung			
1	Pekerja	OH	Rp 110.000
2	Tukang Batu	OH	Rp 112.000
3	Kepala Tukang	OH	Rp 118.000
4	Mandor	OH	Rp 129.000
Biaya Material			
1	Semen Portland	Kg	Rp 1.375
2	Pasir Beton	m ³	Rp 200.000
3	Kerikil	m ³	Rp 250.000
4	Air	Liter	Rp 500,00
5	Minyak Bekisting	Liter	Rp 75.000
6	Pecahan Keramik	Kg	-
Biaya Overhead Pabrik			
1	Molen	Sewa/Hari	Rp 350.000
2	Vibrator	Sewa/Hari	Rp 300.000
3	Sekop	Buah	Rp 65.000
4	Cetok	Buah	Rp 10.000

Sumber: Peraturan Walikota Yogyakarta (2023)

**HASIL PENGUJIAN SIFAT MEKANIK DAN HARGA POKOK
PRODUKSI PER 1M³ PADA TIAP KADAR VARIASI PECAHAN
KERAMIK BETON**

NO.	Kadar Pecahan Keramik	Kuat Tekan Rata-rata	Kuat Tarik Belah Rata-rata	Jumlah Harga Produksi
	(%)	(MPa)	(MPa)	(m ³)
1	BN	27,03	2,627	Rp 1.326.450,28
2	PKB 10	27,75	2,741	Rp 1.307.931,76
3	PKB 15	28,41	2,786	Rp 1.298.672,50
4	PKB 20	30,17	2,963	Rp 1.289.598,42
5	PKB 25	29,77	2,834	Rp 1.280.339,16
6	PKB 30	26,64	2,588	Rp 1.271.265,09

Lampiran 7 Gambar Material**Gambar L-8.1 Agregat Halus (Pasir)****Gambar L-8.2 Agregak Kasar Kerikil)**



Gambar L-8.3 Semen Portland Tipe 1



Gambar L-8. 4 Limbah Pecahan Keramik Ukuran 20 mm

Lampiran 8 Gambar Peralatan



Gambar L-9.1 Ayakan Mesh



Gambar L-9. 2 Timbangan Digital



Gambar L-9.3 Oven



Gambar L-9.4 Piknometer



Gambar L-9.5 Gelas Ukur



Gambar L-9.6 Talam



Gambar L-9.7 Kerucut Abram



Gambar L-9.8 Sekop



Gambar L-9.9 Alat Perata



Gambar L-9.10 Batang Penumbuk



Gambar L-9.11 Palu Karet



Gambar L-9.12 Penggaris



Gambar L-9.13 Kuas



Gambar L-9.14 Bejana Air



Gambar L-9.15 Ember



Gambar L-9.16 Cetakan Silinder



Gambar L-9.17 Concrete Mixer



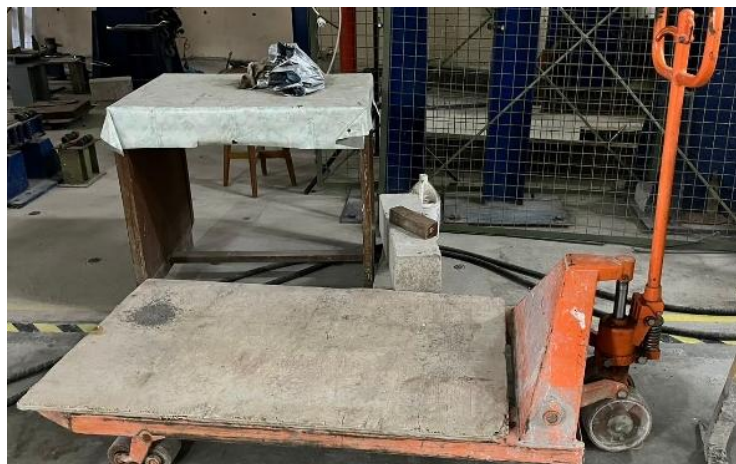
Gambar L-9.18 Pelat adukan beton



Gambar L-9. 19 Pelat Capping Silinder



Gambar L-9.20 Kompor Listrik dan Cawan



Gambar L-9.21 Hand Pallet



Gambar L-9.22 Gerobak Dorong



Gambar L-9.23 Digital Compression Testing Machine (CTM)



Gambar L-9.24 Universal Testing Machine (UTM)

Lampiran 9 Gambar Pengujian



Gambar L-10.1 Pencucian Agregat Kasar



Gambar L-10.2 Penimbangan Bahan



Gambar L-10.3 Persiapan Cetakan Silinder Beton



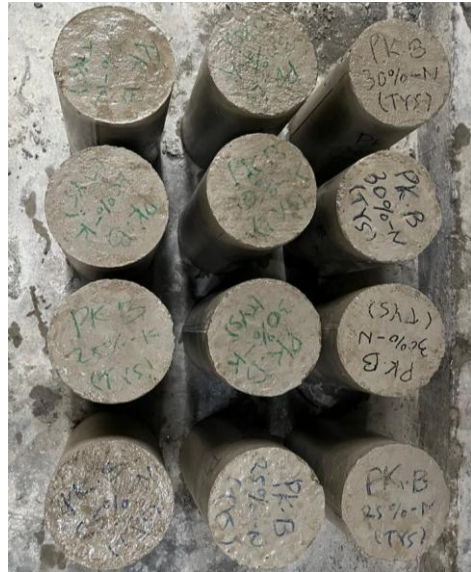
Gambar L-10.4 Persiapan Proses Pembuatan Campuran Beton



Gambar L-10.5 Proses Pembuatan Campuran Beton (Mixing)



Gambar L-10.6 Pembacaan Nilai Slump



Gambar L-10.7 Proses penuangan campuran beton ke dalam cetakan dan hasilnya setelah 24 Jam



Gambar L-10.8 Proses Curing Beton kedalam bak perendaman



Gambar L-10.9 Proses Capping Benda Uji Silinder



Gambar L-10.10 Hasil Capping Benda Uji Silinder



Gambar L-10. 11 Proses Pengujian Kuat Tekan Beton



Gambar L-10. 12 Hasil Uji Kuat Tekan Beton



Gambar L-10.13 Proses Pengujian Kuat Tarik Belah Beton



Gambar L-10.14 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton