

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton adalah bahan komposit yang terbuat dari beberapa material yang menggunakan bahan utama yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, air dan material tambahan jika dibutuhkan dengan komposisi tertentu. Oleh karena itu kualitas beton sangat tergantung pada kualitas masing-masing material pembentuknya. Semua bangunan struktur dibangun menggunakan beton sebagai bahan konstruksi utama, contohnya struktur Gedung, struktur bangunan air, struktur bangunan transportasi dan struktur bangunan lainnya. Salah satu kelebihan betonyaitu mampu menahan beban tekan, perubahan cuaca, suhu yang tinggi, dapat dibentuk dan mudah dirawat.

Berdasarkan proporsi bahan penyusun beton, agregat menempati posisi yang paling mendominasi, yaitu menempati 70% - 75% dari total volume beton. Secara umum agregat hanya berfungsi sebagai bahan pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, maka agregat inipun menjadi penting. Dalam beberapa tahun terakhir, pesatnya kegiatan pembangunan pada bidang konstruksi khususnya di Indonesia, telah menyebabkan meningkatnya permintaan akan sumber daya alam sebagai material penyusun beton.

Salah satu upaya untuk melestarikan sumber daya alam adalah dengan menggunakan limbah sebagai material alternatif pengganti sebagian agregat dalam pembuatan beton. Salah satu limbah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah limbah marmer. Berbagai penelitian limbah marmer dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas beton. Sejumlah penelitian pemanfaatan limbah marmer beton merupakan bahan dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (semen Portland), agregat kasar, agregat halus dan bahan tambah (campuran atau aditif).

Menurut Agustin Dita Lestari (2021) dalam penelitiannya mengenai “Pengujian kuat tekan pada beton dengan pecahan marmer sebagai pengganti sebagian agregat kasar” mengatakan bahwa hasil penggantian sebagian agregat kasar dengan pecahan marmer yang ditinjau dari kuat tekan beton mengalami kenaikan nilai kuat tekan dari beton normal.

Limbah marmer yang terdapat di Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan cukup banyak jumlahnya dan selama ini belum termanfaatkan secara maksimal. Sekali produksi volume limbah yang dihasilkan oleh Perusahaan yang memproduksi marmer diperkirakan mencapai 20 ton per hari dan dari sekian banyak limbah marmer yang dihasilkan, yang bisa diolah hanya sekitar 80% dan sisanya menjadi limbah yang menimbulkan masalah bagi masyarakat.

Hal tersebut menyebabkan masalah lingkungan yang serius. Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk menggunakan kembali limbah marmer tersebut adalah dengan mempertimbangkan penggunaannya sebagai material alternatif pengganti sebagian agregat kasar dalam pembuatan beton. Penelitian dirancang

dengan variasi ukuran batu marmer pada beton silinder yang memiliki ukuran cm sebagai diameternya dan 30 cm sebagai tingginya.

Penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar kuat tekan beton, jika sebagian agregat pada campuran beton tersebut disubstitusikan dengan limbah marmer sebagai agregat kasar pada campuran beton.

Dari beberapa uraian diatas, yang menjadi latar belakang penulis untuk mengambil penelitian dengan judul **Studi Perbandingan Kuat Tekan Beton Dengan Campuran Limbah Marmer Sebagai Substitusi Agregat Kasar.**

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang menjadi acuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh limbah marmer terhadap kuat beton
2. Bagaimana hasil perbandingan setiap campuran beton normal dengan tambahancampuran variasi ukuran limbah marmer pada kuat tekan beton.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh limbah marmer terhadap kuat tekan beton.
2. Mengetahui hasil perbandingan kuat tekan beton pada setiap campuran yang menggunakan variasi ukuran limbah marmer.

D. Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat terarah dan sesuai dengan tujuan, maka diperlukan pembatasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Kuat tekan beton direncanakan 25 MPa.
2. Perencanaan campuran beton sesuai dengan SNI 7656:2012.

3. Bahan penelitian yang digunakan, antara lain :
 - a. Semen.
 - b. Agregat kasar yang digunakan memiliki ukuran butir maksimal 20 mm.
 - c. Agregat halus berupa pasir.
 - d. Air.
 - e. Limbah marmer yang digunakan berasal dari sisa-sisa pemotongan industri pengolahan batu marmer.
4. Limbah marmer yang digunakan dibagi 2 sampel yaitu marmer dengan ukuran 0.5-1 cm dan ukuran 1-2 cm.
5. Benda uji berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang terdiri dari beton normal sebanyak 9 buah, campuran marmer 0,5-1 cm sebanyak 9 buah, campuran marmer dengan ukuran 1-2 cm sebanyak 9 buah, jadi total untuk pengujian kuat tekan beton sebanyak 27 buah.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kualitas dan perbandingan kuat tekan beton menggunakan pecahan limbah marmer dengan persentase yang telah ditentukan, dan apabila penelitian ini berhasil, diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan untuk tahap selanjutnya, baik itu penggunaan pada tahap pelaksanaan di lapangan dan dapat dikembangkan pada penelitian yang lebih lanjut.
2. Mengurangi permasalahan limbah pada lingkungan.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama dalam bidang konstruksi.

4. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan oleh pihak kampus dan pemerintah dalam mengatasi limbah marmer.
5. Dapat digunakan sebagai salah satu referensi untuk acuan penelitian yang berkaitan dengan pemanfaatan limbah marmer sebagai substitusi agregat kasar.

F. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan yang dapat disajikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang teori-teori yang berhubungan dan mendukung secara ilmiah dengan penelitian yang dilakukan serta sebagai landasan teori dalam penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menguraikan mengenai metode yang akan digunakan dalam penelitian seperti lokasi dan waktu penelitian, jenis penelitian, alat dan bahan yang akan digunakan, teknik pengumpulan data dan teknik analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil yang telah dicapai dari penelitian yang telah dilakukan dari hasil uji laboratorium yang dijabarkan dalam bentuk gambar, tabel dan grafik.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari seluruh rangkaian penelitian, serta saran-saran yang dikemukakan berupa sumbangan pikiran terkait permasalahan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton

Dalam dunia konstruksi beton masih menjadi pilihan utama untuk bahan Pembangunan. Beton adalah campuran dari beberapa material dengan bahan yang terdiri dari semen, agregat, air, dan bahan tambah. Kualitas beton bergantung pada komposisi dan susunan material pembentuknya. Beton memiliki peran penting terhadap Pembangunan suatu konstruksi bangunan ataupun infrastruktur lainnya. Beton akan mengeras seiring dengan penambahan umur beton dan mencapai kekuatan rencana (f_c) pada umur 28 hari.

Agregat didapat dari beberapa jenis bahan yang menggunakan bahan alam seperti batu gunung, batu kali, yang mana bahan ini dapat mudah dijumpai dimana-mana. Agregat dibagi menjadi agregat kasar (batu pecah/kerikil) dan agregat halus (pasir). Beton yang bermutu baik ialah yang sesuai dengan perencanaan dan material yang sangat awet serta bebas pemeliharaan untuk beberapa tahun.

Kekuatan beton dapat diukur tergantung dari beberapa faktor misalnya, proporsi dari campuran adukan beton itu sendiri, kondisi temperatur disekitar beton, dan kelembaban dari tempat dimana campuran atau adukan diletakkan dan mengeras.

Adukan beton yang sudah mengeras maupun dalam tahap mengeras memiliki kuat tekan beton. Kuat tekan beton sendiri akan bertambah secara linier

setelah mencapai umur 28 hari dan setelah 28 hari akan mengalami kenaikan secara konstan walaupun kecil. Menurut Tjokrodimulyo beton juga memiliki kelebihan dan kekurangan, diantaranya:

A. Kelebihan beton

- 1) Harga lebih murah karena bahan dasar yang mudah didapat.
- 2) Beton awet dan tahan panas, tahan terhadap korosi.
- 3) Biaya untuk perawatan rendah.
- 4) Kuat tekan yang cukup tinggi.
- 5) Workability tinggi karena beton mudah untuk dicetak dalam berbagai bentuk dan ukuran sesuai keinginan.

B. Kekurangan beton

- 1) Agregat halus dan agregat kasar dari berbagai ukuran dan lokasi pengambilannya.
- 2) Klasifikasi beton berdasar kuat tekannya.
- 3) Kuat Tarik beton yang rendah sehingga perlu penambahan tulangan baja agar memiliki kuat Tarik yang tinggi.
- 4) Volume pengerjaan tidak terlalu besar

Peraturan Beton Indonesia 1971 (PBI) mutu beton dibagi tiga kelas yaitu kelas satu, kelas dua dan kelas tiga. Mutu beton merupakan kuat tekan beton dalam bentuk angka dengan cara uji kuat tekan beton dalam satuan mega pascal (MPa). Menurut Standar Nasional Indonesia 03-847-2002 beton yaitu adukan antara agregat kasar, agregat halus, semen hidraulik atau semen Portland lainnya dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk benda padat.

Komposisi material beton didapatkan dari hasil analisis *mix design*, dicampur merata hingga homogen setelah itu dituang ke dalam pencetak. Hasil adukan beton tersebut jika didiamkan akan menjadi keras akibat reaksi kimia antara semen dengan air atau dapat dikatakan bahwa adukan beton akan bertambah keras seiring dengan waktu (umur beton).

1. Mutu Beton

Struktur bangunan Gedung yang menggunakan bahan yang terbuat dari beton harus direncanakan sesuai kuat tekan beton yang direncanakan dan menggunakan standar yang berlaku serta tidak boleh kurang dari mutu beton (f_c) 17,5 MPa. Beton yang digunakan pada bangunan structural harus dibuat perencanaan beton secara baik agar mampu menerima beban pada struktur bangunan struktur tersebut. Perencanaan beton harus mengacu pada SNI 03-2847-2002 mengenai perhitungan perencanaan struktur bangunan beton.

Kekuatan beton sangat ditentukan oleh komposisi bahan beton dan kepadatan campuran beton. Semakin sedikit rongga dalam campuran beton, maka semakin tinggi kuat tekan beton yang didapatkan. Syarat-syarat penting pembuatan beton:

1. Beton segar harus mudah pelaksanaanya dilapangan dengan kata lain mudah pengerjaannya atau mudah dituang.
2. Adukan beton harus mampu menahan beban struktur bangunan rencana.
3. Beton direncanakan dan dianalisis seekonomis mungkin.

Berdasarkan PBI 1971 N. I.- 2, kuat tekan karakteristik beton (mutu beton) dari sampel berbentuk kubus $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ di klasifikasikan menjadi tiga kelas yaitu:

1. Kelas I dengan kode B0, mutu beton ini digunakan untuk bangunan non struktural dengan mutu dibawah K-125.
2. Kelas II dengan kode B1, mutu beton ini digunakan untuk bangunan struktural secara umum yang terdiri dari K-125, K-175 dan K-225 (beton mutu normal).
3. Kelas III dengan kode B2, mutu beton ini digunakan untuk bangunan struktural yang memiliki mutu beton diatas K-225.

Tabel 2. 1 Kelas Dan Mutu Beton (*Sumber: PBI 1971 N.I.-2*)

Kelas	Mutu	$\sigma' B_k$ (Kg/cm ²)	$\sigma' B_m$ (Kg/cm ²)	Tujuan	Pengawasan terhadap mutu kekuatan agregat	
I	B0	-	-	Non Struktural	Ringan	Tanpa
II	B1	-	-	Struktural	Sedang	Tanpa
	K 125	125	200	Struktural	Ketat	Kontinyu
	K 175	175	250	Struktural	Ketat	Kontinyu
	K 225	225	200	Struktural	Ketat	Kontinyu
III	K >225	>225	> 300	Struktural	Ketat	Kontinyu

a. Berdasarkan jenisnya, beton dibagi menjadi 6 (enam) jenis, yaitu :

1) Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal. Agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan pun merupakan agregat ringan juga. Agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil dari pembakaran shale, lempung, slates,

residu slag, residu batu bara dan banyak lagi hasil pembakaran vulkanik. Berat jenis agregat ringan sekitar $800\text{--}1800\text{ kg/m}^3$ atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar 1400 kg/m^3 , dengan kekuatan tekan umur 28 hari antara 6,89 Mpa sampai 17,24 Mpa menurut SNI 08-1991-03.

2) Beton normal

Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan split sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara $2200\text{ kg/m}^3\text{--}2400\text{ kg/m}^3$ dengan kuat tekan sekitar 15-40 Mpa.

3) Beton berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m^3 . Untuk menghasilkan beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar.

4) Beton massa (*mass concrete*)

Dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif, misalnya untuk bendungan, kanal, dan jembatan.

5) *Ferro-Cement*

Ferro-Cement adalah suatu bahan gabungan yang diperoleh dengan cara memberikan suatu tulangan yang berupa anyaman kawat baja sebagai pemberi kekuatan tarik pada mortar semen.

6) Beton serat (*fibre concrete*)

Beton serat (*fibre concrete*) adalah bahan komposit yang terdiri dari beton dan bahan lain berupa serat. Serat dalam beton ini berfungsi mencegah retak-retak sehingga menjadikan beton lebih daktil daripada beton normal.

2. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menerima tekanan yang berupa gaya tekan per satuan luasnya. Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan.

Menurut Standar Nasional Indonesia nomor 03-1974-1990 mutu beton rencana (f'_c) yaitu mutu beton yang ditetapkan oleh seorang perencana bangunan struktur dengan menggunakan sampel beton silinder yang ukuran diameternya 15 cm dan tingginya 30 cm menggunakan satuan Mega Pascal (MPa). Adapun kuat tekan beton dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f'_c = P/A \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

f'_c = Kuat tekan Beton (Mpa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas permukaan sampel (mm^2)

Menurut SNI 2847:2013, Untuk beton struktur, Kuat tekan f_c tidak boleh kurang dari 17 MPa. Nilai maksimum f_c tidak dibatasi kecuali bilamana dibatasi oleh ketentuan standar tertentu. Beton akan mempunyai kuat tekan yang tinggi jika tersusun dari bahan lokal yang berkualitas baik. Bahan penyusun beton yang perlu mendapat perhatian adalah agregat, karena agregat mencapai 70-75% volume beton (Dipohusodo, 1996). Oleh karena kekuatan agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton, maka hal-hal yang perlu diperhatikan pada agregat adalah:

1. Permukaan dan bentuk agregat.
2. Gradasi agregat.
3. Ukuran maksimum agregat.

Menurut Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971, nilai kuat tekan beton hasil pengujian dibandingkan berdasarkan usia dan jenis semen yang digunakan sebagaimana tabel berikut:

Tabel 2. 2 Perbandingan kuat tekan beton sesuai umur dan jenis semen (*Sumber: Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971*).

Umur Beton (hr)	3	7	14	21	28
Semen Portland Biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1
Semen Portland Kekuatan Awal Tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1

B. Material penyusun beton

1. Semen Portland

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan.

Semen sebagai bahan pengikat (bonding materials) dalam pembuatan beton, memegang peranan penting karena selain akan menentukan karakteristik beton yang dihasilkan juga dapat memberikan indikasi apakah beton cukup tahan terhadap lingkungan agresif, pengaruh cuaca, dan sebagainya.

Karena semen merupakan hasil pembuatan pabrik dengan pengendalian mutu yang ketat, maka untuk menjaga kualitas di lapangan yang perlu diperhatikan adalah cara penyimpanan yang baik dengan jangka waktu tertentu sehingga belum terjadi perubahan sifat akibat pengaruh lembab. Sebagai acuan dalam pengendalian mutu sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) dan standar lainnya yang berkaitan dengan semen Portland seperti:

- a. SNI No. 15-2049-1994 tentang Mutu dan Cara Uji Semen Portland.
- b. SNI No. 15-0302-1989 tentang Mutu dan Cara Uji Semen Portland.
- c. ASTM C-150-95, BS-812-92 atau JIS R-5210 tentang Specification for Portland Cement.

Tabel 2. 3 Komposisi Umum Oksida Semen Portland Jenis I (*Sumber: Nugraha dan Antoni 2007*)

Oksida	Notasi Pendek	Nama Umum	Persentase (%)
CaO	C	Kapur	63
SiO ₂	S	Silika	22
Al ₂ O ₃	A	Alumina	6
Fe ₂ O ₃	F	Ferit Oksida	2,5
MgO	M	Magnesia	2,6
K ₂ O	K	Alkalis	0,6
Na ₂ O	N	Disodium Oksida	0,3
SO ₂	S	Sulfur Oksida	2

2. Agregat

Agregat mempunyai peranan penting karena beberapa fungsi yang dimiliki diantaranya adalah untuk menambah kekuatan, mengurangi penyusutan dan mengurangi penggunaan semen. Mutu agregat sangat menentukan kualitas beton

yang dihasilkan, oleh karena itu harus dilakukan pengendalian mutu (quality control) sebelum digunakan sebagai bagian dari jalinan mutu (quality assurance) terhadap beton yang akan dihasilkan.

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat ini kira-kira menempati 60% - 75% volume beton. Sifat yang paling penting dalam agregat adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, sehingga dapat mempengaruhi ikatannya dengan semen. Agregat ini harus menggradasi sedemikian rupa sehingga masa beton dapat berfungsi sebagai beton yang utuh, homogen dan rapat.

Berdasarkan besar butir, agregat dibagi atas 2 jenis yaitu:

- a. Agregat halus, dengan ukuran butir antara 0,075 s.d 4,8 mm.
- b. Agregat kasar dengan ukuran butir antara 4,8 s.d 40 mm.

Berdasarkan sumbernya, agregat dibagi atas 3 jenis yaitu:

- c. Agregat alam adalah hasil desintegrasi batuan alam.
- d. Agregat pecah adalah hasil pemecahan batuan alam
- e. Agregat buatan adalah hasil suatu proses pembakaran, dll.

Berdasarkan beratnya, agregat dibagi atas 3 jenis yaitu:

- f. Agregat ringan dengan berat jenis s.d 1,8.
- g. Agregat normal dengan berat jenis 1,8 s.d 2,7.
- h. Agregat berat dengan berat jenis 2,7.
- a) Agregat halus

Agregat halus ialah agregat yang semua butiran menembus ayakan 4,8 mm (5 cm). Agregat halus dapat berupa pasir alam, pasir hasil olahan atau gabungan

dari kedua pasir tersebut. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui. Uji agregat halus meliputi analisa berat jenis pasir, analisa air resapan pasir, analisa saringan pasir.

Tabel 2. 4 Batas Gradasi Agregat Halus (*Sumber: SNI 03-2834-2000*)

Ukuran Saringan (Ayakan)		% Lolos Saringan/Ayakan			
		Pasir kasar	Pasir sedang	Pasir agak halus	Pasir halus
mm	SNI				
9,50	9,6	100-100	100-100	100-100	100-100
4,75	4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,36	2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,18	1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

b) Agregat kasar

Agregat kasar merupakan agregat yang butriannya lebih besar dari 5 mm ataupun agregat yang seluruh butirannyabisa tertahan diayakan 4,75 mm. agregat kasar untuk beton bisa berbentuk kerikil sebagai hasil dari disintegrasi dari batu-batuan ataupun berbentuk batu pecah yang diperoleh dar pemecahan manual ataupun mesin. Agregat kasar harus memenuhi ketentuan kebersihan yaitu, tidak mengandung lumpur lebih dari 1% serta tidak memiliki zat-zat organik yang bisa merusak beton.

Adapun kualitas agregat yang dapat menghasilkan beton mutu tinggi adalah;

- 1) Agregat tidak mengandung lumpur lebih dari 10% berat kering. Lumpur yang dimaksud adalah agregat yang melalui ayakan diameter 0,063 mm, bila melebihi 1% berat kering maka kerikil harus dicuci terlebih dahulu
- 2) Agregat kasar harus merupakan butiran keras dan tidak berpori. Agregat kasar tidak boleh hancur karena adanya pengaruh cuaca.
- 3) Agregat kasar harus bersih dari unsur organik.

Tabel 2. 5 Gradasi Agregat Kasar (*Sumber: SNI 03-2834-2000*)

Ukuran Saringan (Ayan)		% Lolos Saringan/Ayakan		
		Ukuran Maks. 10 mm	Ukuran Maks. 20 mm	Ukuran Maks. 40 mm
Mm	SNI			
75,0	76			100-100
37,5	38		100-100	95-100
19,0	19	100-100	95-100	35-70
9,5	9,6	50-85	30-60	10-40
4,75	4,8	0-10	0-10	0-5

3. Air Campuran Beton

Air adalah bahan yang diperlukan untuk proses reaksi kimia dengan semen untuk membentuk pasta semen. Air juga dipakai untuk pelumas antara butiran dalam agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air dalam campuran beton menyebabkan terjadinya proses hidrasi dengan semen. Jumlah air yang berlebihan akan menurunkan kekuatan beton. Namun air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi yang tidak merata.

Faktor air sangat mempengaruhi dalam pembuatan beton, karena air dapat bereaksi dengan semen yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan kekuatan beton itu sendiri. Selain itu, kelebihan air akan menurunkan

mutu dan mengakibatkan beton mengalami bleeding. Yaitu air akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang. Hal ini akan menyebabkan kurangnya lekatan antara lapis-lapis beton dan mengakibatkan beton menjadi lemah.

Berdasarkan SNI 03-1971-1990, kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering yang dinyatakan dalam persen. Menurut Tjokrodinuljo (1996), keadaan kandungan air di dalam agregat dibedakan menjadi beberapa Tingkat, yaitu:

- a. Kering tungku, yaitu agregat yang benar-benar tidak berair, dan ini berarti dapat secara penuh menyerap air.
- b. Kering udara, yaitu agregat yang kering permukaannya tetapi mengandung sedikit mengisap air.
- c. Jenuh kering muka, agregat pada tingkat ini tidak ada air di permukaan tetapi butir-butirnya berisi sejumlah air.

C. Material Alternatif

1. Marmer

Marmer merupakan batuan metamorf hasil dari proses metamorfisme batu gamping atau dolomit (CaCO_3), proses metamorfisme yang terjadi dipengaruhi oleh suhu dan tekanan yang dapat menyebabkan perubahan pada struktur, tekstur dan mineralogi pada batu gamping tersebut.

Mineral utama penyusun marmer adalah kalsit (CaCO_3), dolomit dan mineral lainnya, seperti mineral lempung, mika, kuarsa, pirit, oksida besi, dan

grafit. Kalsit sebagai penyusun batu gamping (protolith marmer) mengalami rekristalisasi pada proses metamorfosa batu marmer memiliki butiran-butiran kasar, *heterogranular* dengan tekstur *interlocking* dan batu marmer sedikit mengandung kuarsa dan klorit.

Limbah marmer adalah limbah yang didapat dari pengolahan batuan (blok) marmer menjadi ubin sehingga menjadi limbah marmer yang berbentuk bubuk dan mengalami tahapan-tahapan. Blok pemotongan (Block cutting), untuk memotong blok marmer menjadi slab. Lembaran slap ini kemudian di potong pada bagian kedua ujungnya agar rata (cross cutting), selanjutnya slab ini dipotong/diratakan pada salah satu permukaannya sesuai ukuran yang di inginkan (calibrating).

Hasil dari perataan permukaan ini yang masih mempunyai lubang-lubang kecil di tutupi menggunakan dempul. Untuk melincinkan permukaan yang sudah di dempul kemudian di lakukan proses poles (polishing), slab yang mengkilap ini di potong-potong sesuai ukuran yang di kehendak. Akhirnya menghasilkan limbah cair serta limbah potongan marmer.

Pembuangan sisa pengolahan batu marmer oleh pabrik batu marmer berdampak pada pencemaran lingkungan. Usaha untuk memanfaatkan sisa pengolahan batu marmer inipun dapat mengurangi masalah lingkungan dan dapat memberikan nilai ekonomis terhadap konstruksi. Pemanfaatan sisa pengolahan batu marmer juga merupakan suatu upaya untuk mengurangi pengambilan agregat kasar.

Penelitian ini menggunakan limbah marmer sebagai pengganti agregat kasar pada campuran beton, Adapun komposisi kimia limbah marmer sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Kandungan kimia pecahan marmer (*Sumber: Wihardi dkk .2006*)

Komposisi Kimia	Kandungan (%)
Silikon Dioksida (SiO ₂)	0,13
Aluminium Dioksida (Al ₂ O ₃)	0,31
Feri Oksida (Fe ₂ O ₃)	0,04
Kalsium Oksida (CaO)	55,07
Magnesium Oksida (MgO)	0,36
Potash (K ₂ O)	0,01
Sulfur Trioksida (SO ₃)	0,08
(Lol)	44

2. Ciri – ciri Batu Marmer

Sebagai salah satu jenis batu alam, dan sebagai salah satu jenis batuan metaforf atau malihan, batu marmer ini mempunyai ciri khusus yang membedakannya dengan jenis batu lain. Beberapa jenis batu marmer adalah sebagai berikut:

- a. Mempunyai struktur batu yang kompak.
- b. Gugusan kristal yang ada di batu marmer relatif sama dengan tekstur halus sampai yang agak kasar.
- c. Pada umumnya marmer tersusun atas mineral kalsit atau mineral karbonat atau polimorf kalsium karbonat yang paling stabil. Kalsit merupakan mineral penyusun berbagai jenis batuan dengan rumus kimis CaCO₃. Kalsit sangat umum di temukan di seluruh dunia baik di dalam batuan

sedimen, batuan metaforf, maupun batuan beku. Beberapa ahli geologi menganggapnya sebagai mineral yang dapat hadir di hampir di semua jenis batuan mineral kalsit merupakan mineral utama pembentuk batu kapur (batu gamping) ataupun batu marmer. Dengan mineral minor lainnya seperti mika, klorit, kuarsa dan jenis silikat lainnya seperti graphit, hematit dan juga limorit.

- d. Mempunyai nilai komersil atau ekonomi yang tergantung pada warna dan tekstur batu tersebut.
- e. Terpengaruh oleh porositas, kekuatan regangan dan kekuatan terhadap cuaca.

3. Jenis – jenis Batuan Marmer

Sebagai salah satu jenis batuan alam dan sebagai salah satu jenis batuan malihan atau metamorf, batu marmer ini mempunyai beberapa jenis. Jenis dari batu marmer ini biasanya dibedakan berdasarkan warna, tekstur dan juga komposit mineral yang menyusun batuan tersebut. Jenis – jenis dari batuan marmer antara lain sebagai berikut:

- a. Statuary marble, yakni jenis batuan marmer yang putih bersih dan mempunyai texture yang bagus.
- b. Architectural marble, yakni batuan marmer yang mempunyai warna, tekstur, mutu dan kekuatan yang bagus.
- c. Ornamental marble, yakni batuan marmer yang memiliki warna yang indah.
- d. Onix marble, yakni batuan marmer yang jernih yang terdiri dari material - material organik dan juga kalsit.

- e. Cipolin marble, yaitu batuan marmer yang banyak mengandung mika dan juga talk.
- f. Ruin marble, merupakan batuan marmer yang bertekstur halus dan juga kristal yang tidak teratur.
- g. Breccia marble, merupakan batuan marmer yang mempunyai tekstur kasar.
- h. Shelt marble, merupakan batuan marmer yang terdiri dari fosil-fosil.
- i. Carrara marble, yakni marmer yang mempunyai warna putih murni. Batuan jenis ini seringkali digunakan oleh bangsa Yunani dan Romawi sebagai bahan dasar pembuatan patung dan juga air mancur.
- j. Limestone, yakni marmer yang memiliki warna beige atau coklat. Batu marmer ini bisa ditemukan dari gunung ataupun bekas gunung.
- k. Breksi, yakni batu marmer yang terbentuk karena adanya bekas longsoran tanah.

4. Kajian Hasil Penelitian Terdahulu

1. Menurut Andi Haslinda, Ilham Idrus, Try Agung Basuki, Sultan Saiful (2020) dalam penelitiannya mengenai “Proses Pengelolaan Limbah Marmer Menjadi Produk Paving Block” mengatakan penelitian ini untuk mengetahui pembuatan paving block dan hasil uji kuat tekan dengan memanfaatkan limbah marmer. Dengan menggunakan rumus uji kuat tekan untuk mengetahui nilai MPnya apakah produk memenuhi standar SNI 03-0691- 1996 pada uji kuat tekannya. Hasil dari penelitian ini paving block memanfaatkan limbah marmer dari bentuk fisiknya mempunyai tampilan yang lebih menarik dengan adanya tambahan aksesoris marmer pada

permukaannya dan juga sebagai tulangan, dalam proses pengujian ini paving yang memanfaatkan limbah memiliki nilai tertingginya 30,36 MPa masuk dalam standar SNI 03-0691-1996.

2. Menurut Susilowati (2021) dalam penelitiannya mengenai “Pemanfaatan Serbuk Marmer Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Semen Pada Campuran Beton Normal” mengatakan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah marmer untuk mengurangi sejumlah semen pada kuat tekan dan kuat tarik beton normal, mengetahui besarnya perbedaan kuat tekan dan kuat tarik beton dengan limbah marmer dibandingkan dengan beton normal tanpa limbah marmer, mengetahui pola keruntuhan beton serta mengetahui perubahan kelecakan adukan beton dengan pemakaian limbah marmer menggunakan slump test.
3. Menurut Tri Yuhanah, devita Mayasari, Pratiwi Setyaning Putri (2021) dalam penelitiannya mengenai “Tinjauan Permeabilitas dan Kuat Tekan Porous Paving Block Ramah Lingkungan Berbahan Campuran Limbah Plastik dan Sisa Pengolahan Batu Marmer” mengatakan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan sisa pengolahan batu marmer terhadap kuat tekan dan permeabilitas porous paving block. Sisa pengolahan batu marmer yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 20%, 40%, 60%, 80%, pengujian sampel kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari.
4. Menurut Muhammad Haidar Irfansyah, Anis Rakhmawati, Yudhi Arnandha (2021) dalam penelitiannya mengenai “Studi Analisis Beton Mutu Tinggi SCC (Self Compacting Concrete) Menggunakan Campuran

Limbah Marmer dan Superplasticizer” mengatakan hasil penelitian kuat tekan rata- rata beton normal sebesar 36,542 MPa, beton normal dengan campuran limbah marmer dan superplasticizer sebesar 36,898 Mpa, beton campuran limbah marmer 20% sebesar 40,692 MPa, beton campuran limbah marmer 30% sebesar 41,270 MPa, dan beton campuran limbah marmer 40% sebesar 41,948 MPa. Disimpulkan bahwa penambahan campuran limbah marmer

dan superplasticizer pada beton SCC berpengaruh terhadap kenaikan laju kuat tekan beton seiring bertambahnya persentase limbah marmer.

5. Menurut Agustin Dita Lestari (2021) dalam penelitiannya mengenai “Pengujian Kuat Tekan pada Beton dengan Pecahan Marmer sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar” mengatakan penelitian ini dilakukan agar hasil dari penggantian sebagian agregat kasar dengan limbah pecahan marmer yang ditinjau dari nilai kuat tekan beton dapat diketahui. Penelitian dirancang dengan variasi penggantian marmer sebesar 0%, 15%, 25%, dan 35%. Besar kuat tekan yang paling tinggi ada pada variasi 25% yaitu sebesar 33,22% pada umur 28 hari dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton pada variasi 0% atau beton normal, pada variasi 25% mengalami kenaikan 4,02%.
6. Menurut Dewi Fitriani, R. Didin Kusdian, Bakhtiar Abu Bakar (2021) dalam penelitiannya mengenai “Kajian Kuat Tekan Beton Substitusi Agregat Halus dari Limbah Pemotongan Batu Marmer dan Agregat Kasar dari Limbah Pemotongan Batu Kapur” mengatakan dalam penelitian ini

menggunakan batu kapur dan marmer untuk substitusi agregat pada campuran beton tetapi untuk skala kecil, karena jika yang dibuat adalah skala besar maka akan dibutuhkan batu kapur dan marmer yang banyak dari alam. Untuk penggunaan batu kapur dan marmer dari hasil penelitian ini sangat baik untuk digunakan pada campuran beton karena dapat menaikkan nilai kuat tekan dari beton normal.

7. Menurut Muhammad Yusuf Eko Saputro, Akhmad Hasanuddin, Dwi Nurtanto (2022) dalam penelitiannya mengenai “Pemanfaatan Limbah Batu Marmer sebagai Agregat Kasar pada Campuran Beton Perkerasan Kaku yang Menggunakan Bahan Tambah Abu Sekam Padi” mengatakan dalam penelitian ini menggunakan variasi penggantian kadar limbah marmer untuk uji kuat tekan dan kuat lentur sebesar 0% (beton normal), 30%, 50%, dan 70%. Hasil yang diperoleh dalam pengujian untuk presentase 30% kuat tekan dan kuat lentur beton sebesar 46,50 MPa dan 5,67 Mpa, presentase 50% kuat tekan dan kuat lentur beton sebesar 43,95 MPa dan 4,83 Mpa dan, presentase 70% kuat tekan dan kuat lentur beton sebesar 38,64 MPa dan 4 MPa. Maka dari itu direkomendasikan menggunakan presentase 50%, Dimana pada presentase tersebut memanfaatkan limbah yang paling banyak dan dapat mengurangi biaya beton menjadi lebih ekonomis.
8. Menurut Daffa Nabhan, Anisah, Lenggogeni (2023) dalam penelitiannya “Inovasi Pemanfaatan Limbah Marmer sebagai Substitusi Agregat Kasar Untuk Beton yang Ramah Lingkungan” mengatakan hasil penelitian

menunjukkan substitusi limbah marmer pada variasi 30% kuat tekan betonnya yaitu 33,88 Mpa. Variasi 50% kuat tekan beton yaitu 32,01 MPa. Dan untuk variasi 0% kuat tekan beton 30,82 MPa. Sehingga variasi dengan limbah marmer yang paling optimal adalah 30% dari volume agregat kasar. Berdasarkan material yang didapatkan dalam pembuatan beton ini dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan kuat tekan yang lebih optimal diperlukan material yang lebih bagus kualitasnya.

9. Samsul, Mustakim dan Kasmaida (2023), dalam penelitiannya mengenai “Pengaruh Ukuran Butir Agregat Kasar Terhadap Kapasitas Kuat Tekan dan Nilai Slump Beton Porous” mengatakan penelitian ini melakukan perbandingan proporsi campuran beton berpori dengan 3 jenis ukuran agregat kasar gradasi seragam yang berbeda yaitu ukuran butir agregat 0,5- 1 cm 1-2 cm, 2-3 cm, untuk meningkatkan kuat tekan beton.
10. Disti Putra Saldi (2023), dalam penelitiannya “Pengaruh Substitusi Limbah Marmer Terhadap Nilai Kuat Tekan Dry Geopolymer Mortar dengan Metode Wet Mixing Berbahan Dasar Abu Terbang dan NaOH 10 m” mengatakan dalam penelitian melakukan perbandingan limbah marmer pada pembuatan mortar geopolimer berbahan dasar abu terbang menggunakan bahan pengikat kapur pada temperature 100°C. Pengujian dilakukan sesuai umur yang telah direncanakan yaitu 7, 14, dan 28 hari dengan menggunakan benda uji berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif yang merupakan metode penelitian yang banyak menuntut penggunaan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan dari hasilnya yang disertai gambar, tabel, atau grafik. Kemudian data hasil penelitian dianalisis sesuai dengan prosedur pengujian laboratorium. Penelitian yang dilakukan adalah uji eksperimental dimana kondisi dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada peraturan SNI (Standar Nasional Indonesia). Penelitian eksperimental merupakan kumpulan penelitian yang berasal dari berbagai sumber yang ada melalui jurnal ilmiah.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Lokasi penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Parepare.

2. Waktu penelitian

Penelitian dilakukan kurang lebih selama 2 bulan mulai Mei-Juni 2024.

C. Material yang digunakan

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

a. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen Portland.

b. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air bersih yang terdapat di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare

c. Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar dan agregat halus.

d. Limbah marmer

limbah marmer yang digunakan di dalam penelitian ini diambil dari Pabrik Marmer, Kabupaten Maros.



Gambar 3. 1 Potongan Limbah Marmer

*Sumber : Pabrik Pemotongan Batu Marmer Kab.
Maros*

2. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Saringan

Saringan yang dipakai dalam menentukan gradasi agregat yaitu saringan dengan lubang saringan sebesar 25 mm, 19.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.60 mm, 0.30 mm, dan 0.15 mm.

b. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan agregat pada pengujian kadarair dan berat jenis.

c. Gelas ukur

Gelas ukur berfungsi untuk mengukur banyaknya air yang digunakan pada pembuatan beton.

d. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk menimbang bahan-bahan benda uji.

e. Cetakan beton

Cetakan beton yang digunakan adalah cetakan silinder ukuran 15 cmx 30 cm.

f. Universal Testing Machine

Digunakan untuk menguji kuat tekan benda uji beton.

g. Concrete mixer/mesin pencampur

Digunakan untuk mencampur semua bahan-bahan benda uji.

h. Kompresing testing machine kapasitas 2000 Kn

Alat yang digunakan untuk pengujian kuat tekan beton.

D. Prosedur Standar Penelitian

1. Pengujian Agregat

Pengujian agregat bertujuan untuk mengetahui sifat atau karakteristik agregat yang diperoleh dari hasil pemecahan *stone crusher* (mesin pemecah batu).

2. Analisis Saringan Agregat Kasar dan Halus

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan (*saturated surface dry* = SSD), berat jenis semu (*apparent*) dari agregat kasar.

1. Berat jenis (*bulk specific gravity*) yaitu perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
2. Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD) yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) yaitu perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.
4. Penyerapan yaitu presentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering.

Standar pemeriksaan analisis saringan menggunakan standar SK SNI M- 08-1989-F, SNI 03-1968-1990. Pelaksanaan Pengujian Diantaranya:

1. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan – bahan lain yang melekat pada permukaan.

2. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu 105°C sampai berat tetap.
3. Dinginkan benda uji dalam air pada suhu kamar selama 1-3 jam kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram (BK).
4. Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam.
5. Keluarkan benda uji dari air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (SSD), untuk butiran yang besar pengeringan harus satu – persatu.
6. Timbang benda uji kering permukaan jenuh (BJ).
7. Letakkan benda uji di dalam keranjang. Goncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya di dalam air (BA). Ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar (25°C).

Berikut adalah perhitungan yang digunakan dalam menentukan berat jenis agregat:

$$1. \text{ Berat jenis (Bulk Specify Gravity)} = \frac{B_k}{(B_j - B)} \dots\dots\dots (2)$$

$$2. \text{ Berat jenis SSD} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (3)$$

$$3. \text{ Berat jenis semu} = \frac{B_k}{(B_k - B)} \dots\dots\dots (4)$$

$$4. \text{ Penyerapan (Arbsorbsi)} = \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100 \% \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

B_k = Berat benda uji kering oven (gr)

B_j = Berat benda uji kering permukaan Jenuh (gr)

B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gr)

3. Perkiraan Kadar Agregat

a. Standar pemeriksaan

Pemeriksaan kadar agregat menggunakan standar SNI 7656:2012.

b. Perkiraan kadar agregat kasar

Agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan bila sejumlah tertentu volume agregat (kondisi kering oven) dipakai untuk tiap satuan volume beton. Untuk beton dengan kemudahan pengerjaan yang lebih baik bila pengecoran dilakukan memakai pompa, atau bila beton harus ditempatkan ke dalam cetakan dengan rapatnya tulangan baja, dapat mengurangi kadar agregat kasar sebesar 10 %. Namun demikian tetap harus berhati-hati untuk meyakinkan agar hasil – hasil uji slump, rasio air- semen atau rasio air (semen + bahan bersifat semen), dan sifat-sifat kekuatan dari beton tetap memenuhi rekomendasi serta memenuhi persyaratan spesifikasi proyek yang bersangkutan.

Tabel 3. 1 Volume agregat kasar per satuan volume beton (*Sumber: SNI 7656:2012*)

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven (SSD) per satuan volume beton untuk berbagai moduluskehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Volume ini dipilih dari hubungan empiris untuk menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan untuk pekerjaan konstruksi secara umum. Untuk beton yang lebih kental (keleccakan rendah), seperti untuk konstruksi lapis lantai (pavement), nilainya dapat ditambah sekitar 10%.

Untuk menentukan berat agregat kasar yang digunakan dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

Untuk menentukan berat agregat kasar yang digunakan dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$W = V \times SSD \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

W = Berat agregat kasar (gr)

V = Volume agregat kasar (cm)

SSD = Berat jenis permukaan agregat kasar (gr)

4. Perkiraan kadar agregat halus

Prosedur yang dapat digunakan untuk menentukan agregat halus adalah metoda berdasarkan berat atau metoda berdasarkan volume absolut. Bila berat persatuan volume beton dapat dianggap atau diperkirakan dari pengalaman, maka berat agregat halus yang dibutuhkan adalah perbedaan dari berat beton segar dan berat total dari bahan-bahan lainnya. Umumnya, berat satuan dari beton telah diketahui dengan ketelitian cukup dari pengalaman sebelumnya yang memakai bahan yang sama. Dalam hal informasi semacam ini tidak diperoleh, Tabel 3.2 dapat digunakan untuk perkiraan awal. Sekalipun bila perkiraan berat beton per m^3 tadi adalah perkiraan cukup kasar, proporsi campuran akan cukup tepat

untuk memungkinkan penyesuaian secara mudah berdasarkan campuran percobaan.

Tabel 3. 2 Perkiraan awal berat beton segar (*Sumber: SNI 7656:2012*)

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m ³	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Untuk mendapatkan volume agregat halus yang disyaratkan, satuan volume beton dikurangi jumlah seluruh volume dari bahan-bahan yang diketahui, yaitu air, udara, bahan yang bersifat semen, dan agregat kasar. Volume beton adalah sama dengan berat beton dibagi densitas bahan.

E. Teknik Pengumpulan Data

1. Data Primer

Data yang diperoleh melalui eksperimen di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare. Penelitian ini berfokus pada variasi campuran dari limbah marmer yang akan dijadikan sebagai pengganti sebagian agregat kasar. Jumlah sampel yang dibutuhkan padasetiap variasi adalah:

- a. Beton Normal
- b. Campuran limbah marmer ukuran 0,5-1 cm.
- c. Campuran limbah marmer ukuran 1-2 cm.

Tabel 3. 3 Variasi campuran limbah marmer untuk kuat tekan beton

Variasi Campuran Beton	Umur Hari Beton			Jumlah
	Kuat Tekan			
	7	4	28	
Beton Normal	3	3	3	9
Beton + 50 % Limbah Marmer ukuran 0,5-1 cm.	3	3	3	9
Beton + 50 % Limbah Marmer ukuran 1-2 cm.	3	3	3	9
Total				27

2. Data sekunder

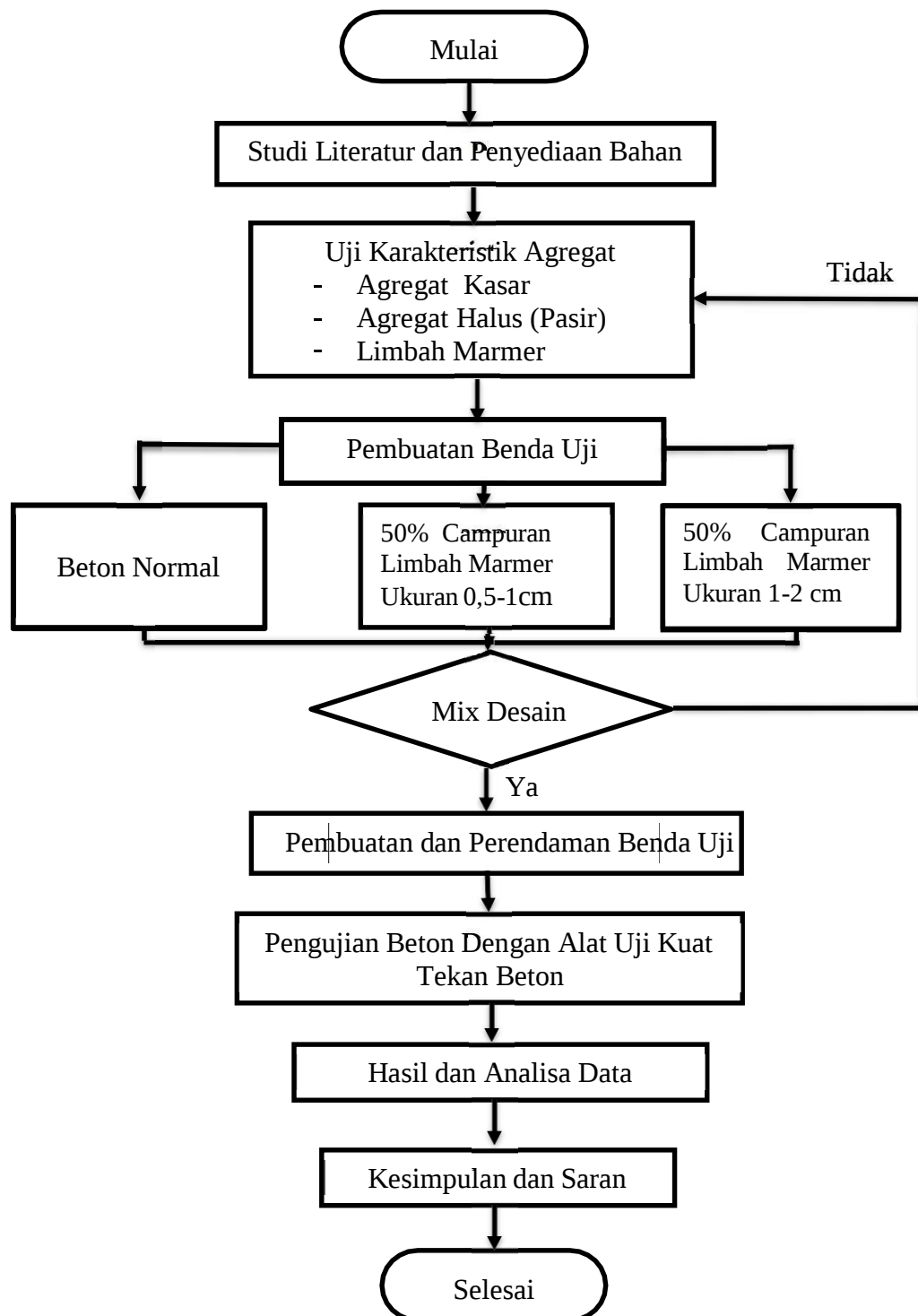
Data sekunder sebagai pendukung merupakan gambaran pada daerah studi. Pengumpulan data sekunder merupakan pengumpulan data secara tidak langsung dari sumber/objek. Data diperoleh dari tulisan seperti buku teori, buku laporan, peraturan-peraturan, dan dokumen baik yang berasal dari instansi terkait maupun hasil kajian literature.

F. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dipakai pada penelitian ini menggunakan analisa parametrik deskriptif. Data hasil uji kuat tekan beton diperoleh dari pembagian antara beban maksimum benda uji dengan luas penampang benda uji. Jumlah sampel yang akan diuji 36 sampel dan variasi benda uji beton normal, campuran limbah marmer ukuran 0,5-1 cm sebanyak 50 %, campuran limbah marmer ukuran 1-2 cm sebanyak 50 %. Selanjutnya data akan disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menimbang berat benda uji sebelum pengujian dilakukan.
2. Meletakkan benda uji pada *Universal Testing Machine*.
3. Menghidupkan *Universal Testing Machine* dan benda uji akan mengalami penambahan beban dari masing-masing benda uji secara bergantian sehingga dapat dibaca besarnya kekuatan tekan yang ditunjukkan dengan manometer.
4. Benda uji akan retak apabila beban yang diberikan telah mencapai batas maksimum dari beban yang mampu ditahan benda uji. Pada saat retak, jarum manometer akan berhenti pada titik maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji

G. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 2 Bagan alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Agregat

Sebelum memasuki tahap perancangan campuran (mix design) terlebih dahulu dilakukan pengujian atau pemeriksaan material yang akan digunakan. Pengujian agregat berdasarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dilakukan terhadap agregat kasar dan agregat halus. Hasil pengujian agregat ditunjukkan pada rekapitulasi dari percobaan-percobaan yang dilakukan di Laboratorium, yaitu sebagai berikut:

1. Agregat Halus

Tabel 4.1 Rekapitulasi hasil pengujian agregat halus (Hasil Olah Data Laboratorium Teknik Sipil 2024)

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KET.
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 5%	2.8%	2.2%	2.50%	Memenuhi
2	Kadar organik	< No. 3	No. 2	No. 2	No. 2	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	2.04%	4.17%	3.10%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1.42	1.39	1.41	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1.50	1.51	1.50	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	1.63%	2.04%	1.83%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					

Lanjutan tabel 4.1

	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2.56	2.58	2.57	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2.46	2.45	2.46	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2.50	2.50	2.50	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	3.30	3.10	3.20	Memenuhi

Dari pengujian agregat halus diatas didapatkan hasil sebagai berikut.

a. Kadar lumpur agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar lumpur agregat halus diatas yaitu 2,50%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu lebih kecil dari 5% yang menunjukkan bahwa material agregat halus tersebut dapat digunakan untuk campuran beton tanpa melalui proses pencucian terlebih dahulu.

b. Kadar organik agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar organik agregat halus diatas sampel menunjukkan warna kekeruhan di angka No.2 pada standar warna yang menunjukkan bahwa material agregat halus tersebut memiliki tingkat kadar organik terbilang rendah sehingga dapat digunakan dalam campuran beton tanpa perlu dicuci terlebih dahulu.

c. Kadar air agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar air agregat halus di atas yaitu 3,10%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 2,00%-5,00% yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

d. Berat volume agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian berat volume agregat halus kondisi lepas diatas yaitu 1,41 sedangkan pengujian berat volume agregat halus kondisi padat yaitu 1,50, dari ke 2 (dua) hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 1,4-1,9 kg/liter yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

e. Penyerapan air agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian penyerapan air agregat halus di atas yaitu 1,83%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval dari 0,2%-2% yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

f. Berat jenis agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian berat jenis nyata diatas yaitu 2,57, berat jenis kering yaitu 2,46, dan berat jenis kering permukaan yaitu 2,50, dari ke 3 (tiga) hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 1,6-3,3 kg/liter yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

g. Modulus kehalusan agregat

Hasil yang didapatkan dari pengujian modulus kehalusan agregat halus diatas yaitu 3,20, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu berada diantara interval 1,50-3,80 yang menandakan bahwa material agregat halus (pasir) tersebut dapat digunakan untuk campuran beton.

2. Agregat Kasar

Tabel 4.2 Rekapitulasi hasil pengujian agregat kasar (Hasil Olah Data Laboratorium Teknik Sipil 2024)

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KET.
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 1%	1.0%	0.59%	0.79%	Memenuhi
2	Keausan	Maks 50%	29.6%	21.6%	25.6%	Memenuhi
3	Kadar air	0,5% - 2%	1.52%	2.46%	1.99%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/liter	1.61	1.74	1.67	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/liter	1.70	1.75	1.72	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 4 %	2.15%	1.63%	1.89%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2.56	2.89	2.73	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2.42	2.76	2.59	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2.48	2.81	2.64	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	6.71	6.72	6.72	Memenuhi

Dari pengujian agregat kasar diatas didapatkan hasil sebagai berikut.

a. Kadar Lumpur

Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar lumpur agregat kasar diatas didapatkan hasil 0,79%, hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi yaitu lebih kecil dari 1% yang menunjukkan bahwa material agregat kasar tersebut dapat digunakan untuk campuran beton tanpa melalui proses pencucian terlebih dahulu.

b. Keausan Agregat

Dari pengujian tingkat keausan agregat kasar menggunakan mesin *Los Angeles* diatas didapatkan hasil 25,6% yang nilainya lebih kecil dari 50% sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

c. Kadar Air

Dari pengujian kadar air diatas didapatkan hasil 1,99% yang nilainya lebih kecil dari 2 % sehingga agregat kasar dapat digunakan pada campuran beton.

d. Berat Volume

Dari pengujian berat volume rongga agregat kasar didapatkan hasil 1,67 sedangkan pada pengujian berat volume padat didapatkan hasil 1,72 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6 – 1,9 kg/liter sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

e. Penyerapan Air

Dari pengujian penyerapan air agregat kasar diatas didapatkan hasil 1,89% yang nilainya masih dalam interval maksimum 4% sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

f. Berat Jenis

Dari pengujian berat jenis nyata didapatkan hasil 2,73. Berat jenis kering didapatkan nilai sebesar 2,59. Dan untuk berat jenis kering permukaan didapatkan hasil pengujian sebesar 2,64 yang keseluruhan nilainya masih dalam interval 1,6– 3,3 sehingga agregat kasar dapat dijadikan bahan campuran beton.

g. Modulus Kehalusan

Berdasarkan spesifikasi karakteristik agregat kasar SNI, interval untuk modulus kehalusan yaitu berada antara 6,0-8,0. Sedangkan hasil yang diperoleh dari penelitian yaitu 6,72 adalah sesuai dengan spesifikasi. Jadi agregat tersebut dapat digunakan dalam campuran beton.

B. Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

Perencanaan campuran beton dihitung menggunakan metode SNI 7656:2012 dengan hasil data sebagai berikut :

Diketahui data material:

Mutu beton	= 25 Mpa
<i>Slump</i>	= 75 – 100 mm
Ukuran agregat maksimum	= 20
Berat kering oven agregat kasar	= 1.722
Berat jenis semen tanpa tambahan udara	= 3.08
Modulus kehalusan agregat halus	= 3.20
Berat jenis (SSD) agregat halus	= 2.50
Berat jenis (SSD) agregat kasar	= 2.64
Penyerapan air agregat halus	= 1.83%
Penyerapan air agregat kasar	= 1.89%
Kadar Air agregat halus	= 3.10%
Kadar Air agregat kasar	= 1.99%
Vol. Semen OPC	= 3.18

Kuat dasar rencana dengan rumus :

$$R_r = F_c \times g$$

$$= 25 \times 9,81$$

$$= 245,25 \text{ Kg/cm}^2$$

Dimana : R_r = Kuat Rencana

F_c = Mutu Beton

g = Percepatan Gravitasi

1. Margin

Hitung kuat tekan rata-rata beton, dengan kuat tekan rata-rata yang disyaratkan dan nilai margin tergantung dari tingkat pengawasan mutu.

Nilai margin (m) ditetapkan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Margin} = 1,64 \times S_d$$

Ket : S_d = Standar Deviasi

Tabel 4. 3 Tabel nilai koefisien penyesuaian k dan besar presentase destruktif (*Sumber: SNI 03-2834-2000*)

Koefisien Penyesuaian k	% Destruktif
1.28	10
1.64	5
1.96	1.5
2.33	1.0
2.58	0.5
2.88	0.2

Tabel 4. 4 Tabel nilai deviasi (kg/cm^2) untuk berbagai volume pekerjaan dan mutu pelaksanaan di lapangan
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Volume pekerjaan		Mutu Pelaksanaan		
Klasifikasi	m^3	Baik sekali	Baik	Cukup
Kecil	< 1000	$45 < s \leq 55$	$55 < s \leq 65$	$65 < s \leq 85$
Sedang	1000-3000	$35 < s \leq 45$	$45 < s \leq 55$	$55 < s \leq 75$
Besar	> 3000	$25 < s \leq 35$	$35 < s \leq 45$	$45 < s \leq 65$

$$\text{Rumus Standar Deviasi : } Sd = \sqrt{\frac{\sum_i^n (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_i^{27} (494)^2}{27-1}}$$

$$Sd = 4,356 \text{ Kg/cm}^2$$

Keterangan :

n = Jumlah sampel

sd = Standar deviasi (Kg/cm^2)

$\bar{x}$ = Rata-rata kuat tekan (Kg/cm^2)

xi = Kuat tekan perbenda uji (Kg/cm^2)

Standar deviasi (Sd) = $4,356 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$

Margin = $1,64 \times Sd$

= $1,64 \times 4,356$

= $7,145 \text{ Kg/cm}^2$

2. Kuat beton rencana (f_{cr})

Dengan rumus :

$$f_{cr} = \frac{f_c + (1,64 \times M)}{g}$$

$$= \frac{252,393}{9,81}$$

$$= 26 \text{ Mpa}$$

Ket : f_{cr} = Kuat beton rencana

g = Percepatan gravitasi

3. Volume air yang diperlukan tiap m^3 adukan beton

Tabel 4.5 Volume air yang diperlukan tiap m^3 adukan beton untuk berbagai nilai *slump* dan ukuran agregat maksimum (Sumber: SNI 7656:2012).

Air (kg/m^3) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
Slump (mm)	5,5 mm	12,7 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Beton tanpa tambahan udara								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
> 175*	-	-	-	-	-	-	-	-
banyaknya udara dalam beton (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Beton dengan tambahan udara								
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
>175*	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah kadar udara yang disarankan untuk tingkat paparan sebagai berikut: ringan (%)	4,5	4	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5*** +	1,0*** +
sedang (%)	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5*** +	3,0*** +
berat (%)	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5*** +	4,0*** +

Bila ditabel tidak ditemukan data maka dilakukan perhitungan interpolasi berdasarkan ukuran agregat maksimum dan nilai *slump* dengan ukuran agregat maksimum yaitu 20 yang berada diantara 19-25 mm.

Rumus interpolasi:

1. Kebutuhan air

Dengan rumus :

$$X = X1 + \frac{(Y-Y1)}{(Y2-Y1)}(X2 - X1)$$

Diketahui:

$$X = ?$$

$$Y = 20$$

$$X1 = 193$$

$$Y1 = 25$$

$$X2 = 205$$

$$Y2 = 19$$

$$X(Air) = 193 + \frac{(20-25)}{(19-25)}(205 - 193)$$

$$= 203,0 \%$$

2. Kadar udara

Dengan Rumus :

$$X = X1 + \frac{(Y - Y1)}{(Y2 - Y1)}(X2 - X1)$$

Diketahui:

$$X = ?$$

$$Y = 20$$

$$X1 = 1,5 \%$$

$$Y1 = 25$$

$$X2 = 2 \%$$

$$Y2 = 19$$

$$X(Kadar\ udara) = 1,5 + \frac{(20-25)}{(19-25)}(2 - 1,5)$$

$$= 1,9 \%$$

Air	
25.0	193.0
20.0	?
19.0	205.0
x =	203.0

Udara

25.0	1.5 %
20.0	?
19.0	2 %
x =	1.9 %

3. Penentuan Faktor Air Semen (FAS)

Tabel 4.6 Faktor Air Semen (ltr/kg semen) untuk berbagai jenis konstruksi dan keadaan cuaca (Sumber: SNI 7656:2012).

Kekuatan beton umur 28 hari, Mpa	Rasio Air Semen (Berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Penentuan Faktor Air Semen

Dengan Rumus :

$$X = X_1 + \frac{(Y - Y_1)}{(Y_2 - Y_1)} (X_2)$$

Diketahui:

$$X = ? \quad Y = 35.03$$

$$X_1 = 0,42 \quad Y_1 = 40$$

$$X_2 = 0,47 \quad Y_2 = 35$$

$$= 0.470 \text{ Kg.}$$

40.0	0.42
35.03	?
35.0	0.47
x =	0.470

4. Berat semen tiap 1 m³ beton

$$W_{\text{air}} = 203 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{semen}} &= \frac{W_{\text{air}}}{FAS} \\ &= \frac{203}{0,469} \\ &= 432,20 \text{ kg/m}^3 \\ &= \frac{w_{\text{Semen}}}{1000} \\ &= \frac{432,835}{1000} = 0,432 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. semen} &= \frac{W_{\text{semen (ton)}}}{\text{Berat jenis semen}} \\ &= \frac{0,411}{3,08} \\ &= 0,140 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Ket : W = Berat (Kg)

FAS = Faktor Air Semen

5. Berat kerikil tiap 1 m³ beton

Tabel 4.7 Volume agregat tiap satuan volume adukan beton
(Sumber: SNI 7656:2012).

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven* per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,8	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

a. Kerikil A

Diketahui:

$$X = ?$$

$$Y = 20$$

$$X1 = 0,62$$

$$Y1 = 19$$

$$X2 = 0,67$$

$$Y2 = 25$$

Dengan Rumus :

$$X = X1 + \frac{(Y - Y1)}{(Y2 - Y1)} (X2 - X1)$$

$$x \text{ (kerikil A)} = 0,62 + \frac{(20-19)}{25-19} (0,67 - 0,62)$$

$$= 0,628 \text{ Kg}$$

19.0	0.62
20.00	?
25.0	0.67
x =	0.628

b. Kerikil B

Diketahui:

$$X = ?$$

$$Y = 20$$

$$X1 = 0,60$$

$$Y1 = 19$$

$$X2 = 0,65$$

$$Y2 = 25$$

Dengan Rumus :

$$X = X1 + \frac{(Y - Y1)}{(Y2 - Y1)} (X2 - X1)$$

$$x \text{ (kerikil B)} = 0,60 + \frac{(20-19)}{25-19} (0,65 - 0,60)$$

$$= 0,608 \text{ Kg}$$

19.0	0.600
20.00	?
25.0	0.650
x =	0.608

c. Kerikil A dan B

Diketahui:

$$X = ?$$

$$Y = 3,20$$

$$X1 = 0,608$$

$$Y1 = 3,00$$

$$X2 = 0,620$$

$$Y2 = 2,80$$

Dengan Rumus :

$$X = X1 + \frac{(Y - Y1)}{(Y2 - Y1)} (X2 - X1)$$

$$x \text{ (kerikil AB)} = 0,608 + \frac{(3,20 - 3,0)}{2,80 - 3,0} (0,620 - 0,608)$$

$$= 0,597 \text{ Kg}$$

3.0	0.608
3.20	?
2.8	0.620
x =	0.597

6. Berat absolute pasir tiap 1 m³ beton

$$\text{Volume Air} = 203 \text{ kg}$$

$$= \frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Jenis Air}}$$

$$= \frac{203 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,203 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume semen} = 432 \text{ kg}$$

$$= \frac{\text{Berat semen}}{\text{Berat Jenis Semen} \times 1000}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{432}{3,08 \times 1000} \\
 &= 0,140 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume absolute Agregat Kasar} &= 1027.840 \text{ kg} \\
 &= \frac{\text{Berat Agregat kasar}}{\text{Berat Jenis Agregat kasar} \times 1000} \\
 &= \frac{1027.840}{2,69 \times 1000} \\
 &= 0,389 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume udara terperangkap} &= 1,9\% \\
 &= 1 \text{ m}^3 \times 1,9\% \\
 &= 0,019 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Jumlah volume padat selain agregat Halus

$$\begin{aligned}
 V_{\text{tot}} &= \text{Volume air} + \text{volume semen} + \text{volume agregat kasar} + \text{volume udara} \\
 &= 0,203 + 0,140 + 0,389 + 0,019 \\
 &= 0,752 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Agregat Halus} &= 1 - \text{Volume total} \\
 &= 1 - 0,752 \\
 &= 0,248 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat halus kering} &= \text{Volume agregat halus} \times (\text{Berat jenis agregat halus} \\
 &\quad \times 1000) \\
 &= 0,248 \times (2,50 \times 1000) \\
 &= 621,2 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

7. Perkiraan berat pasir tiap 1 m³ beton

Tabel 4.8 Perkiraan awal berat beton (Hasil Olah Data Laboratorium Teknik Sipil 2024)

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m ³	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tanbahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Berdasarkan data diatas maka perkiraan berat beton adalah 2350

Sehingga :

Air (Berat bersih)	=	203
Semen	=	432
Agregat kasar	=	1028 +
Jumlah	=	1663
Maka berat agregat halus adalah	=	2350 – 1663
	=	687 kg

8. Koreksi terhadap kadar air

dilakukan sebelum hendak melakukan proses pencampuran untuk pengujian kadar air bisa dilihat pada SNI 03-1971-1990

Kadar air didapat :

Agregat kasar = 1.99%

Agregat halus = 3.10%

Sehingga berat (massa) penyesuaian berdasarkan kadar air adalah

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat kasar (Basah)} &= \text{Agregat kasar (Basah)} \times \text{Kadar air agregat kasar} \\
 &= 1027 \times 1,99\% \\
 &= 20,464 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat halus (Basah)} &= \text{Agregat halus (Basah)} \times \text{Kadar air agregat halus} \\
 &= 686 \times 3,10\% \\
 &= 21,322 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Air yang diserap tidak menjadi bagian dari air pencampur dan harus dikeluarkan dari penyesuaian dalam air yang ditambahkan.

Maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Air yang diberikan Agregat kasar} &= \text{Penyerapan air Agregat kasar} \times \text{Agregat} \\
 &\quad \text{kasar (Basah)} \\
 &= 1,83\% \quad \times \quad 1027,84 \\
 &= 18,845
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Air yang diberikan agregat halus} &= \text{Penyerapan air agregat halus} \times \\
 &\quad \text{Agregat halus (Basah)} \\
 &= 1,89\% \quad \times \quad 686,963 \\
 &= 12,953
 \end{aligned}$$

Dengan demikian kebutuhan air yang ditambahkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Air}_{\text{koreksi}} &= \text{Air} - \text{Total berat massa} + \text{Total penyerapan air} \\
 &= 203,0 - 41,8 + 31,798 \\
 &= 193,012 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

Maka perkiraan 1 m³ beton adalah sebagai berikut

Air (Yang ditambahkan)	= 193.012 Kg
Semen	= 410.932 Kg
Agregat Kasar	= 1029.459 Kg
Agregat Halus	= 695.332 Kg
Jumlah	= 2328.736 Kg

9. Kebutuhan campuran bahan untuk 1 m³ beton

Tabel 4.9 Perkiraan awal berat beton (Hasil Olah Data Laboratorium Teknik Sipil 2024)

Kebutuhan Campuran Beton	Berdasarkan Koreksi terhadap kadar air (kg)	Berdasarkan perkiraan massa beton (kg)	Berdasarkan volume absolute (kg)
Air (berat bersih)	193.0	203.0	203.0
Semen	410.9	432.2	432.2
Agregat Kasar (kering)	1029.5	1027.8	1027.8
Agregat Halus (kering)	695.3	687.0	621.2

10. Kebutuhan Bahan Pembuatan Benda Uji Silinder Beton :

kebutuhan beton 1 silinder

$$\text{Diameter (d)} = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (h)} = 0.30 \text{ m}$$

$$\text{Jari-jari } (\pi) = 3.14 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 1 silinder} &= \frac{1}{4} \pi d^2 h \\ &= \frac{1}{4} 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0.0053014 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume total silinder} &= \text{Volume 1 silinder} \times \text{Jumlah beton silinder} \\ &= 0,0053014 \text{ m}^3 \times 12 \end{aligned}$$

$$= 0.06361725 \text{ m}^3$$

Ada lima bahan komposisi beton yang digunakan dalam 1 meter kubik, yaitu air sekitar 9%, agregat halus sekitar 35%, agregat kasar sekitar 40%, udara sekitar 1%, dan semen sekitar 15%. Agar tidak terjadi kekurangan bahan maka diperlukan penambahan volume silinder sebesar 15 %.

$$\text{Volume tambahan} = \text{volume 12 silinder} \times 15 \%$$

$$= 0.0636172 \text{ m}^3 \times 15 \%$$

$$= 0.0095425 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume total} = \text{Volume total silinder} + \text{Volume tambahan}$$

$$= 0.06361725 \text{ m}^3 + 0.0095425 \text{ m}^3$$

$$= 0,073159839 \text{ m}^3.$$

Tabel 4.10 Kebutuhan bahan untuk 12 silinder beton (Hasil Olah Data Laboratorium Teknik Sipil 2024)

Kebutuhan Bahan	Berdasarkan Koreksi terhadap kadar air (kg)	Berdasarkan perkiraan massa beton (kg)	Berdasarkan volume absolute (kg)
W semen	30.06 Kg	31.62 Kg	31.62 Kg
W pasir	50.87 Kg	50.26 Kg	45.45 Kg
W kerikil	75.32 Kg	75.20 Kg	75.20 Kg
W air	14.12 Kg	14.85 Kg	14.85 Kg

11. Kebutuhan Setiap Benda Uji :

a. Untuk beton normal

Diketahui ukuran silinder = 15 x 30 cm

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter (d)} &= 0.15 \text{ m} \\
 \text{Tinggi (h)} &= 0.30 \text{ m} \\
 \text{Jari-jari } (\pi) &= 3,14 \text{ m} \\
 \text{Vol} &= \frac{1}{4}\pi d^2 h \\
 &= \frac{1}{4} 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30 \\
 &= 0.00530144 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Agar tidak terjadi kekurangan bahan maka diperlukan penambahan volume silinder sebesar 15%

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tambahan} &= \text{Volume 1 silinder} \times 15\% \\
 &= 0.0053014 \text{ m}^3 \times 15\% \\
 &= 0.000795 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume total 1 silinder} &= \text{Volume 1 silinder} + \text{Volume tambahan} \\
 &= 0.0053014 \text{ m}^3 + 0.000795 \text{ m}^3 \\
 &= 0.006096 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 4.11 Kebutuhan bahan untuk beton normal (Hasil Olah Data Laboratorium Teknik Sipil 2024)

Kebutuhan bahan	Kebutuhan persatu kubik beton	Kebutuhan persatu selinder beton	Kebutuhan 9 selinder
W semen	401.50 Kg	2.13 kg	22.03 Kg
W pasir	561.61 Kg	2.98 kg	30.82 Kg
W kerikil	1223.31 Kg	6.49 kg	67.12 Kg
W air	214.58 Kg	1.14 kg	11.77 Kg

b. Untuk variasi agregat marmer

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Agregat kasar} &= \text{Berat Kerikil} / \text{Berat Beton} \\
 &= 1223.3 / 2.401
 \end{aligned}$$

$$= 0.51 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume Agregat Marmer} = \text{Volume Agregat kasar} \times 50 \%$$

$$= 0.510 \text{ m}^3 - 50 \%$$

$$= 0.255 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat Agregat Marmer} = \text{Vol Agregat marmer} \times \text{BV.Marmer}$$

$$= 0,255 \text{ m}^3 \times 1719.61$$

$$= 438.071 \text{ m}^3$$

Tabel 4.12 Kebutuhan bahan untuk variasi 50% agregat marmer (Hasil Olah Data Laboratorium Teknik Sipil 2024)

Kebutuhan bahan	kebutuhan persatu kubik beton	kebutuhan persatu selinder beton	kebutuhan 9 selinder
W semen OPC	401.50 kg	2.13 kg	22.03 kg
W pasir	561.61 kg	2.98 kg	30.82 kg
W kerikil	438.6 kg	2.33 kg	24.07 kg
W marmer	438.1 kg	2.32 kg	24.04 kg
W air	214.58 kg	1.14 kg	11.77 kg

C. Uji Slump

Uji slump adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui besaran kekentalan adukan beton segar. Kekakuan dalam suatu campuran beton menunjukkan berapa banyak air yang digunakan. Untuk itu uji slump menunjukkan apakah campuran beton kekurangan, kelebihan, atau cukup air.

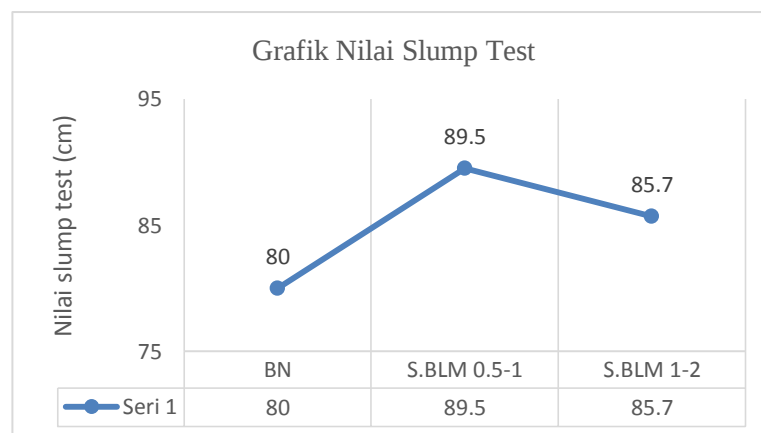
Berdasarkan SNI 03-2834-2000. Slump dapat dilakukan di laboratorium ataupun dilapangan biasanya ketika *ready mix design* sampai dan pengujian setiap dating. Hasil dari slump tes beton yaitu nilai slump yang tertera dinyatakan dalam satuan internasional dan memiliki standar.

Tabel 4.13 Hasil pengujian nilai *Slump test* (Hasil Olah Data Laboratorium Teknik Sipil 2024)

No	Variasi Campuran beton	Waktu campur (menit)	<i>Slump</i> rencana (mm)	<i>Slump</i> rata-rata lapangan (mm)
1	BN	± 10	75 – 100	80.0
2	BLM _{0.5-1}			89.5
3	BLM ₁₋₂			85.7

Berdasarkan hasil pengujian slump pada tabel di atas dimana pada beton normal dan penambahan marmer didapatkan nilai *Slump test* yang memenuhi *slump* rencana, didapatkan nilai slump untuk campuran Limbah Marmer ukuran 0.5-1 sebesar 89.5 mm, untuk campuran Limbah Marmer 1-2 cm sebesar 85.7 mm.

Maka dapat disimpulkan bahwa beton yang telah dicampur dapat digunakan karena tidak melewati batas maksimal nilai slump.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan nilai *slump* pada setiap variasi
(Hasil Olah Data Laboratorium Teknik Sipil 2024)

D. Kuat Tekan

Setelah melakukan pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan benda uji tersebut. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari dengan sebanyak 27 sampel yang terdiri dari 3 variasi campuran yaitu beton normal, marmer ukuran 0,5-1 cm, marmer ukuran 1-2 cm. Untuk masing-masing variasi campuran dibuat 9 sampel untuk kuat tekan silinder dengan ukuran benda uji 15 x 30 cm. Sebelum melakukan uji kuat tekan beton maka terlebih dahulu melakukan penimbangan benda uji untuk setiap variasi yang akan dijadikan sampel uji.

Adapun hasil dari pengujian kuat tekan yang terdiri dari beton normal, marmer ukuran 0,5-1 cm, marmer ukuran 1-2 cm yaitu sebagai berikut :

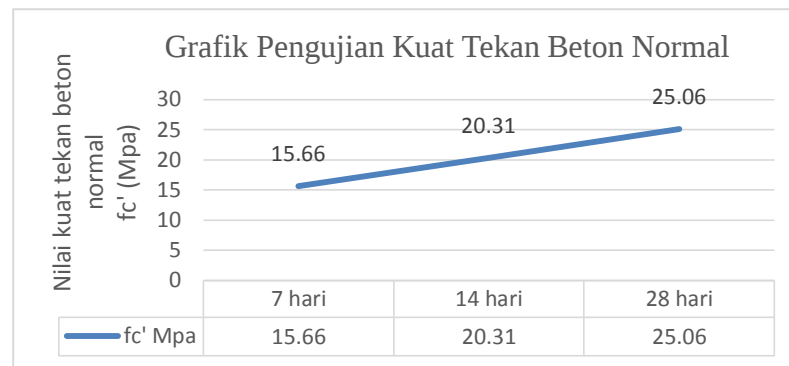
1. Beton normal

Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan pada beton normal yang didapatkan pada pengujian 7, 14 dan 28 hari ialah sebagai berikut :

Tabel 4.14 Hasil rata-rata uji kuat tekan beton normal (Hasil Olah Data Laboratorium Teknik Sipil 2024)

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'_c (MPa)
1	7 Hari	11.94	276.67	15.66
2	14 Hari	12.21	358.66	20.31
3	28 Hari	12.41	442.66	25.06

Pada pengujian sampel dengan beton normal dengan jumlah rata-rata sampel didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 4.2 Grafik pengujian kuat tekan beton normal (Hasil Olah Data 2024)

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa beton normal mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 20.31 Mpa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 25.06 Mpa.

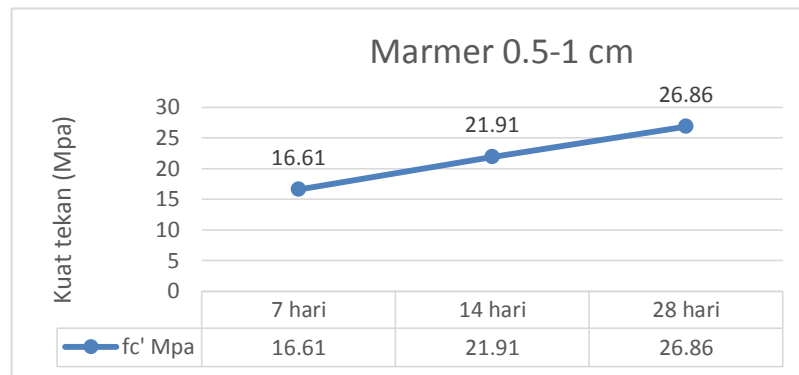
2. Variasi marmer 0,5-1 cm

Berdasarkan hasil penelitian, rata-rata kuat tekan pada beton dengan variasi marmer 0,5-1 cm yang didapat pada pengujian 7, 14 dan 28 hari ialah sebagai berikut:

Tabel 4.15 Hasil rata-rata uji kuat tekan beton variasi marmer 0,5-1 cm (Hasil Olah Data Laboratorium Teknik Sipil 2024)

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	7 Hari	12.13	293	16.61
2	14 Hari	12.31	387	21.91
3	28 Hari	12.39	474	26.86

Pengujian sampel rata-rata beton variasi marmer 0.5-1 cm didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 4.3 Grafik pengujian kuat tekan variasi marmer 0,5-1 cm (Hasil Olah Data Laboratorium Teknik Sipil 2024)

Pada grafik diatas dijelaskan bahwa beton dengan campuran 50% variasi marmer ukuran 0,5-1 cm mengalami peningkatan kuat tekan dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 21.91 Mpa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 26.86 Mpa.

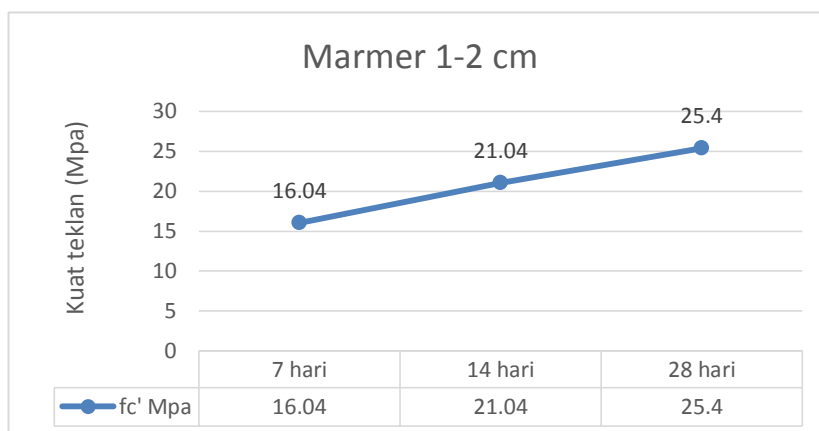
3. Variasi marmer 1-2 cm

Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan pada beton dengan variasi marmer 1-2 cm yang didapat pada pengujian 7, 14 dan 28 hari ialah sebagai berikut:

Tabel 4.16 Hasil rata-rata uji kuat tekan beton variasi marmer 1-2 cm (Hasil Olah Data Laboratorium Teknik Sipil 2024)

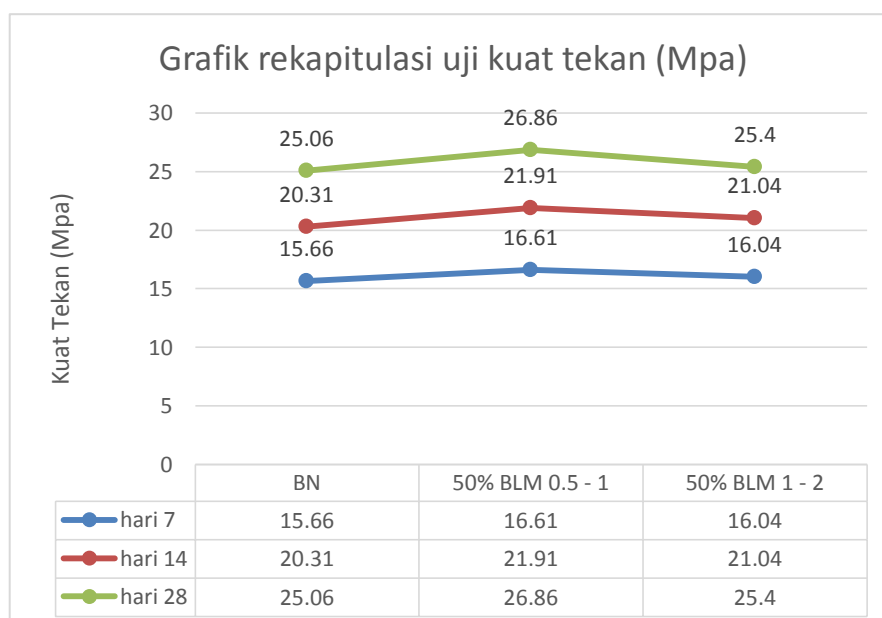
No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c (MPa)
1	7 Hari	12.13	283	16.04
2	14 Hari	12.31	371	21.04
3	28 Hari	12.32	448	25.40

Pengujian sampel rata-rata beton variasi marmer 1-2 cm didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.4 Grafik pengujian kuat tekan variasi marmer 1-2 cm. (Hasil Olah Data Laboratorium Teknik Sipil 2024)

Pada grafik diatas dijelaskan bahwa beton dengan campuran 50% variasi marmer ukuran 1-2 cm mengalami penurunan kuat tekan dari beton campuran marmer 0.5-1 cm, dari umur 7 hari ke umur 14 hari sebesar 21.04 Mpa sedangkan untuk umur 14 hari ke 28 hari sebesar 25.40 Mpa.



Gambar 4.5 Grafik rekapitulasi uji kuat tekan beton (Hasil Olah Data
Laboratorium Teknik Sipil 2024)

Pada grafik diatas didapatkan kuat tekan pada umur beton 7 hari dengan tambahan limbah marmer 0.5 – 1 cm didapatkan hasil kuat tekan sebesar 16.61 Mpa, sedangkan beton dengan tambahan limbah marmer 1 – 2 cm didapatkan hasil kuat tekan sebesar 16.04 Mpa.. Pada umur beton 14 hari dengan tambahan limbah marmer 0.5 – 1 cm didapatkan hasil kuat tekan sebesar 21.91, sedangkan beton dengan tambahan limbah marmer 1 – 2 cm didapatkan hasil kuat tekan sebesar 21.04 Mpa. Pada umur beton 28 hari dengan tambahan limbah marmer 0.5 – 1 cm didapatkan hasil kuat tekan sebesar 26.86 Mpa, sedangkan beton dengan tambahan limbah marmer 1 – 2 cm didapatkan hasil kuat tekan sebesar 25.40 Mpa. Maka penggunaan limbah marmer dapat memberikan pengaruh kuat tekan pada beton normal. Dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran agregat kasar yang digunakan semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan

Sesuai dengan riset Samsul, Mustakim, Kasmaida (2023) mengenai ukuran butir agregat kasar terhadap kapasitas kuat tekan dan nilai slump beton porous diperoleh kuat tekan pada variasi 0.5-1 cm sebesar 6.13 Mpa, ukuran agregat 1-2 cm sebesar 5.47 Mpa, dan ukuran agregat 2-3 cm sebesar 5.00 Mpa. Dapat disimpulkan bahwa pada penelitian tersebut semakin kecil ukuran agregat maka semakin besar nilai kuat tekannya.

Dalam penelitian Ika Sulianti, Amiruddin, Rio Shaputra, Daryoko (2018) mengenai analisis pengaruh besar butiran agregat terhadap kuat tekan beton normal didapatkan adanya pengaruh kuat tekan beton yang dihasilkan dari besar

butiran agregat kasar yang berbeda-beda. Dimana semakin besar butir agregat kasar yang digunakan maka kuat tekan yang dihasilkan semakin kuat.

Hasil penelitian Martha Manganta, Mardiana Amir B mengenai pengaruh ukuran butir maksimum agregat kasar terhadap kuat tekan beton mutu tinggi juga didapatkan beton ukuran butir maksimum 10 mm diperoleh 37 Mpa, ukuran butir 20 mm diperoleh 41 Mpa, dan ukuran butir maksimum 40 mm diperoleh 49 Mpa. Hal ini menunjukkan semakin besar ukuran butir agregat nilai kuat tekan yang dihasilkan semakin besar. Hal ini disebabkan semakin besar ukuran butir agregat maka luas permukaan agregat semakin kecil sehingga membutuhkan semen semakin sedikit untuk mengikat butir-butir agregat. Agregat dengan ukuran butir yang kecil mempunyai luas permukaan yang besar sehingga membutuhkan semen yang banyak untuk mengikat butir agregat.

Dalam penelitian ini juga nilai kuat tekan beton paling besar didapatkan pada umur beton 28 hari sebesar 26.86 Mpa dengan variasi 50% limbah marmer ukuran 0.5-1 cm.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Adapun pengaruh limbah marmer terhadap kuat tekan beton yang dimulai dari kuat tekan beton normal, penambahan limbah marmer 0.5-1 cm dan penambahan limbah marmer 1-2 cm untuk umur 7 hari perubahannya 15.66 Mpa menjadi 16.61 Mpa kemudian naik lagi menjadi 16.04 Mpa. Untuk umur 14 hari 20.31 Mpa menjadi 21.91 Mpa kemudian meningkat menjadi 21.04 Mpa. Untuk umur 28 hari kuat tekan beton normal 25.05 Mpa kemudian 0.5-1 cm limbah marmer meningkat menjadi 26.86 Mpa kemudian untuk penambahan limbah marmer ukuran 1-2 cm kuat tekannya menjadi 25.4 Mpa. Dari keterangan tersebut terlihat untuk penambahan limbah marmer ukuran 0.5-1 cm terjadi peningkatan kuat tekan. Pada rendaman 14 hari terjadi kenaikan kemudian untuk 28 hari terjadi penurunan kuat tekan beton dengan campuran limbah marmer ukuran 1-2 cm. Hal tersebut dipengaruhi oleh penambahan limbah marmer yang lebih besar dengan waktu perendaman yang lebih lama yaitu 28 hari.
2. Dari hasil penggantian agregat kasar dengan menggunakan limbah marmer didapatkan perbandingan kuat tekan pada umur beton 7 hari dengan tambahan limbah marmer 0.5 – 1 cm sebesar 16.61 Mpa, sedangkan beton dengan

tambahan limbah marmer 1 – 2 cm sebesar 16.04 Mpa.. Pada umur beton 14 hari dengan tambahan limbah marmer 0.5 – 1 cm didapatkan hasil kuat tekan sebesar 21.91 Mpa, sedangkan beton dengan tambahan limbah marmer 1 – 2 cm sebesar 21.04 Mpa. Pada umur beton 28 hari dengan tambahan limbah marmer 0.5 – 1 cm didapatkan hasil kuat tekan sebesar 26.86 Mpa, sedangkan beton dengan tambahan limbah marmer 1 – 2 cm sebesar 25.40 Mpa.

B. Saran

Dari kesimpulan diatas, peneliti memberikan saran untuk pengujian selanjutnya, yaitu:

- a. Untuk penggunaan campuran limbah marmer dipengaruhi oleh ukuran yang digunakan, semakin kecil ukuran limbah marmer maka akan semakin kuat pula kuat tekan pada campuran beton.
- b. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan memanfaatkan limbah pecahan batu marmer sebagai substitusi agregat kasar dengan mutu tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Budi, A. S., Safitri, E., Kuncoro, F. B. (2021). Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Bahan Pengganti Semen. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*. Vol. 9 No. 3: 171.
- Badan Standar Nasional. (2000). Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. *SNI 03-2834-2000*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa. *SNI 7656 : 2012*. Jakarta: Departemen pekerjaan umum.
- Daryoko., Rio, S., Amiruddin., Ika. (2018). Analisis Pengaruh Besar Butiran Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Forum Mekanika*. Vol. 7 No. 1: 35.
- Edwin, F., Subari. (2016). Pemanfaaan Limbah Marmer dan Batu Kapur untuk Pembuatan Bata Ekspose Berbasis Bodi Wolastonit Sintesis. *Teknologi Mineral dan Batubara*. Vol. 12 No. 3: 172.
- Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Parepare. (2021). *Panduan Penulisan Proposal & Skripsi*. Parepare: Universitas Muhammadiyah Parepare.
- Fitriani, D., Kusdian, R. D., Bakar, B. A. (2021). Kajian Kuat Tekan Beton Substitusi Agregat Halus dari Limbah Pemotongan Batu Marmer dan Agregat Kasar dari Limbah Pemotongan Batu Kapur. *Jurnal Sistem Infrastruktur Teknik Sipil*. Vol. 3 No. 1: 97.
- Haslinda, A., Idrus, I., Basuki, T. A., Saiful, S. (2020). Proses Pengelolaan Limbah Marmer Menjadi Produk Paving Block. *Journal Industrial Engineering And Management*. Vol. 1 No. 1: 1.
- Hamdi, F., Lapihan, F. E., Tumpu, M., Mansyur., Irianto., Mabui, D. S. S., Raidyarto, A., Sila, A. A., Masdiana., Rangan, P. R., Hamkah. (2022). Teknologi Bangunan. Dalam *Teknologi Beton*. Diedit oleh Irianto, Tumpu, M., Mansyur, Mahyuddin. Makassar: Tohar Media.
- Irfansyah, M. H., Rakhmawati, A., Arnandha, Y. (2022). Studi Analisis Beton Mutu Tinggi SCC (Self Compacting Concrete) Menggunakan Campran Limbah Marmer dan Superplasticizer. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Sipil*. Vol. 2 No. 1: 56.
- Kurniawati, S., Titisari, A. D. (2019). Rekomendasi Pemanfaatan Marmer Berdasarkan Karakteristiknya. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. Vol 5. No 2: 252.

- Lasino, Rachman, D., Sugiharto, B. (2012). Kajian Penggunaan Semen Portland Komposit Untuk Beton. *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*. Vol. 2 No. 2: 42 – 43.
- Lestari, A. D. (2021). Pengujian Kuat Tekan pada Beton dengan Pecahan Marmer sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar. *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*. Vol. 6 No. 1: 61-62.
- Manganta, M., Mardiana, A. M. (2017). Pengaruh Ukuran Butir Maksimum Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Mutu Beton Tinggi. *SNP2M*.
- Mahbub, J., Pangesti, R. D., Rahmawati, R. (2021). Analisis Perbandingan Mutu Beton Normal K250 dan K250 Terhadap Kadar Semen, Density, dan Kuat Tekan Rata-rata Beton. *Bangun Rekaprima*. Vol. 7 No. 1: 32.
- Nabhan, D., Anisah., Lenggogeni. (2023). Inovasi Pemanfaatan Limbah Marmer sebagai Substitusi Agregat Kasar Untuk Beton yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Pendidikan Tambusai*. Vol. 7 No. 3: 1.
- Nauk, S. S., Hunggurami, E., Bolla, M. E. (2012). Penggunaan Limbah Batu Marmer Dari Gunung Batu Naitapan Kabupaten Timor Tengah Selatan Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Pada Campuran Batan. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 1 No. 4: 4.
- Samsul., Mustakim., Kasmaida. (2023). Pengaruh Ukuran Butir Agregat Kasar Terhadap Kapasitas Kuat Tekan dan Nilai Slump Beton Porous. *Jurnal Karajata Engineering*. Vol. 3 No. 2: 124-125.
- Saldi, P. D. (2023). Pengaruh Substitusi Limbah Marmer Terhadap Nilai Kuat Tekan Sry Geopolymer Mortar dengan Metode Wet Mixing Berbahan Dasar Abu Terbang dan NaOH 10 m. *Journal UNESA*: 2.
- Susilowati. (2021). Pemanfaatan Serbuk Marmer Sebagai Bahan Alternatif Penggani Semen pada Campuran Beton Normal. *Jurnal Arsitektur*: 16
- Siswanto, A. B., Salim, M. A., Firman, N. A. (2021). Analisis Perbandingan Metode Beton Site – Mix dengan Beton Ready – Mix. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*. Vol. 7 No. 2: 147-148.
- Saputro, M. Y. E., Hasanuddin, A., Nurtanto, D. (2022). Pemanfaatan Limbah Batu Marmer sebagai Agregat Kasar pada Campuran Beton Perkerasan Kaku yang Menggunakan Bahan Tambah Abu Sekam Padi. *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*. 7(1): 93.

- Yuhanah, Tri., Mayasari, D., Putri, P. S. (2021). Tinjauan Permeabilitas dan Kuat Tekan Porous Paving Block Ramah Lingkungan Berbahan Campuran Limbah Plastik dan Sisa Pengolahan Batu Marmer. *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*. Vol. 11 No. 2: 59-60.
- Zuraidah, S., Rahmat, A. J. (2007). Pengaruh Penggunaan Limbah Pecahan Batu Marmer Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton. *Jurnal Rekayasa Perencanaan*. Vol. 3 No. 3: 4 – 5.