

STUDY SUBSTITUSI LIMBAH LEMPUNG MARMER PADA BETON BERONGGA

TUGAS AKHIR

**Karya Tulis Ini Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Dari Universitas Fajar**



DISUSUN OLEH:

ARNIS MIA

2020121029

PROGRAM STUDY TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS FAJAR

2024

STUDY SUBSTITUSI LIMBAH LEMPUNG MARMER PADA BETON BERONGGA

Oleh :

ARNIS MIA

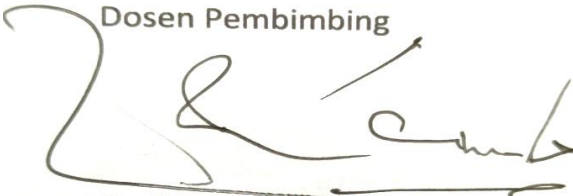
2020121029

Menyetujui

Tim Pembimbing

Makassar, 24 September 2024

Dosen Pembimbing



Sudirman ST.MT
NIDN : 0904098404

Mengetahui:

Dekan fakultas teknik
universitas fajar



Prof. Dr. Ir. Erniati. ST.MT
NIDN : 09061007701

Dekan fakultas teknik
universitas fajar



Prof. Dr. Ir. Erniati. ST.MT
NIDN : 09061007701

PERNYATAAN ORISINALITAS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir :

“STUDY SUBSTITUSI LIMBAH LEMPUNG MARMER PADA BETON BERONGGA” adalah karya orisinal saya dan setiap maupun seluruh sumber yang dijadikan sebagai acuan telah ditulis dengan penulis ilmiah yang berlaku di *Universitas Fajar*.

Makassar, 24 September 2024

Yang Menyatakan



Arnis Mia

ABSTRAK

Study Substitusi Limbah Lempung Marmer Pada Beton Berongga, Arnis Mia. Studi ini menggunakan limbah lempung marmer sebagai substitusi dalam campuran beton berongga. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton berongga dengan substitusi limbah lempung marmer dan mengevaluasi pengaruh substitusi limbah lempung marmer pada beton berongga terhadap kuat tekan yang dihasilkan. Limbah marmer digunakan sebagai pengganti sebagian dari semen dengan variasi proporsi 10%, 20%, dan 30%. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari. Beton normal tanpa penambahan limbah marmer digunakan sebagai acuan kontrol dengan kuat tekan rata-rata 18,05 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah marmer sebesar 10% menurunkan kuat tekan menjadi 15,07 MPa, sementara pada penambahan 20% dan 30%, kuat tekan menurun masing-masing menjadi 13,16 MPa dan 11,68 MPa. Penurunan kuat tekan disebabkan oleh perubahan karakteristik material akibat penambahan limbah marmer yang lebih tinggi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan limbah marmer sebagai bahan substitusi harus dibatasi pada tingkat 10% agar kuat tekan beton tetap dalam batas yang dapat diterima untuk beberapa aplikasi konstruksi. Variasi penambahan lebih dari 10% secara signifikan mengurangi kekuatan beton, sehingga diperlukan kontrol terhadap proporsi limbah marmer yang digunakan.

Kata Kunci : Beton Berongga, Limbah Lempung Marmer, Kuat Tekan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul ***“STUDY SUBSTITUSI LIMBAH LEMPUNG MARMER PADA BETON BERONGGA”*** dengan baik. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar Makassar.

Dalam menyelesaikan skripsi ini penulis mendapat bantuan bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang selalu menyertai yang memberikan mujizat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi.
2. Kedua orang tua yang selalu memberikan kasih sayang, doa, dan dorongan semangat. Ayahandaku tercinta Marten Palungan serta Ibundaku tercinta Dorce Pindan. serta juga kepada semua saudara-saudariku yang selalu memberikan motivasi dan juga memberikan waktu dan tenaga baik materi maupun nonmateri untuk penulis sehingga dapat menyelesaikan pendidikan dengan baik. Dan juga kepada keluarga besar penulis yang selalu mengingatkan dan mendukung penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Rektor Universitas Fajar, Bapak Mulyadi Hamid, SE.,M.Si.
4. Prof. Dr. Ir. Erniati, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Unversitas Fajar Makassar yang telah membagikan ilmu dalam pengalaman selama proses pembelajaran.
5. Fatmawaty Rachim, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar Makassar yang telah memberikan ilmu dan pengalaman dalam proses perkuliahan.
6. Sudirman, ST., MT selaku pembimbing yang telah memberikan arahan, saran, dan motivasi, sehingga skripsi ini dapat selesai.
7. Teman-teman Teknik Sipil 2020, yang telah berjuang bersama dari awal semester. Terima kasih untuk kerja sama dan kebersamaan selama ini.
8. Teman-teman METEOR 2020, yang telah berjuang bersama dari awal semester.

Terima kasih untuk kerja sama dan kebersamaan selama ini.

9. Serta semua pihak dengan segala kerendahan hati membantu dalam penyelesaian proposal ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan penulisan selanjutnya. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua, akhir kata terima kasih.

Makassar, Juli 2024

Arnisa Mia

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian	2
I.4 Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
II.1 Beton Berongga.....	3
II.2 Bahan Penyusun Beton Berongga.....	5
II.2.1 Semen Portland Komposit (PCC).....	5
II.2.2 Air.....	7
II.2 Hasil Penelitian Terdahulu.....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
III.1 Waktu Dan Lokasi Penelitian	15

III.2	Alat Dan Bahan	15
III.2.1	Alat	15
III.2.2	Bahan.....	15
III.3	Benda Uji	16
III.4	Pelaksanaan Penelitian.....	16
III.5	Tahapan Penelitian.....	16
III.5.1	Tahap Persiapan/studi Pustaka	17
III.5.2	Tahapan Penelitian Uji Karakteristik Bahan	17
III.5.3	Pengumpulan Data	17
III.5.4	Olah Data.....	18
III.5.5	Analisis Data	18
III.6	Bagan Alur Penelitian	19
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	20
IV.1	Karakteristik Agregat	20
IV.1.1	Hasil Pengujian Agregat Kasar	20
IV.1.2	Pembakaran Limbah Marmer	22
IV.3	Pengujian Kuat Tekan.....	23
BAB V	PENUTUP	27
V.1	Kesimpulan.....	27
V.2	Saran	27
LAMPIRAN		30
DOKUMENTASI		47

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Unsur Kimia Semen	6
Tabel II.2 Komposisi Utama Semen Portland.....	7
Tabel II.3 Spesifikasi Pengujian Karakteristik Agregat Kasar Menurut SNI	10
Tabel II.4 Persyaratan Gradasi Agregat Halus ASTM C33-78.....	11
Tabel III.1 Jumlah Benda Uji.....	20
Tabel IV.1 Rekapitulasi Hasil Pegujian Karakteristik Agregat Kasar.....	28
Tabel IV.2 Komposisi Campuran Beton Beronga	28
Tabel IV.3 Pengujian Slump.....	28
Tabel IV.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar III. 1 Sketsa bentuk dan ukuran benda uji	6
Gambar III.2 Alur Penelitian.....	22
Gambar IV.1 Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Berongga	31
Gambar IV.2 Pengaruh Limbah Lempung Marmer Terhadap Kuat Tekan Beton Berongga.....	31

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Saat ini, sektor konstruksi menghadapi tekanan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan jejak karbon. Salah satu pendekatan untuk mencapai tujuan ini adalah dengan mengembangkan bahan konstruksi alternatif yang memanfaatkan limbah industri sebagai pengganti bahan baku tradisional.

Beton berongga, juga dikenal sebagai beton pervious atau beton tanpa agregat halus, lahir dari kebutuhan untuk mencari solusi konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Kekhawatiran akan dampak lingkungan dari beton konvensional, yang membutuhkan banyak sumber daya alam dan energi untuk diproduksi, mendorong para ilmuwan dan insinyur untuk mengembangkan alternatif yang lebih ramah lingkungan.

Beton berongga menggunakan limbah marmer adalah jenis beton yang mengintegrasikan limbah marmer yang telah dihancurkan atau diolah ke dalam campurannya. Limbah marmer ini menggantikan sebagian dari agregat biasa dalam beton, menciptakan struktur berongga atau berpori yang dapat mengurangi berat beton dan meningkatkan isolasi termal. Selain itu, penggunaan limbah marmer juga membantu dalam pengelolaan limbah industri marmer dan mengurangi dampak lingkungan dari proses produksi beton.

Dalam penelitian ini digunakan limbah marmer sebagai substitusi untuk beton berongga. Limbah marmer jenis batuan alam yang terbentuk akibat pengkristalan dari batu kapur yang mengalami pemanasan dan tekanan yang menyebabkan perubahan pada batu tersebut, sehingga menyebabkan perubahan tekstur dan variasi warnanya. Dimana batu marmer mampu di manfaatkan menjadi bahan kerajinan pabrik industri namun, limbah dari hasil bekas kerajinan pabrik industri ini tidak di manfaatkan dengan baik karna sudah tidak terpakai lagi. Marmer diperoleh dari alam melalui kegiatan penambang. Hasil penambang berupa bongkahan-bongkahan batu.

Berdasarkan uraian diatas penulis tertarik untuk memanfaatkan tersebut yang nantinya akan dibahas dalam tugas akhir dengan judul: **“STUDY SUBTITUSI LIMBAH LEMPUNG MARMER PADA BETON BERONGGA”**

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Berapa nilai kuat tekan beton berongga dengan substitusi limbah lempung marmer?
2. Bagaimana pengaruh substitusi limbah lempung marmer terhadap kuat tekan beton berongga?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Untuk mengetahui nilai kuat tekan beton berongga dengan substitusi limbah lempung marmer.
2. Memahami pengaruh substitusi limbah lempung marmer pada kuat tekan beton berongga.

I.4 Batasan Masalah

Penelitian ini diberikan batasan masalah agar penelitian ini lebih spesifik dan terarah. Adapun batasan masalah yang digunakan antara lain:

1. Limbah Marmer
2. Kuat Tekan Beton Berongga
3. Variasi Substitusi Limbah Lempung Marmer 10%, 20%, 30%,
4. Benda Uji Berupa Beton Berongga 10 x 20 cm

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Beton Berongga

Beton berongga adalah jenis beton yang memiliki rongga atau lubang-lubang di dalamnya. Rongga-rongga ini dapat terbentuk secara alami atau sengaja dimasukkan ke dalam campuran beton selama proses pembuatan. Beton berongga biasanya memiliki berat yang lebih ringan daripada beton konvensional karena adanya rongga-rongga tersebut.

Beton berongga adalah suatu elemen bahan bangunan yang dibuat dari campuran agregat kasar, semen, air dan sedikit agregat halus dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton tersebut, campuran ini menciptakan suatu sel terbuka struktur (Ahmad said Musthofa 2015). Beton berongga merupakan beton tidak normal, dikarenakan beton berongga dibuat dengan jumlah air dengan pengawasan ketat dan bahan semen yang digunakan untuk menciptakan pasta berbentuk padatan yang menyelimuti sekitar butir agregat. Tidak seperti beton konvensional, campurannya tidak terdapat pasir. Tujuannya adalah menciptakan kandungan rongga udara yang banyak, antara 15-35% (ACI 522R-10). Umumnya, rasio perbandingan agregat antara 4,0-4,5 dalam massa. Jika rasio agregat/semen besar, artinya jumlah pasta semen dalam adukan beton sedikit maka daya resak antara butir agregat lemah, sehingga diperoleh kuat tekan rendah (ACI 211.3R-97).

Beton berongga, juga dikenal sebagai beton pervious atau beton tanpa agregat halus, adalah jenis beton yang tidak mengandung agregat halus (pasir). Campuran beton ini hanya terdiri dari agregat kasar (kerikil), semen, air, dan bahan kimia tambahan.

Karakteristik utama beton berongga adalah porositasnya yang tinggi, yaitu memiliki rongga-rongga udara yang mencapai 15-25% dari total volumenya. Sifat ini memberikan beberapa keunggulan, di antaranya:

1. Permeabel: Beton berongga memungkinkan air hujan meresap ke dalam tanah, mengurangi limpasan permukaan dan meminimalisir risiko banjir. Hal ini menjadikannya solusi ideal untuk trotoar, jalan setapak, area parkir, dan sistem drainase.
2. Ramah Lingkungan: Penggunaan agregat kasar lokal dan minimnya kebutuhan semen membuat beton berongga lebih ramah lingkungan dibandingkan beton konvensional.
3. Efek Pendinginan: Warnanya yang cerah memantulkan panas lebih banyak, sehingga membantu menurunkan suhu permukaan dan mengurangi efek pulau panas.
4. Estetika: Beton berongga tersedia dalam berbagai warna dan tekstur, menawarkan pilihan estetika yang lebih luas untuk desain lansekap.
5. Kekuatan: Meskipun tidak mengandung agregat halus, beton berongga memiliki kekuatan tekan yang cukup untuk menahan beban lalu lintas dan penggunaan sehari-hari.

Kekurangan Beton Berongga:

1. Harga: Beton berongga umumnya lebih mahal daripada beton konvensional karena proses produksinya yang lebih rumit.
2. Ketersediaan: Di beberapa daerah, beton berongga mungkin tidak tersedia secara luas.
3. Perawatan: Permukaan beton berongga lebih rentan terhadap noda dan kerusakan dibandingkan beton konvensional, sehingga membutuhkan perawatan yang lebih intensif

II.2 Bahan Penyusun Beton Berongga

II.2.1 Semen Portland Komposit (PCC)

Semen merupakan bahan yang bersifat hidrolis yang bila dicampur air akan berubah menjadi bahan yang mempunyai sifat perekat. Penggunaannya antara lain meliputi beton, adukan mortar, plesteran, bahan penambal, adukan encer (grout) dan sebagainya. Pada umumnya terdapat beberapa jenis semen dan tipe semen yang berada dipasaran.

Semen adalah material serbuk atau bubuk yang digunakan dalam konstruksi, terbuat dari kapur dan bahan lainnya. Fungsinya adalah untuk mengikat batu bata atau membentuk struktur tembok saat digunakan dalam pembuatan beton.

Berdasarkan SNI 15-2049-2004, semen Portland adalah jenis semen hidrolis yang dihasilkan dengan proses penggilingan terak Portland, khususnya yang mengandung kalsium silikat ($x\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$) yang dapat mengalami hidrolisis, dan kemudian digiling bersama dengan senyawa kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) serta bahan tambahan lainnya. Fungsi utama semen adalah sebagai pengikat dalam konstruksi beton yang banyak digunakan dalam industri konstruksi.

Semen Portland disebut semen hidrolis karena kemampuannya mengikat/bereaksi dengan air dan mengeras di dalam air. Semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat, selain itu untuk mengisi rongga-rongga antar agregat sehingga menjadi satu volume massa padat/kompak, walaupun jumlah semen hanya $\pm 10\%$ volume beton. Semen terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silica, alumina, serta oksida besi.

Tabel II. 1 Unsur Kimia Semen

Oksida	Persentase
CaO	60 – 65
SiO ₂	17 – 25
Al ₂ O ₃	3 - 8
Fe ₂ O ₃	0,5 – 6
MgO	0,5 – 4
SO ₃	1 – 2
Na ₂ O + K ₂ O	0,5 – 1

Sumber: Neville, 1975

Selama proses manufaktur semen, oksida-oksida berinteraksi secara saling mempengaruhi, menghasilkan perubahan dalam struktur kimia yang kompleks. Secara prinsipal, ada empat unsur yang memiliki peran penting dalam proses ini, yang terperinci dalam tabel di bawah ini

Tabel II. 2 Komposisi utama semen portland

Nama Unsur	Komposisi Kimia	Simbol
Trikalsium Silikat	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Dikalsium Silikat	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Trikalsium Aluminat	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Tetrakalsium Aluminoforit	3CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ Af

Sumber: Neville, 1975

Semen Portland di Indonesia terbagi menjadi beberapa tipe menurut jenis dan penggunaannya (SNI 15-2049-2004), yaitu:

1. Tipe I untuk penggunaan umum tidak memerlukan persyaratan - persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain. Semen ini dipergunakan secara luas untuk konstruksi umum seperti jalan, gedung, jembatan dan jenis konstruksi lainnya.

2. Tipe II untuk penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang. Dipergunakan untuk bangunan tepi laut, bendungan, dan irigasi, atau beton yang membutuhkan panas hidrasi rendah.
3. Tipe III dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi. Dipergunakan untuk bangunan yang memerlukan kekuatan tekan yang tinggi (sangat kuat) seperti, jembatan-jembatan dan pondasi-pondasi berat.
4. Tipe IV karakteristik semen ini adalah jenis semen yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah. Jenis semen ini diminimalkan pada fase pegerasan hingga tidak terjadi keretakan. Semen tipe ini digunakan untuk bangunan dam serta lapangan udara.
5. Tipe V dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Dipergunakan untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, dan pembangkit tenaga nuklir.

II.2.2Air

Air merupakan bahan baku termurah untuk membuat beton. Fugsi air dalam beton adalah membuat semen bereaksi dan berperan sebagai pelumas antar butiran agregat. Hanya sekitar 25-30 persen massa semen yang dibutuhkan agar semen dapat bereaksi. Namun di lapangan, jika perbandingan air-semen (berat air dibagi berat semen) kurang dari 0,35 maka campurannya sulit untuk ditangani, sehingga biasanya perbandingan air-semen lebih dari 0,40, yang berarti artinya ada kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen. Air ekstra ini bertindak sebagai pelumas umum, membuat campuran mudah untuk dikerjakan.

Namun dengan pengerjaan yang lebih ringan, membuat beton menjadi keropos atau menimbulkan banyak rongga sehingga mengurangi kuat tekan beton itu sendiri. Air merupakan alat yang memberikan kemampuan kerja yang dibutuhkan beton. Banyaknya air yang digunakan tentunya bergantung pada kualitas bahan yang digunakan. Air produksi beton memenuhi syarat minimal

sebagai air minum, yaitu segar, tidak berbau dan tidak mengandung zat organik yang dapat merusak beton atau tulangan.

Selain untuk reaksi pengikatan, juga dapat digunakan untuk perawatan setelah beton dipasang. Air untuk perawatan harus memiliki persyaratan yang lebih tinggi daripada air yang digunakan untuk produksi beton. Keasamannya tidak boleh $PH > 6$ dan tidak boleh mengandung terlalu sedikit kapur. Didalam campuran beton, air mempunyai dua buah fungsi, yaitu :

1. Untuk memungkinkan reaksi kimiawi semen yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan.
2. Sebagai pelincir campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan dalam pencetakan atau pengerjaan beton

II.2.3 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah material berbutir besar yang digunakan dalam campuran beton atau mortir untuk memberikan kekuatan dan volume. Biasanya terdiri dari batu pecah, kerikil, atau pasir kasar yang memiliki ukuran butir lebih besar dari 4,75 mm. Agregat ini berfungsi sebagai bahan pengisi dan membantu dalam membentuk struktur beton yang solid dan tahan lama.

Pemilihan agregat kasar yang tepat sangat penting dalam pembuatan beton untuk memastikan kualitas dan kekuatan beton yang dihasilkan. Ukuran, bentuk, kekuatan, dan keberlanjutan agregat kasar merupakan faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam proses desain campuran beton.

Spesifikasi pengujian karakteristik agregat kasar berdasarkan SNI dapat dilihat pada tabel II.3

Tabel II.3 Spesifikasi Pengujian Karakteristik Agregat Kasar Menurut SNI

NO	Karakteristik	Spesifikasi SNI	Metode
1	Berat Volume		
	A. Kondisi Lepas	1,6 - 1,9 g/cm ³	SNI 03-4804-1998
	B. Kondisi Padat	1,6 - 1,9 g/cm ³	SNI 03-4804-1998
2	Berat Jenis	1,6 - 3,2	SNI 03-1969-2008
3	Resapan Air	0,2% - 4%	SNI 03-1969-2008
4	Kadar Lumpur	0,2% - 1%	SNI 03-4141-1996
5	Keausan	15% - 50%	SNI 2417-2008
6	Kadar Air	0,5% - 2%	SNI 03-1971-1990

Sumber (Badan Standarisasi Nasional:2019)

II.3 Limbah Marmer

Limbah marmer adalah suatu residu dari industri batu marmer, proses pembuatan batu marmer dari batu marmer yang di tambahkan menghasilkan pecahan dari hasil proses penggergajian, residu ini berupa kerikil, pasir dan serbuk. Industri baru marmer menghasilkan mermer berbagai ukuran terutama untuk lantai dan dinding, limbah marmer yang berupa pasir mempunyai ukuran butiran antara 0,5 mm dan 5 mm, berwarna putih kecoklatan, permukaannya tajam dan keras serta bersih dari lempung dan lumpur sehingga memberikan ikatan yang kuat pada pasta semen.

Limbah ini dapat berupa potongan-potongan marmer yang tidak terpakai, serpihan-serpihan marmer, atau debu marmer yang dihasilkan selama pemotongan atau penggilingan marmer. Limbah marmer sering kali dapat didaur ulang atau dimanfaatkan kembali dalam industri konstruksi sebagai bahan tambahan dalam campuran beton atau sebagai bahan hiasan. Pemanfaatan kembali limbah marmer

dapat membantu mengurangi limbah yang dibuang ke lingkungan dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Kemampuan limbah marmer untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida (CH) dalam semen dan menghasilkan senyawa seperti kalsium karbonat hidrat (CCH) di dasarkan pada teori berikut:

1. Struktur kimia limbah marmer: limbah marmer mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) dalam bentuk kristal. Kalsium karbonat dapat bereaksi dengan CH untuk menghasilkan CCH.
2. Kehalusan limbah marmer: kehalusan limbah marmer mempengaruhi Tingkat reaktivitasnya. Semakin halus limbah marmer, semakin besar luas permukaannya dan semakin reaktif dengan CH.
3. Komposisi kimia semen: semen Portland mengandung kalsium hidroksida (CH) sebagai produk hidrasi. CH bereaksi dengan kalsium karbonat dalam limbah marmer untuk menghasilkan CCH.

II.3.1 Jenis-Jenis Marmer

1. Architectural Marble

Architectural marble adalah jenis batuan marmel yang memiliki warna, tekstur, kualitas, dan kekuatan yang bagus.

2. Statuary Marble

Statuary Marble adalah salah satu jenis batuan marmer yang berwarna putih bersih dengan tekstur yang bagus. Sama seperti Namanya, biasanya jenis marmer ini digunakan sebagai bahan untuk membuat patung

3. Ornamental Marble

Ornamental marble adalah jenis batuan marmer yang memiliki warna yang sangat indah. Dikutip dari Repository UIN Satu Tulungagung, Jenis marmer ini memiliki warna bervariasi

4. Onyx Marble

Onyx Marble adalah batuan marmer yang berasal dari material-material organik dan kalsit. Jenis marmer ini memiliki banyak pilihan warna mulai dari hijau, merah, dan sebagainya.

5. Marmer Hijau

Marmer hijau adalah batuan pertama yang terlihat seperti marmer. Marmer hijau bukanlah jenis marmer hijau bukanlah jenis marmer yang asli

II.4 Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah pengujian sifat mekanik beton dengan melihat kondisi kekuatan maksimum yang dapat ditahan dan dipikul oleh beton. Kuat tekan beton di tandai dengan satuan N/mm^2 atau MPa (*mega pascal*) dengan tengangan maksimum. Selain dipengaruhi oleh sifat dan jenis agregat, kuat tekan beton juga dipengaruhi oleh faktor air semen, kelecakan (*workability*), jenis campuran, umur beton, dan perawatan (*curing*) (Musahir, 2021).

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti air semen, sifat dan jenis agregat, jenis campuran, kelecakan, perawatan beton (*curing*) beton dan umur beton. Besarnya nilai kuat tekan beton diperoleh melalui pengujian standar, memanfaatkan mesin uji tekanan (*kompression testing machine*) dengan cara menerapkan beban tekan bertingkat dengan laju kenaikan beban pada benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm x 20 cm. Selanjutnya benda uji di tekan hingga pecah. Tengangan tekan maksimum pada saat benda uji pecah dibagi dengan luas penampang benda uji yang dinyatakan dalam satuan MPa atau Kg/cm^2 . Metode yang digunakan untuk menguji kuat tekan adalah standar ASTM C-39. Dengan ini, kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan II.2

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (II.2)$$

Berdasarkan SNI 1974:2011, nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus:

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (II.1)$$

Dimana:

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang yang menerima beban (mm²)

Kuat tekan beton mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur beton.

Kuat tekan beton dianggap mencapai 100% setelah beton berumur 28 hari.

II.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Studi mengenai pemanfaatan limbah marmer telah banyak diteliti oleh peneliti dan menciptakan berbagai inovasi dalam konstruksi. Candra Aditya, Abdul Halim, dan Silviana (2017), meneliti mengenai "Pemanfaatan Limbah Marmer dan Serbuk Zeolit Sebagai Material Pada Bata Ringan Clc (Cellular Lightweight Concrete)". Rancangan eksperimen dilakukan pada penelitian ini adalah delapan variasi komposisi bahan dengan penggantian 20%, 40%, 60% zeolit dan 20%, 80% limbah marmer. Hasil eksperimen menunjukkan penggunaan serbuk zeolit 20% dan limbah marmer 80% menghasilkan kuat tekan bata ringan CLC yang optimal. Penggunaan limbah marmer dan serbuk zeolit menimbulkan kenaikan pada berat jenis dan penyerapan air bata ringan CLC rata-rata sebesar 23% dan 14%. Komposisi campuran bata ringan CLC paling optimal ditinjau dari kuat tekan, berat jenis dan penyerapan air yang memenuhi standar untuk perbandingan 1 perekat : 2 agregat adalah pada 80% PC, 20% Zeolit, 20% Pasir dan 80% Limbah marmer (0,8 PC : 0,2 Zlt : 0,3 Ps : 1,2 PsL).

Binti Nur Fitriahsar, (2018) melakukan penelitian juga mengenai "Pengaruh Substitusi Fly Ash Dengan Limbah Marmer Terhadap kuat Tekan Dan Porositas Beton Geopolimer Pada Naoh 15M". Dan dalam penelitian ini dihasilkan bahwa substitusi limbah marmer terhadap fly ash dapat menambah kuat tekan beton karena adanya reaksi kimia antara Ca dengan H₂O menghasilkan CaCO₃ yang bersifat keras. Namun semakin tinggi presentase substitusi limbah marmer terhadap fly ash maka kuat tekan beton akan semakin menurun. Jika di

tinjau dari porositasnya, bahwa substitusi limbah marmer terhadap fly ash dapat memperkecil porositasnya namun semakin tinggi presentase substitusi limbah marmer terhadap fly ash maka justru akan memperbesar porositasnya. Komposisi yang paling maksimal substitusi limbah marmer terhadap fly ash pada beton geopolimer ditinjau dari kuat tekan dan porositas nya adalah 10%, karena dari hasil penelitian dengan substitusi 10% mempunyai kuat tekan yang tinggi sebesar 31,83MPa dengan porositas yang rendah sebesar 0,024% di umur 28 hari.

Agustin Dita Lestari, (2021) juga telah melakukan penelitian mengenai “Pengujian Kuat Tekan pada Beton dengan Pecahan Marmer sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar”. Dalam penelitian ini dirancang dengan variasi penggantian pecahan marmer sebesar 0%, 15%, 25%, dan 35%. Pada beton silinder yang memiliki ukuran 15 cm sebagai diameternya dan 30 cm sebagai tingginya, serta telah mencapai umur beton 7 hari, 14 hari, dan 28 hari akan diuji kuat tekannya. Besar kuat tekan yang paling tinggi ada pada variasi 25%, yaitu sebesar 33,22% pada umur beton 28 hari. Dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton pada variasi 0% atau beton normal, pada variasi 25% mengalami kenaikan sebesar 4,02%. Dan bisa disimpulkan hasil dari penelitian ini adalah bahwa penggantian sebagian agregat kasar dengan pecahan marmer mempengaruhi nilai kuat tekan beton. Kuat tekan betonnya mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton yang tidak menggunakan pecahan marmer. Nilai kuat tekan yang paling besar ada pada variasi 25% yaitu sebesar 33,22 Mpa, dengan besar persentase kenaikan kuat tekan sebesar 4,02%.

Safrin Zuraidah & Rahmat Arif Jatmiko, (2007) juga telah melakukan penelitian mengenai “ Pengaruh Penggunaan Limbah Pecahan Batu Marmer Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton “. Berdasarkan hasil uji eksperimental yang dilakukan terhadap material beton dengan menggunakan variasi campuran 0%, 50%, 75%, dan 100% pecahan, batu marmer mengalami penurunan terhadap kuat tekan sebesar 18,92% , 11,97% , 40,70% dibandingkan dengan beton normal. Kuat tekan beton dengan menggunakan pecahan batu marmer menurun dikarenakan : Permukaan batu marmer halus,

sehingga menimbulkan daya rekat antar agregat berkurang, Kekerasan pecahan batu marmer lebih rendah dibandingkan dengan kekerasan pecahan batu kerikil, Resapan pecahan batu marmer cukup tinggi $\pm 4,89\%$ dibandingkan dengan resapan pecahan batu kerikil $\pm 1,35\%$. Dari hasil pengujian kuat tekan beton maka pembuatan beton dengan menggunakan pecahan batu marmer kurang layak dipakai untuk elemen struktur. Agregat kasar dari marmer bisa dipakai untuk bahan pengganti kerikil tetapi hanya untuk beton mutu rendah saja yang dipakai untuk elemen non struktur. Misalnya : beton rabat, paving.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Waktu Dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan juni-juli 2024 dan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Fajar Makassar, yang berlokasi di Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah (ex Racing Center) No. 101, Karampuang, Panakukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231, Indonesia.

III.2 Alat Dan Bahan

III.2.1 Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Timbangan dengan kapasitas 50kg untuk timbangan agregat,semen,dan air
2. Oven dengan temperatur 300 C dan tenaga listrik 200 W untuk mengeringkan material
3. Saringan dengan ukuran ayakan 38 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,85 mm, 0,3 mm, 0,15 mm
4. Mesin Vibrating pan dan ayakan
5. Compression Testing Machine
6. Universal Testing Machine

III.2.2 Bahan

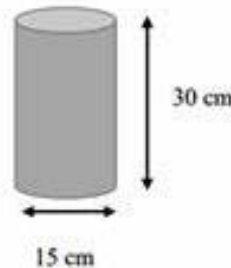
Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Semen Portland
2. Agregat halus (Pasir)
3. Agregat kasar
4. Air
5. Limbah Marmer

III.3 Benda Uji

Pada penelitian ini, benda uji beton berbentuk beton berongga dengan ukuran lebar 10 cm dan tinggi 20 cm. Benda uji yang dibuat yaitu beton normal dan. Adapun variasi benda uji yang akan dibuat dengan penggunaan struktur beton berongga sebagai pengganti semen yaitu sebanyak 0%, 10%, 20%, dan 30%.

Sketsa benda uji dapat dilihat pada Gambar III.1.



Gambar III. 2 Sketsa bentuk dan ukuran benda uji

III.4 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini akan dilakukan secara ilmiah dan sistematis sehingga hasil yang akan didapatkan lebih memuaskan dan dapat dipertanggung jawabkan. Secara umum ada beberapa langkah yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu persiapan komposisi campuran, penyajian material, pemeriksaan material pembuatan benda uji, perawatan serta pengujian benda uji. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan sesuai dengan standar uji laboratorium.

III.5 Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini akan dilakukan secara ilmiah dan sistematis sehingga hasil yang akan didapatkan lebih memuaskan dan dapat dipertanggung jawabkan. Secara umum ada beberapa langkah yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu persiapan komposisi campuran, penyajian material, pemeriksaan material pembuatan benda uji, perawatan serta pengujian benda uji. Pelaksanaan

penelitian ini dilakukan sesuai dengan standar uji laboratorium.

III.5.1 Tahap Persiapan/studi Pustaka

Tahap ini meliputi persiapan studi pustaka, dimana pada tahap ini mencari materi-materi yang terkait dengan penelitian ini dalam jurnal penelitian-penelitian sebelumnya, buku panduan, skripsi terdahulu, maupun buku-buku bacaan yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan.

III.5.2 Tahapan Penelitian Uji Karakteristik Bahan

Tahap ini dilakukan survey karakteristik bahan yaitu agregat kasar, agregat halus, dan material komposit yang digunakan. Kemudian persiapan penelitian meliputi penyiapan bahan material dasar pembentuk beton.

III.5.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data nantinya akan dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Fajar, diantaranya proses benda uji berupa data dari hasil pengujian kuat tekan beton berongga.

Tabel III.1 Jumlah Benda Uji

No	Nama Sampel	Variasi Limbah Marmer	Jenis Pengujian	Umur Pengujian (Hari)	Jumlah Sampel
1	MO	0%	Kuat Tekan	28	3
2	M1	10%	Kuat Tekan	28	3
3	M2	20%	Kuat Tekan	28	3
4	M3	30%	Kuat Tekan	28	3

III.5.4 Olah Data

Pengolahan Data untuk mengetahui berapa nilai kuat tekan dengan menggunakan Microsoft Excel untuk menghitung nilai kuat tekan dari beton berongga, Kemudian data-data yang di perlukan untuk menghitung kuat tekan adalah nilai P atau beban yang nilainya berasal dari nilai yang keluar dari alat/mesin uji. Dimensi beton silinder semua nilai ini di input ke dalam Microsoft Excel untuk di buatkan rumus (formula) agar nilai kuat tekan di dapatkan .

Dengan menggunakan rumus:

$$f_c' = P/A \text{ atau } f_c' = m.g/A$$

Di mana:

f_c' = Kuat tekan benda uji (MPa)

P = berat beban maksimum yang menyebabkan benda uji beton hancur (N)

A = Luas Penampang benda uji (mm^2)

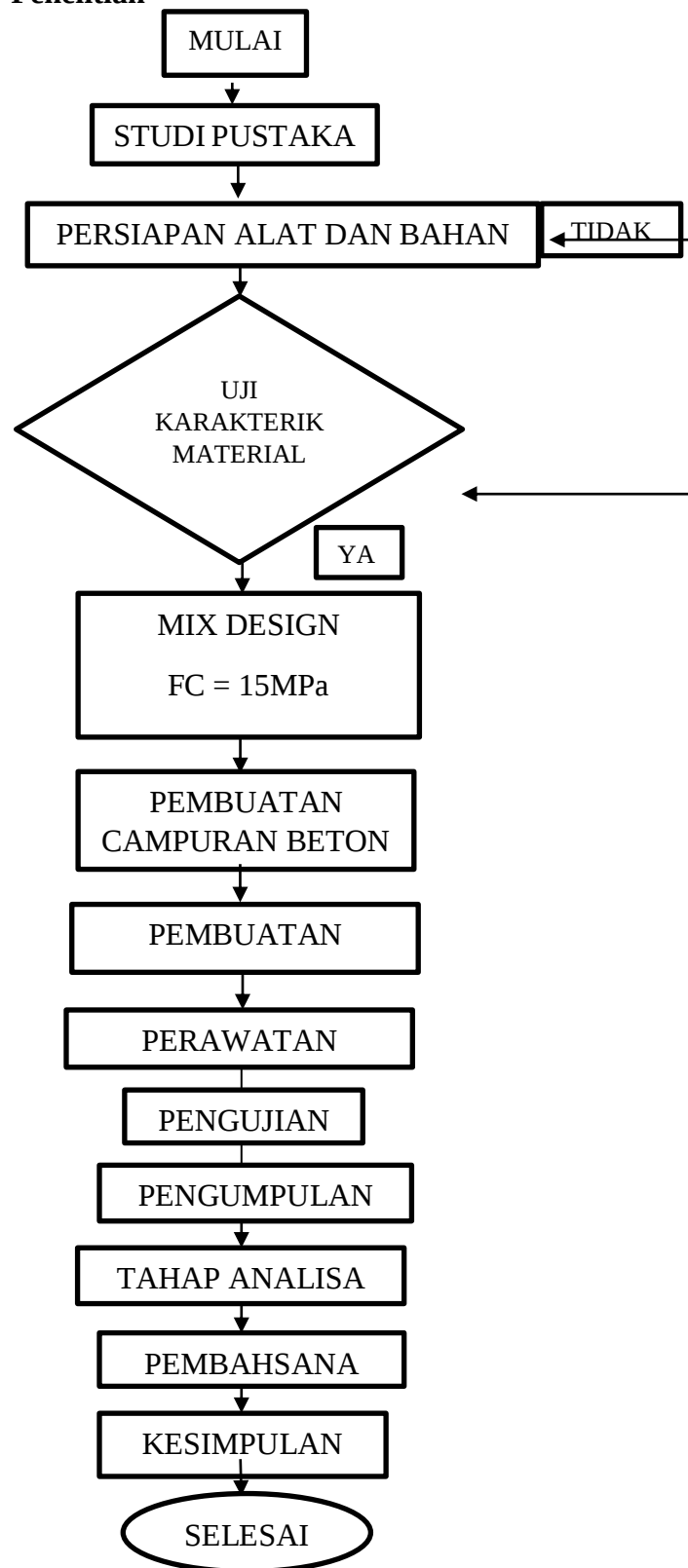
m = Massa beban maksimum yang menyebabkan benda uji beton hancur (kg)

g = Percepatan gravitasi bumi (10m/s)

III.5.5 Analisis Data

Yang di maksud analisis data ialah hasil yang telah diperoleh pada saat kegiatan pengumpulan data di laboratorium. Tahap ini meliputi analisa hasil uji Menghitung rata-rata, median, dan deviasi standar dari hasil pengujian kuat tekan untuk setiap formulasi Beton Berongga yang diuji, Membandingkan hasil pengujian dengan Beton Berongga kontrol (misalnya, Beton Berongga tanpa substitusi partikel karbon) untuk mengevaluasi peningkatan atau penurunan kuat tekan yang disebabkan oleh penggunaan partikel karbon limbah marmer.

III.6 Bagan Alur Penelitian



Gambar III.2 Alur Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

IV.1 Karakteristik Agregat

Karakteristik agregat dilakukan di laboratorium struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar pengujian tersebut berupa pengujian karakteristik agregat kasar.

Material yang digunakan dalam suatu penelitian ini terdiri dari agregat alam yaitu agregat kasar (krikil) yang berasal dari daerah Bili-bili kabupaten gowa dan bahan tambah angregat halus yaitu fly ash yang berasal dari Pt. kalla beton.

IV.1.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian yang dilakun terhadap agregat kasar split (batu pecah) ini menggunakan agregat dari bili-bili yang kemudian dilakukan pengujian karakteristik. Pengujian karakteristik bertujuan untuk mengetahui data awal megenail bahan yang digunakan. Pengujian – pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar. Data-data yang digunakan sebagai acuan dalam campuran beton berongga. Hasil pengujian dapat dilihat dari tabel dibawah iini :

Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik agregat kasar (kerikil) dapat dilihat di tabel IV.1

Tabel IV.1 Rekapitulasi Hasil Pegujian Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis pengujian	Hasil Pengujian Agregat Kasar	Interval	Keterangan
1	Kadar Lumpur	0,60%	Maks 1%	Memenuhi
2	Kadar Air	1,24%	0,5% - 2%	Memenuhi
3	Berat Volume			
	a. Kondisi Gembur	1,61	1,6 - 1,9 kg/liter	Memenuhi
	b. Kondisi Padat	1,67	1,6 - 1,9 kg/liter	Memenuhi
4	Absorpsi	0,82%	Maks 4%	Memenuhi
5	Berat Jenis			
	a. Bj. Nyata	2,69	1,60 - 3,33	Memenuhi
	b. Bj. Dasar Kering	2,63	1,60 - 3,33	Memenuhi
	c. Bj. Kering Permukaan	2,65	1,60 - 3,33	Memenuhi
6	Modulus Kehalusan	6,24	- 7,1	Memenuhi
7	Keausan	39,7	Maks 50%	Memenuhi
8	Analisa saringan	Dapat d ilihat pada lampiran 1B (halaman 30)		

Sumber: Hasil Olah Data, 2024

Dari Tabel IV.1 terlihat bahwa hasil pengujian karakteristik agregat kasar (kerikil) memenuhi syarat sebagai material penyusun beton berongga.

Tabel IV.2 Komposisi Campuran Beton Beronga (m2)

No.	Material	Beton Normal (BN)	Variasi 10%	Variasi 20%	Variasi 30%
1	Air	1,18 kg	1,18 kg	1,18 kg	1,18 kg
2	Semen	2,14 kg	1,93 kg	1,71 kg	1,50 kg
3	Kerikil	8,13 kg	8,13 kg	8,13 kg	8,13 kg
4	Marmer	-	0,21 kg	0,43 kg	0,64 kg

IV.1.2 Pembakaran Limbah Marmer

Berdasarkan hasil pembakaran limbah marmer maka suhu pembakaran limbah marmer dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel IV. 1 Pembakaran Limbah Marmer

Pembakaran 1		Pembakaran 2	
Waktu	Suhu	Waktu	Suhu
11.42	558,1	15.04	654,2
11.42	649,1	15.12	734,9
11.43	770,9	15.14	787,5
11.54	837	15.25	799,8
11.58	892	15.36	817,9
12.03	917	15.51	879,6
12.03	947	16.01	964,7

Sumber : Hasil dari pengolahan data, 2024

Pembakaran limbah lempung marmer selama 2 jam dilakukan untuk mengubah menjadi karbon. Dalam proses ini, limbah yang mengandung partikel marmer dan senyawa organik dipanaskan pada suhu tinggi, sehingga memicu reaksi kimia yang menyebabkan penguraian senyawa organik tersebut. Hasilnya, sebagian besar unsur organik terurai menjadi karbon, sementara komponen anorganik dari lempung dan marmer tetap tidak berubah. Proses ini menghasilkan limbah yang lebih stabil dan berpotensi untuk digunakan kembali dalam berbagai aplikasi, seperti bahan pengisi karbon atau material komposit.

IV.2 Pengaruh Agregat Kasar Terhadap Slump Test

Pengujian Slump test dilakukan untuk mengetahui tingkat kekentalan adukan beton berongga, yang dapat menggambarkan kemudahan pengerjaan (workability) beton. Adapun hasil dari pengujian slump test dapat dilihat pada Tabel IV.3

Tabel IV.3 Pengujian Slump test

No	Variasi Campuran (%)	Test Slump (cm)
1	0	10 cm
2	10	11 cm
3	20	12 cm
4	30	12 cm

Nilai *slump test* yang sangat mempengaruhi kemudahan dalam pengerjaan beton, dan penurunan nilai slump test dikenakan dalam perencanaan midesain. Semakin rendah nilai slump test maka semakin bagus rongga yang di dapatkan pada beton berongga akan tetapi *warkability* nya semakin menurun.

IV.3 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dapat dilakukan pada saat benda uji berumur , 28,hari dengan menggunakan *Compresion testing machine* untuk mendapatkan beban maksimum yaitu beban pada saat beton hancur ketika menerima beban tersebut.

Dari data pengujian kuat tekan dapat di peroleh kuat tekan rata rata. Hasil pengujian kuat tekan beton pada benda uji silinder deang diameter 10cm dan tinggi 20 cm pada umur 28 hari selengkapnya di sajikan pada tabel IV.4

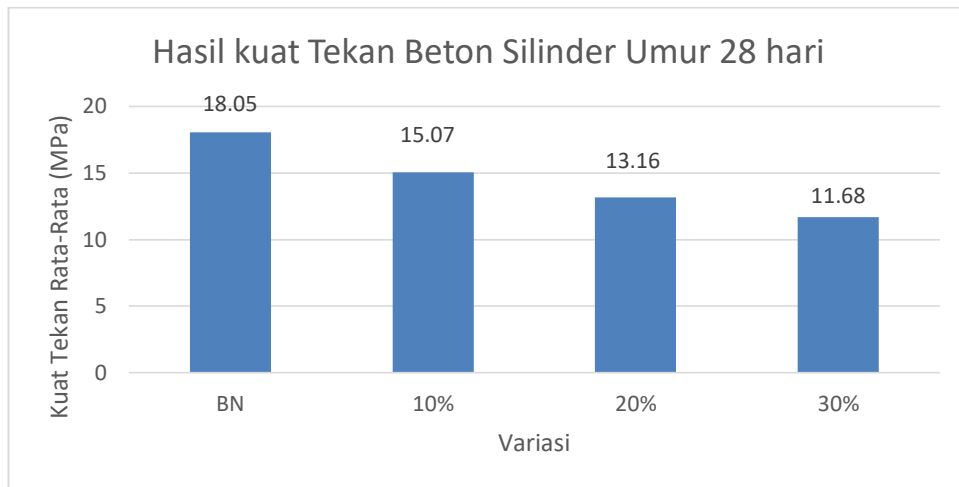
Tabel IV.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

No Benda Uji	Slump (cm)	Dimensi		Luas Bidang (cm ³)	Berat Sampel (gr)	Beban Maximum (KN)	Kuat Tekan (28 hari) (Mpa)	Kuat Tekan (Mpa)
		Panjang (cm)	Lebar (cm)					
0:00	12	10	20	7850	3046	140000	17.83	18.05
	12	10	20	7850	3267	145000	18.47	
	12	10	20	7850	3197	140000	17.83	
10%	12	10	20	7850	3261	120000	15.29	15.07
	12	10	20	7850	3074	120000	15.29	
	12	10	20	7850	3095	115000	14.65	
20%	12	10	20	7850	3015	110000	14.01	13.16
	12	10	20	7850	3109	100000	12.74	
	12	10	20	7850	2978	100000	12.74	
30%	12	10	20	7850	3188	90000	11.46	11.68
	12	10	20	7850	3222	90000	11.46	
	12	10	20	7850	3005	95000	12.10	

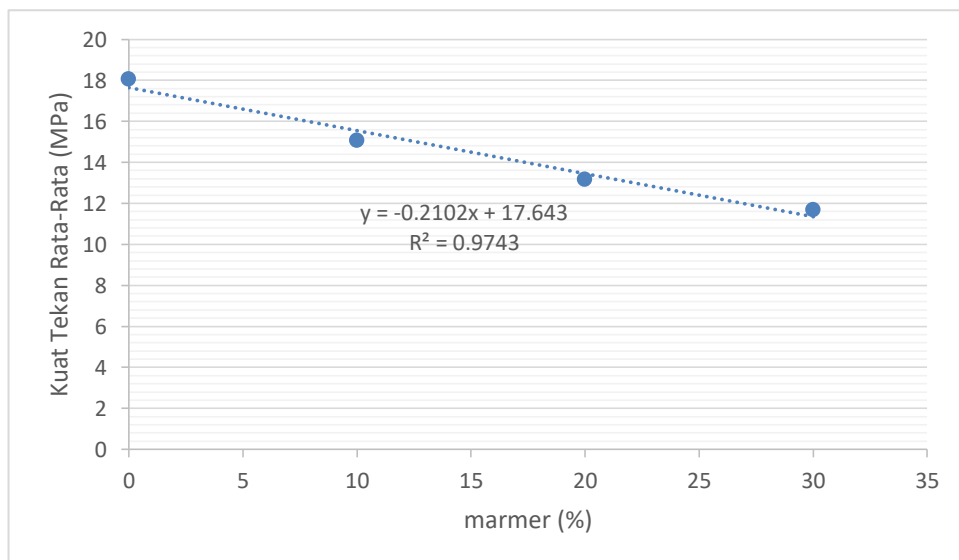
Sumber :Hasil Olah Data, 2024

Berdasarkan hasil kuat tekan rata-rata yang diperoleh, beton normal tanpa penambahan limbah marmer memiliki kuat tekan tertinggi, yaitu 18,05 MPa, yang berfungsi sebagai acuan standar. Dengan penambahan 10% limbah marmer, kuat tekan turun menjadi 15,07 MPa, menunjukkan penurunan yang cukup signifikan, namun masih dalam batas yang mungkin dapat diterima untuk beberapa aplikasi. Ketika 20% limbah marmer ditambahkan, kuat tekan semakin menurun menjadi 13,16 MPa, yang menunjukkan bahwa peningkatan proporsi limbah marmer secara bertahap mulai berdampak buruk pada kekuatan beton. Penambahan 30% limbah marmer memberikan penurunan kuat tekan yang paling signifikan, yaitu hanya mencapai 11,68 MPa, yang menunjukkan bahwa pada tingkat ini beton menjadi jauh lebih lemah dibandingkan beton normal.

Secara keseluruhan, semakin besar penambahan limbah marmer dalam campuran, semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan. Oleh karena itu, penggunaan limbah marmer dalam beton perlu dikendalikan, karena meskipun dapat memberikan keuntungan dari segi pengelolaan limbah, persentase yang terlalu tinggi secara langsung menurunkan kekuatan beton secara signifikan.



Gambar IV.1 Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Beton Berongga



Gambar IV.2 Hubungan Limbah Lempung Marmer Terhadap Kuat Tekan Beton Berongga

Berdasarkan Gambar IV.3 memperlihatkan hubungan limbah lempung marmer terhadap kuat tekan beton berongga menunjukkan pengaruh kuat tekan. Semakin tinggi variasi limbah lempung marmer yang digunakan maka semakin menurun hasil kuat tekan beton berongga. Disamping itu pengaruh karbon limbah lempung marmer terhadap kuat tekan beton berongga menghasilkan persamaan reaksi linear $y = -0.2102x + 17.643$ dan covisen determinasi $R^2 = 0.9743$. Jika R^2 mendekati 1 sangat berpengaruh (signifikan). Dari nilai R^2 , Maka disimpulkan semakin besar jumlah limbah lempung marmer maka

semakin kecil nilai kuat tekan. Maka dengan kata lain jumlah limbah lempung marmer sangat mempengaruhi atau signifikan terhadap nilai kuat tekan beton berongga.

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan data dari hasil pengujian terhadap beton berongga, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat tekan beton berongga yang menggunakan substitusi limbah lempung marmer sebesar 10%, 20%, dan 30%, berturut-turut sebesar 15,07 MPa, 13,16 MPa, dan 11,68 MPa. Dibandingkan dengan beton normal yang memiliki kuat tekan sebesar 18,05 MPa.
2. Pengaruh substitusi limbah lempung marmer terhadap kuat tekan beton berongga yaitu semakin besar jumlah limbah lempung marmer yang digunakan makin kecil nilai kuat tekan beton.

V.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dikemukakan beberapa saran yang dapat dan dijadikan bahan penelitian lanjutan kedepannya yaitu:

1. Penurunan kuat tekan beton seiring dengan meningkatnya persentase limbah marmer menunjukkan bahwa substitusi limbah marmer memiliki batas optimal. Penambahan 10% limbah marmer menurunkan kuat tekan dari 18,05 MPa menjadi 15,07 MPa, sedangkan pada 20% dan 30%, kuat tekan semakin menurun drastis. Oleh karena itu, disarankan untuk membatasi substitusi limbah marmer pada 10%, karena pada tingkat ini kuat tekan masih dapat diterima untuk aplikasi tertentu.
2. Tidak semua proporsi limbah marmer akan memberikan hasil yang baik. Lakukan pengujian dengan berbagai persentase substitusi untuk menemukan proporsi optimum yang tetap mempertahankan kekuatan dan stabilitas beton berongga.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, Candra 2013. *“Pemanfaatan Limbah Marmer dan Onyx Sebagai Bahan Bangunan Ramah Lingkungan” Laporan Penelitian Tahun 1, Universitas Widyagama, Malang, 2013.*
- Aditya, C., Halim, A., Silviana, 2016. *“Pemanfaatan Limbah Marmer Dan Serbuk Silika Pada Industri Bata Beton Pejal dan Belubang”, Proceeding Nasional Green Technology Innovation Seniaty 2016.*
- Aditya, A. Halim, *“Pemanfaatan Limbah Marmer Dan Serbuk Zeolit Sebagai Material Pada Bata Ringan CLC (Cellular Lightweight concrete),” jumlah Fak Teknol. Inf.- UNMERMalang, no. September, pp. 919-930, 2017.*
- Agil Fitri Handayani, Agoes Soehardjono M.D., Achfas Zacoeb. 2014. *“Pemanfaatan Limbah Serbuk Marmer Pada Beton Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Dengan Variasi Penggunaan Silica Flume”. TEKNOLOGI DAN KEJURUAN, VOL. 37, NO. 2, SEPTEMBER 2014:179-190: hal. 179-190.*
- Departemen Pekerjaan Umum, *“SNI 03-0348-1998. Bata Beton Untuk Pasangan Dinding “ Yayasan LPMB, Jakarta.1989.*
- E. A. R Dendo, *“Pemanfaatan Limbah Marmer Sebagai Bahan Perkerasan Jalan Pada Campuran Hot Rolled Sheet -Binder Course,” J. Dyn. Saint, Vol. 3, 1, pp. 486-503, 2018, doi: 10.47178/dynamicsaint.v3i1.272.*
- H. Hebhoub, H. Aoun, M. Belachia, H. Houari, and E. Ghorbel, *“Use Of Waste marble aggregates in concrete,” Constr. Build. Mater., vol. 25, no. 3, pp. 1167-1171, Mar.2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.09.037.*
- Hunggurami, E., Lauata, M. F., & Utomo, S. (2013). *Pemanfaatan Limbah Serbuk Batu Marmer Dari Gunung Batu Naitapan Kabupaten Timor Tengah Selatan Pada Campuran Paving Block. Jurnal Teknik Sipil, 2(1), 37-48.*
- Istiqomah, Shanti kurnia. 2013. *Pengaruh Limbah Marmer Sebagai Bahan Pengisi Pada Beton (175S). Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7) Universitas Sebelas Maret (UNS).*
- S. S. Nauk, E Hunggurami and M. E. Bolla, *“Pengunaan Limbah Batu Marmer Dari Gunung Batu Naitapan Kabupaten Timor Tengah Selatan,” J. Tek. Sipil, Vol. 1, no. 4, pp. 1-12, 2012.*

S. Zuraidah, & Rahmat, and A. Jatmiko, "*PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH PECAHAN BATU MARMER SEBAGAI ALTERNATIF PENGANTI AGREGAT KASAR PADA KEKUATAN BETO.*"

Sakalkale, A. et al, 2014. "*Experimental Study On Use Of Waste Marble Dust in Concrete*" *Int. Journal of Engineering research and Applications*, Vol. 4, Issue 10 (part – 6), October 2014, pp.44-50.

T. M Wihardi, H. Parung, K. Siswanto, and A. Dalle, "*Pecahan Marmer Sebagai Penganti Parsial Agregat Kasae SelfCompacting Concrete (SCC)*,"2006.

LAMPIRAN

Jl. Prof. Abduhrahman Basalamah NO. 101 Makassar 90231

Kode	Keterangan	Padat	Gembur
A	Volume bohler (liter)	1,28	1,28
B	Berat Bohler Kosong (gram)	4482,2	4482,2
C	Berat Bohler + Benda uji (gram)	6625,8	6546,1
D	Berat Benda uji = C-B (gram)	2143,6	2063,9
Berat	Volume = D/A kg/liter	1,67	1,61

31

JL. Prof Abdurahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Berat Contoh Kering = 1500

NOMOR SARINGAN	BERAT TERTAHAN	PERSEN TERTAHAN	Σ PERSEN TERTAHAN	PERSEN LOLOS
mm	Gram	%	%	%
3/4	508,2	33,88	33,88	66,12
1/2	291,1	19,41	53,29	46,71
3/8	233,8	15,59	68,87	31,13
4	231	15,40	84,27	15,73
8	143	9,53	93,81	6,19
16	18,9	1,26	95,07	4,93
30	12,5	0,83	95,90	4,10
50	42,1	2,81	98,71	1,29
200	19,4	1,29	100,00	0,00
pan	0	0,00	100,00	0,00
Jumlah	1500	100,00	623,21	176,21

$$\text{Modulus Kehalusan kerikil (F)} = \frac{623,793}{100} = 6,24\%$$

Jadi hasil pengujian analisa saringan agregat kasar 6,24% di mana memenuhi syarat pencampuran beton.

Makassar, 25 juli 2024

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium



Dr. Erdawaty, ST.,MT

Jl. Prof Abdurahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Kadar Air Agregat Kasar

Kode	Keterangan	Berat
A	Berat Talam (gram)	100,7
B	Berat Talam+Benda uji (gram)	1100,7
C	Berat Benda Uji=B-A (gram)	1000
D	Berat Benda Uji Kering (gram)	987,8
$(C-D)/D \times 100\%$		1,24
Kadar Air =		

Makassar, 25 juli 2024

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium



Dr. Erdawaty, ST.,MT

Jl. Prof Abdurahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Kadar Lumpur Agregat Kasar

$$(A-B)/A \times 100\%$$


**LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN PROGRAM STUDI
TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS FAJAR**

JL. Prof Abdurahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan	:Arnis Mia	Diperiksa	
			:Koordinator
Pengujian	:Karakteristik Agregat	Tanggal Pemeriksaan	:15 juli 2024
Penelitian	:Tugas Akhir		

A. Berat kosong keranjang	=	319	gram
B. Berat keranjang + Benda uji SSD udara	=	5360	gram
C. Berat keranjang + benda uji di dalam air	=	3156	gram
D. Berat keranjang dalam air	=	17	gram
E. Benda uji Kering	=	5000	gram

Absorpsi dan Berat Jenis Agregat Kasar

Apparent SG	=	$\frac{E}{E-(C-D)}$ $\frac{500}{1861}$		= 2,69
On dry basic	=	$\frac{E}{(B-A)-(C-D)}$ $\frac{5000}{1902}$	=	2,63
SSD basic	=	$\frac{B-A}{(B-A)-(C-D)}$ $\frac{5041}{1902}$	=	2,65
Absorption	=	$\frac{(B-A)-E}{E}$ $\frac{41}{5000}$	X	100%
	=	0,82%	X	100%

Makassar, 25 juli 2024

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium



Dr. Erdawaty, ST.,MT

Lampiran 1F



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof Abdurahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan	: Arnis Mia	Diperiksa	: Koordinator
Pengujian	: Karakteristik Agregat	Tanggal Pemeriksaan	: 15 juli 2024
Penelitian	: Tugas Akhir		

Keausan Agregat Kasar

Keterangan : Agregat kasar yang lolos saringan Nomor $\frac{3}{4}$ tetahan pada Saringan no. $\frac{1}{2}$ & $\frac{3}{4}$ (masing-masing 3000 gram)

$$A = 5000 \text{ gr}$$

$$B = 3015,2 \text{ gr}$$

$$(A-B)/A \times 100\%$$

Perhitungan = % keausan =

$$= \frac{5000 - 3015,2}{5000} \times 100\%$$
$$= 39,7\%$$

Keterangan

A = Agregat $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{8}$ masing-masing 2500 gr

B = Agregat tertahan No.8 (Kering Oven)

Jadi hasil pengujian keausan agregat kasar adalah = 39,7% dimana memenuhi syarat pencampuran beton

Makassar, 25 juli 2024

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT

Jl. Prof Abdurahman Basalamah No. 101Makassar 90231

Berat Volume Agregat Kasar (Krikil)

Kode	Keterangan	Padat	Gembur
A	Volume Bohler (liter)	1,28	1,28
B	Berat Bohler Kosong (gram)	442,2	4482,2
C	Berat Bohler=Benda Uji (gram)	6625,8	6546,1
D	Berat Benda Uji=C-B (gram)	2143,6	2063,9
<i>D/A</i>			
Berat	Volume	1,67	1,61

Makassar, 25 juli 2024

Koordinator Laboratorium



37

LAMPIRAN 2 HASIL MIX DESIGN

Lampiran 2A



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS

FAJAR

Jl. Prof Abdurahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan	: Arnis Mia	Diperiksa	: Koordinator
Pengujian	: Perhitungan Kuat Tekan	Tanggal Pemeriksaan	: 15 juli 2024
Penelitian	: Tugas Akhir		

Mix Design Perhitungan

1. Kuat tekan mortar yang disarankan pada 28 hari : 15 MPa
2. Deviasi standar S : 7 MPa (karena tidak mempunyai data pengalamannya)
3. Nilai tambah : 12 MPa (karena tidak mempunyai data)
4. Kuat tekan rata-rata yang direncanakan, f'_{cr} : no. 1 + 3 = 27 MPa
5. Jenis semen : biasa
6. Jenis krikil : batu pecah/cipping
7. Faktor air semen (lihat lampiran) : 0,55
8. Faktor air semen maksimum : 0.6 (tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung)



dipakai F. A.S yang terendah : 0,55

9. Nilai slump (lihat lampiran) : 10
10. Ukuran maksimum butiran krikil : 10
11. Kebutuhan air (lihat lampiran) : 250 liter
12. Kebutuhan air semen : 455 kg
13. Kebutuhan semen minimum (lihat lampiran) : 275 kg
14. Dipakai semen (diambil yang besar) : 455 kg
15. Dihitung pada langkah 12 maka tidak perlu penyesuaian jumlah air maupun faktor air semen. Jadi air tetap 225 liter dan faktor air semen tetap 0,45.
16. Golongan pasir, masuk dalam golongan 2
17. Persentase pasir terhadap campuran (gb.7.10.b) : 35%

18. Berat jenis campuran krikil (karena tidak ada datanya, maka diambil sebesar : 2,74 (krikil)

19. Berat beton berongga (lihat lampiran) : 2430 kg/m³

20. Kebutuhan berat pasir dan kerikil dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} W_{\text{pasir} + \text{kerikil}} &= W_{\text{btn}} - A - S \\ &= \text{no. 19} - 11 - 14 \\ &= 1725 \text{ kg} \end{aligned}$$

21. Kebutuhan pasir dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} W_{\text{pasir}} &= (P/100) \cdot W_{\text{pasir} + \text{Kerikil}} \\ &= (\text{no.17}/100) \cdot \text{no.20} \\ &= \text{kg} \end{aligned}$$

22. Kebutuhan kerikil dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} W_{\text{kerikil}} &= W_{\text{pasir} + \text{Kerikil}} - W_{\text{pasir}} \\ &= \text{no.20} - \text{no.21} \\ &= 1725 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jadi untuk 1 m³ beton (berat 2420 kg) dibutuhkan :

- a. Air : 250 Liter
- b. Semen : 454,55 kg (11,364 zak)
- c. krikil : 1725 Kg

Jadi untuk 1 adukan (misalnya kantong semen) maka dibutuhkan :

- a. Air : 22 Liter
- b. Semen : 40 kg kg (1 zak semen = 40 kg)
- c. krikil : 151,84 Kg

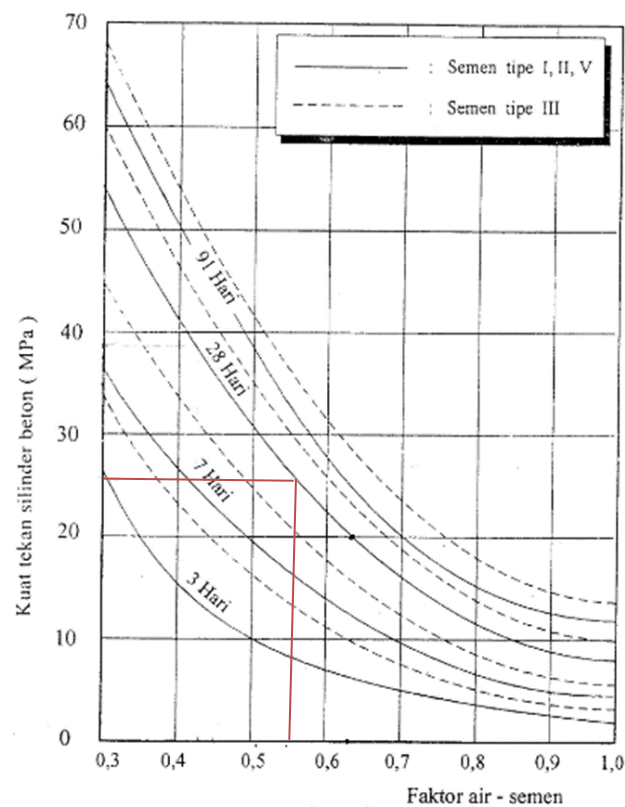


LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran : Grafik Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Rata-rata
Silinder Beton (Sebagai Perkiraan Nilai Fas)

Nama : Arnis Mia



Lampiran : Tabel Persyaratan Faktor Air Semen Maksimum Untuk berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus

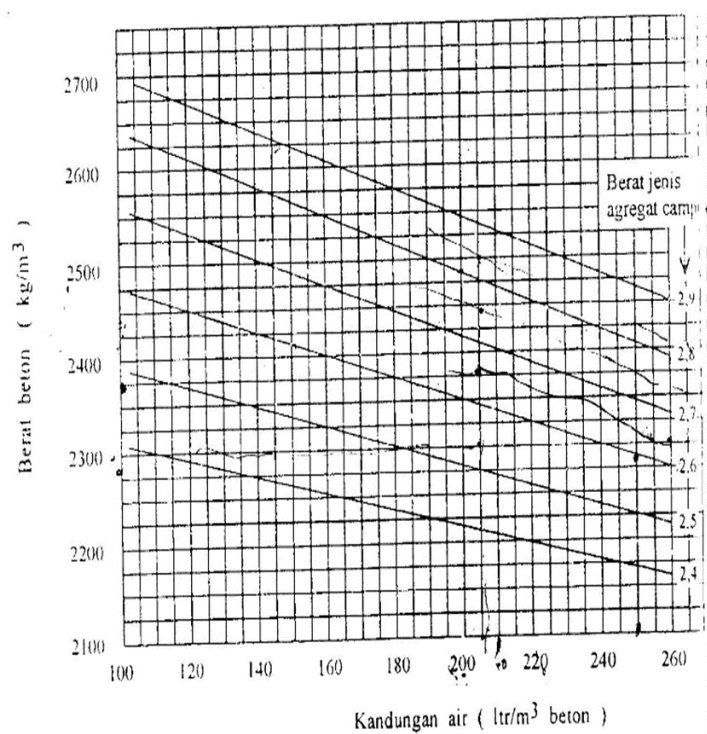
Jenis Pembetonan	Fas maksimum
Beton didalam ruangan bangunan :	
a. Keadaan keliling non-koresif	0,60
b. Keadaan keliling koresif, disebabkan oleh kondensasi atau uap koresi	0,52
Beton diluar ruang bangunan :	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,55
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
Beton yang masuk kedalam tanah :	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,56
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	Lihat tabel 7. 12.a
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	Lihat tabel 7.12.b

Lampiran 12 : Kebutuhan Semen Minimum Untuk Berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Semen minimum (Kg/m ³ beton)
Beton didalam ruangan bangunan :	
c. Keadaan keliling non-koresif	275
d. Keadaan keliling koresif, disebabkan oleh kondensasi atau uap koresi	325
Beton diluar ruang bangunan :	
c. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325
d. Terlindung dari hujan dan terik	275

matahari langsung	
Beton yang masuk kedalam tanah : c. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325
d. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	Lihat tabel 7. 15.a
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	Lihat tabel 7.15.b

Lampiran : Grafik Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat Campuran Berat Beton



Jl. Prof Abdurahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Mix Design Perhitungan

43

volume slinder									
dik :	t :	20 cm	=	0,2 m					
	D:	10 cm	=	0,1 m					
dit : Lo?									
volume slinder?									
Peny.									
	Lo	=	$\pi . r^2$						
		=	3,14	X	0,05				
		=	3,14	0,0025					
		=	0,0079	m2					
	Vol. Slinder	=	Lo . t						
			0,0079	0,2					
			0,00157	m3					
jadi kebutuhan campuran untuk				0,00157 m3	adalah :				
Tabel Perhitungan :									
m3	B. beton	air		semen	Ag. Halus		Ag. Kasar		
0,00157	3,8151 kg	0,3925 kg		0,713636 kg	0 kg		2,708964 kg		
1 m3	2430 kg	250 kg		454,5455 kg	0 kg		1725,455 kg		
jadi kebutuhan untuk		3	slinder	adalah	0,0157 m3				
3 slinder	b. Beton	air		semen	Ag. Halus		Ag. Kasar		
0,00157	11,4453 kg	1,1775 kg		2,141 kg	0 kg		8,126891 kg		
Perbndingan				1	0,00		3,80		

1 m3 adukan beton segar				
semen =	454,5454545	kg		
pasir =	0,000	kg		
kerikil =	1.725,455	kg		
air =	250	kg		
untuk 3 buah slinder dengan volume =			0,0047	m3
semen =	454,5454545	X	V. 3 slinder =	2,14 kg
pasir =	0,000	X	V. 3 slinder =	0,00 kg
kerikil =	1.725,455	X	V. 3 slinder =	8,13 kg
air =	250	X	V. 3 slinder =	1,18 kg
untuk 3 buah slinder dengan volume =			0,0047	m3
Variasi 10% Lempung Marmer				
semen =	454,5454545	X	V. 3 slinder =	1,93 kg
Marmer =	10%	X	V. 3 slinder =	0,21 kg
kerikil =	1.725,455	X	V. 3 slinder =	8,13 kg
air =	250,000	X	V. 3 slinder =	1,18 kg
untuk 3 buah slinder dengan volume =			0,0047	m3
Variasi 20% Lempung Marmer				
semen =	454,5454545	X	V. 3 slinder =	1,71 kg
Marmer =	20%	X	V. 3 slinder =	0,43 kg
kerikil =	1.725,455	X	V. 3 slinder =	8,13 kg
air =	250,000	X	V. 3 slinder =	1,18 kg
untuk 3 buah slinder dengan volume =			0,0047	m3
Variasi 30% Lempung Marmer				
semen =	454,5454545	X	V. 3 slinder =	1,50 kg
Marmer =	30%	X	V. 3 slinder =	0,64 kg
kerikil =	1.725,455	X	V. 3 slinder =	8,13 kg
air =	250,000	X	V. 3 slinder =	1,18 kg

Makassar, 25 juli 2024

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium



Dr. Erdawaty, ST.,MT

Jl. Prof Abdurahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

$$f'c = \frac{P}{\frac{\pi}{4}\phi^2}$$
$$\theta = \text{diameter rata - rata benda uji (mm)}$$

No Benda Uji	Tanggal		Slump (cm)	Dimensi		Luas Bidang (cm ³)	Berat Sampel (gr)	Beban Maximum (KN)	Kuat Tekan (28 hari) (Mpa)	Rata Rata Kuat Tekan (Mpa)
	Mix	Uji		Panjang (cm)	Lebar (cm)					
0:00	10/08/2024	07/09/2024	12	10	20	7850	3046	140000	17,83	18,05
	10/08/2024	07/09/2024	12	10	20	7850	3267	145000	18,47	
	10/08/2024	07/09/2024	12	10	20	7850	3197	140000	17,83	
10%	10/08/2024	07/09/2024	12	10	20	7850	3261	120000	15,29	15,07
	10/08/2024	07/09/2024	12	10	20	7850	3074	120000	15,29	
	10/08/2024	07/09/2024	12	10	20	7850	3095	115000	14,65	
20%	10/08/2024	07/09/2024	12	10	20	7850	3015	110000	14,01	13,16
	10/08/2024	07/09/2024	12	10	20	7850	3109	100000	12,74	
	10/08/2024	07/09/2024	12	10	20	7850	2978	100000	12,74	
30%	10/08/2024	07/09/2024	12	10	20	7850	3188	90000	11,46	11,68
	10/08/2024	07/09/2024	12	10	20	7850	3222	90000	11,46	
	10/08/2024	07/08/2024	12	10	20	7850	3005	95000	12,10	

DOKUMENTASI



LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

1. Proses Pengambilan dan Pembakaran Marmer



Pengambilan Limbah Marmer



Pengeringan Limbah Marmer



Penyaringan Limbah Marmer



Pembakaran Limbah Marmer



Pendinginan Karbon Limbah Marmer



Setelah pembakaran

2. Alat dan Bahan

a. Alat



Saringan agregat



timbangan



Mesin uji kuat tekan
(universal testing machine)



Silinder 10 x 20

b.Bahan



PCC Semen Tonasa



Limbah lempung marmer



Agregat kasar



Air

3. Proses Pencampuran dan Pengujian Material



penyaringan agregat kasar



Menimbang limbah lempung marmer



Menimbang liter air



Campuran di masukkan kedalam cetakan silinder



Proses percampuran



Proses pencampuran



Pengeringan benda uji



Menimbang benda uji



Pengujian benda uji beton berongga



Uji kuat tekan