

LAPORAN TESIS

**KARAKTERISTIK BETON BERONGGA DARI LIMBAH
PECAHAN BETON**

**CHARACTERISTICS OF POROUS CONCRETE FROM
WASTE CONCRETE FRAGMENTS**

ANDI RISWANDY IDRUS

D012 19 2 005



**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

KARAKTERISTIK BETON BERONGGA DARI LIMBAH PECAHAN BETON

Disusun dan diajukan oleh :

ANDI RISWANDY IDRUS

D012192005

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Magister Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 13 Agustus 2021

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui
Komisi Penasehat,

Ketua

Sekretaris

Prof. Dr. Ir. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng

Dr.Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T.

NIP. 19680529 200212 1 002

NIP. 19791226 200501 1 001

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Dr.Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.

Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T

NIP. 19720619 200012 2 001

NIP. 19601231 198609 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

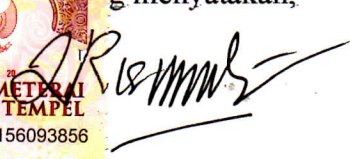
Nama : ANDI RISWANDY IDRUS
NIM : D01219 2 005
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Karakteristik Beton Berongga Dari Limbah Pecahan Beton adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi/Tesis/Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi/Tesis/Disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 5 Agustus 2021

g menyatakan,

(Andi Riswandy Idrus)



PRAKATA

Puji Tuhan kami panjatkan kehadiran Tuhan yang maha kuasa yang atas izinnya sehingga penelitian dan penulisan ini yakni “***Karakteristik Beton Berongga Dari Limbah Pecahan Beton***” dapat terselesaikan. Dalam melaksanakan penelitian ini upaya dan perjuangan keras kami lakukan dalam menyelesaikannya.

Kami menyampaikan penghargaan yang sangat tinggi dan amat mendalam kepada bapak **Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng**, atas bimbingan, arahan dan petunjuknya sehingga penelitian dan penyusunan disertasi ini dapat kami laksanakan dengan baik. Ucapan dan penghargaan yang sama kami sampaikan kepada **Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.** Selaku sekretaris komisi penasehat yang banyak memberikan waktu, arahan dan bimbingannya kepada kami. Kepada bapak kami mengucapkan terima kasih dan penghormatan yang setinggi-tingginya atas bimbingan yang begitu tulus dan ikhlas.

Penghargaan yang setinggi tingginya kepada ; Rektor Universitas Hasanuddin (**Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA**), bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc** (Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin), bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.** (Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (bapak **Prof. Dr. Muhammad Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng**), bapak **Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT.** (Ketua Program Studi S2 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin)

dan bapak/ibu dosen Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah mengarahkan dan membimbing dalam proses perkuliahan. Bapak/ibu staf Pascasarjana Unhas dan staf Prodi S2 Teknik Sipil yang sangat membantu dalam proses administrasi, kami sampaikan banyak terima kasih.

Ucapan terima kasih yang setinggi tingginya atas segala keikhlasan, pikiran dan tenaganya yang tidak ternilai. Hanya dengan doa semoga Allah SWT. Tuhan Yang Maha Kuasa dapat membalasnya.

Makassar, Juni 2020

Andi Riswandy Idrus

CHARACTERISTICS OF POROUS CONCRETE FROM WASTE CONCRETE FRAGMENTS

ABSTRACT

Porous concrete is a special type of concrete with a porosity volume ranging from 10-25% which allows rainwater to pass through and enter the ground thereby reducing surface runoff. Usually porous concrete uses few or no fine aggregate and has enough cement paste to coat the coarse aggregate surface to form a skeleton and maintain pores interconnectivity. Porous concrete was traditionally used for parking areas, traffic light roads, and sidewalks for pedestrians. The use of recycle aggregate concrete (RAC) in porous concrete production can reduce the concrete waste that produced from the construction works and demolished old concrete building. This study aimed to produce porous concrete using RAC as a coarse aggregate along with fibrillated Polypropylene (PP) fiber, and experimentally investigated physical properties in terms of compressive strength, strain at peak stress, modulus elasticity and Poisson's ratio resulting from compressive load at the early age of three, seven, twenty-eight days. Test results indicating that all the materials involved established excellent bond at the resulting in enhancement of physical properties of porous concrete specimens with increasing time from three, seven, and twenty-eight days.

Keywords: porous concrete, *recycle aggregate concrete (RAC)*, polypropylene fiber.

KARAKTERISTIK BETON BERONGGA DARI LIMBAH PECAHAN BETON

ABSTRAK

Beton porous adalah jenis beton khusus dengan volume porositas berkisar antara 10-25% yang memungkinkan air hujan dapat melewati dan masuk ke dalam tanah sehingga mengurangi limpasan permukaan. Biasanya beton berpori menggunakan sedikit atau tidak ada agregat halus dan memiliki cukup pasta semen untuk melapisi permukaan agregat kasar untuk membentuk kerangka dan menjaga interkoneksi pori-pori. Beton berpori secara tradisional digunakan untuk area parkir, jalan lampu lalu lintas, dan trotoar untuk pejalan kaki. Penggunaan *recycle agregat concrete (RAC)* dalam produksi beton berpori dapat mengurangi limbah beton yang dihasilkan dari pekerjaan konstruksi dan pembongkaran bangunan beton tua. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan beton porous menggunakan RAC sebagai agregat kasar bersama dengan serat Polypropylene (PP) berfibrilasi, dan secara eksperimental menyelidiki sifat fisik dalam hal kuat tekan, regangan pada tegangan puncak, modulus elastisitas dan rasio Poisson yang dihasilkan dari beban tekan. umur 3, 7, dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua bahan yang terlibat membentuk ikatan yang sangat baik yang mengakibatkan peningkatan sifat fisik benda uji beton berpori dengan bertambahnya waktu dari 3, 7 dan 28 hari.

Kata Kunci : Beton porous, *recycle aggregate concrete (RAC)*, polypropylene fiber

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
PRAKATA	iii
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	7
D. Batasan Masalah	8
E. Manfaat Penelitian	8
F. Sistematika Penulisan	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Penelitian Terdahulu Tentang Beton Rongga (<i>Porous Concrete</i>)	11
B. Pengujian Kuat Tekan	14
C. Beton Rongga dengan Limbah Beton sebagai agregat	16

D. Material Penyusun Beton Rongga	22
E. Persentase volume rongga beton.....	32
F. Ketepatan.....	33
G. Kurva tegangan regangan.....	33
H. Modulus elastisitas.....	35
I. Pola retak.....	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	38
B. Rancangan Uji	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Karakteristik material	48
B. Rancangan campuran beton rongga.....	48
C. Persentase volume rongga beton rongga	49
D. Kuat tekan beton rongga.....	53
E. Hubungan tegangan-regangan beton rongga	52
F. Rekapitulasi kuat tekan beton rongga	66
G. Koefisien nilai modulus elastisitas beton rongga	68
H. Hubungan nilai kuat tekan dan umur beton rongga..	68
I. Pola retak setelah pengujian kuat tekan	70
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Kesimpulan.....	75
B. Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	76

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Syarat Fisika Semen Portland Komposit	22
2. Syarat-Syarat Gradasi Agregat Kasar	24
3. Sifat fisik serat Polypropylene Fiber Size 19 and 38 mm	31
4. Rentang koefisien variasi yang dapat diterima	33
5. Metode pengujian karakteristik agregat kasar	41
6. Variasi campuran benda uji	44
7. Jenis Pengujian Beton Rongga dan Jumlah Benda Uji	45
8. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar RAC	49
9. Komposisi campuran beton rongga (1 m ³)	50
10. Komposisi campuran beton rongga (1000 Liter)	50
11. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan	67
12. Rekapitulasi nilai modulus elastisitas dan poisson rasio	68
13. Koefisien modulus elastisitas untuk kuat tekan beton rongga	69
14. Koefisien modulus elastisitas untuk berat isi beton rongga	69
15. Rekapitulasi kuat tekan rata-rata benda uji	70

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. (a) Serat Fiber Polypropylene berbentuk fibrillated ukuran 19 mm (b) Serat Fiber Polypropylene berbentuk fibrillated ukuran 38 mm	31
2. Limbah Beton	32
3. Kurva tegangan-regangan tipikal beton	34
4. Kurva tegangan-regangan untuk berbagai kekuatan beton	34
5. Pola kehancuran berdasarkan SNI 1974-2011	35
6. Pola kehancuran dalam penelitian J.R. Del Viso, dkk (2007).....	36
7. Diagram Alir Penelitian	39
8. Persiapan penggunaan material RAC	42
9. Cetakan Benda Uji Silinder.....	43
10. Proses Pencampuran Pembuatan Beton Rongga.....	44
11. Posisi Benda Uji Pengujian Kuat Tekan	48
12. Persentase volume rongga beton rongga.....	51
13. Kuat Tekan Beton Rongga	53
14. Hubungan tegangan-regangan sampel BRFB 38 umur 3 Hari....	54
15. Hubungan tegangan-regangan sampel BRFB 38 umur 7 Hari....	55
16. Hubungan tegangan-regangan sampel BRFB 38 umur 28 Hari..	56
17. Hubungan tegangan-regangan sampel BRFB 19 umur 3 Hari....	57
18. Hubungan tegangan-regangan sampel BRFB 19 umur 7 Hari....	58
19. Hubungan tegangan-regangan sampel BRFB 19 umur 28 Hari..	59

20.	Hubungan tegangan-regangan sampel BRGB 3819 umur 3 Hari	61
21.	Hubungan tegangan-regangan sampel BRGB 3819 umur 7 Hari	62
22.	Hubungan tegangan-regangan sampel BRGB 3819 umur 28 Hari.....	63
23.	Hubungan tegangan-regangan sampel BRTF umur 3 Hari.....	64
24.	Hubungan tegangan-regangan sampel BRTF umur 7 Hari.....	65
25.	Hubungan tegangan-regangan sampel BRTF umur 28 Hari.....	66
26.	Kurva hubungan kuat tekan dengan umur benda uji.....	70
27.	Pola retak benda uji umur 3 Hari	71
28.	Pola retak benda uji umur 7 Hari	72
29.	Pola retak benda uji umur 28 Hari	72
30.	Pengamatan visual pola retak beton rongga.....	73

DAFTAR NOTASI

AFm	=	Aluminoferrit monosulfat
Aft	=	Aluminoferrit tetrasulfat
ASTM	=	<i>American Society for Testing and Material</i>
BFS	=	<i>Blast Furnace Slag</i>
CaO	=	Kapur/Batu Kapur
Ca(OH)₂	=	<i>Calcium hydroxide</i>
Cl/Cl₂	=	Klorida/Klorin
CSH	=	<i>Calcium silicate hydrate/tobermorite</i>
CH	=	<i>Calcium hydroxide/portlandite</i>
C₂S	=	<i>Dicalcium silicate/Belite</i>
C₃S	=	<i>Tricalcium silicate/alite</i>
C₃A	=	<i>Tricalcium Aluminate/aluminate</i>
C₄AF	=	<i>Tetracalcium Alumino Ferrite/ferrite</i>
C₃A.3CaSO₄.10H₂O	=	AFm
C₃A.3CaSO₄.32H₂O	=	Aft/ <i>Ettringite</i>
D	=	Diameter Benda Uji Silinder
DEF	=	<i>Delay ettringite formation</i>
Et	=	<i>Ettringite</i>
FAS	=	Faktor air semen
σ	=	Kuat tekan (MPa)
Fs	=	<i>Friedel's salt</i>
FA	=	Fly Ash
FCM	=	<i>Fresh Concrete Materials</i>
GPC	=	<i>Geopolymer Concrete</i>
GRAC	=	<i>Geopolymer Recycle Agreggate Concrete</i>
Isl-p	=	<i>Isolated pore</i>
Intr-p	=	<i>Intergranular pore</i>
K	=	Konstanta empirik
L	=	Panjang benda uji silinder

MPa	=	Mega Pascal, satuan kuat tekan
MgSO₄	=	Magnesium sulfat
NaCl	=	Natrium klorida
m	=	Konstanta Empirik
No	=	Nomor
OPC	=	<i>Ordinary Portland Cement</i>
SEM	=	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
SK SNI	=	Standar Konstruksi Standar Nasional Indonesia
SSD	=	Saturated Surface Dry
SWCM	=	<i>Waste Concrete Strengthened With Admixture</i>
UCS	=	<i>Unconfined Compressive Strength</i>
P	=	Beban Maksimum
V_p	=	Persentase volume rongga
PCC	=	<i>Portland Cement Composite</i>
SiO₂	=	Silika Oksida
XRD	=	<i>X-Ray Diffraction</i>
WCF	=	<i>Waste Concrete Fine</i>
WCM	=	<i>Waste Concrete Materials</i>
%	=	Persen
‰	=	Per mil
3CaO.Al₂O₃.CaCl.10H₂O	=	<i>Friedel's salt</i>

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan pelayanan sarana dan prasarana, perubahan tata guna lahan menjadi berbagai infrastuktur menyebabkan berkurangnya daerah resapan air. Penggunaan lahan yang tidak memperhatikan faktor lingkungan menyebabkan limpasan permukaan dan meningkatkan resiko pencemaran air tanah. Oleh karena itu, diperlukan penggunaan material yang dapat meminimalisir resiko tersebut.

Penggunaan beton konvensional yang terus meningkat mengakibatkan lapisan kedap air semakin luas, sehingga air hujan tidak dapat berinfiltrasi ke dalam tanah dan mengakibatkan limpasan permukaan (*surface runoff*) menjadi lebih besar. Hal ini mengakibatkan muka air tanah menjadi turun dan terjadi genangan atau banjir pada musim hujan.

Beton rongga adalah jenis beton khusus dengan porositas tinggi yang diaplikasikan sebagai plat beton yang memungkinkan air hujan dan air dari sumber-sumber lain untuk dapat melewatinya, sehingga mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan muka air tanah. Porositas tinggi tercapai karena rongga yang saling berhubungan. Biasanya beton porous menggunakan sedikit atau tanpa agregat halus

dan memiliki cukup pasta semen untuk melapisi permukaan agregat kasar dan untuk menjaga interkoneksi pori. Beton porous secara tradisional digunakan untuk area parkir, di daerah lampu lalu lintas, dan trotoar untuk pejalan kaki (Wang, K et al, 2006).

Beton porous memiliki banyak nama yang berbeda diantaranya adalah beton tanpa agregat halus (*zero-fines concrete*), beton yang dapat tembus (*pervious concrete*), dan beton berpori (*porous concrete*). Kuat tekan beton tanpa pasir lebih rendah dari kuat tekan beton normal konvensional karena peningkatan porositas. Kuat tarik dan kuat lentur beton tanpa pasir juga jauh lebih rendah dari beton konvensional (Abadjieva dan Sephiri, 2000).

Faktor air semen untuk beton non pasir bukan faktor utama untuk mengontrol sifat kekuatan. Faktor yang lebih penting adalah perbandingan agregat dengan semen. Ada suatu faktor air semen optimum yang memberikan kekuatan dan kepadatan maksimum. Penggunaan faktor air semen lebih tinggi dari 0,45 mengakibatkan pasta semen menjadi terlalu cair, dan akan mengalir meninggalkan agregat serta menyebabkan pengendapan pasta semen di dasar. Dengan faktor air semen yang lebih rendah dari 0,45 pasta tidak akan cukup untuk melapisi agregat. Faktor air semen optimum memungkinkan pasta semen untuk melapisi agregat secara seragam. Faktor air semen optimum untuk perbandingan agregat dengan semen 6:1 and 7:1 adalah sekitar 0,45 (Abadjieva dan Sephiri, 2000).

Penggunaan limbah dan bahan daur ulang dalam campuran beton menjadi trend perkembangan beton saat ini, selain membantu mengurangi pencemaran lingkungan, dengan memanfaatkan dan mengolah limbah padat yang dihasilkan oleh limbah industri dan sampah kota, juga mengurangi penggunaan material alam yang jumlahnya semakin terbatas.

Penggunaan kembali limbah beton telah diukur dan dilakukan penelitian secara multilateral. Penggunaan paling umum dari limbah beton yang dihancurkan adalah sumber agregat biasa yang digunakan di subbase perkerasan jalan (Viantono dan Aris, 1997). Rasio penggunaan kembali limbah beton telah dimanfaatkan dan saat ini sekitar 60% di Jepang. Namun, rasio ini tidak cukup tinggi untuk digunakan sebagai pengganti agregat kasar. Tujuan penggunaan limbah beton sebagai agregat dapat mendukung industri yang kompatibel secara ekologis. Pengembangan lebih lanjut tentang teknologi ini untuk mengurangi dampak lingkungan yg dapat terjadi. Emisi CO₂ dari bahan bakar dan kalsinasi normal diproduksi dan dihasilkan oleh semen portland yaitu sebesar 2% dalam satuan karbon (Sakai et al. 1995), yang merupakan salah satu nilai tertinggi nilai emisi CO₂ di industri. Karbonasi yang terjadi pada beton merupakan masalah yang harus dinetralisasi, karena dapat menyebabkan keretakan, akibat susut yang terjadi pada beton. Selain itu, karbonasi yang terjadi dapat mengurangi alkalinitas pada beton sehingga menghasilkan pengurangan berat beton yang disebabkan oleh korosi.

Berbagai penelitian telah dilakukan berkaitan dengan kinerja beton porous dan beton-beton konvensional yang menggunakan limbah beton sebagai agregat kasar. Ren Xin dan Liyang Zhang, 2016 menyelidiki pemanfaatan limbah daur ulang beton, baik agregat kasar maupun halus yang diperoleh dari penghancuran limbah beton tersebut, untuk menghasilkan beton baru melalui geopolimerisasi. Berdasarkan studi sebelumnya dan mempertimbangkan kemampuan kerja beton geopolimer baru atau di sebut *GeoPolymer Concrete (GPC)*, 25% limbah beton halus atau disebut *Waste Concrete Fine (WCF)*, dan 75% fly ash (FA) kelas-F digunakan sebagai sumber semen geopolimer bahan, larutan NaOH/Na₂SiO₃ sebagai aktivator alkali, dan agregat (agregat kasar dan halus) dari penghancuran limbah beton sebagai agregat. Penelitian mempelajari secara sistematis pengaruh berbagai faktor pada waktu umur awal dan kekuatan tekan atau disebut *Unconfined Compressive Strength (UCS)* GPC yang dibatasi pada umur 7 hari. Berdasarkan studi ini, disimpulkan bahwa limbah beton dapat sepenuhnya didaur ulang dan digunakan untuk produksi beton geopolimer baru dengan nilai UCS yang diperlukan.

Akhtar, M. F., et al., 2018 mencoba mengembangkan patokan mark untuk penggunaan beton sisa bongkar sebagai agregat kasar alami pada beton. Percobaan dilakukan untuk melihat sifat karakteristik fisik dan mekanik RCA dan dibandingkan dengan properti agregat kuarsit dan granit yang dihancurkan yang digunakan secara lokal. RCA dibuat dari balok beton yang dikumpulkan dari lokasi pembongkaran yang berusia 25-

30 tahun bangunan. Sifat RCA diselidiki dan dibandingkan dengan sifat konvensional beton yang dibuat dengan menggunakan kuarsit dan granit. Spesimen kubus dengan ukuran 100 mm digunakan untuk pengujian kekuatan tekan beton untuk semua campuran beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton dengan RCA sebanding dengan kuat tekan beton dengan RCA agregat.

Gull, Ishtiyag, 2011 memberikan hasil studi yang dilakukan untuk menilai kesesuaian hasil pembongkaran konstruksi yang dapat digunakan sebagai agregat kasar untuk memproduksi beton. Tiga variasi bahan beton yang digunakan yaitu beton segar atau disebut *Fresh Concrete Materials* (FCM), beton bekas atau disebut *Waste Concrete Materials* (WCM), dan beton bekas yang menggunakan admixtures atau disebut *Waste Concrete Strengthened With Admixture* (SWCM). Berbagai campuran untuk penelitian dengan memvariasikan proporsi semen, pasir dan kerikil. Semua campuran dirancang untuk kekuatan (fck) M20. Beton diuji kuat tekannya di laboratorium setelah umur 3, 7, dan 28 hari. Spesimen yang digunakan untuk pengujian termasuk balok, silinder, dan balok lentur. Pengaruh campuran pada kekuatan beton bekas. Kuat tekan FCM, WCM, dan SWCM dibandingkan dan hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak banyak perbedaan kekuatan FCM dan SWCM setelah 28 hari. Untuk beton dengan menggunakan limbah daur ulang limbah sebagai bahan agregat dalam produksi beton baru.

Liu, Zhen, et al., 2016 menyelesaikan permasalahan yang diakibatkan oleh konstruksi dan limbah pembongkaran serta menipisnya agregat alam, di studi ini, baik agregat kasar daur ulang dan agregat halus daur ulang digunakan untuk menghasilkan beton hijau baru berbasis abu terbang–geopolimer. Studi mekanik menunjukkan bahwa penurunan laju kuat tekan, modulus elastisitas, dan poisson rasio spesimen beton agregat daur ulang geopolimer atau disebut *Geopolymer Recycle Agregate Concrete* (GRAC) meningkat dengan rasio air/semen (w/c). modulus elastisitas jauh lebih rentan terhadap peningkatan rasio w/c terhadap nilai kuat tekan. Perubahan signifikan pada sampel GRAC dapat diberikan dengan properti yang buruk yang diberikan kepada geopolimer dengan peningkatan rasio w/c. Saat minimum rasio diterapkan, geopolimer berbasis fly ash memberikan sifat mekanik yang lebih baik pada spesimen beton yang biasa berbasis semen portland. Dengan bantuan pemindaian mikroskop elektron dan nanoindentation, tidak ada zona berpindah antar muka yang berkembang dengan baik antara pasta semen lama dan pasta geopolimer/semen baru.

Dengan digunakannya beton berpori sebagai perkerasan diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif perkerasan untuk mengurangi permasalahan lingkungan yang ada. Dengan penggunaan perkerasan beton berpori maka air permukaan, terutama air hujan akan dapat disalurkan ke dalam tanah kembali agar tidak terbuang begitu saja. Sehingga dapat menambah cadangan air tanah serta mencegah

terjadinya banjir. Selain itu perkerasan beton berpori juga membuat penggunaan lahan untuk drainase menjadi berkurang, membuat lahan-lahan yang ada dapat digunakan untuk kebutuhan yang lain.

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu di atas maka dapat disimpulkan bahwa dengan pemanfaatan limbah beton ke dalam campuran beton rongga akan menjadi salah satu solusi dari pemanfaatan material limbah. Dari uraian-uraian diatas, penulis memandang perlu melakukan penelitian lebih lanjut tentang kinerja beton rongga yang menggunakan limbah beton, sehingga penulis membuat penelitian ini dengan judul **“Karakteristik Beton Berongga dari Limbah Pecahan Beton”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik kuat tekan, modulus elastisitas, dan poisson rasio beton rongga yang menggunakan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar ?.
2. Bagaimana pola retak beton rongga yang menggunakan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar ?.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis karakteristik kuat tekan, modulus elastisitas, dan poisson rasio beton rongga yang menggunakan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar.
2. Menganalisis pola retak beton rongga yang menggunakan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar.

D. Batasan Masalah

Pada penelitian ini perlu membatasi masalah penelitian ini agar dapat lebih terarah sehingga fokus penelitian ini adalah :

1. Penelitian yang dilakukan adalah berbentuk uji eksperimen di laboratorium.
2. Penelitian ini menggunakan limbah beton ukuran 5-10 mm dan 10-20 mm.
3. Variabel yang digunakan dalam penelitian berupa variasi agregat limbah beton menggunakan serat fiber yaitu Serat Fiber berbentuk fibrillated dengan ukuran 38 mm, Serat Fiber berbentuk fibrillated dengan ukuran 19 mm, 50% Serat Fiber berbentuk fibrillated dengan ukuran 38 mm dan 50% ukuran 19 mm, serta Tanpa Fiber.
4. Penelitian ini menggunakan superplasticizer sebagai bahan tambah.
5. Pengujian dilakukan pada umur 3, 7, dan 28 hari curing air.
6. Benda uji beton rongga (beton porous), dilakukan pengujian kuat tekan.

7. Substitusi terhadap agregat kasar oleh *Recycled Agreggate Concrete* (RAC) yakni 100%.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah menghasilkan suatu inovasi pada teknologi beton rongga (beton berpori) yang memanfaatkan material limbah atau buangan (limbah beton), secara berkelanjutan. Selain itu, dapat memprediksi karakteristik kuat tekan beton rongga atau beton berpori yang menggunakan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar.

F. Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah tulisan ini, sistematika penulisan tesis yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan sehingga produk yang dihasilkan lebih sistematis sehingga susunan tesis ini dapat diurutkan yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini, memberikan gambaran tentang pentingnya masalah ini diangkat sebagai sebuah penelitian S2. Pokok-Pokok bahasan dalam BAB ini adalah latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan dari penelitian ini, manfaat dari penelitian ini, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tinjauan umum yang digunakan untuk membahas dan menganalisa tentang permasalahan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahap demi tahap prosedur pelaksanaan penelitian serta pengolahan hasil penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu Tentang Beton Rongga (*Porous Concrete*)

Beton berpori dikategorikan sebagai jenis beton khusus dimana air yang mengendap akan melewatinya, mengurangi limpasan dan karenanya mengisi ulang air tanah. United Kingdom (UK) telah dipercaya sebagai pengguna pertama beton ini (Lin, Wuguang, et al., 2016). Sejak saat itu, telah digunakan di berbagai Negara bagian seperti Amerika Serikat, Eropa dan Jepang (Chen, Jiaqi, et al., 2019). Beton berpori dibuat dengan menghilangkan agregat halus yang digunakan dalam beton pada umumnya atau menggunakan jumlah agregat halus yang tidak signifikan untuk kekuatan yang lebih baik. Dengan demikian, beton ini pada dasarnya adalah beton dengan tingkatan celah pori yang besar, dengan rasio semen dan air yang rendah (Chen, Jiaqi, et al., 2019).

Dengan demikian, sifat-sifatnya berbeda secara substansial dibandingkan dengan beton konvensional (Tamai, Hiroki, 2015). Sifat-sifat seperti permeabilitas air, drainase air muka tanah dan retensi air telah terjadi dieksploitasi secara melimpah (Chen, Jiaqi, et al., 2019). Juga, beton berpori memiliki manfaat lingkungan seperti manajemen air badai, isi ulang air tanah dan pengurangan polusi air dan tanah (Bubeník, Jan, dan Jiří Zach, 2019). Oleh karena itu, ditemukan aplikasi beton berpori di area seperti jalan masuk, tempat parkir, trotoar, jalan, dan volume lalu

lintas yang rendah (Xu, Gelong, et al., 2018). Dua sifat karakteristik penting dari beton berpori adalah kekuatan dan permeabilitas. Secara umum, beton berpori memiliki persentase volume rongga mulai dari 15 hingga 25% (Chen, Jiaqi, et al., 2019; Tamai, Hiroki, 2015) dengan kekuatan tekan antara 5–25 MPa (Elizondo-Martínez, Eduardo Javier, et al., 2019) dan permeabilitas air turun di kisaran 80-720 liter per menit per meter persegi (Yao, Ailing, et al., 2018). Properti ini bergantung pada tiga parameter yaitu porositas beton, perbandingan air dan semen dengan ukuran dan volume agregat (Xu, Gelong, et al., 2018; Xie, Chao, et al., 2020). Tapi, kekuatan secara alami berkurang dengan peningkatan permeabilitas dan rongga. Namun demikian Tantangan Urbanisasi di Negara Berkembang variasi optimal dari parameter-parameter ini untuk mendapatkan kekuatan yang memadai tanpa secara signifikan mempengaruhi permeabilitas masih belum jelas.

Beton berpori sebagai salah satu kelompok beton memiliki komposisi yang sama dengan beton konvensional yang terdiri dari semen, air, dan agregat, dengan pengecualian bahwa agregat halus biasanya dikurangi atau bahkan dihilangkan seluruhnya, dan distribusi ukuran agregat kasar dijaga agar tetap sempit. Ini tidak hanya memberikan yang bermanfaat sifat mengeras, tetapi juga menghasilkan campuran yang membutuhkan pertimbangan berbeda dalam desain pencampuran, prosedur pencampuran, pemadatan dan perawatan (Lin, Wuguang, et al., 2016). Baru-baru ini peningkatan pertimbangan untuk lingkungan dan

manajemen berkelanjutan terlihat dan dipromosikan tentang penggunaan beton berpori. Beton ini bisa menjadi sarana sukses dalam menyikapi sejumlah masalah lingkungan dan mendukung pembangunan berkelanjutan. Meski memiliki kekuatan yang lebih rendah, beton berpori dengan yang lebih tinggi porositas berguna untuk banyak aplikasi, seperti perkerasan permeabel (Chen, Jiaqi, et al., 2019), pemurnian air (Tamai, Hiroki, 2015; Bubenik, Jan, dan Jiří Zach, 2019), peredam panas (Xu, Gelong, et al., 2018; Yao, Ailing, et al., 2018), dan peredam suara (Elizondo-Martínez, Eduardo Javier, et al., 2019). Beton berpori telah banyak digunakan untuk daerah yang mempunyai curah hujan yang tinggi dan telah berhasil digunakan untuk menyaring air dan mengurangi muatan polutan yang masuk ke aliran, kolam, dan sungai (Xie, Chao, et al., 2020). Kisaran porositas yang umumnya diharapkan untuk beton berpori untuk perkerasan dan aplikasi lain adalah sekitar 15% hingga 25% (Wang, P., and C. Zhao, 2015). Dalam dekade terakhir, investigasi tentang keselamatan infrastruktur sipil dan mode kegagalannya terekspos berbagai pemuatan yang parah selama kondisi kemudahan servisnya telah menarik lebih banyak perhatian. Unsur struktural mungkin memulai kegagalan ketika mengalami beban yang berat, seperti muatan impak sebagai salah satu jenis muatan yang penting. Di sisi lain, elemen struktural harus tetap berkelanjutan karena dampak muatan.

Beton berpori memiliki banyak rongga dan elastis yang lebih rendah moduli diharapkan dapat digunakan sebagai penyerap energi dampak

karena kerusakan struktur diri ketika mengalami dampak beban, dan berpotensi dapat menunjukkan karakteristik kerusakan.

Beton berpori (atau beton tembus pandang) terbuat dari semen, agregat kasar dan sangat sedikit agregat halus, yang biasanya memiliki porositas 20-30% dan permeabilitas hidrolis yang tinggi (Yao, Xingliang, et al., 2019). Porositas berpori yang tinggi mengurangi kapasitas strukturnya dibandingkan dengan beton semen konvensional. Oleh karena itu, perkerasan beton berpori terutama konstruktif pada lapisan dasar agregat dan tanah infiltrasi tinggi untuk mengurangi limpasan air hujan di permukaan trotoar di area lalu lintas ringan (Gupta, Mayank, et al., 2016; Lin, Wuguang, et al., 2016). Beton berpori telah diadvokasi sebagai solusi perkerasan dingin untuk mengurangi efek Urban Heat Island (UHI), yang biasanya disebabkan oleh konsentrasi tinggi permukaan jalan dan atap bangunan di daerah perkotaan (Lin, Wuguang, et al., 2016; Xie, Chao, et al., 2020; Yao, Ailing, et al., 2018).

B. Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah perbandingan besarnya beban maksimum dengan luas tampang silinder beton dengan satuan N/mm^2 . Kuat tekan beton ditentukan oleh perbandingan semen, agregat halus, agregat kasar, air dan berbagai campuran lainnya. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama dalam menentukan kuat tekan beton.

Berdasarkan SNI 1974:2011, kuat tekan beton dihitung dengan membagi kuat tekan maksimum yang diterima benda uji selama pegujian dengan luas penampang melintang. Persamaan kuat tekan diperlihatkan pada persamaan 1.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana:

$f'c$ = Kuat tekan beton dengan benda uji silinder (MPa)

P = Gaya tekan aksial (Newton, N)

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

Dalam penelitian ini, kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum $f'c$ dengan satuan kg/cm² atau MPa (mega pascal). Besarnya kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- a) Jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kuat tekan rata-rata dan kuat batas beton.
- b) Jenis dan tekstur bidang permukaan agregat.
- c) Perawatan beton harus diperhatikan, sebab kehilangan kekuatan akibat pengeringan sebelum waktunya adalah sekitar 40%.
- d) Suhu mempengaruhi kecepatan pengerasan.
- e) Umur, pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya.

Kecepatan bertambahnya kekuatan, bergantung pada jenis semen yang digunakan, misal semen dengan alumina yang tinggi akan menghasilkan beton dengan kuat hancur pada umur 24 jam sama dengan

semen *portland* biasa umur 28 hari. Pengerasan berlangsung terus seiring dengan penambahan umur beton.

C. Beton Rongga dengan Limbah Beton Sebagai Agregat

Beton adalah salah satu teknologi konstruksi dalam disiplin ilmu bahan yang selalu berkembang hingga saat ini. Sering kali bahan-bahan yang diperlukan untuk pembuatan beton secara masif diberbagai daerah menimbulkan kerusakan alam. Dalam pelaksanaan konstruksi, banyak pula limbah-limbah beton hasil dari pengujian dan pembongkaran bangunan maupun jalan. Kontribusi limbah beton terhadap timbunan sampah konstruksi cukup besar. Hal ini sejalan dengan semakin meningkatnya aktifitas konstruksi bangunan.

Di Indonesia, limbah konstruksi biasanya tidak dimanfaatkan dengan baik. Sebagian besar dibuang begitu saja di lahan terbuka dan beberapa digunakan sebagai bahan urugan. Ketersediaan material tersebut sangat banyak. Sehingga potensi untuk mendaur ulang sangat mungkin untuk dilakukan. Sangat diperlukan suatu teknologi konstruksi yang dapat mengurangi eksploitasi alam dan dapat memanfaatkan limbah-limbah beton. Salah satu contoh upaya mengurangi dampak tersebut adalah menggunakan kembali limbah beton untuk penggunaan beton baru. Hal ini menjadi alternatif bahan beton yang menguntungkan, karena agregat yang digunakan adalah agregat yang telah dibuang. Pemanfaatan kembali limbah beton akan meningkatkan umur penggunaan material dari limbah itu sendiri.

Eni Febriani (2013), dalam penelitiannya Pengaruh Pemanfaatan Pecahan Beton Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar Sebagai Campuran Beton K- 250 kg/cm². Dengan menggunakan 100% limbah beton yang dibandingkan dengan beton agregat baru didapatkan rata-rata kuat tekan pada 28 hari menggunakan sampel kubus 15 x 15 cm adalah 257,12 kg/cm² untuk beton normal dan 191,14 kg/cm² untuk beton limbah.

Hamid dkk (2014), dalam penelitiannya Pengaruh Penggunaan Agregat Daur Ulang Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Berkinerja Tinggi Grade 80. Dengan menggunakan agregat halus daur ulang 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% terhadap berat total agregat halus alami. Kuat tekan beton dengan murni agregat alami sebesar 85,51 MPa. Penggantian agregat halus alami dengan agregat halus daur ulang pada porsi penggantian 20% nilai kuat tekan sebesar 67,58 MPa, porsi 40% nilai kuat tekan sebesar 62,06 MPa, porsi 60% nilai kuat tekan sebesar 60,68 MPa, porsi 80% nilai kuat tekan sebesar 57,92 MPa dan porsi 100% nilai kuat tekan sebesar 53,79 MPa.

Cahyadi W. D. (2012), dalam penelitiannya Studi Kuat Tekan Beton Normal Mutu Rendah Yang Mengandung Abu Sekam Padi atau disebut *Risk Husk Ash* (RHA) dan Limbah Adukan Beton atau di sebut *Concrete Sludge Waste* (CSW). Abu sekam padi (RHA) digunakan untuk substitusi perekat semen dan penggunaan limbah adukan beton (CSW) sebagai agregat halus untuk mengurangi jumlah pasir pada beton. Penelitian dengan menggunakan CSW 30%, 40%, 50%, 60% dan 70% dengan

penggunaan RHA tetap yaitu 8% dari total pemakaian semen. Pada pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas nilai optimum terjadi pada campuran CSW 30%, sedangkan prosentase susut terbesar terjadi pada beton dengan campuran CSW 70%.

Oleh karena itu, ada kebutuhan untuk membangun suatu teknologi daur ulang yang memanfaatkan kembali limbah beton sebagai bahan pembuatan beton baru yang berkaitan dengan perlindungan lingkungan dan berbasis material limbah. Untuk mencapai tujuan ini, kebijakan yang beragam telah diusulkan oleh akademisi dan industri (Padmini et al. 2002; Limbachiya et al. 2000). dalam penelitian mereka menggunakan limbah daur ulang agregat dari C & D yang bersumber dari dua area yang berbeda. Campuran itu divariasikan dengan penggantian agregat kasar dan halus alami dengan penggabungan abu terbang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggantian kerikil alami kasar dan halus dengan pemanfaatan limbah daur ulang pada persentase 25 dan 50% memiliki sedikit pengaruh pada kekuatan tekan batu bata dan balok, tetapi tingkat penggantian yang lebih tinggi menyebabkan terjadinya pengurangan kekuatan tekan.

D. Material Penyusun Beton Rongga

Dalam penelitian ini, material penyusun beton berpori yaitu terdiri dari semen portlland komposit (PCC), agregat kasar, air, superplasticizer dan limbah beton daur ulang. Penelitian ini merupakan serangkaian

pengujian dengan memanfaatkan limbah beton sebagai agregat kasar untuk memproduksi beton yang baru.

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. Beberapa jenis semen diatur dalam SNI, diantaranya :

SNI 15-0302-2004 mengenai semen portland pozolan (PPC = *Portland pozzoland cement*). Semen portland pozolan adalah semen yang dibuat dari campuran homogen semen portland bersamaan dengan bahan yang mempunyai sifat pozolan. Campuran beton dan mortar menggunakan PPC mempunyai sifat pengerjaan yang mudah, namun akan terjadi perpanjangan waktu pengikatan. Kekuatan tekan beton dengan semen pozolan pada umur awal lebih rendah tetapi pada umur lama akan semakin tinggi karena masih terjadi reaksi antara silika aktif pozolan dengan Ca(OH)_2 membentuk senyawa CSH.

Jenis dan penggunaan semen Portlan Pozzolan terdiri atas jenis IP-U, IP-K, P-U dan P-K. Dimana penggunaannya adalah :

- a) Jenis IP-U yaitu semen Portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton.

- b) Jenis IP-K yaitu semen Portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton, semen untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang.
- c) Jenis P-U yaitu semen Portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan pozzolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak diisyaratkan kekuatan awal yang tertinggi.
- d) Jenis P-K yaitu semen Portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak diisyaratkan kekuatan awal yang tinggi, serta untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi rendah (M. Wihardi Tjaronge, 2012).

Jenis semen lainnya diatur dalam SNI 15-7064-2004 mengenai semen portland komposit (*PCC = Portland Composite Cement*) yakni semen yang dibuat dari hasil penggilingan terak semen portland dan gips dengan bahan anorganik. Bahan anorganik yang dicampur dapat lebih dari satu macam misalnya terak tanur tinggi, pozzolan, senyawa silikat, batu kapur dan sebagainya. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35% dari massa semen Portland komposit. Semen ini dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti : pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton.

Semen merupakan zat berbentuk bubuk dan akan membentuk pasta setelah bercampur dengan air. Pasta semen ini yang akan melekatkan dan mengikat agregat pada campuran beton. SNI-15-7064 pasal 3.1 (2004) mendefinisikan semen portland komposit sebagai bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6%-35 % dari massa semen portland komposit.

Semen portland komposit (*Portland Composite Cement*) dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti pada pekerjaan beton, pekerjaan pasangan bata, pekerjaan selokan, jalan, pekerjaan pagar dinding dan pekerjaan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan ataupun beton prategang, panel-panel beton, bata beton (*paving block*) dan sebagainya.

Bahan pembentuk semen portland adalah :

- 1) Kapur (CaO), dari batu kapur
- 2) Silika (SiO_2), dari lempung
- 3) Aluminium (Al_2O_3), dari lempung

Sedangkan bahan utama campuran semen portland adalah :

- 1) Trikalsium Silikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) atau C_3S
- 2) Dikalsium Silikat ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) atau C_2S

- 3) Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) atau C_3A
- 4) Tetra Alumino Ferrid ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) atau C_4AF
- 5) Gypsum ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Senyawa C_3S dan C_2S berpengaruh besar terhadap kekuatan semen. Dimana C_3S berpengaruh pada kekuatan awal, sedangkan C_2S sangat berpengaruh terhadap kekuatan semen pada tahap selanjutnya. Waktu yang diperlukan oleh semen dari keadaan cair menjadi mengeras disebut waktu pengikatan (*setting time*). Waktu pengikatan (*setting time*) sangat dipengaruhi oleh jenis semen dan senyawa C_3S dan C_2S yang terkandung dalam jenis semen yang digunakan. Syarat kimia untuk semen portland komposit, yaitu berupa SO_3 maksimum dengan persyaratan sebesar 4,0% dengan syarat fisika semen portland komposit seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Syarat fisika semen portland komposit

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1.	Kehalusan dengan alat blaine	m^2/kg	min. 280
2.	Kekekalan bentuk dengan autoclave:		
	- Pemuaian	%	maks. 0,80
	- Penyusutan	%	maks. 0,20
3.	Waktu pengikatan dengan alat vicat:		
	- Pengikatan awal	menit	min. 45
	- Pengikatan akhir	menit	maks. 375
4.	Kuat tekan:		
	- Umur 3 hari	kg/cm^2	min. 125
	- Umur 7 hari	kg/cm^2	min. 200

- Umur 28 hari	kg/cm ²	min. 250
5. Pengikatan semu: - Penetrasi akhir	%	min. 50
6. Kandungan udara dalam mortar	% volume	maks.12

2. Agregat Kasar

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya kekuatan beton. Menurut SNI 2847-2013 agregat adalah bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah dan slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60% sampai sebesar 80% volume agregat (Nawy, Edward G., 2010). Sifat agregat bukan hanya mempengaruhi sifat beton, akan tetapi juga mempengaruhi ketahanan (*durability*, daya tahan terhadap kemunduran mutu akibat siklus dari pembekuan-pencairan). Oleh karena itu, agregat lebih murah dari semen maka secara logis agregat lebih tinggi persentasenya.

Dengan demikian agregat biasa diatur tingkatannya berdasarkan ukuran yang dimiliki oleh agregat dan suatu campuran yang layak terhadap presentase agregat kasar dan agregat halus serta persentase semen yang tergabung dalam *mix design* atau rancangan campuran beton (Wang, Chu-Kia, 1993).

Berdasarkan SNI 03-2847-2013, agregat merupakan material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar yang

dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton atau adukan semen hidrolis. Agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas dan kekuatan beton. Pada beton konvensional, agregat menempati 70% sampai 75% dari total volume beton.

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil dari disintegrasi alami dari batuan-batuan alam atau berupa batu pecah yang dihasilkan atau diperoleh dari industri pemecah batu (*stone crusher*) dan mempunyai ukuran butir yaitu berada di antara 5 mm sampai dengan sebesar 40 mm (SNI 03-2847-2013). Ukuran maksimum nominal agregat kasar menurut SNI 03-2847-2013 harus tidak melebihi :

- a. 1/5 jarak terkecil antara sisi cetakan, ataupun
- b. 1/3 ketebalan slab, ataupun
- c. 3/4 jarak bersih minimum antara tulangan atau kawat, bundel tulangan, atau tendon prategang, atau selongsong.

Syarat-syarat gradasi agregat kasar yang diperoleh dari buku *concrete technology*, A. M. Neville dan J. J. Brooks, 1981 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Syarat - syarat gradasi agregat kasar (*Concrete Technology*, A. M. Neville & J.J Brooks, 1981)

Ukuran saringan (mm)	Persentase lolos saringan (%)
50	100
38	95 – 100
19	35 – 70
9,5	10 – 30
4,75	0 - 5

3. Air

Air diperlukan untuk pembuatan beton segar agar terjadi proses kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah saat proses pengerjaan. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan juga dapat mengubah sifat-sifat dari semen. Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pada saat proses pengerjaan.

Karena karakteristik pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total (semen + agregat halus + agregat kasar) material yang menentukan, melainkan hanya perbandingan antara air dan semen pada campuran yang menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya (Edward G. Nawy, 1998:14).

4. Superplasticizer

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi

(*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*). Bahan tambah *admixture* ditambahkan saat pengadukan dan atau saat pelaksanaan pengecoran (*placing*) sedangkan bahan tambah aditif yaitu yang bersifat mineral ditambahkan saat pengadukan dilaksanakan. Bahan tambah kimia yang dimasukkan lebih banyak mengubah perilaku beton saat pelaksanaan pekerjaan jadi dapat dikatakan bahwa bahan tambah kimia lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja pelaksanaan. Bahan tambah aditif merupakan bahan tambah yang lebih banyak bersifat penyemenan jadi bahan tambah aditif lebih banyak digunakan untuk perbaikan kinerja kekuatannya (Mulyono, T. 2005). Menurut standar ASTM C494/C494M – 13 (2013), jenis dan definisi bahan tambah kimia ini dibedakan delapan tipe yaitu :

1. Tipe A "*Water - Reducing Admixtures*"

Water – Reducing Admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi jumlah air pencampur untuk menghasilkan beton dengan konsistensi dan kekuatan tertentu. Selain itu juga digunakan dengan tidak mengurangi kadar semen dan nilai slump untuk memproduksi beton dengan nilai perbandingan atau menggunakan rasio faktor air semen yang rendah.

2. Tipe B "*Retarding Admixtures*"

Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Penggunaannya untuk menunda waktu pengikatan beton misalnya karena kondisi cuaca yang panas, atau

memperpanjang waktu untuk pemadatan yang dilakukan di lapangan ketika pengecoran berlangsung. Tipe B biasa digunakan pada beton yang dicor pada kondisi cuaca yang sangat panas.

3. Tipe C “*Accelerating Admixtures*”

Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan meningkatkan kekuatan awal beton. Bahan ini digunakan untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan (hidrasi) dan mempercepat pencapaian kekuatan pada beton.

4. Tipe D “*Water Reducing dan Retarding Admixtures*”

Water Reducing and Retarding Admixtures berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal. Bahan ini digunakan untuk menambah kekuatan beton. Bahan ini juga akan mengurangi kandungan semen yang sebanding dengan pengurangan kandungan air yang digunakan dalam penelelitian sehingga dapat memudahkan dalam pekerjaan.

5. Tipe E “*Water Reducing, Accelerating Admixtures*”

Water Reducing and Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu dan mepercepat pengikatan awal.

6. Tipe F “*Water Reducing dan High Range Admixture*”

Water Reducing, High Range Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih.

7. Tipe G “*Water Reducing High Range Retarding Admixtures*”

Water Reducing, High Range Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan gabungan superplasticizer dengan menunda waktu pengikatan beton. Biasanya digunakan untuk kondisi pekerjaan yang sempit karena sedikitnya sumber daya yang mengelola beton yang disebabkan oleh keterbatasan ruang kerja yang dimiliki pada saat pembuatan beton.

8. Tipe S “*Specific Performance Admixture*”

Specific performance admixture adalah bahan tambah yang memberikan karakteristik kinerja yang diinginkan selain mengurangi kandungan air atau mengubah waktu setting beton, atau keduanya, tanpa efek yang merugikan pada sifat beton segar, beton keras dan daya tahan beton sebagai kinerja yang ditentukan, termasuk bahan tambah terutama digunakan dalam pembuatan produk beton *dry cast*.

Jenis bahan tambah dapat berupa *superplasticizer*. *Superplasticizer* berfungsi untuk menaikkan *workability* campuran beton yang

mempengaruhi *slump*, *bleeding*, *air content* dan kekuatan beton. Jenis *Superplasticizer* berdasarkan bahan dasarnya antara lain: *Nephtaline*, *Melamine*, *Polycarboxylate*.

Secara umum penggunaan superplasticizer dari jenis *Neptaline* akan menghasilkan penurunan kandungan udara dan menaikkan *bleeding* dan kekuatan, hal tersebut dapat tercapai jika air dalam campuran beton dikurangi. Sedangkan jenis melamine sangat sedikit pengaruhnya terhadap kandungan udara, kekuatan beton, dan menghasilkan pengurangan *bleeding*.

Superplasticizer yang diproduksi terdapat berbagai macam antara lain : *viscocrete* yang menggunakan bahan dasar polycarboxylates. *Superplasticizer* ini merupakan teknologi baru dari beton aditif menghasilkan beton yang sangat cair, beton tanpa pemadatan (*self compacted*), mutu sangat tinggi dengan pengurangan air yang digunakan hingga 30%.

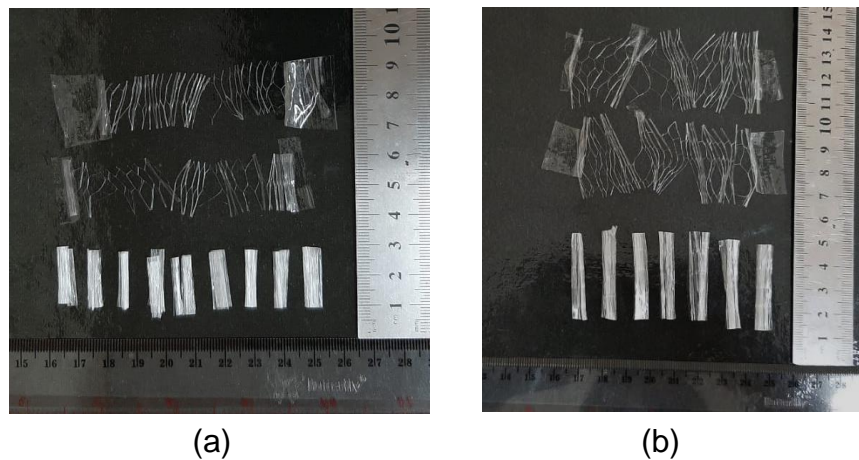
5. Serat fiber

Polypropylene (PP) merupakan salah satu polimer termoplastik yang di produksi oleh industri kimia dan diaplikasikan dalam berbagai hal dalam industri dan kehidupan sehari-hari, beberapa contoh diantaranya adalah tekstil (contohnya tali, pakaian dalam termal, dankarpet), pengemasan, berbagai tipe wadah terpakai ulang serta bagian plastik, alat tulis, pengeras suara, perlengkapan labolatorium, komponen otomotif, dan uang kertas polimer (Hartono, 2012).

Serat Polypropylene merupakan bahan dasar yang umum digunakan dalam memproduksi bahan – bahan yang terbuat dari plastic Pertama kali fiber digunakan dalam industri tekstil karena harganya murah dan dapat menghasilkan produk yang berkualitas. Material ini berbentuk filamen-filamen yang ketika dicampurkan dalam adukan beton untaian itu akan terurai. Serat jenis ini dapat meningkatkan kuat tarik lentur dan tekan beton (Arde : 2005), mengurangi retak – retak akibat penyusutan, meningkatkan daya tahan terhadap impact dan meningkatkan daktilitas (Dina : 1999). Beberapa keuntungan penggunaan serat polypropylene dalam campuran beton, adalah sebagai berikut : (Dina : 1999)

1. memperbaiki daya ikat matriks beton pada saat pre – hardening stage sehingga dapat mengurangi keretakan akibat penyusutan.
2. memperbaiki ketahanan terhadap kikisan
3. memperbaiki ketahanan terhadap tumbukan
4. memperbaiki ketahanan terhadap penembusan air dan bahan kimia
5. memperbaiki keawetan beton.

Dari penelitian yang telah dilakukan tentang macam – macam fiber ditinjau dari pengujian kuat tariknya antara lain Edhi Wahjuni (1996) menyatakan dengan penambahan Styrene Butadiene Latex pada campuran beton dengan kondisi pencampuran 5% dapat meningkatkan kuat tarik belah beton maksimum sebesar 20 %.



Gambar 1. (a) Serat Fiber Polypropylene berbentuk fibrillated ukuran 19 mm (b) Serat Fiber Polypropylene berbentuk fibrillated ukuran 38 mm

Tabel 3. Sifat fisik serat Polypropylene Fiber Size 19 and 38 mm

Physical Properties	<i>fibrillated</i> Polypropylene Fiber
Specific Gravity	0.91
Melting Point	320 °F (160 °C)
Ignition Point	1.094 °F (590 °C)
Absorption	Nil
Alkali Resistance	Excellent
Tensil Strength	44.000 psi (300 MPa)
Modulus Of Elasticity	780 ksi (5.38 GPa)
Avaliable Lengths	0.75 in. (19 mm) and 1.5 in. (38 mm)
Equivalent Diameter	0.026 in. (0.66 mm)

Resources : BASF masterfiber F70 product fibrillated microsynthetic fiber

6. Limbah Beton sebagai Reycycle Agreggate Concrete (RAC)

limbah konstruksi dapat untuk didaur ulang. contohnya limbah beton yang dapat digunakan menjadi Recycled Aggregate Concrete (RAC). RAC merupakan limbah beton yang didaur ulang menjadi agregat yang dapat digunakan kembali untuk membuat beton. Agregat daur ulang memiliki beberapa kualitas, sifat fisik dan kimia. Variabilitas

kualitas ini mengakibatkan perbedaan sifat-sifat material beton yang dihasilkan dan cenderung menurunkan kuat tekan beton.



Gambar 2. Limbah beton

E. Persentase Volume Rongga Beton

Sebelum pengujian kuat tekan dilaksanakan, benda uji silinder digunakan untuk pengukuran persentase volume rongga dari beton berongga. Benda uji silinder memiliki diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. benda uji silinder dikeringkan hingga kondisi kering permukaan setelah benda uji dikeluarkan dari dalam air. Benda uji ditimbang dan diukur untuk mengetahui persentase volume rongganya. Persentase volume rongga dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Vp = \frac{(Vs - Vpo)}{Vs} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana ;

Vp = Persentase volume pori (%)

Vs = Volume Silinder (Liter)

Vpo = Volume pori (liter)

Dan untuk mendapatkan V_{po} digunakan rumus sebagai berikut :

$$V_{po} = \frac{(W_a - W_w)}{\gamma_w} \quad (3)$$

Dimana ;

W_a = Berat benda uji di udara (kg)

W_w = berat benda uji di air (kg)

γ_w = Berat jenis air (1 kg/liter)

F. Ketepatan

Berdasarkan SNI 1974:2011 ketepatan operator tunggal dari pengujian silinder dilihat dari nilai koefisien variasi. Nilai yang dapat diterima sebagai berikut :

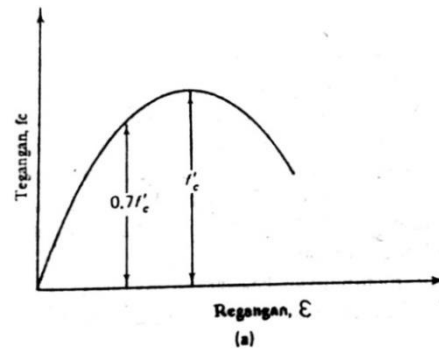
Tabel 4. Rentang koefisien variasi yang dapat diterima

Operator tunggal	Koefisien variasi	Rentang yang dapat diterima	
		2 Hasil	3 Hasil
Kondisi laboratorium	2,37%	6,6%	7,8%
Kondisi Lapangan	2,87%	8,0%	9,5%

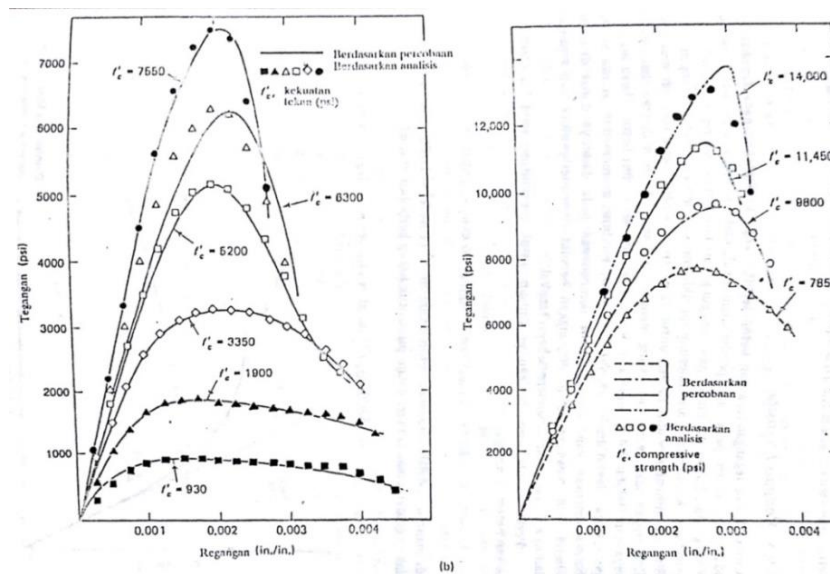
G. Kurva Tegangan-Regangan

Hubungan tegangan regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan-persamaan analisis dan desain juga prosedur-prosedur pada struktur beton. Gambar 3. memperlihatkan kurva tegangan regangan tipikal yang diperoleh dari percobaan dengan menggunakan

benda uji silinder beton dan dibebani tekan uniaksial selama beberapa menit.



Gambar 3. Kurva tegangan-regangan tipikal beton (Nawy, E. G. 1998).



Gambar 4. Kurva tegangan-regangan untuk berbagai kekuatan beton (Nawy, E. G. 1998).

Bagian pertama kurva ini (sampai sekitar 40% dari f_c') pada umumnya untuk tujuan praktis dapat dianggap linear. Sesudah mendekati 70% tegangan hancur, materialnya banyak kehilangan kekakuannya sehingga menambah ketidaklinieran diagram. Pada beban batas, retak yang searah dengan arah beban menjadi sangat terlihat dan hampir

semua silinder beton (kecuali yang kekuatannya sangat rendah) akan segera hancur. Gambar 4. memperlihatkan kurva tegangan regangan beton untuk berbagai kekuatan yang diperoleh dari Portland cement Association. Terlihat jelas bahwa (1) semakin rendah kekuatan beton, semakin tinggi regangan hancurnya, (2) semakin tinggi kekuatan tekan beton, panjang bagian linier pada kurva semakin bertambah; dan (3) ada reduksi daktalitas apabila kekuatan beton bertambah (Nawy, E. G. 1998).

H. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah rasio dari tegangan terhadap regangan. Modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan semen kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Dari pengujian tekan silinder beton 10 x 20 cm dihitung besarnya modulus elastisitas beton dengan menggunakan rumus ASTM C 469-94 hitung dengan rumus:

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_l - 0.00005} \quad (3)$$

Dimana :

E_c = Modulus Elastisitas, MPa,

S_1 = Tegangan 40% dari beban ultimit,

S_2 = Tegangan searah regangan longitudinal, ε_1 , and

ε_l = Regangan longitudinal.

Dan sesuai SK SNI T-15-1991-03 digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton dengan mempertimbangkan unsur berat isi beton, untuk W_c diantara 1500 dan 2500 kg/m³ rumus yang digunakan adalah :

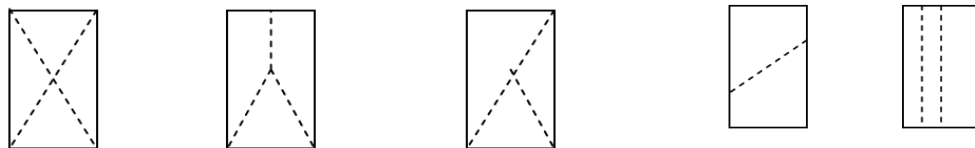
$$E_c = (W_c)^{1,5} \times 0,043 \sqrt{f'_c} \quad (4)$$

sedang untuk beton normal adalah :

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (5)$$

I. Pola Retak

Berdasarkan SNI 1974-2011 pola kehancuran pada benda uji dibedakan menjadi 5 bentuk :



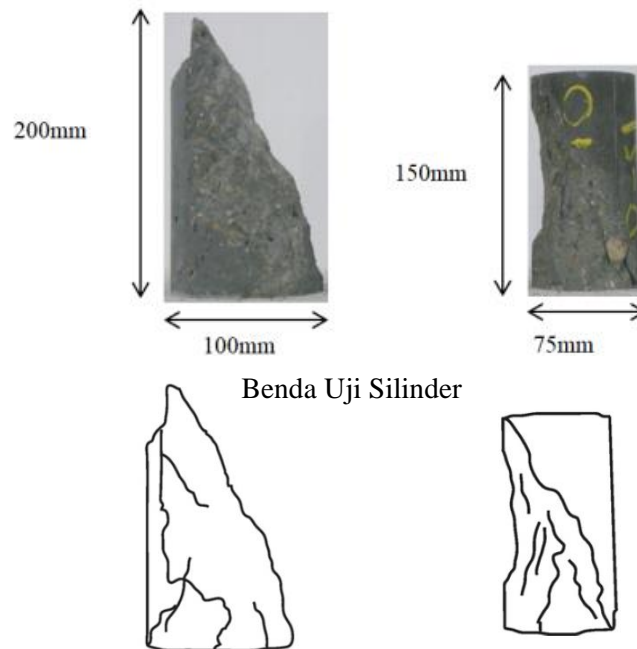
Gambar 5. Pola kehancuran berdasarkan SNI 1974-2011

Keterangan:

1. Bentuk kehancuran kerucut
2. Bentuk kehancuran kerucut dan belah
3. Bentuk kehancuran kerucut dan geser
4. Bentuk kehancuran geser
5. Bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (kolumnar)

Carmona, dkk (2007) dalam jurnal "*Shape and size effects on the compressive strength of high-strength concrete*" menyelidiki hubungan antara kekuatan tekan yang diberikan oleh dua jenis spesimen untuk beberapa ukuran spesimen. Pola kehancuran yang terjadi dalam

pengujian yang dilakukan Carmona, dkk (2007) dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 6. Pola kehancuran dalam penelitian Carmona, dkk (2007)