

PENGARUH SUBSTITUSI *SILICA FUME* TERHADAP KUAT TEKAN BETON DENGAN 20% AGREGAT KASAR LIMBAH KERAMIK

Ilham Ahsani Taqwim¹, Setiyo Daru Cahyono², Rosyid Kholilur Rohman³

Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Madiun, Jalan Serayu No. 79, Madiun, 63133

E-mail: ilham.9anten9@gmail.com¹, setiyodaru@unmer-madiun.ac.id², rosyid@unmer-madiun.ac.id³

Abstrak— Beton merupakan bahan komposit yang umum digunakan dalam konstruksi, namun penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar masih menjadi tantangan dalam meningkatkan kualitas beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi penggunaan limbah keramik sebagai pengganti sebagian agregat kasar dalam campuran beton dengan penambahan *silica fume*. Dalam penelitian ini, dilakukan eksperimen untuk menguji kuat tekan beton dengan variasi 20% limbah keramik sebagai pengganti agregat kasar, serta penambahan *silica fume* sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Setiap variasi dibuat dalam tiga benda uji berbentuk silinder dengan rencana mutu beton f_c 25 MPa. Perawatan beton dilakukan selama 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 10% *silica fume* pada campuran beton dengan 20% limbah keramik menghasilkan kuat tekan tertinggi, dengan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 19,82 Mpa. Temuan ini menunjukkan bahwa limbah keramik dapat digunakan sebagai alternatif yang efektif dalam campuran beton, dan penambahan *silica fume* dapat meningkatkan performa beton.

Kata Kunci : Limbah Keramik, *Silica fume*, Kuat Tekan.

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan teknologi konstruksi di Indonesia menunjukkan kemajuan yang pesat, khususnya dalam penggunaan beton sebagai material utama. Beton dipilih karena kekuatan dan daya tahannya yang tinggi sehingga banyak digunakan dalam pembangunan gedung, jembatan, jalan, hingga bendungan. Namun, meningkatnya kebutuhan beton juga menimbulkan tantangan baru terkait keterbatasan bahan baku agregat alami yang diperoleh melalui penambangan, yang berpotensi merusak lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam pemanfaatan material alternatif yang lebih berkelanjutan.

Salah satu inovasi yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan limbah keramik sebagai pengganti sebagian agregat kasar dalam campuran beton. Limbah keramik yang berasal dari puing-puing bangunan dapat diolah menjadi agregat alternatif, sehingga mampu mengurangi ketergantungan pada material alam sekaligus membantu mengurangi permasalahan limbah padat. Pemanfaatan limbah keramik diharapkan mampu mempertahankan kinerja beton sekaligus memberikan solusi ramah lingkungan terhadap isu eksploitasi sumber daya alam.

Selain itu, penggunaan *silica fume* sebagai bahan tambahan pozzolan telah banyak terbukti mampu meningkatkan sifat mekanik sekaligus durabilitas beton. *Silica fume* memiliki ukuran partikel yang sangat halus, berkisar antara 0,1 hingga 1 mikron, sehingga dapat masuk ke dalam rongga-rongga mikro yang tidak dapat diisi oleh partikel semen biasa. Hal ini menjadikan struktur beton lebih rapat, mengurangi porositas, dan meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton secara keseluruhan. Dari segi kimiawi, *silica fume* berperan penting dalam reaksi pozzolanik, yaitu bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen untuk menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berkontribusi besar terhadap peningkatan kekuatan beton. Oleh karena itu, kombinasi substitusi 20% agregat kasar limbah keramik dengan tambahan *silica fume* sebagai bahan pengikat tambahan diharapkan tidak hanya meningkatkan kinerja struktural beton, tetapi juga memberikan kontribusi nyata.

II. LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Penambahan Campuran *Silica fume* untuk Mutu Beton K-300 dalam Penggunaan Jalan Rigid Pavement” Nilai kuat tekan beton pada persentase penambahan *Silica fume* 0 % hingga pada umur beton 28 hari tercapai nilai kuat tekan rencana pada karakteristik 300 Kg/cm² , pada penambahan *Silica fume* 15 % target kuat rencana karakteristik 300 Kg/cm² tercapai pada umur beton 28 hari, untuk penambahan *Silica fume* 45 % nilai kuat tekan mengalami penurunan tetapi masih dalam nilai kuat tekan rencana pada K-300 dimana target kuat tekan rencana tercapai pada umur beton 28 hari dengan nilai kuat tekan 390,76 Kg/cm² . Pada trial *mix* terakhir yaitu dengan penambahan *Silica fume* 65% target kuat tekan rencana tidak tercapai pada umur beton 28 hari atau bisa dikatakan lebih rendah 175,50 Kg/cm² dari *trial mix* sebelumnya pada penambahan *Silica fume* 45% pada umur beton yang sama. Untuk penambahan *Silica fume* 65 % pada umur beton 28 hari diperoleh nilai 215,26 Kg/cm². [1]

Kegiatan konstruksi membutuhkan beton sebagai material yang banyak digunakan. Beton terdiri dari beberapa komposisi, yaitu agregat halus, agregat kasar, air, dan semen portland sebagai material utama untuk bahan pengikatnya. Produksi semen menyumbang sekitar 6% emisi karbon yang dapat merusak lingkungan diantaranya pemanasan global, serta penggunaan material semen yang tinggi pada campuran beton, maka diperlukan material alternatif untuk pengganti pengganti semen atau bahan tambahan semen untuk campuran beton. Material alternatif yang digunakan pada penelitian ini ialah *fly ash* dan *Silica fume*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pengujian dan karakteristik beton yang menggunakan *Silica fume* dan *fly ash* sebagai bahan substitusi sebagian semen serta pengaruh perbandingan *Silica fume* dan *fly ash* terhadap kuat tekan beton. Penelitian dilakukan dengan pengujian langsung di laboratorium. Adapun campuran variasi *Fly ash* (FA) dan *Silica fume* yang digunakan merupakan: FA 10% dan SF 5%, FA 15% dan SF 5%, FA 20% dan SF 20%, FA 25% dan SF 10%. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan pada umur beton 28 hari menunjukkan bahwa pemanfaatan *Silica fume* dan *fly ash* untuk menggantikan semen belum bisa dikatakan berhasil meningkatkan kekuatan beton. Nilai kuat tekan tertinggi dicapai variasi 3 yaitu dengan kadar *fly ash* 20% dan *Silica fume* 10% menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 19,44 Mpa, hal tersebut menunjukkan kekuatan yang dicapai masih sebatas untuk beton mutu rendah dibawah 20 Mpa. [2]

Banyaknya Pabrik Keramik di Sumatera Selatan sehingga menyisakan limbah, baik itu limbah padat, cair dan udara. Jika tidak di olah dengan benar akan menjadikan masalah lingkungan, dimana jika limbah keramik padat (sisa-sisa potongan keramik) dimanfaatkan untuk pembuatan beton, maka akan mengurangi limbah padat. Beton didefinisikan sebagai sebuah bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil/ batu pecah), semen, air, dan bahan tambahan lain (admixtures) bila diperlukan. Beton memiliki kekurangan dan kelebihan yaitu kuat terhadap tekan dan lemah terhadap tarik, agar beton dapat menahan gaya tarik maka didalam beton diberi besi tulangan dan biasa disebut beton bertulang. Banyak hal yang dapat dilakukan dengan beton dalam bangunan, contohnya dalam struktur beton yang terdiri dari balok, kolom, pondasi atau pelat. Limbah keramik merupakan bahan utama yang digunakan sebagai bahan campuran. Penggunaan limbah keramik ini diharapkan bisa menjadi bahan tambah yang bisa berfungsi untuk menghasilkan beton yang bermutu serta bisa di aplikasikan langsung pada campuran beton guna memperoleh beton yang berkualitas baik tanpa mengabaikan segi kekuatan dari beton itu sendiri. Dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan untuk beton normal dan beton dengan penambahan limbah keramik sebesar 8%, 10%, 12%, dan 14% di dapat nilai kuat tekan beton untuk masing-masing sampel. Beton normal memenuhi nilai kuat tekan karakteristik beton K-250. Nilai kuat tekan beton untuk penambahan limbah keramik sebesar 8%, 10%, 12%, dan 14% masih memenuhi nilai

kuat tekan karakteristik beton K-250. Penambahan limbah keramik untuk kuat tekan beton optimumnya terjadi pada persentase limbah keramik 14%.[3]

Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh penggunaan *Silica fume* dan pecahan batu marmer sebagai bahan substitusi pada campuran beton pada kuat tarik belah, kuat lentur beton dan kuat tekan. Pengujian benda uji yakni kuat tarik belah, kuat lentur, dan kuat tekan. Pada penelitian ini direncanakan mutu beton yaitu 25 MPa. Dari hasil penelitian diperoleh nilai kuat tekan beton untuk variasi pecahan batu marmer sebesar 50% dan *Silica fume* 0%, 10%, 12,5% dan 15% yaitu sebesar 25,175 MPa, 25,832 MPa, 24,606 MPa dan 24,229 MPa, pengujian kuat tarik belah untuk variasi pecahan batu marmer sebesar 50% dan *Silica fume* 0%, 10%, 12,5% dan 15% merupakan 'sebesar 1,886 MPa, 1,909 MPa, 1,862 MPa dan 1,815 MPa, uji kuat lentur untuk variasi pecahan batu marmer sebesar 50% dan *Silica fume* 0%, 10%, 12,5% dan 15% yaitu sebesar 25,175 MPa, 25,832 MPa, 24,606 MPa dan 24,229 MPa. Pengaruh substitusi pecahan batu marmer sebagai agregat kasar sebesar 50% serta substitusi *Silica fume* sebagai semen dengan variasi 0%, 10%, 12,5% dan 15% pada nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton didapatkan nilai maksimal substitusi *Silica fume* pada variasi 10% dan mengalami penurunan kekuatan diatas variasi *Silica fume* 10%, makin tinggi persentase substitusi *Silica fume* maka kekuatan beton makin rendah.[4]

Inovasi terhadap bahan pembuat beton terus dikembangkan, salah satunya dengan menggunakan limbah pecahan keramik sebagai bahan pengganti agregat kasar. Limbah yang digunakan berasal dari sekitar daerah kota Banjarmasin Provinsi Kalimantan Selatan, sebagai usaha untuk memanfaatkan bahan sisa sehingga memiliki hasil guna. Variasi yang digunakan dalam pengujian pada pemanfaatan limbah pecahan keramik sebagai pengganti sebagian agregat kasar yaitu variasi 0%, 10%, dan 15%. Pengujian kuat tekan beton ini dilakukan dengan metode SNI 03-2834-2000 yang terdiri dari pengujian semen, agregat halus agregat kasar, dan pecahan keramik. Pengujian karakteristik yang dilakukan yaitu analisa saringan, pemeriksaan berat jenis, abrasi, kadar air, kadar lumpur, berat isi, kandungan organik, kehalusan semen, konsistensi dan waktu pengikatan. Pada benda uji beton dengan variasi 0% limbah keramik didapat kuat tekan sebesar 206,941 kg/cm². Pada beton dengan variasi 10% penambahan limbah keramik terjadi penurunan kuat tekan sebesar 13,67% dari kuat tekan rencana K-200 kg/cm². Sedangkan pada beton dengan variasi 15% penambahan limbah keramik memiliki penurunan kuat tekan beton sebesar 6,60% dari kuat tekan rencana. Benda uji mengalami bentuk pola retak yang serupa yaitu retak geser. Benda uji beton yang menggunakan campuran limbah keramik mengalami lebih banyak retakan dibandingkan dengan benda uji beton normal.[5]

Tidak selamanya beton terbuat dari campuran semen, air, pasir dan kerikil. Salah satu alternatif penggunaan agregat kasar yaitu dengan menggunakan limbah industri keramik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui lebih dalam bagaimana pengaruh menggunakan pecahan keramik sebagai alternatif agregat kasar terhadap kuat tekan dan kuat geser, serta memanfaatkan limbah keramik dalam campuran beton untuk mengurangi jumlah limbah yang berserakan dan merusak estetika lingkungan. Metode penelitian mencari standard surface drink (SSD) menggunakan SNI 1970-2008, zat aditif yang digunakan sebanyak 2% dari *silica fume*, benda uji menggunakan kubus 15x15x15cm dan balok berdimensi 60x15x10cm dengan tulangan utama 10mm dan cincin 8mm jarak antara cincin 20cm. Dari pengujian yang dilakukan dengan kuat tekan beton rencana K-225 dengan limbah keramik mampu mencapai 192,8 kg/cm², dengan penambahan agregat kasar sebanyak 20% mampu mencapai 183,5 kg/cm², dengan pengurangan keramik sebanyak -20% mampu mencapai 179 kg/cm², dan uji geser mampu mencapai 47,86 Kn, jika dilihat dari syarat berat isi beton normal sebesar 2200 – 2500 kg/m³, dengan penggunaan limbah keramik didapat hasil berat 2195 kg/m³, maka bisa disimpulkan bahwa berat isi keramik lebih ringan dibandingkan kerikil tetapi memiliki kuat tekan yang hampir mendekati menggunakan agregat kasar kerikil.[6]

B. Material Penyusun Beton

1) Agregat Halus

Pasir yang digunakan sebagai agregat halus diperoleh dari Blitar, dengan gradasi zona 2. Ukuran partikel pasir tersebut telah disesuaikan dengan standar yang tercantum dalam SNI 03-2834-2000.[7]

2) Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan diperoleh dari Madiun, dengan ukuran butir maksimum 30 mm. Proporsi gradasi saringan agregat kasar untuk campuran beton mengacu pada persyaratan yang tercantum dalam SNI 03-2847-2002.[8]

3) Limbah Keramik

Limbah keramik yang digunakan merupakan limbah keramik lantai yang didapatkan dari Toko NEO CERAMIC MADIUN yang tidak lolos sortir dari pihak toko dan yang cacat saat proses pengiriman. Limbah keramik kemudian dipecah kemudian diayak hingga mendapatkan ukuran yang sama dengan agregat kasar atau 20 – 30 mm. Pengujian karakteristiknya juga sama dengan agregat kasar.

4) Semen Portland (PCC)

Penelitian Dalam penelitian ini digunakan semen Portland komposit (PCC) sebagai bahan pengikat utama dalam campuran beton. Semen jenis ini merupakan salah satu jenis semen yang umum digunakan dalam konstruksi karena memiliki sifat kerja yang baik serta kompatibel dengan berbagai jenis agregat. PCC mengandung senyawa kimia utama seperti kalsium silikat (C_2S dan C_3S), kalsium aluminat (C_3A), dan kalsium aluminoferrit (C_4AF). Kandungan tersebut berperan penting dalam reaksi hidrasi, yaitu proses kimia antara semen dan air yang menghasilkan kekuatan beton. Adapun uraian kandungan kimia dalam semen dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Kandungan kimia semen

No	Sifat Kimia	Kualitas / Kuantitas
1.	SiO_2	94,00%
2.	Fe_2O_3	0,07%
3.	Al_2O_3	0,05%
4.	CaO	0,33%
5.	MgO	0,55%
6.	Na_2O	0,20%
7.	K_2O	1,28%

Sumber:Kardiyono Tjokrodimulyo, 1996

5) Silica Fume

Silica Fume (SF) adalah bahan berbentuk serbuk ultra halus yang dihasilkan sebagai limbah dari industri peleburan silikon dan ferro silikon. Komponen utama dari bahan ini adalah silika (SiO_2) dalam bentuk tidak kristalin dengan kadar yang sangat tinggi. Dengan ukuran partikel yang jauh lebih kecil dari semen sekitar 0,1 mikron atau hanya 1/100 dari diameter partikel semen. *Silica Fume* memiliki kemampuan untuk masuk dan mengisi pori-pori mikro dalam campuran beton, sehingga memperbaiki struktur mikro dan meningkatkan kepadatan beton secara keseluruhan. Adapun kandungan kimia penyusun *Silica Fume* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Kandungan Kimia *silica fume*

No	Sifat Kimia	Kualitas / Kuantitas
1.	SiO ₂	94,00%
2.	Fe ₂ O ₃	0,07%
3.	Al ₂ O ₃	0,05%
4.	CaO	0,33%
5.	MgO	0,55%
6.	Na ₂ O	0,20%
7.	K ₂ O	1,28%

Sumber: Data Teknis Sika Fume – PT MAPEI, 2025

6) Air

Dalam campuran beton, air berperan sebagai pelarut untuk memudahkan proses pencampuran beton segar. Air tersebut digunakan untuk melarutkan NaOH dan Na₂SiO₃, yang menghasilkan larutan alkali yang dapat dengan mudah tercampur dengan abu terbang dan agregat.

C. *Job Mix Design* Beton

Perencanaan campuran beton bertujuan untuk menentukan komposisi atau perbandingan material yang digunakan dalam pembuatan beton. Rancangan campuran beton ini didasarkan pada SNI 03-2834-2020.

D. Slump Beton

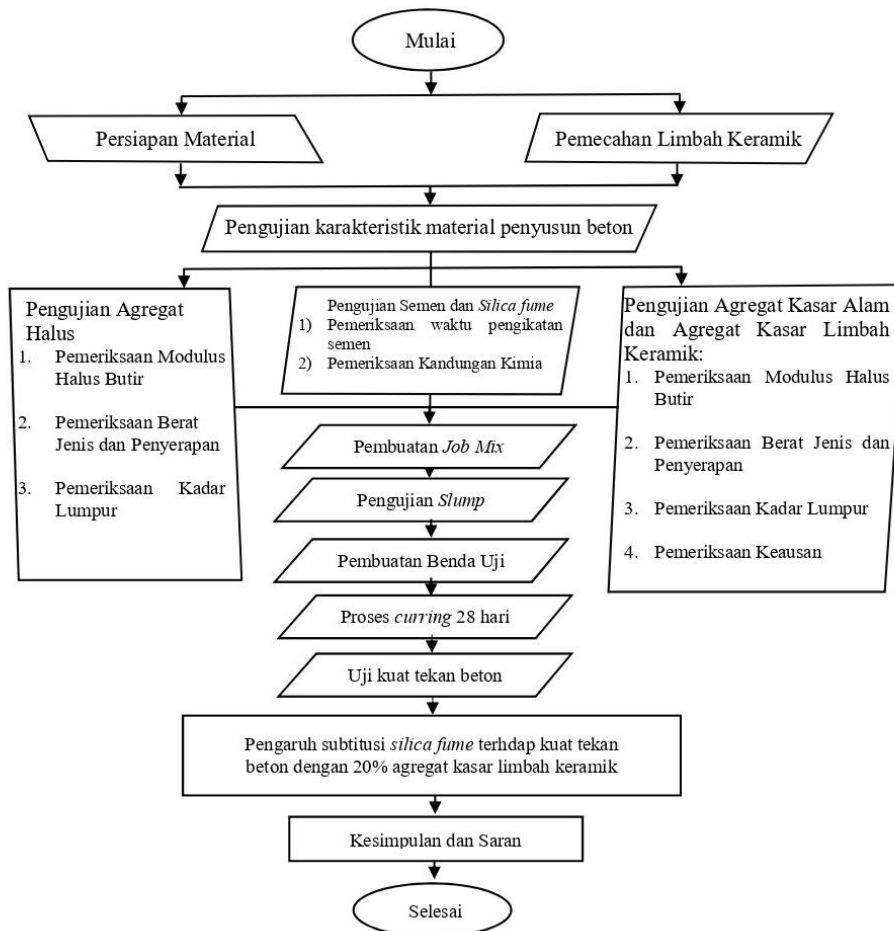
Slump beton mengukur keenceran campuran beton yang digunakan dalam konstruksi. Metode pengujian ini merujuk pada SNI 1972-2008, yang mengatur cara mengevaluasi konsistensi beton segar. Nilai slump yang diperoleh memberikan petunjuk mengenai kelancaran proses pengecoran dan kestabilan beton, yang berperan penting dalam menghasilkan struktur yang kuat dan tahan lama.[9]

E. Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan di laboratorium untuk memperoleh nilai yang akurat. Prosedur pengujian ini mengikuti pedoman yang tercantum dalam SNI 1974-2011. Perhitungan untuk mendapatkan nilai kuat tekan. Pengujian kuat tekan juga membantu dalam mengevaluasi kualitas bahan dan campuran beton yang digunakan. dapat dilihat pada uraian berikut.[10]

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi dalam penelitian ini menggunakan eksperimen dengan substitusi *silica fume* sebagai bahan semen, serta 20% agregat kasar limbah keramik dengan variasi substitusi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengamati karakteristik material dan kuat tekan beton. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Madiun. Proses curing beton dilakukan menggunakan metode ponding (kolam genangan). Pengujian kuat tekan dilakukan setelah beton berumur 28 hari dan melalui proses curing. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

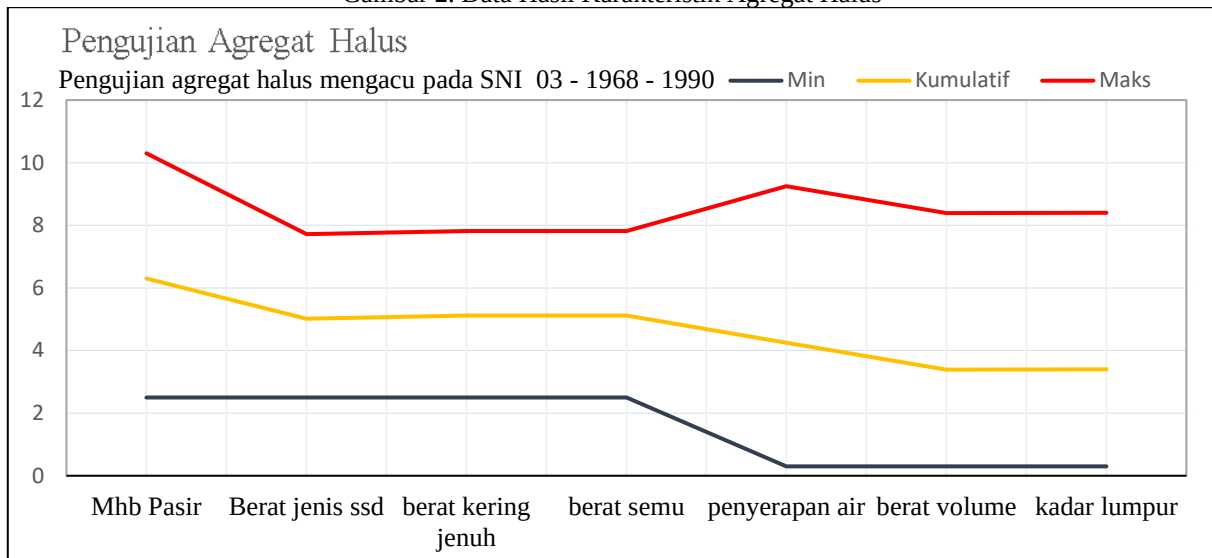
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum memulai proses membuat benda uji beton, diperlukan pengujian material penyusun beton terlebih dahulu. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa semua bahan yang digunakan memenuhi spesifikasi yang diperlukan agar beton yang dihasilkan memiliki kualitas yang optimal. Adapun data hasil dari pengujian karakteristik material penyusun beton dapat dilihat pada tabel berikut.

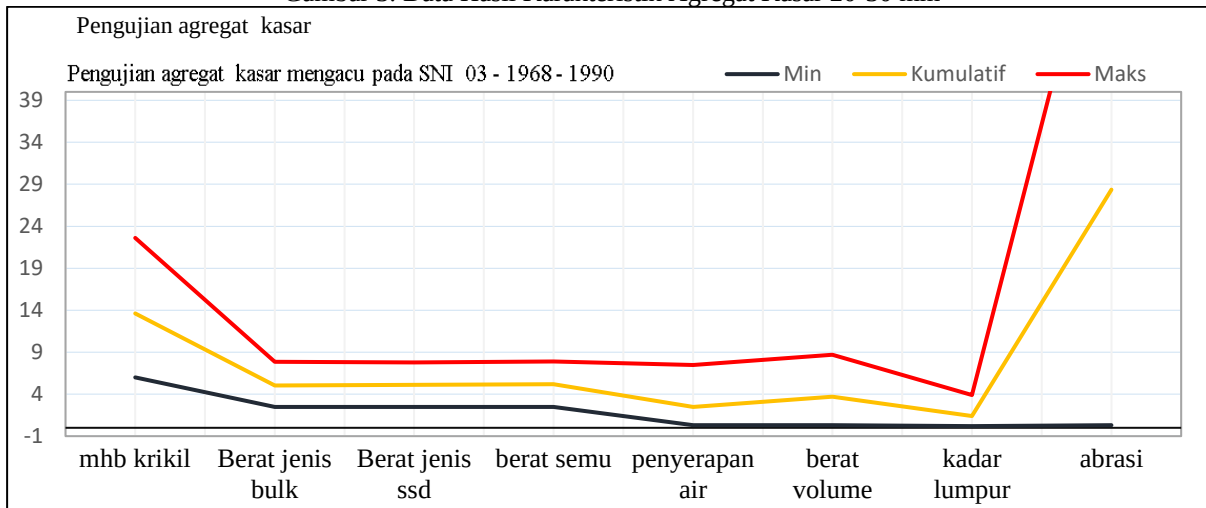
A. Karakteristik Material Penyusun Beton

Hasil dari pengujian karakteristik material penyusun beton dapat dilihat pada tabel berikut :

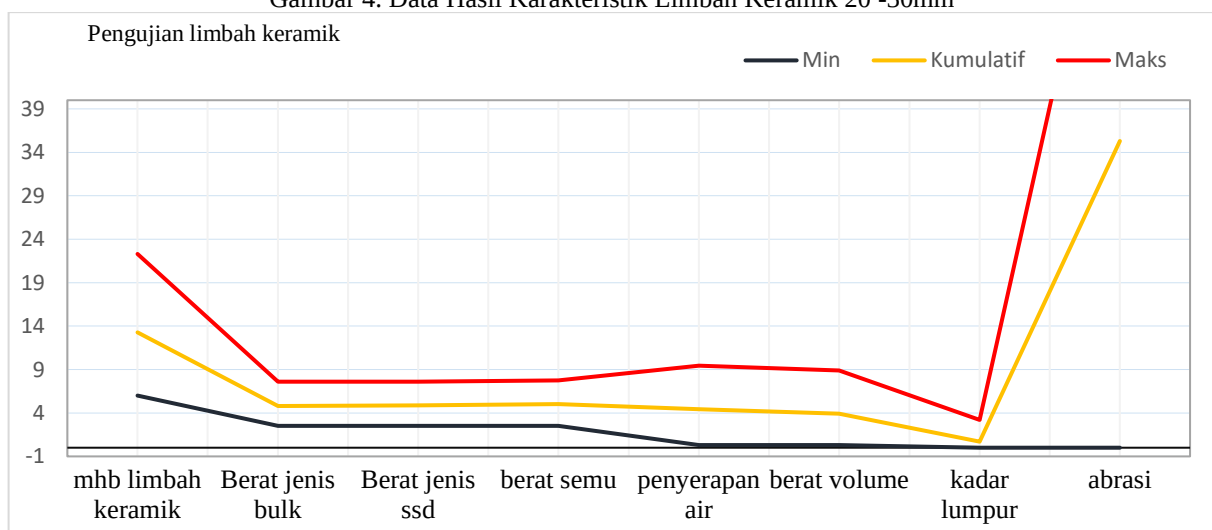
Gambar 2. Data Hasil Karakteristik Agregat Halus



Gambar 3. Data Hasil Karakteristik Agregat Kasar 20-30 mm



Gambar 4. Data Hasil Karakteristik Limbah Keramik 20 -30mm



Berdasarkan uraian grafik diatas dapat diketahui hasil pengujian agregat halus, agregat kasar, dan agregat kasar limbah keramik yang memenuhi persyaratan pengujian sesuai standar SNI 03 - 1968 – 1990.

B. Job Mix Design Beton

Dari perolehan data pengujian karakteristik material penyusun beton, selanjutnya data-data tersebut digunakan untuk membuat *job mix design* beton untuk sampel cetakan silinder 15x30 cm. Hasil *job mix design* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. Kebutuhan *Job Mix Design* Untuk 1 m³ Sampel Benda Uji Silider

Jumlah Bahan	Semen (Kg)	Air (Kg/Lt)	Agregat konsidi jenuh kering permukaan	
			Halus (Kg)	Kasar (Kg)
Tiap m ³	407	200	731	1121,11
Tiap campuran uji silinder m ³	2,16	1,14	3,58	5,94

Tabel 6. Kebutuhan *Job Mix Design* Untuk 18 Sampel Benda Uji Silider

No	LK : SF	Semen (Kg)	Silica Fume (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Limbah Keramik (Kg)	Agregat kasar	Air (Kg/Lt)	Berat
1.	Normal	6,47	0	11,13	0	17,82	3,42	38,84
2.	20 : 0	6,47	0	11,13	3,56	14,26	3,42	38,84
3.	20 : 5	6,15	0,32	11,13	3,56	14,26	3,42	38,84
4.	20 : 10	5,82	0,65	11,13	3,56	14,26	3,42	38,84
5.	20 : 15	5,50	0,97	11,13	3,56	14,26	3,42	38,84
6.	20 : 20	5,18	1,29	11,13	3,56	14,26	3,42	38,84
Jumlah		35,58	3,23	66,76	17,82	89,11	20,51	233

C. Slump beton

Slump beton hasilnya masih sesuai dengan batasan standar perencanaan yang berlaku. Hasil slump pada beton dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 7. Hasil Analisis Slump Test Beton

Variasi Silica Fume	Nilai Slump	rencana slump	Keterangan
0%	4,2cm	3cm - 6cm	Memenuhi
5%	5,1cm	3cm - 6cm	Memenuhi
10%	6cm	3cm - 6cm	Memenuhi
15%	3,7cm	3cm - 6cm	Memenuhi
20%	4,5cm	3cm - 6cm	Memenuhi

D. Kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan saat benda uji sudah berumur 28 hari dan diuji setelah satu hari dari proses curing kolam benda uji beton. Berikut merupakan dokumentasi pengujian Kuat tekan beton dan Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel berikut



Gambar 5. Proses Pengujian Kuat Tekan Beton



Gambar 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui cara pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin *compression testing machine*. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton tersebut didapatkan hasil kuat tekan beton dengan hasil KN, hasil tersebut di konversi menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{360}{17,663} \\ &= 20,38 \end{aligned}$$

Dimana :

f'_c = Kuat tekan beton sampel benda uji silinder (Mpa)

P = Bebas desak maksimum (N)

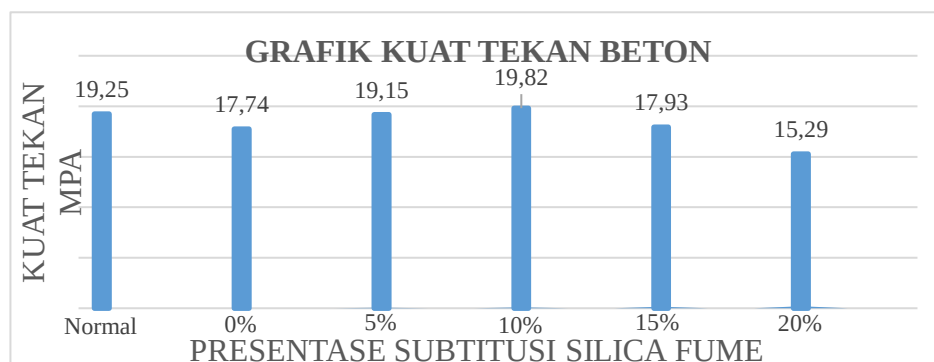
A = luas permukaan sampel benda uji silinder (mm²)

Dari persamaan diatas dapat diketahui hasil uji kuat tekan beton berdasarkan 18 sampel benda uji yang dibuat, Adapun hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 8. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi Substitusi <i>silica fume</i>	Berat Beton (kg)	Luas Penampang (m ²)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
Normal	11,995	17,663	340	19,25	19,25
	12,010	17,663	320	18,12	
	11,785	17,663	360	20,38	
0%	11,925	17,663	300	16,98	17,74
	11,810	17,663	330	18,68	
	11,815	17,663	310	17,55	
5%	11,850	17,663	325	18,40	19,15
	11,760	17,663	350	19,82	
	11,775	17,663	340	19,25	
10%	11,870	17,663	350	19,82	19,82
	11,815	17,663	340	19,25	
	11,900	17,663	360	20,38	
15%	11,760	17,663	330	18,68	17,93
	11,755	17,663	300	16,98	
	11,940	17,663	320	18,12	
20%	11,690	17,663	270	15,29	15,29
	11,840	17,663	280	15,85	
	11,850	17,663	260	14,72	

Dari table diatas menunjukkan Hasil uji kuat tekan beton bahwa beton normal memiliki rata-rata kuat tekan 19,25 MPa. Beton dengan limbah keramik sebagai agregat kasar dan tanpa *silica fume* (0%) serta 5% memiliki kuat tekan lebih rendah, masing-masing 17,74 MPa dan 19,15 MPa, karena karakteristik limbah yang kurang kuat dan reaksi pozzolanik yang belum optimal. Pada variasi 10%, kuat tekan meningkat menjadi 19,82 MPa, sebagai titik optimum. Variasi 15% dan 20% menunjukkan penurunan menjadi 17,93 MPa dan 15,29 MPa, menandakan kelebihan *silica fume* bisa menurunkan kekuatan. Peningkatan kuat tekan tertinggi terjadi pada variasi 10%. Dengan demikian, substitusi *silica fume* variasi 10% memiliki kuat tekan kuat tekan beton yang setara dengan beton normal. Berikut merupakan grafik hasil pengujian kuat tekan beton:



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Grafik yang dihasilkan dari penelitian ini menunjukkan peningkatan kuat tekan beton antara variasi 0% hingga 20%. Kuat tekan tertinggi ditemukan pada variasi 10%, dengan

hasil mencapai 19,82 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa variasi 15% merupakan kondisi optimal untuk memperoleh kekuatan beton yang maksimal dalam penelitian ini.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis terhadap data yang telah diperoleh, maka simpulan dari penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

- 1) Hasil labiratorium pengujian karakteristik agregat kasar dan agregat halus didapatkan bahwa karakteristik material dapat memenuhi syarat sebagai bahan penyusun beton.
- 2) Hasil perencanaan *Job Mix Design* beton menggunakan 20% agregat kasar limbah keramik dan variasi substitusi *silica fume* sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. *Job Mix Design* diujikan pada benda uji berbentuk silinder berukuran 15cm x 30cm dan diuji kuat tekan pada usia 28 hari.
- 3) Hasil *Slump Test* mengalami peningkatan pada substitusi *silica fume* 5% dan 10%, dengan nilai sebesar 2-4 cm.
- 4) Hasil pengujian kuat tekan beton normal memiliki rata-rata 19,25 MPa. Substitusi *silica fume* dengan variasi 10% mendapatkan peningkatan kuat tekan optimal dengan rata – rata kuat tekan 19,82 MPa. Pada variasi *silica fume* 15% dan 20% kuat tekan menurun secara bertahap.

VI. SARAN

Berdasarkan kesimpulan diatas, pada proses pembuatan benda uji beton diperlukan persiapan dan ketelitian pada pengujian material penyusun beton. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan perbandingan umur beton mulai dari 7, 14, 21, 28 dan 56 hari pada beton agar dapat melihat perbandingan hasil kuat tekan beton yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Triasiwi, A. Budiono, and A. Basid, “ANALISIS KUAT TEKAN Beton dengan Penambahan Campuran Silica Fume untuk Mutu Beton K-300 dalam Penggunaan Jalan Rigid Pavement,” *J. Ilm. Fak. Tek.*, vol. 2, pp. 2021–2043, 2021.
- [2] E. Rahmadona, K. R. Amalia, L. Ulfah, and N. Praditya, “Analisis Kuat Tekan Beton dengan Pemanfaatan Silica Fume dan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen Sebagian,” *J. Talent. Sipil*, vol. 7, no. 1, p. 217, 2024, doi: 10.33087/talentsipil.v7i1.451.
- [3] Revisdah and U. Ririn, “Pemanfaatan Limbah Keramik Terhadap Kuat Tekan Beton,” *Jurnal.Umj.Ac.Id/Index.Php/Semnastek*, pp. 1–10, 2018.
- [4] E. M. Julmile, F. Phengkarsa, and S. R. Tonapa, “Pengaruh Silica Fume dan Pecahan Batu Marmer Sebagai Bahan Substitusi Pada Campuran Beton,” *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 29–39, 2023, doi: 10.52722/pcej.v5i1.588.
- [5] E. Purnamasari, “Pengaruh Variasi Penambahan Limbah Pecahan Keramik Terhadap Kuat Tekan Beton,” *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 11, no. 1, pp. 88–94, 2023, doi: 10.32487/jtt.v11i1.1646.
- [6] Eko Komajaya, Dine Agustine, Hafiz Abdillah, and Lily Arlianti, “Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Limbah Pecahan Keramik SebagaiBahan Agregat Kasar Ditambahkan Dengan Zat Aditif,” *JIMTEK J. Ilm. Fak. Tek.*, vol. 1, pp. 5–10, 2020.
- [7] E. P. I Gusti Ngurah, N. K. Astariani, I. G. M. Sudika, and N. P. Silvi, “Evaluasi Mutu

- Beton Proyek Pembangunan Gedung di Desa Pesagi Kabupaten Tabanan-Bali,” *J. Ilm. Telsinas Elektro, Sipil dan Tek. Inf.*, vol. 7, no. 1, pp. 74–83, 2024, doi: 10.38043/telsinas.v7i1.5175.
- [8] Badan Standardisasi Nasional, “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002,” *Bandung Badan Stand. Nas.*, p. 251, 2002.
- [9] SNI-1972, “Cara Uji Slump Beton,” 2008.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, “Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder,” *Badan Standarisasi Nasional, Jakarta*, 1974.