

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH SERBUK BUBUK BESI TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON

(EFFECT OF IRON POWDER WASTE ADDITION ON MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE)

Adika Daffa Maram¹, Fadli Kurnia¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Indonesia

E-mail: adikadaffa@gmail.com

Diterima: 3 Maret 2025 Disetujui: 25 Mei 2025

ABSTRAK

Di Indonesia, masih ditemukan penggunaan beton yang belum memenuhi standar, untuk meningkatkan kualitas dan daya tahan beton, berbagai inovasi dilakukan, termasuk penambahan bahan aditif. Industri konstruksi juga perlu memperhatikan prinsip pembangunan berkelanjutan. Di dalam penelitian ini serbuk besi dipilih karena ketersediaannya yang melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai optimum dari campuran beton dengan memproduksi sampel beton menggunakan variasi persentase penambahan limbah serbuk besi. Metode penelitian ini dimulai dengan identifikasi masalah, studi literatur, serta melakukan studi lapangan, persiapan material seperti semen, agregat kasar dan halus, air, serta limbah serbuk besi sebagai bahan penambah. Variasi serbuk besi yang digunakan adalah 0%, 1%, 2%, dan 3%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan 1% serbuk besi memberikan hasil paling optimal. Pada pengujian kuat tarik, variasi 1% menghasilkan 1,745 MPa di umur 14 hari dan 2,972 MPa di umur 28 hari, lebih tinggi dibanding variasi lainnya. Untuk kuat tekan, variasi 1% menghasilkan 14,15 MPa di umur 14 hari dan 22,64 MPa di umur 28 hari, juga lebih unggul. Pada pengujian kuat lentur, variasi 1% memperoleh hasil 39,14 kg/cm² di umur 14 hari dan 44,58 kg/cm² di umur 28 hari, menunjukkan peningkatan yang signifikan dibanding variasi 0%, 2%, dan 3%. Dari keseluruhan hasil, dapat disimpulkan bahwa penggunaan limbah serbuk besi sebanyak 1% dalam campuran beton mampu meningkatkan performa beton secara optimal, baik dari segi kuat tarik, tekan, maupun lentur, sekaligus memberikan solusi ramah lingkungan dalam pengelolaan limbah industri.

Kata kunci: Beton; Limbah; Kuat Tekan; Kuat Lentur; Kuat Tarik

ABSTRACT

In Indonesia, it is still found that the use of concrete that does not meet the standards, to improve the quality and durability of concrete, various innovations are made, including the addition of additives. The construction industry also needs to pay attention to the principle of sustainable development. In this study, iron powder was chosen because of its abundant availability but has not been optimally utilized. The purpose of this study was to determine the optimum value of concrete mixtures by producing concrete samples using variations in the percentage of iron powder waste addition. This research method begins with problem identification, literature study, and conducting field studies, preparation of materials such as cement, coarse and fine aggregates, water, and iron powder waste as an additive. The iron powder variations used were 0%, 1%, 2%, and 3%. The test results showed that the addition of 1% iron powder gave the most optimal results. In the tensile strength test, the 1% variation produced 1.745 MPa at 14 days and 2.972 MPa at 28 days, higher than the other variations. For compressive strength, the 1% variation produced 14.15 MPa at 14 days and 22.64 MPa at 28 days, also superior. In the flexural strength test, the 1% variation obtained 39.14 kg/cm² at 14 days and 44.58 kg/cm² at 28 days, showing a significant increase compared to the 0%, 2%, and 3% variations. From the overall results, it can be concluded that the use of 1% iron powder waste in concrete mixes is able to optimally improve concrete performance, both in terms of tensile, compressive, and flexural strength, while providing an environmentally friendly solution in the management of iron powder industry waste.

Keywords: Concrete; Waste; Compressive Strength Test; Flexural Strength Test; Tensile Strength Test

PENDAHULUAN

Salah satu material konstruksi yang sangat krusial dan masif digunakan dalam berbagai macam pembuatan bangunan yaitu beton. Baik untuk membangun bangunan, jembatan, maupun infrastruktur lainnya. Di Indonesia, kualitas beton yang digunakan dalam banyak proyek konstruksi masih ada saja yang belum memenuhi standar yang telah ditetapkan. Hal tersebut, dikarenakan terdapat beberapa faktor utama, diantaranya seperti minimnya pemahaman dan wawasan tentang bagaimana teknik konstruksi yang benar, keterbatasan anggaran dalam proses pembangunan, serta kurangnya pengawasan terhadap mutu material yang digunakan. Permasalahan ini tidak hanya terjadi pada proyek-proyek besar, tetapi juga pada pembangunan rumah tinggal, tempat ibadah, serta infrastruktur jalan di berbagai daerah, terutama di wilayah yang masih berkembang.

Kualitas beton yang rendah dapat menimbulkan berbagai dampak negatif yang merugikan, baik dari segi ekonomi maupun keselamatan. Banyak kasus kerusakan infrastruktur, seperti runtuhnya bangunan, hancurnya jalan, hingga kegagalan struktur lainnya, yang disebabkan oleh penggunaan beton dengan mutu di bawah standar. Akibatnya, masyarakat sebagai pengguna infrastruktur menjadi pihak yang paling dirugikan, bahkan tidak jarang menjadi korban bencana akibat kegagalan konstruksi. Seiring dengan perkembangan zaman dan meningkatnya kebutuhan infrastruktur di berbagai daerah, diperlukan upaya untuk meningkatkan kualitas beton yang digunakan agar lebih tahan lama dan aman. Namun, perlu disadari bahwa untuk memproduksi beton dengan mutu tinggi dibutuhkan biaya yang tidak sedikit.

Serbuk besi sebagai limbah industri terus bertambah seiring dengan aktivitas manufaktur baja dan pengolahan logam. Pengelolaannya menimbulkan tantangan lingkungan yang cukup serius, sehingga pemanfaatannya sebagai bahan tambahan dalam beton dipandang sebagai alternatif yang potensial untuk mengurangi dampak lingkungan dan mendukung pembangunan yang berkelanjutan.

Selain manfaat mekanis, pemanfaatan limbah serbuk besi dalam beton juga berkontribusi pada pengurangan limbah industri yang berpotensi mencemari lingkungan, serta mendukung upaya daur ulang dan ekonomi sirkular di sektor konstruksi.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan limbah serbuk besi ke dalam campuran beton dapat meningkatkan sifat mekanis seperti kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur.

Menurut Ibrahim, Nadra Mutiara Sari dan Yuri Khairizal, (2023). Substitusi agregat halus digunakan dengan komposisi variasi 5%, 7,5%, 10%, 12%, dan 15%. Benda uji diuji selama 7 hari, 21 hari, dan 28 hari. Hasil pengujian

menunjukkan bahwa variasi campuran sebesar 5% memiliki nilai kuat tekan tertinggi, sedangkan variasi substitusi yang lebih besar memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah. Dengan demikian, temuan penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah serbuk besi memiliki nilai substitusi yang tinggi dengan agregat halus yang rendah [1].

Dan pada tahun (2021), Prabowo Setiyawan, Djoko Susilo Adhy, dan Muhamad Rusli Ahyar melakukan penelitian yang sama. Dalam proses pembuatan sampel benda uji, variasi penambahan serbuk besi sebesar 2%, 2,5%, dan 3%, serta variasi penambahan serat tembaga sebesar 1%, 1,5%, dan 2% dari berat volume beton. Ketika beton berumur 28 hari, setiap sampel diuji. Hasilnya menunjukkan bahwa beton yang ditambahkan serbuk besi dan serat tembaga dengan variasi 2 persen serbuk besi dan 2 persen serat tembaga memiliki kuat tekan 22,702 MPa dengan peningkatan 0,403 persen dari beton biasa [2].

Selain itu, ada penelitian Penelitian oleh Fakhri Rahmadillah Syaihu (2022) menunjukkan bahwa penambahan serbuk besi sebesar 1,5%, 3%, dan 4,5% dari agregat halus meningkatkan kuat tekan beton menjadi 25,924 MPa, 28,018 MPa, dan 31,078 MPa, serta kuat tarik menjadi 2,255 MPa, 2,305 MPa, dan 2,374 MPa. Hasil ini menunjukkan adanya peningkatan kekuatan tekan dan tarik beton [3].

Studi oleh Yosua Kevin Jordan Randa, Frans Phengkarsa, dan Desi Sandy (2023) menunjukkan bahwa penambahan limbah serbuk besi sebesar 10–20% menurunkan kuat tekan, tarik, dan lentur beton dibandingkan tanpa penambahan, dengan nilai terendah masing-masing sebesar 16,770 MPa, 1,345 MPa, dan 1,345 MPa. Penurunan ini dipengaruhi oleh penggunaan serbuk besi, natrium silika, dan natrium hidroksida [4].

Studi Herri Purwanto dan Utari Cakra Wardani menunjukkan bahwa penambahan serbuk besi 5–15% menurunkan kuat tekan beton dari 241,17 kg/cm² menjadi 218,50–216,63 kg/cm². Penurunan ini menunjukkan perlunya penelitian lanjutan dengan variasi di bawah 5% [5].

Penelitian oleh P. Sujitha Magdalene dkk. mengkaji beton kinerja tinggi (UHPC) dengan limbah tailing bijih besi (IOT) sebagai agregat halus (30–40%) serta kombinasi serat baja, kaca, basal, dan polipropilena. Campuran terbaik (SG2) dengan 1% baja, 1,5% serat kaca, dan 30% IOT menunjukkan peningkatan kekuatan tarik dan benturan, menghasilkan energi dampak 4,05 × 10⁵ kJ (retak awal) dan 2,7 × 10⁶ kJ (keruntuhan). Analisis struktur mikro dilakukan dengan SEM dan termogravimetri [6].

Penelitian Mohamed Arbili dkk. menyoroti potensi penggunaan tailing bijih besi (IOT) sebagai bahan baku beton untuk mengurangi dampak lingkungan. Tinjauan komprehensif menunjukkan bahwa penggunaan IOT dapat

meningkatkan kekuatan dan durabilitas beton, namun mengurangi flowabilitas. Substitusi IOT 20% meningkatkan kuat tekan hingga 14%, sementara 30–40% dinilai sebagai dosis optimum. Meski demikian, dosis berlebih dapat menurunkan performa beton akibat berkurangnya fluiditas. Studi ini juga mengidentifikasi kelemahan pada zona transisi antar muka (ITZ) dan merekomendasikan riset lanjutan [7].

Lalu pada penelitian Ali N. Alzaed menunjukkan bahwa penambahan serbuk besi 10–30% dalam beton meningkatkan kuat tekan secara bertahap, sementara peningkatan kuat tarik cenderung kecil setelah 10%. Sebanyak 144 sampel diuji, dan dua rumus dikembangkan untuk memprediksi peningkatan kekuatan berdasarkan persentase serbuk besi yang digunakan [8].

Limbah Industri Serbuk Besi

Saat ini, perkembangan inovasi dan teknologi di bidang konstruksi terus mengalami kemajuan. Berbagai macam penelitian sudah dicoba dilakukan untuk menemukan cara yang lebih efektif untuk meningkatkan mutu beton tanpa harus meningkatkan biaya produksi secara signifikan. Sayangnya, hingga kini masih jarang ditemukan inovasi yang mampu menghasilkan beton berkualitas tentunya dengan harga yang lebih ekonomis. Oleh sebab itu, sangat perlu melakukan penelitian lebih lanjut guna mencari solusi yang lebih ekonomis dalam meningkatkan mutu beton.

Kekuatan beton, yang umumnya diukur melalui sifat mekanis seperti kekuatan tekan, lentur, dan tarik, menjadi faktor kunci dalam menentukan kualitas dan daya tahan beton tersebut. Untuk meningkatkan kualitas dan daya tahan beton, para peneliti terus melakukan eksperimen dan inovasi dengan menambahkan berbagai bahan aditif atau campuran dalam komposisi beton. Selain berfokus pada peningkatan kualitas beton, konsep pembangunan berkelanjutan atau *go green* juga perlu diperhatikan dalam industri konstruksi. Ada metode pendekatan yang dapat diterapkan ialah dengan memanfaatkan dari limbah industri menjadi bahan tambahan dalam campuran beton. Adapun, Baja dan besi material yang masif digunakan pada sektor pembangunan, termasuk dalam pembuatan alat-alat berat dan berbagai peralatan lainnya. Dalam proses pembuatannya, material ini mengalami beberapa tahap, seperti pemotongan, pembubutan, dan penggergajian, yang menghasilkan limbah berupa serbuk besi dan baja. [9]

Salah satu bahan yang menarik perhatian peneliti dalam penelitian beton adalah serbuk besi. Serbuk besi, yang didapatkan dari proses pemrosesan besi dan limbah industri, sudah terbukti memiliki potensi untuk dimanfaatkan untuk bahan tambahan campuran pada beton. Penambahan serbuk besi diyakini dapat mempengaruhi sifat mekanis beton, baik secara positif maupun negatif, tergantung pada proporsi dan cara penggunaannya. Serbuk besi dapat berfungsi sebagai agregat halus tambahan yang memperkuat beton, namun

juga dapat memengaruhi densitas dan kestabilan struktur beton tersebut.

Dengan adanya potensi tersebut, penelitian mengenai pengaruh penambahan serbuk besi terhadap sifat mekanis beton menjadi sangat penting untuk mengetahui apakah penambahan serbuk besi dapat meningkatkan kinerja beton secara keseluruhan. penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis pengaruh variasi campuran serbuk besi terhadap kekuatan lentur, kekuatan tekan serta daya tahan beton, dan untuk mengevaluasi apakah material ini dapat menjadi alternatif yang ramah lingkungan dan efisien untuk aplikasi konstruksi di masa depan.

Melihat potensi limbah tersebut, dengan bahan tambahan dalam campuran beton guna mencoba eksplorasi menggunakan serbuk besi. Diharapkan, adanya pemanfaatan limbah ini, tidak hanya dapat meningkatkan mutu beton di atas standar yang direncanakan, tetapi juga membantu mengurangi limbah industri yang berpotensi mencemari lingkungan. Dengan demikian, solusi ini dapat menjadi langkah inovatif dalam mendukung pembangunan yang lebih ramah lingkungan sekaligus meningkatkan kualitas infrastruktur di Indonesia.

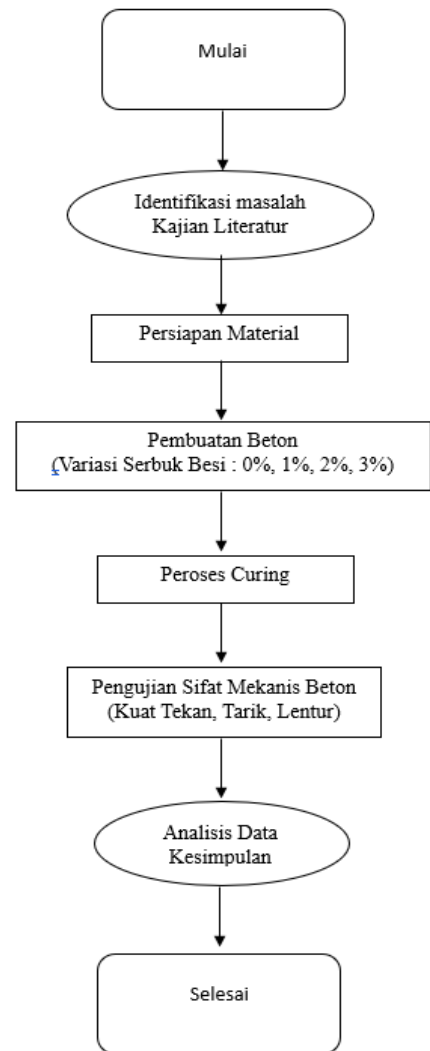
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif, dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi penambahan limbah serbuk besi terhadap sifat mekanis beton, khususnya kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Melalui pendekatan ini, dilakukan pembuatan dan pengujian laboratorium terhadap sampel beton dengan komposisi berbeda, sehingga data yang dihasilkan bersifat terukur dan dapat dianalisis secara statistik untuk mengetahui pengaruh masing-masing variasi serbuk besi terhadap kinerja beton.

Di dalam penelitian ini, data primer didapatkan dengan pengujian yang dilakukan dengan memproduksi sampel beton menggunakan variasi persentase penambahan limbah serbuk besi, sebanyak 0% (kontrol), 1%, 2%, dan 3% dari berat semen. Benda uji berupa balok beton untuk uji lentur (60x15x15 cm) dan silinder beton untuk uji tekan serta tarik belah (15x30 cm), diuji pada umur 14 dan 28 hari. kemudian sampel tersebut diuji dengan beberapa pengujian seperti, uji kuat lentur beton, uji kuat tekan beton dan uji kekuatan tarik belah beton. Hasil dari pengujian ini akan dibandingkan dengan beton kontrol tanpa tambahan limbah serbuk besi untuk menentukan seberapa besar perubahan yang terjadi pada sifat mekanis beton tersebut, serta potensi penggunaan limbah serbuk besi sebagai bahan alternatif dalam pembuatan beton. Dan di dalam penelitian ini, terdapat data sekunder yang didapatkan dari data-data dari penelitian yang telah dipublikasi seperti, jurnal, buku, standar SNI, data industri ataupun penelitian terdahulu.

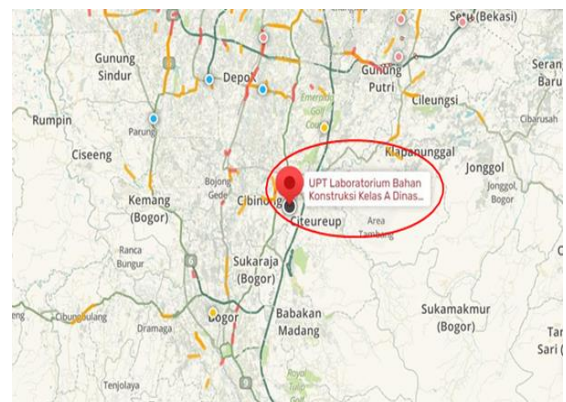
Metode dalam penelitian ini mengacu pada Ibrahim, Nadra Mutiara Sari, dan Yuri Khairizal (2023), di mana dilakukan substitusi agregat halus dengan limbah serbuk besi dalam variasi tertentu (5%, 7,5%, 10%, 12%, dan 15%)

serta pengujian kuat tekan pada umur beton 7, 21, dan 28 hari untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan beton. penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah / latar belakang kemudian mengkaji penelitian terdahulu setelah itu mempersiapkan bahan material yang dibutuhkan untuk membuat beton dan bahan penambahnya yaitu serbuk besi, material yang dibutuhkan semen, agregat kasar (split), agergat halus (pasir), air dan bahan penambah. Setelah bahan sudah tersedia lalu dipersiapkan alatnya yaitu cetakan beam/balok berukuran 60 x 15 x 15 cm untuk pengujian kuat lentur dan silinder berukuran 15 x 30 cm dalam pengujian kuat tekan. Selain cetakan dibutuhkan juga alat slump test yaitu, kerucut abram, plat besi yang rata, dan besi pemadat setelah itu disiapkan juga mesin pengaduk betonnya. Jika alat dan bahan sudah tersedia lalu diperlukan Mix Design Fc 20 MPa yang sudah teruji dan sesuai dengan mutu rencananya. Selanjutnya proses pembuatan beton ini bisa dilakukan, terdapat 2 jenis beton antara lain beton tanpa bahan penambah dan beton dengan bahan penambah. Setelah beton dimasukan kedalam cetakan, beton didiamkan selama 1 hari setelah itu beton dilepas dari cetakannya lalu masuk proses curing atau perendaman di bak yang sudah terisi air, beton direndam selama 7 hari lalu diangkat dan disimpan sampai umur 14 dan 28 hari untuk diuji kuat tekan, kuat Tarik belah dan kuat lenturnya.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Dinas PUPR Kabupaten Bogor Jl. Kp. Bojong Koneng, Kec. Cibinong, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16911.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Variasi dan Jumlah Benda Uji

Benda uji untuk kuat lentur berupa balok memiliki Panjang 60 cm lebar 15 cm serta tinggi 15 cm. Dan untuk benda uji kuat tekan berupa silinder berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm. terdapat 4 variasi beton yaitu beton normal dengan 0% bahan penambah serbuk besi, beton dengan bahan penambah serbuk besi 1%, beton dengan bahan penambah serbuk besi 2%, beton dengan bahan penambah serbuk besi 3%. Nilai variasi ini didapatkan dari rata-rata kesimpulan riset atau studi yang sudah dilakukan terdahulu.

Tabel 1. Variasi Benda Uji

Kode Beton	Keterangan	Persentase Penambahan Serbuk Besi Pada Beton
BN	Beton Normal	0%
BB1	Beton Serbuk Besi 1	1%
BB2	Beton Serbuk Besi 2	2%
BB3	Beton Serbuk Besi 3	3%

Jumlah benda uji setiap variasi yaitu:

Tabel 2. Jumlah Benda Uji (lanjutan)

Kode Beton	Pengujian Beton	Bentuk Benda Uji (cm)	Jumlah
BN	Kuat Tekan (14 & 28 hari)	Silinder 15x30	6
	Kuat Tarik Belah (14 & 28 hari)	Silinder 15x30	6
	Kuat Lentur (14 & 28 hari)	Balok 60x15x15	2
BB1	Kuat Tekan (14 & 28 hari)	Silinder 15x30	6
	Kuat Tarik Belah (14 & 28 hari)	Silinder 15x30	2
	Kuat Lentur (14 & 28 hari)	Balok 60x15x15	6
BB2	Kuat Tekan (14 & 28 hari)	Silinder 15x30	6
	Kuat Tarik Belah (14 & 28 hari)	Silinder 15x30	6
	Kuat Lentur (14 & 28 hari)	Balok 60x15x15	2
BB3	Kuat Tekan (14 & 28 hari)	Silinder 15x30	6
	Kuat Tarik Belah (14 & 28 hari)	Silinder 15x30	6

Kode Beton	Pengujian Beton	Bentuk Benda Uji (cm)	Jumlah
	Kuat Lentur (14 & 28 hari)	Balok 60x15x15	2

Tarik Lentur Beton

Berdasarkan SNI 03-4431-1997 [10] Kekuatan lentur beton merujuk pada kemampuan balok beton untuk menahan beban yang bertindak tegak lurus terhadap sumbu dan didukung di kedua ujungnya hingga bahan uji mengalami patah, dan nilai ini dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa). Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh nilai kekuatan lentur beton yang biasa, yang penting untuk perencanaan serta pelaksanaan.

Kuat lentur untuk patahan benda uji terdapat di daerah pusat pada 1/3 jarak titik peletakan pada bagian tarik dari beton:

$$\sigma_t = \frac{PL}{bh^2} \text{ Kg/cm}^2 \text{ atau N/mm}^2 \dots\dots\dots(1)$$

Kuat lentur guna patahan benda uji ada di luar pusat (diluar daerah 1/3 jarak titik peletakan) pada bagian tarik beton, jarak antara titik pusat dan titik patah adalah kurang dari 5% dari panjang titik peletakan:

$$\sigma_t = \frac{3Pa}{bh^2} \text{ Kg/cm}^2 \text{ atau N/mm}^2 \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

P : Beban maksimum (N)

L : Jarak bentang antara dua perletakan (mm)

H : Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 1974-2011 [11] Hasil dari pengujian tersebut dapat digunakan sebagai panduan untuk memastikan kualitas campuran beton, metode pencampurannya, dan proses pengecoran; hal ini juga berguna untuk menilai apakah pekerjaan itu memenuhi standar yang ditetapkan; serta untuk mengevaluasi seberapa baik tambahan bahan yang digunakan dan pengelolaan konsistensinya.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

σ : Kuat Tekan Beton (MPa)

P : Gaya Tekan (N)

A : Luas Permukaan Beton (mm²)

Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan SNI 2491-2014 [12] Kekuatan tarik belah adalah ukuran tidak langsung dari kekuatan tarik objek uji yang berbentuk silinder. Ukuran ini diperoleh melalui pengujian beban pada silinder yang diletakkan secara mendatar di atas meja pada alat uji tekan. Kekuatan tarik belah ini dipakai dalam desain elemen struktur beton untuk menilai ketahanan terhadap gesekan beton dan untuk menentukan panjang penyaluran dari baja tulangan

$$\text{Kuat Tarik Belah} = \frac{2 \times P_{maks}}{\pi \times L \times D} \dots \dots \dots (4)$$

Satuan kuat tarik belah Kg/cm² atau N/mm

Keterangan:

- P : Beban maksimum (kg)
 l : Panjang benda uji (mm)
 d : Diameter benda uji (mm)

Desain Campuran Bahan

Di penelitian saat ini *mix design* berasal dari plant Shengli Beton, dengan mutu Fc'20 yang umum digunakan di jalan daerah yang lalu lintasnya tidak terlalu padat diharapkan mampu meningkatkan mutunya ketika ditambahkan campuran serbuk besi sehingga membuat daya tahan beton semakin meningkat dan hampir setara beton dengan mutu Fc'25 atau bahkan Fc'30.

Pencapaian *mix design* ini sudah sering digunakan oleh PT. Shengli Industry Indonesia di kegiatan pekerjaan jalan, jembatan dan gedung di berbagai daerah yang terjangkau oleh plant yang berasal dari china ini. Plant shengli sendiri terletak di Dangdang, Kec. Cisauk. Kabupaten Tangerang. Berikut komposisi *mix design* Fc'20 :

Volume silinder 15x30 cm = 0,0159 m³

Volume balok 60x15x15 = 0,405 m³

Tabel 3. Total Kebutuhan Bahan Per m³

Variasi Beton	Semen (kg/m ³)	Agregat Kasar	Pasir (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Serbuk Besi (kg/m ³)
BN	9,47	32,60	26,54	4,41	0
BB1	9,47	32,60	26,54	4,41	0,265
BB2	9,47	32,60	26,54	4,41	0,530
BB3	9,47	32,60	26,54	4,41	0,796

Tabel 4. Total Kebutuhan Bahan 3 Pcs Silinder

Variasi Beton	Semen (kg/m ³)	Agregat Kasar	Pasir (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Serbuk Besi (kg/m ³)
BN	5,57	19,19	15,62	2,59	0
BB1	5,57	19,19	15,62	2,59	0,156
BB2	5,57	19,19	15,62	2,59	0,312
BB3	5,57	19,19	15,62	2,59	0,468

Tabel 5. Total Kebutuhan Bahan 2 Pcs Balok

Variasi Beton	Semen (kg/m ³)	Agregat Kasar	Pasir (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Serbuk Besi (kg/m ³)
BN	350,75	1207,50	983,25	163,50	0
BB1	350,75	1207,50	983,25	163,50	9,83
BB2	350,75	1207,50	983,25	163,50	19,66
BB3	350,75	1207,50	983,25	163,50	25,65

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Slump Test

Berdasarkan hasil slump test didapatkan nilai slump untuk BN 11 cm, BB1 9 cm, BB2 10 cm, BB3 9 cm. Nilai slump pada semua variasi sesuai dengan slump rencana yaitu 10 ± 2 cm.



Gambar 3. Pengujian Slump Test

Tabel 6. Hasil Pengujian Slump Test

Variasi Beton	Hasil Kuat Tarik Belah Rata - Rata (MPa)
BN	11
BB1	9
BB2	10
BB3	9

Dengan hasil slump test yang ada pada pengujian ini menunjukkan komposisi air yang pas tidak terlalu cair atau tidak terlalu kaku, diharapkan mampu membuat benda uji beton yang bagus dan sesuai mutu rencana.

Pengujian Kuat Lentur (14 dan 28 Hari)



Gambar 4. Pengujian Kuat Lentur 14 Hari

Hasil uji kuat lentur pada beton dengan umur 14 hari dengan variasi BN, BB1, BB2, BB3 tercantum pada Tabel berikut :

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Lentur 14 Hari

Kode Beton	P maks (KN)	Kuat Lentur (Kg/cm ²)	Persentase Kenaikan atau Penurunan
BN	27,5	37,37	0%
BB1	28,8	39,14	4,73%
BB2	26,5	36,01	-3,63%
BB3	26,1	35,47	-5,087%

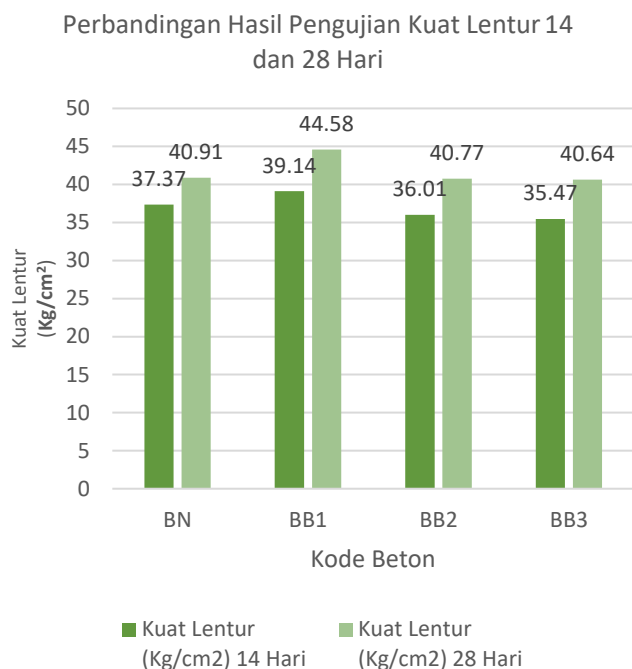


Gambar 5. Pengujian Kuat Lentur 28 Hari

Hasil uji kuat lentur pada beton dengan umur 28 hari dengan variasi BN, BB1, BB2, BB3 tercantum pada Tabel berikut :

Tabel 8. Hasil Kuat Lentur 28 Hari (lanjutan)

Kode Beton	P maks (KN)	Kuat Lentur (Kg/cm ²)	Persentase Kenaikan atau Penurunan
BN	30,31	40,91	0%
BB1	32,8	44,58	8,97%
BB2	30	40,77	-0,34%
BB3	29,9	40,64	-0,65%



Gambar 6. Grafik Grafik Perbandingan Kuat Lentur Umur 14 Hari dan 28 Hari

Berdasarkan Gambar 7 di atas tersebut menunjukkan grafik perbandingan hasil pengujian kuat lentur beton pada umur 14 hari dan 28 hari untuk empat jenis beton dengan kode BN, BB1, BB2, dan BB3. Terlihat bahwa seluruh sampel mengalami peningkatan kuat lentur dari hari ke-14 ke hari ke-28. Peningkatan tertinggi terjadi pada beton kode BB1, yang naik dari 39,14 kg/cm² menjadi 44,58 kg/cm² atau mengalami kenaikan sekitar 13,87%. Beton BN meningkat dari 37,37 menjadi 40,91 kg/cm² (sekitar 9,47%), BB2 dari 36,01 menjadi 40,77 kg/cm² (13,23%), dan BB3 dari 35,47 menjadi 40,64 kg/cm² (14,58%). Peningkatan ini mencerminkan proses hidrasi semen yang masih berlangsung setelah 14 hari, sehingga kekuatan beton terus berkembang hingga hari ke-28, yang umumnya digunakan sebagai standar kekuatan akhir beton. Tidak ada sampel yang mengalami penurunan kekuatan, menandakan kualitas campuran dan proses curing yang baik.

Pengujian Kuat Tekan (14 dan 28 Hari)



Gambar 7. Pengujian Kuat Tekan 14 Hari

Hasil uji kuat tekan pada beton dengan umur 14 hari dengan variasi BN, BB1, BB2, BB3 tercantum pada Tabel berikut :

Tabel 8. Hasil Pengujian Kuat Tekan 14 Hari (lanjutan)

Kode Beton	P maks (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Persentase Kenaikan atau Penurunan
BN	250	14,15	14,15	0%
	260	14,72		
	240	13,58		
BB1	230	13,02	14,15	0%
	260	14,72		
	260	14,72		
BB2	220	12,45	12,82	-9,39%
	220	12,45		
	240	13,58		
BB3	230	13,02	12,83	-9,32%
	220	12,45		
	230	13,02		

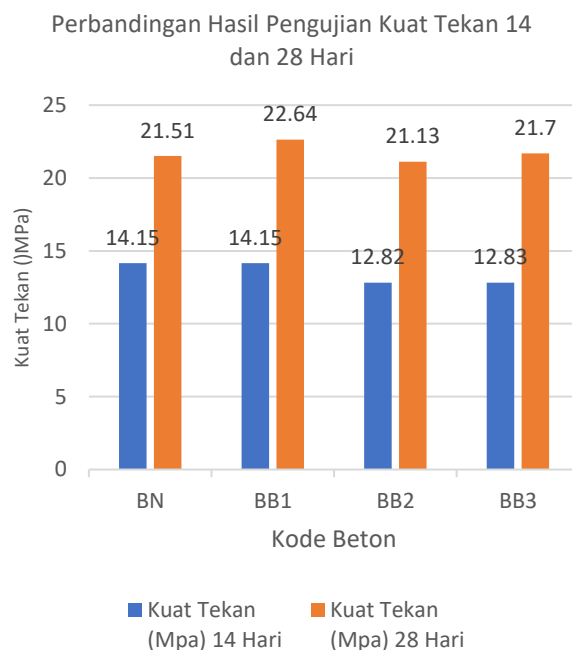


Gambar 8. Pengujian Kuat Tekan 28 Hari

Hasil uji kuat tekan pada beton dengan umur 28 hari dengan variasi BN, BB1, BB2, BB3 tercantum pada Tabel berikut :

Tabel 9. Hasil Kuat Tekan 28 Hari

Kode Beton	P maks (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Persentase Kenaikan atau Penurunan
BN	380	21,51	21,51	0%
	390	22,08		
	370	20,94		
BB1	380	21,51	22,64	5,25%
	420	23,78		
	400	22,64		
BB2	360	20,38	21,13	-1,76%
	380	21,51		
	380	21,51		
BB3	380	21,51	21,70	0,88%
	380	21,51		
	390	22,08		



Gambar 9. Grafik Perbandingan Kuat Tekan umur 14 Hari dan 28 Hari

Berdasarkan Gambar di atas, menampilkan grafik perbandingan kuat tekan beton pada umur 14 hari dan 28 hari untuk empat jenis beton dengan kode BN, BB1, BB2, dan BB3. Semua sampel mengalami peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya umur beton, menunjukkan bahwa proses hidrasi semen terus berlangsung dan meningkatkan kekuatan material. Beton BB1 menunjukkan peningkatan tertinggi dari 14,15 MPa menjadi 22,64 MPa, dengan selisih sebesar 8,49 MPa atau sekitar 59,98%. Beton BN meningkat dari 14,15 menjadi 21,51 MPa (51,96%), BB2 dari 12,82 menjadi 21,13 MPa (64,77%), dan BB3 dari 12,83 menjadi 21,70 MPa (69,13%). Seluruh beton mengalami peningkatan kekuatan tekan yang signifikan, menandakan bahwa kualitas campuran dan perawatan beton selama periode curing cukup baik. Tidak terdapat penurunan nilai kuat tekan, yang merupakan indikasi positif terhadap mutu beton yang diuji.

Pengujian Kuat Tarik Belah (14 dan 28 Hari)



Gambar 10. Pengujian Kuat Tekan 14 Hari

Hasil uji kuat tarik pada beton dengan umur 14 hari dengan variasi BN, BB1, BB2, BB3 tercantum pada Tabel berikut :

Tabel 10. Hasil Kuat Tarik Belah 14 Hari (lanjutan)

Kode Beton	P maks (KN)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)	Persentase Kenaikan atau Penurunan
BN	120	1,698	1,745	0%
	110	1,556		
	140	1,981		
BB1	130	1,840	1,745	0%
	130	1,840		
	110	1,556		
BB2	90	1,273	1,273	-27,05%
	80	1,132		
	100	1,415		
BB3	100	1,415	1,391	-20,29%
	90	1,273		
	105	1,486		

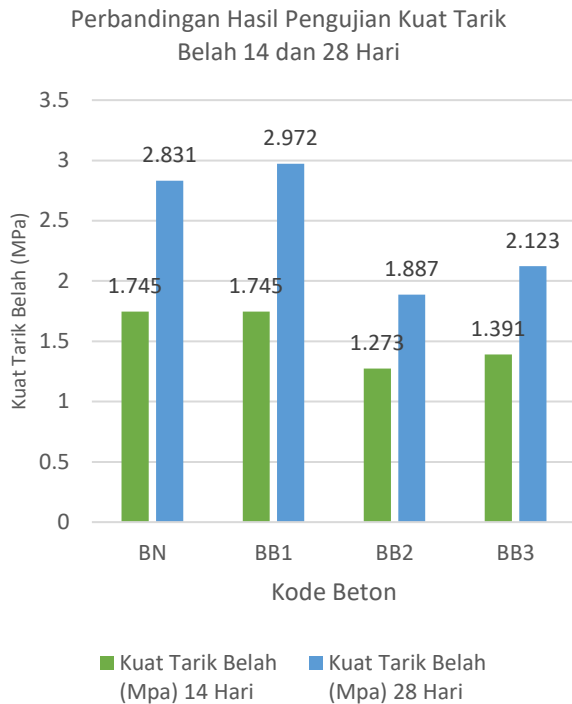


Gambar 11. Grafik Kuat Tarik Belah Umur 28 Hari

Hasil uji kuat tarik pada beton dengan umur 28 hari dengan variasi BN, BB1, BB2, BB3 tercantum pada Tabel berikut :

Tabel 11. Hasil Kuat Tarik Belah 28 Hari

Kode Beton	P maks (KN)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)	Persentase Kenaikan atau Penurunan
BN	200	2,831	2,831	0%
	210	2,972		
	190	2,689		
BB1	210	2,972	2,972	4,98%
	220	3,114		
	200	2,830		
BB2	130	1,840	1,887	-33,34%
	120	1,698		
	150	2,123		
BB3	150	2,123	2,123	-25,01%
	140	1,981		
	160	2,264		



Gambar 12. Grafik Perbandingan Kuat Tarik Belah umur 14 Hari dan 28 Hari

Berdasarkan Gambar 12 tersebut menunjukkan grafik perbandingan hasil pengujian kuat tarik belah beton pada umur 14 dan 28 hari untuk empat jenis beton: BN, BB1, BB2, dan BB3. Semua sampel mengalami peningkatan kuat tarik belah dari hari ke-14 ke hari ke-28, yang menunjukkan perkembangan kekuatan beton seiring waktu akibat proses hidrasi yang berlanjut. Beton BB1 menunjukkan peningkatan paling signifikan, dari 1,745 MPa menjadi 2,972 MPa, setara dengan kenaikan sekitar 70,3%. Beton BN meningkat dari 1,745 menjadi 2,831 MPa (62,2%), BB2 dari 1,273 menjadi 1,887 MPa (48,2%), dan BB3 dari 1,391 menjadi 2,123 MPa (52,7%). Kenaikan ini menandakan bahwa beton terus mengembangkan kekuatannya dengan waktu, terutama pada BB1 yang menunjukkan respons paling baik terhadap proses pengerasan. Tidak ada penurunan kekuatan yang terdeteksi, menandakan bahwa semua campuran memiliki stabilitas dan mutu yang cukup baik dalam jangka waktu pengujian tersebut.

KESIMPULAN

Penelitian ini menguji pengaruh penambahan limbah serbuk besi terhadap kuat lentur, kuat tekan, dan kuat tarik belah beton pada variasi 0%, 1%, 2%, dan 3% serta dilakukan pengujian pada umur beton 14 dan 28 hari. Hasil menunjukkan bahwa seluruh variasi mengalami peningkatan kekuatan dari umur 14 ke 28 hari. Pada umur 28 hari, variasi 1% (BB1) menghasilkan nilai tertinggi di semua jenis pengujian: kuat lentur (44,58 kg/cm²), kuat

tekan (22,64 MPa), dan kuat tarik belah (2,972 MPa). Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa variasi 1% merupakan komposisi paling optimal untuk meningkatkan mutu beton.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. M. S. Y. K. Ibrahim, "Analisis Pengaruh Limbah Serbuk Besi Terhadap Kuat Tekan Beton," *CIVED*, vol. 10, no. 2, pp. 610-615, 2023.
- [2] D. S. A. M. R. A. Prabowo Setiyawan, "Karakteristik Kuat Tekan Campuran Beton dengan tambahan Serat," *Pondasi*, vol. 26, no. 2, pp. 72-79, 2021.
- [3] F. R. Syaihu, "PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK BESI SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN PASIR PADA BETON TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BETON," dalam *Tugas Akhir Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia*, Yogyakarta, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, 2022, pp. 90-91.
- [4] F. P. D. S. Kevin Jordan Randa, "Pengaruh Serbuk Besi Dan Natrium Silika Serta Natrium Hidroksida," *Paulus Civil Engineering Journal (PCEJ)*, vol. 5, no. 1, pp. 151-160, 2023.
- [5] d. U. C. W. Herri Purwanto, "PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK BESI TERHADAP KUAT TEKAN BETON MUTU K225," *Jurnal Deformasi*, vol. 5, no. 1, pp. 103-112, 2020.
- [6] B. K. S. K. S. P. Sujitha Magdalene, "Ultra-high-performance concrete with Iron ore tailings and non-metallic and hybrid fibers-A comprehensive experimental study," *Science Direct*, vol. 19, pp. 1-19, 2023.
- [7] M. A. J. A. Mohamed, "Concrete Made with Iron Ore Tailings as a Fine Aggregate: A Step towards Sustainable Concrete," *Materials*, vol. 15, 2022.
- [8] A. N. Alzaed, *Effect of iron filings in concrete compression and tensile strength. International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, vol. 3, pp. 121-125, 2014.
- [9] A. S. d. G. A. B. Pratama, "Penambahan Serat Limbah Bubut Besi Terhadap Kuat Tarik dan Kuat Lentur Beton Normal," *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi*, vol. 1, pp. 16-23, 2020.