

PENGARUH SUBSTITUSI PASIR BESI PADA CAMPURAN BETON TERHADAP NILAI KUAT TEKAN

Dicki Noviamri¹⁾
Universitas Bung Hatta
dickinoviamri@gmail.com

Khadavi²⁾
Universitas Bung Hatta
khadavi@bunghatta.ac.id

ABSTRAK

Beton merupakan material konstruksi yang dominan digunakan dalam pembangunan infrastruktur karena memiliki kekuatan tekan tinggi, daya tahan yang baik, serta biaya yang relatif ekonomis. Penelitian ini menganalisis pengaruh substitusi pasir besi sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat tekan beton mutu f_c' 20 MPa. Variasi substitusi pasir besi yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, dan 15%. Benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm diuji kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa substitusi pasir besi mampu meningkatkan kuat tekan beton hingga kadar tertentu. Pada umur 28 hari diperoleh nilai kuat tekan: beton normal 20,10 MPa; substitusi pasir besi 5% sebesar 20,48 MPa; substitusi 10% sebesar 21,23 MPa; dan substitusi 15% sebesar 21,70 MPa. Kenaikan kuat tekan ini disebabkan oleh efek pengisian rongga dan berat jenis pasir besi yang lebih tinggi sehingga meningkatkan kepadatan beton. Namun pada kadar substitusi yang terlalu tinggi, kuat tekan berpotensi menurun akibat workability yang rendah dan distribusi agregat yang tidak seimbang. Hasil ini menunjukkan bahwa pasir besi berpotensi dimanfaatkan sebagai material lokal yang mendukung pembangunan berkelanjutan, khususnya pada kadar optimal sekitar 15% sebagai pengganti sebagian agregat halus.

Kata Kunci: Beton, Pasir Besi, Kuat Tekan, Subsitusi Agregat Halus.

ABSTRACT

Concrete is a dominant construction material used in infrastructure development because it has high compressive strength, good durability, and relatively economical costs. This study analyzes the effect of substituting iron sand as a partial replacement for fine aggregate on the compressive strength of concrete with a strength of f_c' 20 MPa. The variations in iron sand substitution used were 0%, 5%, 10%, and 15%. Test specimens in the form of cylinders with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm were tested for compressive strength at 7, 14, and 28 days of age. The test results showed that iron sand substitution was able to increase the compressive strength of concrete to a certain degree. At 28 days, the compressive strength values obtained were: normal concrete 20.10 MPa; 5% iron sand substitution 20.48 MPa; 10% substitution 21.23 MPa; and 15% substitution 21.70 MPa. This increase in compressive strength was due to the filling effect and higher specific gravity of iron sand, which increased the density of the concrete. However, at too high a substitution rate, compressive strength could potentially decrease due to low workability and uneven aggregate distribution. These results indicate that iron sand has the potential to be utilized as a local material that supports

sustainable development, particularly at an optimal substitution rate of around 15% as a partial replacement for fine aggregate.

Keywords: Concrete, Iron Sand, Compressive Strength, Fine Aggregate Substitution.

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan infrastruktur di Indonesia terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, baik pada sektor perumahan, gedung bertingkat, jalan raya, jembatan, maupun bendungan. Sebagian besar konstruksi tersebut menggunakan beton sebagai material utama, sehingga kebutuhan akan beton semakin meningkat. Beton dipilih karena memiliki sejumlah keunggulan, antara lain kekuatan tekan yang tinggi, biaya relatif ekonomis, serta kemampuan dibentuk sesuai kebutuhan.

Namun, peningkatan kebutuhan beton juga berdampak pada semakin tingginya penggunaan semen sebagai bahan pengikat. Proses produksi semen diketahui menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2) yang tinggi, yang dapat meningkatkan efek rumah kaca. Menurut laporan IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), industri semen menyumbang sekitar 7% dari total emisi CO_2 global. Oleh karena itu, perlu upaya untuk mencari alternatif yang dapat menekan penggunaan semen dan meningkatkan efisiensi campuran beton.

Salah satu upaya adalah dengan memanfaatkan material lokal sebagai substitusi sebagian agregat dalam campuran beton. Agregat menempati porsi 70–75% volume beton, sehingga sifat agregat sangat mempengaruhi kualitas beton. Pasir sebagai agregat halus memiliki peran penting dalam menentukan workability dan kepadatan beton. Oleh karena itu, substitusi pasir dengan material lokal tertentu dapat berdampak signifikan pada mutu beton.

Pasir besi merupakan salah satu material lokal yang potensial, terutama di wilayah pesisir Indonesia yang banyak mengandung endapan pasir besi. Pasir besi memiliki kandungan mineral besi yang tinggi dan berat jenis lebih besar dibandingkan pasir biasa. Karakteristik ini memungkinkan pasir besi berfungsi sebagai filler yang dapat mengisi rongga dalam beton, sehingga meningkatkan kepadatan dan kuat tekan beton. Namun, penggunaan pasir besi dalam jumlah besar dapat menurunkan workability karena sifatnya yang lebih berat dan permukaan butir yang kasar.

Penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh substitusi pasir besi sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap kuat tekan beton mutu f_c' 20 MPa. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pemanfaatan sumber daya lokal serta mendukung pembangunan berkelanjutan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh substitusi pasir besi terhadap kuat tekan beton.
2. Mengukur perbedaan kuat tekan beton antara beton yang menggunakan subsitusi pasir besi dan beton yang tidak menggunakan subsitusi pasir besi.

1.3. Manfaat Penelitian

1. Menyediakan data kuat tekan beton dengan penambahan pasir besi
2. Memberikan perbandingan nilai kuat tekan beton dengan pasir besi dan tanpa pasir besi.

3. Memberikan alternatif pemanfaatan pasir besi dalam campuran beton.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Beton Universitas Bung Hatta. Tahapan metode penelitian meliputi identifikasi variabel, pengujian material, perencanaan campuran beton (*mix design*), pembuatan dan perawatan benda uji serta pengujian beton segar dan beton keras. Uraian masing-masing tahapan adalah sebagai berikut :

2.1 Variabel Penelitian

Variabel utama penelitian adalah persentase substitusi pasir besi sebagai pengganti agregat halus. Variasi yang digunakan meliputi 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap total volume pasir. Beton direncanakan dengan mutu f_c' 20 MPa, karena mutu ini merupakan standar beton struktural yang umum digunakan pada bangunan sederhana hingga menengah. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari untuk mewakili fase awal, pertengahan, dan akhir perkembangan kekuatan beton akibat proses hidrasi semen.

2.2 Pengujian Material

Sebelum digunakan, material penyusun beton diuji terlebih dahulu untuk memastikan kualitasnya sesuai standar:

1. Analisa Saringan: dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butir agregat.
2. Berat Jenis dan Penyerapan Air: ditentukan dengan metode piknometer (agregat halus) dan SSD (saturated surface dry) untuk agregat kasar.
3. Kadar Lumpur: diuji dengan metode pencucian dan pembacaan endapan lumpur. Kandungan lumpur tinggi dapat mengurangi ikatan antara pasta semen dan agregat.
4. Bobot Isi: ditentukan untuk mengetahui kepadatan material dalam kondisi gembur maupun padat.

2.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan Campuran Beton (*Mix design*) dihitung dengan acuan SNI 7656:2012. Langkah-langkah yang dilakukan adalah:

1. Menentukan slump target antara 75–100 mm sesuai kebutuhan beton struktural.
2. Menentukan faktor air semen (FAS) sekitar 0,5 untuk mutu beton f_c' 20 MPa.
3. Menghitung kebutuhan semen, air, agregat halus, dan agregat kasar berdasarkan tabel SNI.
4. Menyesuaikan kadar air dengan hasil uji penyerapan agregat.
5. Substitusi pasir besi dimasukkan dengan mengganti sebagian volume pasir normal sesuai variasi penelitian (5%, 10%, dan 15%).

2.4 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Benda uji dibuat dalam cetakan silinder baja berukuran diameter 15 cm tinggi 30 cm. Tahapan pembuatannya adalah:

1. Penimbangan material sesuai proporsi *mix design*.
2. Pencampuran menggunakan concrete mixer dengan urutan: agregat kasar dan halus → semen → pasir besi → air.
3. Adukan dituangkan ke dalam cetakan silinder dalam tiga lapis, tiap lapis dipadatkan dengan batang penusuk 25 kali.
4. Setelah 24 jam, benda uji dilepaskan dari cetakan lalu direndam dalam bak air bersuhu normal (20–25°C) hingga umur pengujian. Perawatan (curing) ini bertujuan menjaga

kelembaban agar reaksi hidrasi semen berlangsung sempurna.

2.5 Pengujian Beton

1. Pengujian *Slump*

Dilakukan menurut SNI 1973:2011 menggunakan kerucut Abrams setinggi 30 cm, diameter bawah 20 cm, dan diameter atas 10 cm. Adukan dimasukkan dalam tiga lapis, setiap lapis ditusuk 25 kali. Setelah penuh, kerucut diangkat perlahan, dan penurunan adukan (*slump*) diukur dalam cm. Nilai *slump* menunjukkan tingkat *workability* beton segar.

2. Pengujian Kuat Tekan Beton

Dilakukan menurut SNI 1974:2011 dengan mesin uji tekan hidrolik. Benda uji silinder ditempatkan pada posisi tegak lurus bidang tekan, kemudian diberikan beban hingga benda uji hancur. Kuat tekan beton dihitung dengan rumus:

$$f'c = P / A$$

di mana $f'c$ = kuat tekan (MPa), P = beban maksimum (N), dan A = luas penampang benda uji (mm^2). Pengujian dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari untuk melihat perkembangan kekuatan beton.

2.6 Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian ini sejalan dengan Prasetio (2011) yang menemukan peningkatan kuat tekan pada substitusi 5–15% pasir besi. Namun berbeda dengan penelitian lain yang menunjukkan penurunan di atas 20%, sehingga penelitian ini menegaskan bahwa kadar optimum berada di sekitar 10–15%.

Selain langkah-langkah yang telah dijelaskan, perlu dipahami bahwa keberhasilan penelitian beton dengan substitusi pasir besi sangat dipengaruhi oleh konsistensi prosedur pengujian. Pada saat pencampuran, kecepatan putar mixer dan lama waktu pengadukan dijaga agar homogenisasi material tercapai dengan baik. Beton yang tidak tercampur merata dapat menimbulkan segregasi sehingga distribusi pasir besi dalam matriks beton tidak merata, yang pada akhirnya memengaruhi nilai kuat tekan.

Selain itu, kondisi lingkungan pada saat proses curing juga penting diperhatikan. Kelembaban udara dan suhu air perendaman harus stabil karena fluktuasi suhu dapat mengakibatkan retak susut dini pada benda uji. Retakan ini walaupun berukuran mikro, dapat menurunkan kekuatan beton secara keseluruhan. Oleh sebab itu, penelitian ini mengupayakan kontrol lingkungan laboratorium agar hasil yang diperoleh representatif dan dapat dipertanggungjawabkan.

Dalam tahap pengujian *slump*, ketelitian juga diperlukan. Kesalahan kecil, misalnya cara pemadatan atau kecepatan pengangkatan kerucut Abrams, dapat memengaruhi hasil pengukuran. Oleh karena itu, setiap uji *slump* dilakukan oleh operator yang sama dengan mengikuti pedoman standar, sehingga mengurangi variabilitas data. Demikian pula pada pengujian kuat tekan, posisi benda uji dalam mesin tekan harus benar-benar tegak lurus untuk menghindari terjadinya distribusi beban yang tidak merata.

Penambahan detail ini menegaskan bahwa metode penelitian bukan hanya sekadar prosedur tertulis, melainkan serangkaian proses yang menuntut ketelitian teknis, konsistensi, serta pengendalian variabel agar hasil penelitian sahih secara ilmiah. Dengan metode penelitian yang terperinci ini diharapkan hasil pengujian dapat menggambarkan secara akurat pengaruh substitusi pasir besi terhadap sifat mekanis beton, khususnya kuat tekan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Berikut adalah hasil pengujian agregat halus yang disajikan dalam Tabel 3.1:

Tabel 3. 1 Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar SNI	Keterangan
1	Berat Jenis SSD	2,51	2,50 – 2,70	-
2	Berat Jenis Kering	2,73	-	-
3	Penyerapan	2,78%	-	-
4	Kadar Lumpur	3,14%	Maks 5%	Memenuhi Standar
5	Kadar Air	3,18%	3% - 5%	Memenuhi Standar
6	Berat Isi Gembur	1118,3 gr/ltr	-	-
7	Berat Isi Padat	1245,8 gr/ltr	-	-
8	Kadar Organik	Larutan NaOH 3% berwarna jenuh	Kuning muda sampai hitam	Memenuhi standar

(Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknologi Beton Universitas Bung Hatta)

Pengujian sifat fisik agregat memberikan gambaran awal mengenai mutu beton yang dihasilkan. Agregat halus dengan berat jenis 2,51–2,73 menunjukkan bahwa material masih dalam batas standar SNI, sehingga dapat memberikan kepadatan cukup pada beton.

3.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Berikut adalah hasil pengujian agregat kasar yang disajikan dalam Tabel 3.2:

Tabel 3. 2 Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar SNI	Keterangan
1	Berat Jenis SSD	2,75	2,55 – 2,75	-
2	Berat Jenis Kering	2,86	-	-
3	Penyerapan	1,42%	-	-
4	Kadar Lumpur	0,32%	Maks 1%	Memenuhi Standar
5	Kadar Air	1,52%	0,5% - 2%	Memenuhi Standar
6	Berat Isi Gembur	1415,1 gr/ltr	-	-
7	Berat Isi Padat	1505,9 gr/ltr	-	-

(Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknologi Beton Universitas Bung Hatta)

Pengujian sifat fisik agregat memberikan gambaran awal mengenai mutu beton yang dihasilkan. Agregat halus dengan berat jenis 2,51–2,73 menunjukkan bahwa material masih dalam batas standar SNI, sehingga dapat memberikan kepadatan cukup pada beton.

3.3 Hasil Pengujian Pasir Besi

Berikut adalah hasil pengujian pasir besi yang disajikan dalam Tabel 3.3:

Tabel 3. 3 Hasil Pengujian Pasir Besi

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar SNI	Keterangan
1	Berat Jenis SSD	2,70	2,50 – 2,70	-
2	Berat Jenis Kering	3,03	-	-
3	Penyerapan	4,02%	-	-
4	Kadar Lumpur	0,13%	Maks 5%	Memenuhi Standar
5	Kadar Air	3,86%	3% - 5%	Memenuhi Standar
6	Berat Isi Gembur	2435,22 gr/ltr	-	-
7	Berat Isi Padat	2672,70 gr/ltr	-	-
8	Kadar Organik	Larutan NaOH 3% berwarna jenuh	Kuning muda sampai hitam	Memenuhi standar

(Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknologi Beton Universitas Bung Hatta)

Pasir besi menunjukkan berat jenis yang lebih tinggi (hingga 3,03) dibandingkan pasir normal. Hal ini menjadikan pasir besi mampu meningkatkan massa jenis beton dan berpotensi memperbaiki distribusi beban internal pada saat beton menerima gaya tekan. Akan tetapi, nilai penyerapan air yang lebih tinggi (4,02%) menunjukkan pasir besi lebih poros, sehingga perlu dilakukan koreksi kadar air saat perhitungan *mix design*.

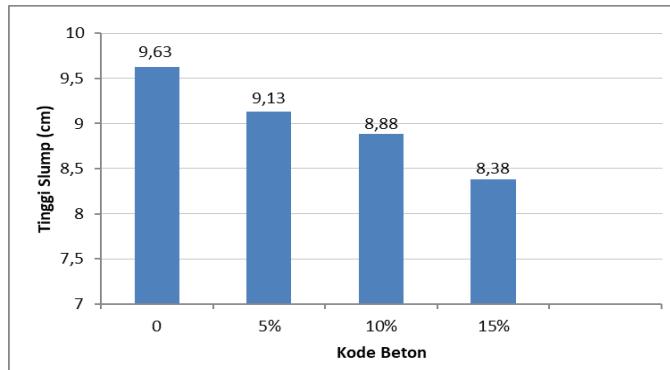
3.4 Hasil Pengujian Nilai *Slump*

Berikut adalah hasil pengujian nilai *slump* yang disajikan dalam Tabel 3.4:

Tabel 3. 4 Hasil Pengujian Nilai *Slump*

Variasi Pasir Besi (%)	Tinggi Slump (cm)				Rata-rata
	T1	T2	T3	T4	
0	10	9	9,5	10	9,63
5	10	9	8,5	9	9,13
10	9	9,5	8,5	8,5	8,88
15	9	8,5	7,5	8,5	8,38

(Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknologi Beton Universitas Bung Hatta)



Gambar 3. 1 Grafik Hasil Pengujian Nilai *Slump*

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.1 dan data pada Tabel 4.4, terlihat bahwa hasil uji *slump* memperlihatkan adanya tren penurunan *workability* seiring bertambahnya kadar pasir besi. Beton normal (0%) mencatat *slump* 9,63 cm yang berada pada rentang rencana (75–100 mm). Namun, pada 15% substitusi pasir besi, *slump* menurun menjadi 8,38 cm. Penurunan ini terjadi karena butiran pasir besi lebih kasar dan berat, sehingga membutuhkan lebih banyak air untuk melumasi permukaannya.

Dari sisi aplikasi praktis, hal ini dapat menyulitkan pekerjaan pengecoran terutama pada struktur yang rapat tulangan. Oleh sebab itu, bila kadar pasir besi tinggi digunakan di lapangan, perlu tambahan *admixture* seperti *superplasticizer* agar tetap mudah dikerjakan.

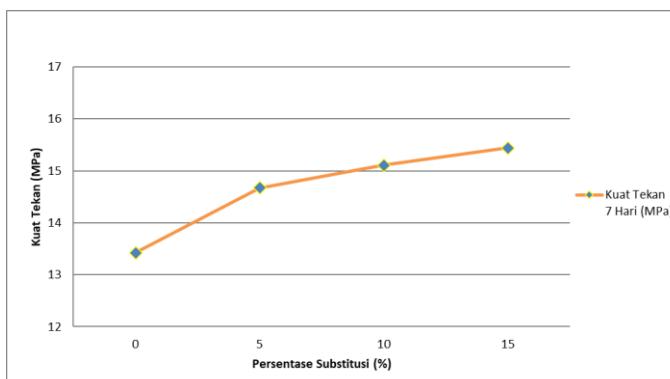
3.5 Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan

Berikut adalah hasil pengujian nilai kuat tekan beton yang disajikan dalam Tabel 4.5:

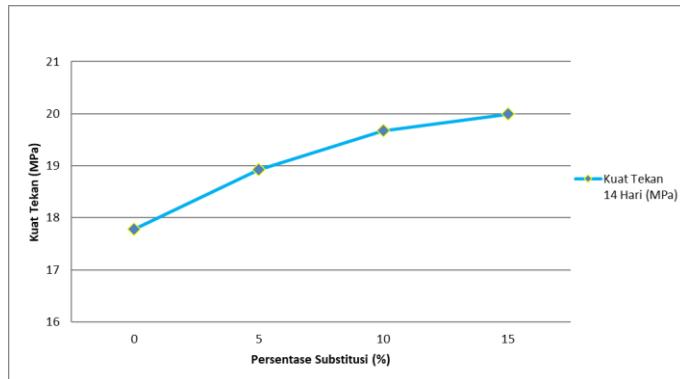
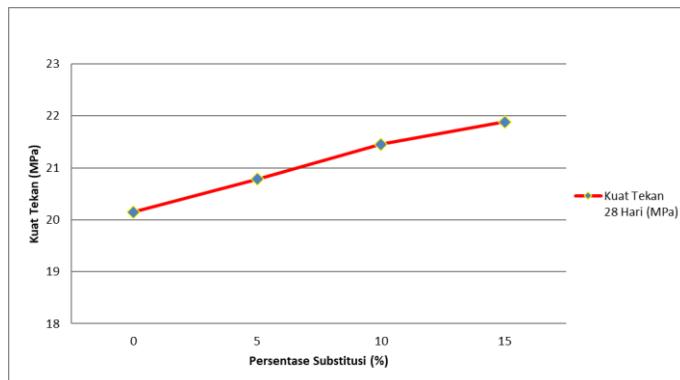
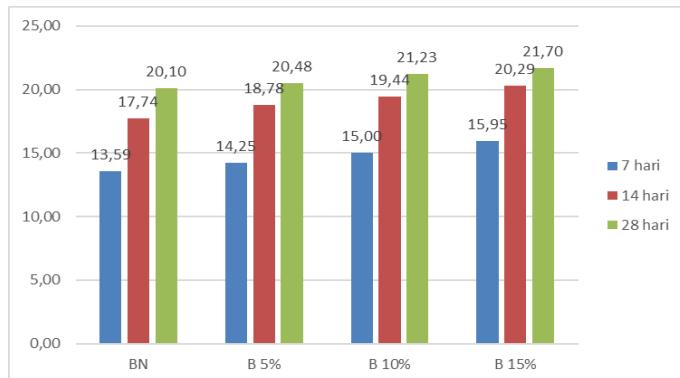
Tabel 3. 5 Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan 7, 14 dan 28 hari

No.	Variasi Pasir Besi	7 Hari (MPa)	14 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
1	0%	13,59	17,74	20,10
2	5%	14,25	18,78	20,48
3	10%	15,00	19,44	21,23
4	15%	15,95	20,29	21,70

(Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknologi Beton Universitas Bung Hatta)



Gambar 3. 2 Grafik Pengujian Kuat Tekan Umur 7 Hari

**Gambar 3. 3 Grafik Pengujian Kuat Tekan Umur 14 Hari****Gambar 3. 4 Grafik Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari****Gambar 3. 5 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan**

(Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknologi Beton Universitas Bung Hatta)

Pengujian kuat tekan memberikan hasil yang konsisten dengan hipotesis awal. Pada umur 28 hari, beton normal mencapai 20,10 MPa, sedangkan beton dengan substitusi 15% pasir besi mencapai 21,70 MPa atau meningkat sekitar 7,96%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pasir besi berfungsi sebagai *filler effect*, yaitu mengisi rongga antar partikel dan memperbaiki kepadatan beton.

Menariknya, pada umur 7 hari beton dengan 15% pasir besi sudah mencapai 15,95 MPa, atau hampir 80% dari kuat tekan 28 hari. Hal ini menandakan bahwa pasir besi mempercepat perkembangan kekuatan awal beton. Namun, kenaikan yang terjadi dari 10% ke 15% substitusi relatif kecil, hanya sekitar 0,47 MPa. Artinya, kadar optimum berada pada kisaran 10–15%, sementara bila lebih dari itu kemungkinan *workability* yang rendah akan berdampak negatif.

Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa substitusi pasir besi hingga 15% memberikan peningkatan kekuatan beton dibandingkan beton normal. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui teori *filler effect* dan *packing density*. Partikel pasir besi yang memiliki berat jenis lebih tinggi mengisi rongga antar agregat lebih efektif dibandingkan pasir biasa. Rongga yang lebih sedikit berarti beton menjadi lebih padat, sehingga beban tekan dapat ditahan lebih besar.

Selain itu, keberadaan mineral besi di dalam pasir besi dapat berperan sebagai katalis mikro pada proses hidrasi semen. Walaupun kontribusinya kecil, interaksi ini mempercepat pembentukan produk hidrasi seperti kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang merupakan komponen utama penyumbang kuat tekan beton. Hal ini terbukti dari hasil uji umur 7 hari, di mana beton dengan pasir besi sudah menunjukkan kekuatan yang relatif tinggi.

Namun demikian, perlu dicatat bahwa peningkatan kuat tekan tidak linier. Pada kadar 10% ke 15%, kenaikan kuat tekan relatif kecil. Hal ini dapat dijelaskan karena semakin tinggi kandungan pasir besi, semakin rendah workability campuran. Adukan yang kaku cenderung sulit dipadatkan, sehingga meskipun secara teoritis beton lebih padat, pada praktiknya terdapat potensi rongga udara yang terjebak. Rongga udara inilah yang kemudian membatasi peningkatan kekuatan pada kadar substitusi yang terlalu tinggi.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, hasil ini konsisten dengan Prasetyo (2011) yang menyatakan bahwa kadar optimum pasir besi berada di kisaran 10–15%. Namun berbeda dengan Suryadi (2001) yang menemukan penurunan kuat tekan pada kadar 20%. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan adanya batas optimum penggunaan pasir besi, yaitu pada rentang 10–15%, di mana keuntungan dari peningkatan kepadatan masih lebih dominan dibanding kerugian akibat berkurangnya *workability*.

Selain itu, hasil ini memiliki implikasi praktis yang signifikan. Dalam proyek konstruksi skala kecil hingga menengah, penggunaan pasir besi sebagai substitusi sebagian pasir normal dapat menjadi solusi pemanfaatan sumber daya lokal. Di wilayah pesisir yang memiliki cadangan pasir besi melimpah, hal ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada material impor, tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi bagi masyarakat setempat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa substitusi pasir besi sebagai pengganti sebagian agregat halus memberikan pengaruh positif terhadap kuat tekan beton mutu f_c' 20 MPa. Kuat tekan beton meningkat seiring bertambahnya kadar pasir besi, dari 20,10 MPa pada beton normal menjadi 21,70 MPa pada beton dengan substitusi pasir besi 15% pada umur 28 hari. Peningkatan ini disebabkan oleh efek pengisian rongga (*filler effect*) dan berat jenis pasir besi yang lebih tinggi sehingga mampu meningkatkan kepadatan beton.

Selain itu, beton dengan substitusi pasir besi menunjukkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton normal pada setiap umur pengujian. Pada umur 28 hari misalnya, kuat tekan beton normal sebesar 20,10 MPa sedangkan beton dengan substitusi pasir besi 15% mencapai 21,70 MPa. Hasil ini membuktikan bahwa penggunaan pasir besi sebagai pengganti sebagian agregat halus mampu meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton tanpa substitusi.

DAFTAR PUSTAKA

American Concrete Institute (ACI). (1995). *Concrete terminology (ACI Committee 116)*. Farmington Hills: ACI.

- Ananta, M. A. (2018). *Pengaruh penggunaan fly ash terhadap kuat tekan beton*. Jurnal Teknik Sipil, 6(2), 45–53.
- Asphalt Institute. (1997). *Mix design methods for asphalt concrete, and other hot-mix types* (MS-2, 6th ed.). Lexington, KY: Asphalt Institute.
- BS EN 12390-3:2019. *Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens*. London: British Standards Institution.
- California Department of Transportation. (2013). *California Test 216: Method of test for relative compaction of untreated and treated soils and aggregates*. Sacramento: Caltrans.
- Civil Engineering Terms. (2023). *Concrete classification and mix proportion*. Erny Agusri. (2015). *Teknologi beton dan bahan bangunan*. Padang: Universitas Negeri Padang Press.
- Firjatullah. (2021). Pengaruh pemanfaatan pasir besi sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Teknik Sipil*.
- IPCC. (2007). *Climate change, 2007: Mitigation of climate change*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Lasino, L. (2012). *Teknologi beton*. Jakarta: Andi Offset.
- Masri A. Rivai. (2010). *Pengaruh penambahan pasir besi terhadap mutu beton*. Jurnal Teknik Sipil, 2(1), 25–31.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Murdock, L. J., & Brook, K. M. (1991). *Concrete, materials and practice* (5th ed.). London: Edward Arnold.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete* (5th ed.). Harlow: Pearson Education Limited.
- Nugraha, P., & Antoni. (2007). *Teknologi beton*. Jakarta: ANDI.
- Paul, H., & Tattersall, G. H. (2000). *Workability and quality control of concrete*. London: E & FN Spon.
- Prasetyo, E. (2016). *Pengaruh variasi pasir besi terhadap kuat tekan beton*. Jurnal Teknik Sipil, 4(2), 67–75.
- Puspita, R., & Ramlan. (2023). Analisis kandungan oksida besi pada pasir besi Cidaun, Jawa Barat. *Jurnal Material Konstruksi*.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman. (2011). *SNI 1974:2011 – Cara uji kadar lumpur agregat halus secara pengendapan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2834-2000. *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2847-2000. *Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 7064:2014. *Semen Portland Komposit (PCC) – Spesifikasi*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 7656:2012. *Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat, dan beton massa*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Tjokrodimuljo, K. (1996). *Teknologi beton*. Yogyakarta: Nafiri.

JURNAL

ISSN: xxxx-xxxx (media online)

Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi beton*. Yogyakarta: Andi Offset.