

Pengaruh Penambahan Serbuk Besi Sebagai Bahan Aditif pada Beton Perkerasan Rigid

The Effect of Adding Iron Powder as an Additive to Rigid Pavement Concrete

Winson Enrique Harahap¹, Sugeng Wiyono¹, Elizar^{1*}

¹Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Islam Riau, Pekanbaru, Indonesia, 28284

*Penulis Korespondensi E-mail: elizar@eng.uir.ac.id

Diterima: 4 Februari 2024; Direvisi: 14 April 2024; Disetujui: 10 Mei 2024

Abstrak

Dalam setiap pembangunan konstruksi yang menggunakan beton bertulang, seringkali kegiatan tersebut menyisakan sampah konstruksi berupa sisa potongan besi yang tidak dapat digunakan. Material besi ini tidak dapat digunakan dan menjadi limbah konstruksi (*waste material*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan serbuk besi sebagai bahan tambah pada beton terhadap kuat lentur beton, serta menerapkan konsep *packing density* yang sudah diterapkan pada beton UHPC.

Metode penelitian yang dilaksanakan adalah studi eksperimental. Pengujian material, perancangan campuran, pembuatan campuran beton sampai dengan uji kuat lentur beton, yang telah dilaksanakan di Laboratorium Divisi Teknik PT. Lutvindo Wijaya Perkasa Pekanbaru. Analisa penelitian ini dilakukan dengan membandingkan hasil uji kuat lentur antara beton normal dengan beberapa variasi beton yang ditambahkan serbuk besi.

Dari penelitian ini didapatkan hasil uji kuat lentur beton yang ditambahkan serbuk besi sebanyak 3% memiliki nilai kuat lentur tertinggi diantara campuran beton lainnya, yaitu dengan kuat lentur rata – rata sebesar 5,447 Mpa. Sehingga dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan penambahan serbuk besi optimum adalah sebesar 3%. Penambahan serbuk besi dapat menjadi salah satu bentuk pengaplikasian konsep *packing density nano technology* yang telah di terapkan pada beton UHPC, untuk mendapatkan kepadatan maksimum pada beton dan meningkatkan kekuatan beton. Disarankan juga untuk memvariasikan ukuran serbuk besi pada penelitian selanjutnya agar dapat diketahui ukuran serbuk besi yang optimal untuk dapat dijadikan bahan aditif.

Kata Kunci: Beton ; Nano Teknologi ; Serbuk Besi ; UHPC ; Uji Kuat Lentur

Abstract

On every construction project which using reinforced concrete there always any waste materials be in the form of iron scrap that can not be used. The iron materials that can not be used turn in to waste construction (*waste materials*). This research intend to know the influence of iron powder utilization as aditif for rigid pavement concrete and to application packing density concept that was used on a Ultra High Performance Concrete (UHPC).

This research uses study experimental methods, starting from material properties test, mix design, concrete mix making, and flexural strength test implemented in Laboratorium Divisi Teknik PT. Lutvindo Wijaya Perkasa Pekanbaru. The research analysis is performed by comparing flexure strength test results of concrete without iron substitution with concrete substitution by iron powder.

From this research are known flexure strength tests the concrete with 3% iron powder substitution has the highest flexure strength, which is 5.447 MPa. So from the results of this research, it can be concluded that the optimum addition of iron powder is 3%. The addition of iron powder can be a form of application of the concept *packing density nano technology* that has been applied to UHPC concrete, to obtain maximum density in concrete and increase concrete strength. It is also recommended to vary the size of the iron powder in future research so that the optimal iron powder size can be used as an additive.

Keywords: Concerete ; Nanotechnology ; Iron Powder ; UHPC ; Flexture Strength,

1. PENDAHULUAN

Beton adalah campuran antara semen Portland, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat [1]. Beton menjadi salah satu material yang sering digunakan dalam pekerjaan konstruksi, salah satunya menjadi bahan untuk perkerasan jalan. Dalam setiap pembangunan konstruksi yang menggunakan beton bertulang, seringkali kegiatan tersebut menyisakan sampah konstruksi berupa sisa potongan besi yang tidak dapat digunakan. Material besi ini tidak dapat digunakan dan menjadi limbah konstruksi (*waste material*).

Limbah besi tersebut selanjutnya akan di manfaatkan kembali dengan cara mendaur ulang dan di bentuk sesuai kebutuhan, akan tetapi daur ulang yang dilakukan terus menerus kualitasnya cenderung mengalami penurunan[2]. Hal ini disebabkan oleh adanya kontaminasi yang tidak dapat dihindari selama proses daur ulang. Besi daur ulang dapat mengandung campuran logam lain, oksida, atau kotoran lainnya. Semakin sering proses daur ulang dilakukan, semakin tinggi kemungkinan kontaminasi ini meningkat, yang dapat mempengaruhi mutu akhir besi[3].

Pemanfaatan limbah besi melalui proses daur ulang dibentuk lagi sesuai kebutuhan pemanfaatan limbah besi lainnya yaitu dengan mengolah limbah besi yang berupa potongan-potongan besi menjadi serbuk besi. Saat ini teknologi bahan beton sedang berkembang, salah satunya teknologi nano yang memungkinkan beton dapat dibentuk dengan profil tertentu. Teknologi nano pada beton dilakukan dengan memperkecil ukuran material penyusun beton, sehingga memungkinkan seluruh rongga pada beton dapat terisi dan meningkatkan kekuatan pada beton tersebut. [4]Serbuk besi dapat digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran beton. Penambahan serbuk besi dalam campuran beton normal ini dimaksudkan agar dapat meningkatkan kuat lentur beton, khususnya pada beton yang digunakan pada perkerasan rigid dengan mutu f_s 4,7 Mpa. Penambahan serbuk besi pada campuran beton normal ini masih jarang dilakukan, sehingga menjadi salah satu latar belakang peneliti untuk melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan serbuk besi sebagai bahan aditif pada beton perkerasan rigid, agar dapat diketahui karakteristik beton yang menggunakan aditif serbuk besi tersebut.

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan permasalahan yang terjadi adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk besi pada kuat lentur beton dan untuk mengetahui kuat lentur beton optimal dari penambahan serbuk besi pada variasi 0%, 1%, 3% dan 5%.

Beton merupakan campuran yang terdiri dari agregat halus, agregat kasar, air dan semen portland dengan atau tanpa bahan tambah [5]. Beberapa material pembentuk beton tersebut dicampur merata dengan perbandingan tertentu dan menghasilkan campuran yang bersifat plastis sehingga dapat dituang ke dalam cetakan untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. Kekuatan, keawetan dan sifat beton dapat dilihat dari sifat bahan dasar pembuatan beton. Selain itu nilai perbandingan bahan dasar beton, cara pengadukan, pengerjaan, penuangan, pemadatan dan perawatan selama proses pengerasan juga dapat berpengaruh besar terhadap kualitas mutu beton yang dibuat. Beton segar merupakan gabungan antara semen portland, agregat halus, agregat kasar dan air yang belum mengeras, masih bersifat lunak dan dapat terbentuk dengan mudah. Beton segar yang baik adalah beton segar yang dapat diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan, tidak ada kecenderungan terjadi pemisahan agregat dari adukan (*segregation*) maupun pemisahan air dan semen dari adukan (*bleeding*). Hal ini karena *segregation* ataupun *bleeding* mengakibatkan beton keras yang diperoleh akan berkualitas buruk.

Bahan penyusun beton adalah bahan yang jika dicampur akan membentuk adukan beton dan menjadi beton jika sudah mengering[6]. Berikut akan dijabarkan mengenai bahan-bahan pembentuk beton yang juga dipakai sebagai bahan beton pada penelitian ini. Adapun bahan penyusun beton sebagai berikut:

1. Semen adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adhesif (*adhesive*) dan kohesif (*cohesive*) yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat. Semen merupakan bahan yang jadi dan mengeras dengan adanya air yang dinamakan semen hidraulis (*hydraulic cements*). Semen portland atau biasa disebut semen adalah bahan pengikat hidroli berupa bubuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker (bahan ini terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis), dengan batu gips sebagai bahan tambahan. Semen yang digunakan adalah Semen Portland Tipe I (Sutrisno dan Widodo, 2008).
2. Air adalah bahan dasar pembuatan beton yang paling murah. Fungsi air dalam pembuatan beton adalah untuk membuat semen bereaksi dan sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat.

Untuk membuat semen bereaksi hanya dibutuhkan air sekitar 25-30 persen dari berat semen. Tetapi pada kenyataan dilapangan apabila faktor air semen (berat air dibagi berat semen) kurang dari 0,35 maka adukan sulit dikerjakan, sehingga umumnya faktor air semen lebih dari 0,40 yang mana terdapat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen.

3. Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Walau hanya bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton.

Faktor Air Semen

Semakin rendah nilai faktor air semen semakin tinggi kuat tekan betonnya, namun kenyataannya pada suatu nilai faktor air semen tertentu semakin rendah nilai faktor air semen kuat tekan betonnya semakin rendah pula, hal ini karena jika faktor air semen terlalu rendah adukan beton sulit dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai faktor air semen tertentu yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum[7].

Kepadatan adukan beton sangat mempengaruhi kuat tekan betonnya setelah mengeras. Untuk mengatasi kesulitan pemadatan adukan beton dapat dilakukan dengan cara pemadatan dengan alat getar (*vibrator*) atau dengan memberi bahan kimia tambahan (*Chemical Admixture*) yang bersifat mengencerkan adukan beton sehingga lebih mudah dipadatkan[8].

Nilai Slump

Nilai slump digunakan untuk pengukuran terhadap tingkat kelecikan suatu adukan beton, yang berpengaruh pada tingkat pengerjaan beton (*workability*). Semakin besar nilai slump maka beton semakin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan, sebaliknya semakin kecil nilai slump, maka beton akan semakin kental dan semakin sulit untuk dikerjakan. Nilai slump flow bervariasi antara 600-725 mm [9]. Cara pengujian slump antara lain dengan cara memasukkan beton segar kedalam kerucut, dan setiap pengisian sebanyak 1/3 bagian kerucut, beton segar dipadatkan dengan menggunakan batang logam sebanyak 25 kali. Setelah kerucut diisi penuh selanjutnya kerucut di angkat secara perlahan dan dengan otomatis beton segar yang berada dalam kerucut akan turun dengan sendirinya. Cara yang terakhir kerucut di terbalikan dan batang logam di letakkan di atas kerucut setelah itu ukur kejatuhan beton segar hingga batang logam.

Bahan Tambah

Bahan tambah merupakan bahan selain air, agregat, semen dan perkuatan dengan menggunakan serat yang digunakan sebagai bahan campuran semen untuk memodifikasi sifat beton segar, waktu pengerasan, dan kinerja beton saat keras dan ditambahkan ke dalam adukan sebelum atau selama proses pencampuran (*mixing*) [10]

Serbuk Besi

Serbuk besi adalah hasil dari sisa potongan atau sisa pembubutan besi tuang yang merupakan hasil pemakaian industri. Secara umum serbuk besi mengandung bahan kimia seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 1 Kandungan Kimia Serbuk Besi (Daryus A, 2010)

Kandungan Kimia	Persentase (%)
Silikon (Si)	1-3
Carbon (C)	2-4
Mangan (Mn)	0,8
Fospor (P)	0,1
Sulfur (S)	0,05
Besi (Fe)	sisa

Berdasarkan Tabel 1 serbuk besi sebagai bahan logam utama terdiri dari unsur besi (Fe) dengan kandungan sekitar 90%. Namun terdapat juga kandungan lain seperti Silicon, Carbon, Mangan, Fosfor dan Sulfur dengan kandungan keseluruhan sekitar 10%

Kuat Lentur Beton

Cara pengujian yang digunakan adalah pembebanan tiga titik (*three point bending*) mengacu pada standar ASTM C293-79, besaran tegangan tarik (*modulus of rupture*) yang terjadi pada benda uji dihitung dengan rumus seperti Persamaan 1

$$f_s = \frac{PL}{bh^2} \quad (1)$$

dimana:

f_s = Kuat lentur (Mpa)

P = beban maksimum (kN)

L = panjang benda uji (mm)

b = lebar penampang benda uji (mm)

h = tinggi penampang benda uji (mm)

Nano Teknologi Pada Beton

Nano teknologi merupakan rekayasa ukuran materi pada sepermilyar meter (10⁻⁹ m). Penggunaan nano teknologi dapat mempengaruhi perilaku dari suatu material dengan merubah ukuran tanpa mengubah kandungan kimianya. Nano material yang digunakan diketahui dapat memberikan efek yang sangat besar dikarenakan luasan area yang lebih besar dibandingkan material biasa. Penggunaan nano material pada material konstruksi berfungsi sebagai material pengisi (*filler*) maupun sebagai material pengikat dapat meningkatkan *performa interface zone* antara semen matrix dan agregat yang akan mengikat kualitas dari semen matrix itu sendiri.[2]

Beton nano teknologi selanjutnya disebut sebagai *Ultra High Performance Concrete* (UHPC), pada dasarnya prinsip teknologi beton UHPC adalah sama seperti beton normal, dimana kita mencari susunan gradasi ukuran butiran yang dapat mengisi ruang kosong pada matrix semen. Yang membedakannya adalah pada perencanaan campuran UHPC berbasis teknologi nano, dimana ukuran butiran yang digunakan dalam rentang nanometer (nm). Melalui pemilihan gradasi butiran halus ini akan diperoleh kepadatan per satuan volume (*packing density*) sangat tinggi.[11]

Packing density adalah istilah yang digunakan pada rencana campuran UHPC agar diperoleh campuran dengan kepadatan yang maksimum, yaitu dengan meminimalkan rongga kosong antara butiran/partikel. Oleh sebab itu terjadi hubungan yang erat antara gradasi ukuran partikel bahan campuran dan *packing density*. Untuk penyederhanaan menurunkan persamaan matematisnya, maka diasumsikan bahwa semua partikel berbentuk bulat[12].

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian meliputi lokasi penelitian, persiapan material dan alat yang digunakan, prosedur dan tahapan penelitian, serta pembuatan sampel dan pengujian sampel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk besi terhadap kuat lentur beton untuk perkerasan jalan dengan mutu f_s 4,7. Dimana sampel pada penelitian ini merupakan benda uji berbentuk balok yang dibuat dengan metode eksperimen laboratorium, dengan campuran serbuk besi yang variatif yaitu 0%, 1%, 3% dan 5%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian material dilakukan guna mengetahui kualitas material yang digunakan sesuai dengan syarat yang ditentukan.

Serbuk Besi

Serbuk Besi yang digunakan adalah serbuk yang berasal dari sisa potongan-potongan besi yang tidak terpakai dan diolah menjadi serbuk dengan cara dibubut. Hasil bubut potongan besi menghasilkan serbuk-serbuk besi dengan berbagai ukuran, kemudian ukuran serbuk besi yang dipakai yaitu yang tertahan pada saringan No. 30, No. 50, No 100 dan No 200.

Pengujian Berat Isi Agregat Kasar dan Agregat Halus

Berat isi agregat adalah berat agregat persatuan isi. Rongga udara dalam satuan volume agregat adalah ruang diantara butir – butir agregat yang tidak diisi oleh partikel yang padat. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat isi agregat halus dan agregat kasar. Berikut nilai berat isi agregat kasar dan agregat halus untuk campuran beton dalam penelitian ini. Dari pengujian di dapatkan nilai berat isi agregat kasar 2-3 rata – rata 1,431 gr/cc, berat isi agregat kasar 1-2 rata – rata sebesar 1,425 gr/cc dan berat isi agregat halus dari pengujian didapat dengan nilai 1,665 gr/cc. Dari hasil pengujian tersebut maka dapat diketahui bahwa agregat yang digunakan pada penelitian ini memenuhi syarat sebagai material untuk campuran beton.

Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar dan Agregat Halus

Pengujian kadar lumpur dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur dalam agregat kasar dan agregat halus. Dari pengujian yang dilakukan di dapatkan nilai kadar lumpur agregat kasar 2-3 sebesar 0,18%, kadar lumpur agregat 1-2 sebesar 0,73% dan nilai kadar lumpur agregat halus sebesar 1.92%. Dari hasil pengujian tersebut maka dapat diketahui bahwa agregat yang digunakan pada penelitian ini memenuhi syarat sebagai material untuk campuran beton.

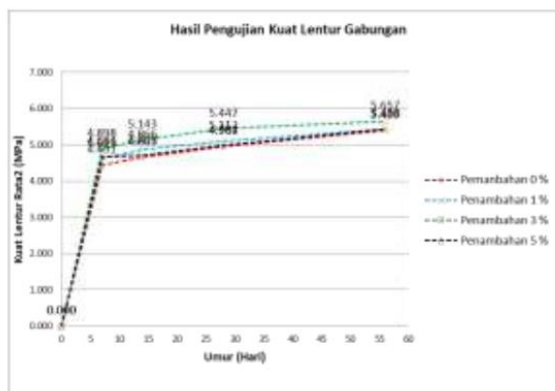
Hasil Uji Kuat Lentur Beton

Uji kuat lentur beton dilakukan dengan masing-masing 3 sampel. Berdasarkan hasil uji kuat lentur diperoleh nilai kuat lentur rata-rata pada umur perawatan beton 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 56 hari seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Lentur Beton fs 4,7 MPa Gabungan

No	Jenis Campuran	Nilai Kuat Lentur Beton Rata-Rata			
		Umur 7 Hari (Mpa)	Umur 14 Hari (Mpa)	Umur 28 Hari (Mpa)	Umur 56 Hari (Mpa)
1	Beton Normal (0%)	4,451	4,663	4,962	5,405
2	Campuran Besi (+1%)	4,619	4,866	5,112	5,438
3	Campuran Besi (+3%)	4,898	5,143	5,447	5,657
4	Campuran Besi (+5%)	4,684	4,703	4,984	5,436

Pada Tabel 5.5 dapat dilihat hasil uji kuat lentur beton yang ditambahkan campuran besi 1%, 3%, 5% dan Beton normal pada umur 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 56 mengalami peningkatan mutu untuk setiap penambahan umur. Grafik kuat lentur beton gabungan dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3 Grafik Gabungan Kuat Lentur Beton yang ditambah Serbuk Besi

Gambar 3 menunjukkan bahwa gabungan kuat lentur beton yang ditambah serbuk besi, dapat dilihat pada masing-masing penambahan serbuk besi 1%, 3%, 5% dan tanpa penambahan mengalami kenaikan mutu pada setiap kenaikan umur. Mutu beton tertinggi terjadi pada penambahan 3% serbuk besi dan mulai mengalami penurunan mutu saat di tambah serbuk besi menjadi 5%. Penambahan serbuk besi 5% masih lebih tinggi daripada beton normal, akan tetapi pada umur 28 hari penambahan serbuk besi 5% tidak menunjukkan peningkatan kuat lentur yang signifikan, berbeda dengan penambahan serbuk besi 1% dan 3% yang mengalami kenaikan kuat lentur lebih besar daripada beton normal pada umur 28 hari, sehinggadapat disimpulkan penambahan serbuk besi optimal pada nilai 3%.

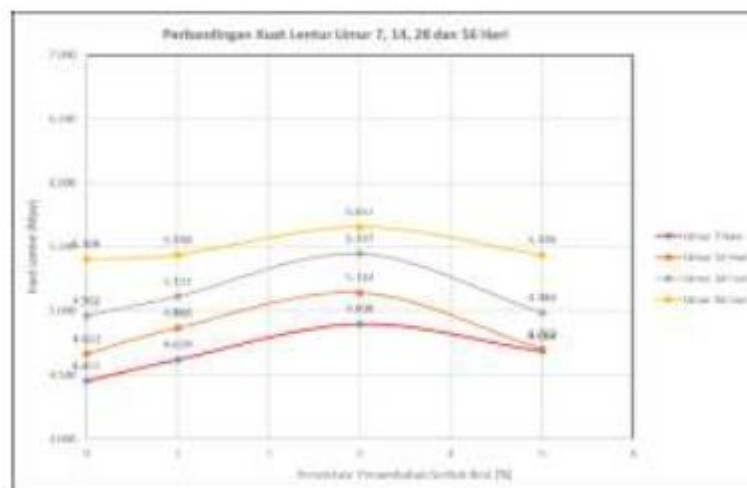
Perbandingan Hasil Uji Kuat Lentur

Hasil Perbandingan Kuat Lentur Beton Gabungan Pengujian Semua Umur dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3 Perbandingan Kuat Lentur Beton Gabungan

No	Penambahan Serbuk Besi (%)	Nilai Kuat Lentur Beton Umur 7 Hari (Mpa)	Nilai Kuat Lentur Beton Umur 14 Hari (Mpa)	Nilai Kuat Lentur Beton Umur 28 Hari (Mpa)	Nilai Kuat Lentur Beton Umur 56 Hari (Mpa)
1	0	4,451	4,663	4,962	5,405
2	1	4,619	4,866	5,112	5,438
3	3	4,898	5,143	5,447	5,657
4	5	4,684	4,703	4,984	5,436

Pada Tabel 5.10 terlihat hasil uji kuat lentur beton gabungan mengalami peningkatan mulai dari penambahan serbuk besi 0%, 1%, 3% dan mulai mengalami penurunan Kembali pada penambahan serbuk besi 5%. Grafik perbandingan kuat lentur beton gabungan dapat dilihat pada gambar 4



Gambar 4. Perbandingan Kuat Lentur Beton Gabungan

Gambar 4 dapat dilihat perbandingan kuat lentur beton gabungan terlihat kuat lentur beton tertinggi terjadi pada penambahan serbuk besi pada persentase 3%.

Pembahasan

Dari hasil uji kuat lentur yang telah dilakukan dan diperoleh beberapa mutu beton dengan berbagai variasi penambahan serbuk besi kemudian dianalisa terkait dengan bidang pecahnya dan hubungannya dengan konsep nano teknologi

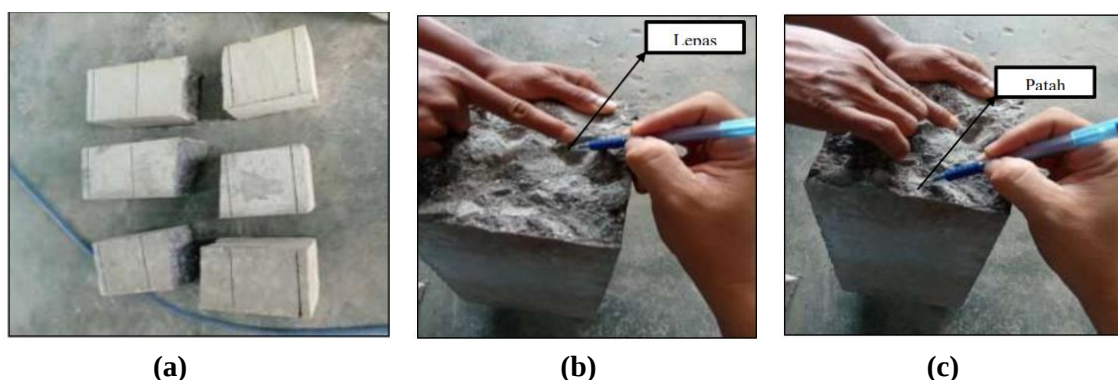
Pengamatan bidang pecah pada beton yang di uji kuat lentur dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan material pengikat beton (pasta semen) maupun agregat pada beton tersebut, pada penelitian

ini pengamatan bidang pecah beton dengan penambahan serbuk besi dan variasi umur dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Persentase Bidang Pecah pada Beton

Jenis Campuran	Umur (Hari)	Patah (%)	Lepas (%)
Beton Normal (0%)	7	37,00	63,00
Beton Normal (0%)	14	51,00	49,00
Beton Normal (0%)	28	50,22	49,78
Beton Normal (0%)	56	45,14	54,86
Beton Normal (1%)	7	42,88	57,12
Beton Normal (1%)	14	53,82	46,18
Beton Normal (1%)	28	52,80	47,20
Beton Normal (1%)	56	53,14	46,86
Beton Normal (3%)	7	48,48	51,52
Beton Normal (3%)	14	56,35	43,65
Beton Normal (3%)	28	56,31	43,69
Beton Normal (3%)	56	55,51	44,49
Beton Normal (5%)	7	43,20	56,80
Beton Normal (5%)	14	52,12	47,88
Beton Normal (5%)	28	50,88	49,12
Beton Normal (5%)	56	52,07	47,93

Berdasarkan Tabel 4 terdapat perbedaan persentase lepas nya agregat pada saat uji lentur beton pada tiap jenis campuran dan umur beton. Pada beton normal yang tidak ditambahkan serbuk besi untuk beton umur 28 hari persentase lepas nya agregat sebesar 49,78 %, sementara untuk beton dengan penambahan serbuk besi 1%, 3% dan 5% masing – masing mempunyai persentase lepas nya agregat sebesar 47,20%, 43,69% dan 49,12%. Pada beton normal persentase lepas agregat lebih besar dibandingkan beton yang dengan tambahan serbuk besi, dan persentase terkecil lepas nya agregat adalah pada beton dengan campuran sebuk besi 3%.. sehingga dapat disimpulkan dengan penambahan serbuk besi 3% mampu meningkatkan daya ikat beton. Persentase penambahan serbuk besi ditambah kondisi lepas nya agregat mendekati beton normal tanpa penambahan serbuk besi. Hasil pengamatan bidang pecah dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Bidang Pecah Pada Sampel Beton

Gambar 5 menunjukkan bidang pecah pada benda uji seperti gambar (a), bidang material lepas dari ikatan beton (b) dan bidang patah pada benda uji (c).

Kaitan Penambahan serbuk besi dengan konsep nano teknologi

UHPC (*Ultra High Performance Concrete*) merupakan beton mutu tinggi yang menggunakan prinsip nano teknologi, yaitu menggunakan material yang halus, memakai mikrosilika dan meninggalkan material agregat kasar. Salah satu konsep dari rencana campuran UHPC adalah konsep *packing density* agar diperoleh campuran dengan kepadatan yang maksimum dan meminimalkan rongga kosong antara butiran/partikel. Pada beton dengan nano teknologi konsep yang lebih tepat untuk dipakai adalah konsep *interface*, artinya material yang halus saling mengikat satu sama lain. Pada penelitian ini konsep *interface* tidak bisa dipakai sepenuhnya karena material yang dipakai masih menggunakan agregat yang kasar, sehingga konsep *packing density* lebih tepat di gunakan. Pada penelitian ini penambahan serbuk besi dengan kadar 3% pada beton menambah kepadatan beton, karena rongga antara semen, agregat halus dan agregat kasar diisi oleh serbuk besi. Sehingga pada penelitian ini, konsep *packing density* dengan tujuan memaksimalkan kepadatan pada campuran beton telah diaplikasi kan dengan penambahan serbuk besi 3% pada campuran beton fs 4,7 MPa.

Hasil penelitian pengaruh penambahan serbuk besi sebagai bahan aditif pada beton perkerasan rigid ini semakin menguatkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan untuk melakukan pengujian variasi campuran dibawah 5%, dengan hasil optimum yang diperoleh dari pengujian dengan variasi campuran 0%, 1%, 3% dan 5% didapat pada variasi campuran 3%. Kadar optimum 3% ini diperoleh dengan komposisi *mix desain* yang dilaksanakan pada penelitian ini, sehingga apabila ditambahkan lagi variasi campuran pada kadar 5% dan seterusnya maka kuat lentur beton akan mengalami penurunan.

4. KESIMPULAN

Pengaruh penambahan serbuk besi pada kuat lentur beton dapat meningkatkan kuat lentur beton dengan penambahan serbuk besi 3 % dan mulai mengalami penurunan kuat lentur dengan penambahan serbuk besi 5%, kemudian penambahan serbuk besi 3% memperkecil persentase lepas agregat pada saat uji lentur. Selain itu, kuat lentur optimal pada penambahan serbuk besi Kuat lentur beton optimal didapatkan pada penambahan serbuk besi sebesar 3%, Sehingga dapat disimpulkan pemakaian serbuk besi dapat meningkatkan kuat lentur beton tetapi semakin banyak serbuk besi yang ditambahkan tidak selalu meningkatkan kuat lentur beton, karena terdapat batasan optimum serbuk besi yang dapat meningkatkan kuat lentur beton.

REFERENSI

- [1] A. A. Hadi, P.N., & Setiawan, “Studi Eksperimental Penambahan Limbah Bubut Sebagai Bahan Substitusi Parsial Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton,” 2019.
- [2] 2014 Fadlillah dkk, “Pengaruh Komposisi Nano Semen Terhadap Kuat Tekan Mortar.,” 2014.
- [3] Harmaini, “Studi Kuat Lentur Beton Pada Perkerasan Kaku Dengan Penambahan Serat Scanfibre Pada Beton Normal.,” 2016.
- [4] T. Mulyono, “Teknologi Beton,” *Fak. Tek. Univ. Negeri Jakarta, Jakarta*, 2003.
- [5] K. Tjokrodimulyo, “Teknologi Beton.,” *Fak. Tek. UGM*, 2007.
- [6] P. H. & W. U. C., “Pengaruh Penambahan Serbuk Besi Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu K225,” 2020.
- [7] S. M. – 10 – 1989- F, *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*.
- [8] 1989 SNI S – 04 – 1989 - F, “Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.”
- [9] “SNI M – 12 – 1989 - F, “Metode Pengujian Slump Beton.
- [10] S. M. – 26 – 1990, *Metode Pengambilan Contoh Untuk Campuran Beton Segar*.
- [11] K. M. Murdock, L. J., dan Brook, *Bahan dan Praktek Beton*. 1991.
- [12] A. U. Zhafira, “Studi Eksperimental Pengujian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur Pada Campuran Beton Dengan Penambahan Serat Kawat Bendrat Berkait,” 2017.