

THE EFFECT OF INCREASING IRON FIBER OF LATHE ENGINE WASTE IN PRESSURE STRENGTH AND PULL STRENGTH OF CONCRETE SLIT

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BESI LIMBAH MESIN BUBUT TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON

Vansprik Hurowura¹, Samuel Layang²

¹Mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan

²Dosen Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan

e-mai: vansprikhurowura@gmail.com, sammy.ptb@gmail.com

ABSTRACT

Many research which has been done with a fiber in normal concrete fusion to increase the concrete press strengthespecially on the weakness of concrete quality on tensile strength. In Indonesia, steel and iron fiber utilitization (bendrat wire) on concrete fusion not yet to be known. Besides, making fiber suffered high cost especially making steel fiber that is very difficult because they have to be imported. To solve this problem, in this research iron fiber lathe engine waste that easy to find and more economic is used to change the steel and iron fiber utilization. It uses iron fiber lathe engine waste with a lenght of ± 6 cm and diameters of ± 8 mm, with the edges bent and with the presentate of 0%, 2%, 4%, 6%, and 8% to cement weight. For concrete without any improvement of iron fiber classified as the concrete with 0% iron fiber with the pressure trenght on f'c 25 MPa. The test speciment used in this reseach has cylinder shape and has 15 cm diameters and 30 centimeters on high. Test was arranged when it has been 14th and 28th days of curing to know the effect of iron fiber in compressive strength and tensile strength and increment percentage of iron fiber on lathe engine waste that is the most optimum. The result of research shows that the increasing of iron fiber on lathe engine waste on concrete fusion gives the effect of compressive strength and tensile strength, increase compressive strength of concrete on 46,64% on 14th day and 45,45% on 28th and increasing the compressive strength of concrete on 15,07% on 14th day and 23,07 % on 28th, compared with concrete without fiber has 8% on 14th and 28th. On 14th has 12,54 MPa compressive strength and 13,63 MPa on 28th whereas on 14th has 1,45 MPa tensile strength and 1,6 MPa on 28th. Although the result of the test of compressive strength and pulling slit concrete showed an improvement but it has not yet to reach the target valve 25 MPa, because of several factor whether it is on physical factor, building process, maintenance, and the test and its equipment for research that has not to be perfect yet.

Key words: iron fiber, compressive strength, tensile slit strenght

PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan konstruksi yang paling sering digunakan dalam struktur bangunan. Beton dipilih karena kemudahan dalam pengerjaannya dan sekarang teknologi material sudah berkembang pesat. Ide-ide untuk menemukan, menggabungkan dan merekayasa suatu meterial telah banyak dilakukan dan diujikan dalam penelitian. Salah satunya adalah perkembangan dalam rekayasa material campuran beton. Penelitian mengenai campuran beton ini sangat menarik, karena dapat mengurangi kelemahan yang ada pada sifat beton yaitu lemah terhadap gaya tarik. Salah satu material tambahan yang dapat digunakan dalam campuran beton adalah serat, yang mana beton ini dinamakan beton berserat (*fiber concrete*).

Adapun tujuan ditambahkan serat ini adalah untuk mencegah retakan-retakan yang terlalu dini akibat pembebanan maupun panas hidrasi, dengan demikian diharapkan kemampuan beton untuk menahan kuat tarik akan meningkat dengan penambahan serat pada campuran beton. Di Indonesia, penggunaan serat baja dan besi (kawat bendrat) pada campuran beton belum terlalu dikenal. Selain itu pengadaan serat tersebut memerlukan biaya yang cukup mahal, terutama pengadaan serat baja yang masih sulit karena harus didatangkan dari luar negeri. Untuk mengatasi hal tersebut maka dalam penelitian ini digunakan serat besi

limbah mesin bubut yang mudah didapat dan lebih ekonomis untuk mengganti penggunaan serat baja dan besi (Sigit Suyantoro, 2007: 104).

Berdasarkan hal tersebut dalam penelitian ini ingin diteliti lebih jauh mengenai penggunaan serat besi limbah mesin bubut untuk beton serat, terutama untuk Siswa kelas XII SMKN 1 Palangka Raya Jurusan Teknik Batu Beton tahun ajaran 2014/2015 pada mata pelajaran Melaksanakan Pengecoran Beton, selain ekonomis tanpa memerlukan biaya yang mahal limbah serat besi juga mudah didapatkan di sekitar sekolah, seperti pada Jurusan Teknik Mesin Produksi dalam praktikum menggunakan mesin bubut dengan besi sebagai bahan material praktik. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Untuk mengetahui pengaruh penggunaan serat besi limbah mesin bubut terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton.
- 2) Untuk mengetahui komposisi serat yang optimum untuk kuat tekan dan tarik belah pada umur beton 14 dan 28 hari.

MATERIAL PENYUSUN BETON

1) Semen *portland*

Purnomo Wahyu Indarto (2001: 145) menyatakan bahwa semen *portland* adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis, dengan bahan tambahan yang biasanya digunakan adalah gypsum. Klinker adalah penamaan untuk gabungan komponen produk semen yang belum diberikan tambahan bahan lain untuk memperbaiki sifat dari semen. Sigit Suyantoro (2007: 188) menyatakan bahwa pada umumnya semen berfungsi untuk:

- a. Merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang padat/kompak berbentuk beton.
- b. Mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat. Walaupun hanya kira-kira 10% dari volume beton, namun karena semen merupakan bahan yang aktif, maka peranan semen menjadi penting.

2) Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton atau mortar. Agregat pada campuran beton kira-kira sebanyak 60% – 70% dari berat campuran beton. Oleh karena itu, kualitas agregat berpengaruh terhadap kualitas beton (Tri Mulyono, 2004: 65). Penggunaan agregat bertujuan untuk menghemat penggunaan semen, menghasilkan kekuatan yang besar pada beton, mengurangi penyusutan pada beton dan menghasilkan beton yang padat bila gradasinya baik. Cara membedakan jenis agregat yang paling sering dilakukan adalah dengan didasarkan pada ukuran butirannya. Agregat berdasarkan ukuran butirannya yang dipakai dalam campuran beton dibedakan menjadi 2 jenis yaitu agregat kasar dan agregat halus.

3) Air

Purnomo Wahyu Indarto (2001: 250) menyatakan bahwa Material yang paling penting dalam campuran beton adalah air, karena air diperlukan untuk bereaksi dengan semen sehingga terjadi reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya proses pengerasan pada beton, serta menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan, maka sangat diperlukan dalam pemeriksaan apakah air yang akan digunakan memenuhi syarat-syarat tertentu.

Air tawar yang dapat diminum, tanpa diragukan boleh dipakai dan perlu diperhatikan kejernihan air tawar apabila mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton, maka air tidak boleh dipakai. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton. Selain itu, air juga digunakan untuk perawatan beton dengan cara pembasahan (*curing*) setelah cor dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton.

Material Tambahan (*Admixture*) Serat Besi

Salah satu bahan tambah beton ialah serat (*fiber*). Beton yang diberi bahan tambah serat disebut beton serat (*fiber reinforced concrete*). Karena adanya penambahan serat, maka menjadi suatu bahan komposit yaitu beton dan serat. Serat dapat berupa serat metal, serat asbestos, serat baja (*steel fibre*), serat plastik (*polypropylene fibre*), serat kaca (*glass fibre*), serat karbon (*carbon fibre*) dan serat tumbuh-tumbuhan yang mencakup rami, bambu, ijuk dan sabut kelapa (Tri Mulyono, 2004: 309). Konsep utama penambahan serat kedalam beton adalah untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis beton, terutama

menambah kuat tarik beton dan mengingat kelemahan beton adalah pada sifat tariknya (Wuryati Samekto, 2001: 78).

1. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk dapat menerima gaya persatuan luas (SNI 03-1974-1990). Nilai kekuatan beton diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder ataupun kubus pada umur beton 28 hari yang dibebani dengan gaya tekan sampai mencapai beban maksimum (Dipohusodo, 1996: 109). Adapun perhitungan untuk kuat tekan beton yaitu dengan rumus:

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan:

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

2. Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah adalah kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan belah dari silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya (SNI 03-2491-2002). Menurut (Tri Mulyono, 2004: 5) nilai kuat tekan dan tarik belah beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Nilai kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9% – 15% dari kuat tekannya. Adapun perhitungan untuk kuat tarik belah beton yaitu dengan rumus:

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (2)$$

dengan:

f_{ct} = kuat tarik belah beton (MPa)

P = beban tekan maksimum (N)

L = panjang silinder (mm)

D = diameter silinder (mm)

3. Analisis Regresi

Menurut (Sugiyono, 2014: 260) regresi merupakan salah satu analisis yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh suatu variabel terhadap variabel lain, dalam analisis regresi, variabel yang mempengaruhi disebut *independent* variabel (variabel bebas) dan variabel yang dipengaruhi disebut *dependent* variabel (variabel terikat). Metode umum yang digunakan untuk merancang suatu fungsi sederhana serta dapat mewakili kecenderungan data hasil penelitian, dengan kecocokan dan keakuratan yang sempurna mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) mendekati 1. Analisa tersebut akan menghasilkan persamaan garis yang menyatakan hubungan antara variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y). Metode analisa regresi tersebut terbagi menjadi tiga macam regresi yaitu sebagai berikut:

- 1) Regresi linier sederhana yang berfungsi untuk mengetahui hubungan linier antara dua variabel, satu variabel *dependent* dan satu variabel *independent*, dengan persamaan umum regresi linear sederhana adalah:

$$Y = a + bX \quad (3)$$

dengan:

Y = Subyek dalam variabel *dependent* yang diprediksikan

a = Harga Y ketika harga X = 0 (harga konstan)

b = Koefisien regresi yang menunjukkan angka peningkatan ataupun penurunan variabel bebas, berdasarkan perubahan variabel terikat.

X = Subyek pada variabel *independent* yang mempunyai nilai tertentu.

- 2) Regresi linier berganda merupakan model regresi linier dengan satu variabel *dependent* dan lebih dari satu variabel *independent*. dengan persamaan umum regresi linear berganda adalah sebagai berikut:

- a. Untuk 2 prediktor: $Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2$ (4)

- b. Untuk 3 prediktor: $Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3$ (5)

$$c. \text{ Untuk 4 prediktor: } Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 \quad (6)$$

$$d. \text{ Untuk n prediktor: } Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + \dots + b_n X_n \quad (7)$$

- 3) Regresi non linier adalah hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat, dengan bentuk tidak linier pada parameter regresinya. Regresi non linear terbagi menjadi beberapa model yaitu regresi non linear model kuadrat dan kubik, dengan persamaan umum berbentuk:

$$Y = b_0 + b_1 X_i + b_2 X_i^2 + b_3 X_i^3 + \varepsilon \quad (\text{model kubik}) \quad (8)$$

$$Y = b_0 + b_1 X_i + b_2 X_i^2 + \varepsilon \quad (\text{model kuadrat}) \quad (9)$$

dengan:

Y = Variabel *dependent*

B₀ = Nilai konstan

b₁–b₃ = Koefisien variabel *independent*

X_i–X_i³ = Variabel *independent*

ε = Kesalahan (error)

PENELITIAN YANG RELEVAN

Beberapa penelitian mengenai beton serat yang pernah diteliti sebagai perbandingan dalam penelitian ini, meskipun penelitian yang dilakukan menggunakan serat kawat bendrat tetapi pada umumnya serat kawat bendrat dan serat besi limbah mesin bubut merupakan material yang sama karena terbuat dari besi. Penelitian mengenai beton serat tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Penelitian (Kasno, 2006), menggunakan serat kawat bendrat panjang 80 mm dan diameter 1 mm, dengan kadar serat sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5 %, dan 10% terhadap berat semen. Memberikan kenaikan kuat tarik optimum pada kadar serat 5 %, yaitu sebesar 3,28 MPa atau kenaikan sebesar (26,44 %) dan nilai kuat tekan beton tertinggi dengan kadar serat 7,5%, dengan hasil rata-rata sebesar 66,5 MPa atau peningkatan sebesar (30,401 %).
- 2) Penelitian (Gusti Made Sudika, 2004), menggunakan serat kawat bendrat diameter 0,85 mm dengan panjang 60 mm dan persentase penambahan serat sebesar 4%, 6%, 8% dan 10% terhadap berat semen. Berdasarkan analisis pengujian, peningkatan kuat tekan optimum yaitu sebesar 10,78% dengan kadar serat 6,7%, kuat tarik sebesar 9,51% dengan kadar serat 5,8% dan kuat lentur sebesar 2,83% dengan kadar serat 5,6%. Secara keseluruhan dapat disimpulkan ada korelasi positif terhadap peningkatan kekuatan pada beton dengan penambahan campuran serat kawat bendrat, namun dari kemudahan pengerjaan (*workability*) terjadi penurunan, dilihat dari penurunan nilai *slump* sampai 10 mm pada kadar serat tertinggi (kadar serat 10%).
- 3) Penelitian (Adi Saputra Hendri, 2011), menggunakan serat kawat bendrat, panjang ± 30 mm dan diameter 0,8 mm dengan persentase penambahan serat sebesar 0%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% terhadap berat semen. Hasilnya menunjukkan dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 5,682% pada komposisi 6% dan mengurangi susut sebesar 7,93% pada komposisi 10%.

Dari beberapa penelitian di atas, maka dalam penelitian ini akan diteliti tentang penggunaan serat pada campuran beton, tetapi menggunakan material serat besi limbah mesin bubut yang lebih ekonomis dan mudah didapatkan dengan ukuran panjang ± 6 cm dan diameter ± 0,8 mm dengan persentase penambahan serat besi limbah mesin bubut sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap berat semen.

METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian yang akan dilaksanakan, harus mengikuti syarat dan peraturan SNI (Standar Nasional Indonesia) yang berlaku, sehingga penelitian yang dilaksanakan mendapatkan hasil yang memuaskan dan dapat dipertanggungjawabkan. Adapun tahapan penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Waktu dan tempat penelitian dilaksanakan pada Bulan November sampai Desember 2014, yang bertempat di Laboratorium Beton Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Jurusan Teknologi dan Kejuruan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Palangka Raya.
2. Bahan dan Peralatan
 - 1) Bahan
 - a. Semen *portland* tipe I merk Gresik
 - b. Serat yang digunakan adalah serat besi limbah mesin bubut dengan ukuran panjang ± 6 cm dan diameter ± 0,8 mm yang ujungnya dibengkokan.

- c. Agregat kasar yang digunakan batu pecah dari Desa Bangkal km. 15 Martapura Banjarbaru.
 - d. Agregat halus yang digunakan pasir galian dari ruas Jalan Tjilik Riwut km. 29 Palangka Raya.
 - e. Air yang digunakan dalam penelitian adalah air bersih dapat dikonsumsi/diminum sehari-hari.
- 2) Peralatan
- a. Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan bahan penyusun beton
 - b. Peralatan yang digunakan dalam pembuatan benda uji
 - c. Peralatan yang digunakan dalam perawatan dan pengujian benda uji
3. Pemeriksaan sifat fisik agregat halus dan kasar mengacu pada peraturan SNI (Standar Nasional Indonesia). Nilai pemeriksaan ini sangat penting untuk menentukan proporsi campuran *mix design* beton, pengujian dilakukan di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Bangunan Jurusan Teknologi dan Kejuruan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Palangka Raya.
 4. Perencanaan campuran beton berdasarkan SNI-03-2834-2000, tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.
 5. Benda uji dibuat berbentuk silinder dengan ukuran cetakan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm, adapun langkah-langkah pembuatan benda uji sesuai dengan SK SNI T-15-1990-03 dengan banyaknya jumlah benda uji untuk setiap persentase kadar serat yaitu seperti pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Jumlah benda uji untuk setiap persentase kadar serat

Kadar serat	Jumlah benda uji silinder			
	Kuat tekan		Kuat tarik belah	
	14 hari	28 hari	14 hari	28 hari
0%	3 buah	3 buah	2 buah	2 buah
2%	3 buah	3 buah	2 buah	2 buah
4%	3 buah	3 buah	2 buah	2 buah
6%	3 buah	3 buah	2 buah	2 buah
8%	3 buah	3 buah	2 buah	2 buah
Jumlah	30 buah		20 buah	

Keterangan: Total jumlah benda uji silinder beton untuk kuat tekan umur 14 hari sebanyak 3 buah dan untuk kuat tarik belah sebanyak 2 buah jadi total benda uji sebanyak 5 buah, sedangkan umur beton 28 hari juga sebanyak 5 buah. Sehingga banyak benda uji menjadi 10 buah, Jadi total keseluruhan benda uji untuk kadar serat 0% - 8% adalah 50 buah benda uji berbentuk silinder.

6. Perawatan Benda Uji
Perawatan dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, artinya beton telah mengeras. Menurut SK SNI T-15-1990-03 perawatan benda uji dalam penelitian ini dilakukan dengan cara merendam seluruh permukaan benda uji silinder di dalam bak perendam yang berisi air, untuk mencegah terjadinya keretakan karena kehilangan air. Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tetapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedapannya terhadap air, ketahanan terhadap aus, dan stabilitas dari dimensi struktur.
7. Pengujian benda uji terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton
8. Analisis Data
Analisis data dalam penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari hasil pengujian silinder beton terhadap kuat tekan dan tarik belah beton. Data yang ditampilkan adalah hubungan antara kadar serat besi limbah mesin bubut dan kekuatan terhadap kuat tekan dan tarik belah beton pada umur 14 dan 28 hari, yang ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel menggunakan model regresi non linear dengan bantuan program SPSS 20 (*Statistical Product and Service Solutions*).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Analisa Pemeriksaan Material Penyusun Beton
 - 1) Semen *Portland*
Pemeriksaan secara visual menyimpulkan bahwa semen dalam keadaan baik yaitu berbutir halus dan tidak terdapat gumpalan-gumpalan, sehingga semen dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton.

Semen *portland* tipe I merk Gresik yang digunakan memenuhi syarat SNI 15-0302-2004, dapat digunakan semua kebutuhan adukan beton, tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

2) Air

Menurut SK-SNI-S-04-1989-F air harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual. Setelah dilakukan pengamatan secara visual terhadap air yang akan digunakan dalam penelitian, menunjukkan sifat-sifat antara lain tidak berwarna, tidak berbau, jernih (tidak mengandung lumpur), dan benda terapung lainnya sehingga air tersebut dianggap memenuhi syarat.

2. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar dan Halus

Hasil pemeriksaan dan pengujian sifat fisik agregat kasar dan halus dapat dilihat pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 3 di bawah ini:

Tabel 2. Hasil pemeriksaan sifat fisik agregat kasar

Uraian Pemeriksaan	Satuan	Hasil Pemeriksaan
Analisa Saringan Agregat Kasar	Zona 2	Modulus kehalusan 8,92
Kadar Air Agregat Kasar	%	2,63
Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar		
• Pemeriksaan berat jenis curah (<i>Bulk</i>)	%	2,66
• Pemeriksaan berat jenis (SSD)	%	2,72
• Pemeriksaan berat jenis semu (<i>Apparent</i>)	%	2,83
• Pemeriksaan penyerapan (<i>Absorpsi</i>)	%	2,26
Berat Isi Agregat Kasar		
• Pemeriksaan berat isi cara (<i>Shoveled</i>)	gr/cm ³	414,54
• Pemeriksaan berat isi cara (<i>Rodded</i>)	gr/cm ³	451,88
• Pemeriksaan berat isi cara goyang	gr/cm ³	459,77

Tabel 3. Hasil pemeriksaan sifat fisik agregat halus

Uraian Pemeriksaan	Satuan	Hasil Pemeriksaan
Analisa Saringan Agregat Halus	Zona 2	Modulus kehalusan 3,66
Kadar Zat Organik Agregat Halus	%	10-15
Kadar Lumpur Agregat Halus	%	0,025
Kadar Air Agregat Halus	%	0,1
Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus		
• Pemeriksaan berat jenis curah (<i>Bulk</i>)	%	2,18
• Pemeriksaan berat jenis (SSD)	%	2,37
• Pemeriksaan berat jenis semu (<i>Apparent</i>)	%	2,71
• Pemeriksaan penyerapan (<i>Absorpsi</i>)	%	8,79
Berat Isi Agregat Halus		
• Pemeriksaan berat isi cara (<i>Shoveled</i>)	gr/cm ³	525,36
• Pemeriksaan berat isi cara (<i>Rodded</i>)	gr/cm ³	562,06
• Pemeriksaan berat isi cara goyang	gr/cm ³	582,60

3. Material Tambahan (*Admixture*) Serat Besi

Pada penelitian ini serat yang digunakan yaitu limbah mesin bubut yang didapat dari SMKN 1 Palangka Raya pada Jurusan Teknik Mesin Produksi dalam praktikum menggunakan mesin bubut dengan besi sebagai bahan material praktikum. Untuk proses pengolahan serat limbah mesin bubut sebelum ditambah dalam campuran beton yaitu sebagai berikut:

- 1) Serat besi limbah mesin bubut dipotong menggunakan gunting seng dengan ukuran panjang ± 6 cm dan diameter $\pm 0,8$ mm yang ujungnya dibengkokan, dengan persentase serat besi limbah mesin bubut sebesar 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap berat semen.

- 2) Setelah proses pemotongan selesai serat dicuci dan direndam menggunakan *deterjen* selama ± 24 jam dalam ember atau wadah untuk membersihkan dan menghilangkan minyak yang terdapat dalam serat sehingga mendapatkan hasil yang maksimal karena dapat mengurangi kekuatan dan ketahanan beton.
 - 3) Angkat serat dari wadah atau ember setelah direndam, kemudian letakkan diatas wadah yang kering dan taburkan secara merata agar proses pengeringan lebih cepat.
 - 4) Setelah semua proses pengeringan selesai serat limbah mesin bubut siap digunakan untuk campuran beton yang disesuaikan dengan banyaknya persentase penambahan serat terhadap berat semen.
4. Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)
 Sesuai dengan syarat dan peraturan SNI 03 – 2834 – 2000, hasil perhitungan proporsi campuran beton tiap m^3 dengan ketelitian 5 kg yaitu sebagai berikut:
- a. Semen = 406 kg/m^3
 - b. Air = 262,16 l/m^3
 - c. Agregat halus = 638,14 kg/m^3
 - d. Agregat kasar = 968,69 kg/m^3
- Analisis kebutuhan pasir, kerikil, air, semen dan serat untuk 10 silinder beton diameter 150 mm dan panjang 300 mm, dengan persentase penambahan serat besi limbah mesin bubut sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap berat semen, dapat dilihat pada Tabel 4:

Tabel 4. Proporsi campuran dengan penambahan serat besi (benda uji 10 buah)

Material	Presentase penambahan serat				
	0%	2%	4%	6%	8%
Semen	20,3	20,3	20,3	20,3	20,3
Air	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1
Agregat halus (pasir)	31,9	31,9	31,9	31,9	31,9
Agregat kasar (batu belah)	48,43	48,43	48,43	48,43	48,43
Serat limbah mesin bubut	-	0,406	0,812	1,218	1,624

Keterangan: Berat bahan material penyusun beton (semen, air, agregat halus, agregat kasar dan serat besi) dalam satuan kg.

5. Pembuatan Benda Uji
 Langkah dan pembuatan benda uji dalam penelitian ini sesuai dengan SK SNI T-15-1990-03 dengan kondisi agregat kasar dan halus dalam keadaan jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry/SSD*). Dalam proses pengecoran yang perlu diperhatikan yaitu banyaknya penambahan air dalam pencampuran beton, agar mencapai nilai *slump* yang diinginkan, sehingga memudahkan dalam pengerjaan (*workability*). Dalam penelitian ini pembuatan benda uji dilaksanakan 5 kali pencampuran, dengan persentase penambahan serat sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap berat semen. Perbandingan nilai *slump* sebelum penambahan serat dan sesudah penambahan serat besi limbah mesin bubut (nilai *slump* yang direncanakan sebesar 12 ± 2 cm), seperti pada Tabel 4 di bawah ini:

Tabel 4. Perbandingan Nilai *Slump* dengan dan tanpa penambahan serat

Presentase penambahan serat	Nilai <i>slump</i> tanpa serat (cm)	Nilai <i>slump</i> dengan serat (cm)
0%	12,5	-
2%	14	9,5
4%	13,5	9
6%	14	8
8%	14	7,5

Berdasarkan Tabel 4, nilai *slump* sesudah penambahan serat besi lebih rendah dibandingkan dengan beton normal, semakin besar persentase penambahan serat semakin kecil nilai *slump*, sehingga kemudahan pengerjaan (*workability*) campuran beton semakin sulit. Hal ini terjadi akibat penggumpalan serat pada campuran beton (*balling effect*), karena pada saat proses *mixing*, serat besi dan beton segar tidak tercampur secara merata, maka dalam pencampuran beton perlu ditambahkan air, sehingga

kemudahan pengerjaan (*workability*) campuran beton, tidak terjadi (*balling effect*), dan mencapai nilai *slump* yang diinginkan.

6. Perawatan Benda Uji

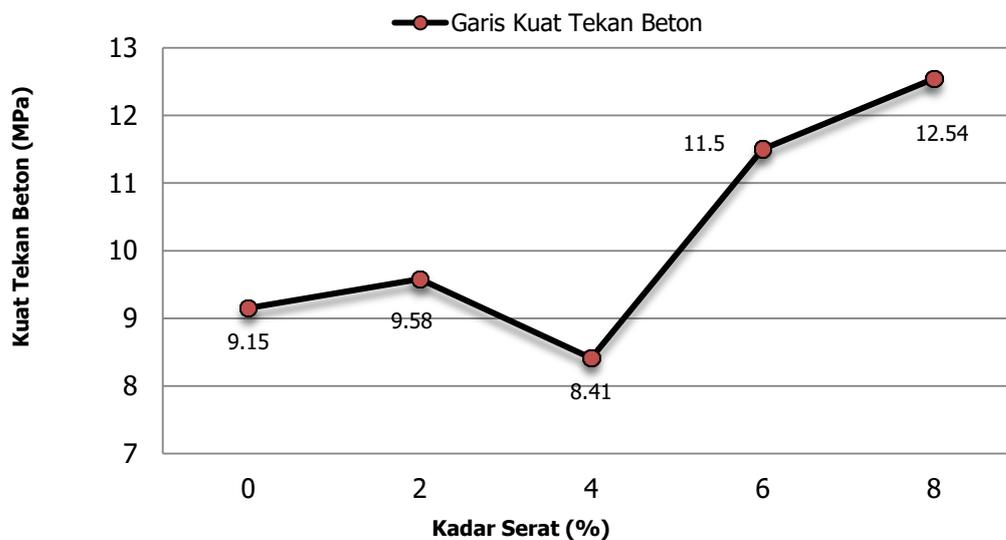
Setelah pembuatan benda uji selesai, benda uji yang telah mengeras ± 24 jam, dibuka dari cetakan dan diberi label yang berisi keterangan persentase penambahan serat besi limbah mesin bubut, nomor dan umur beton. Kemudian proses (*curing*) atau perawatan benda uji dilakukan dengan cara merendam seluruh permukaan benda uji silinder di dalam bak perendam yang berisi air dengan posisi berdiri, untuk mencegah terjadinya keretakan karena kehilangan air atau panas hidrasi pada beton. Proses pematangan beton ini selama 14 dan 28 hari sebelum pengujian benda uji dilaksanakan.

7. Pengujian Benda Uji

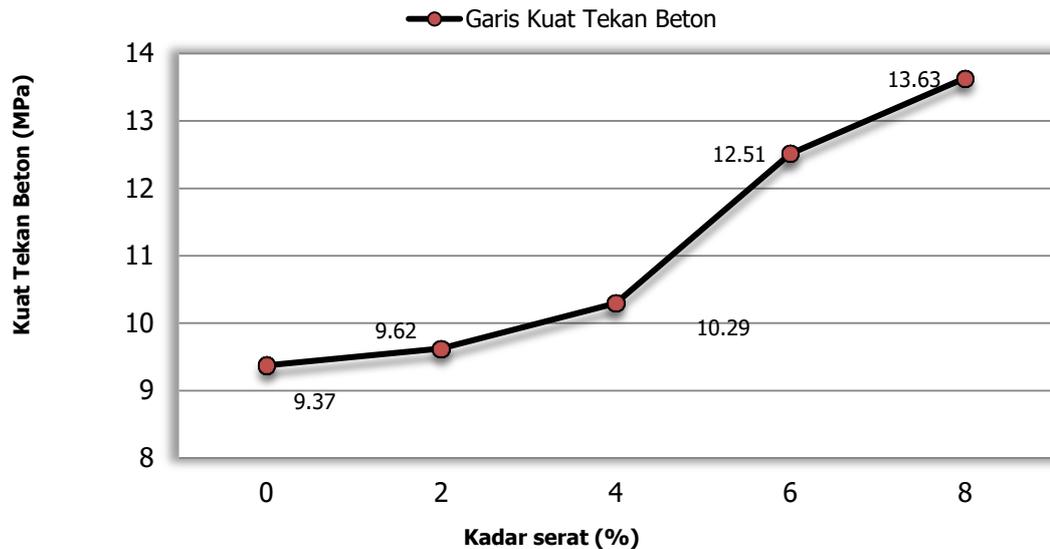
1) Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin uji tekan dengan ukuran benda uji berbentuk silinder, tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. Pengujian dilaksanakan setelah beton mencapai umur 14 dan 28 hari. Berdasarkan data hasil pengujian, rata-rata berat isi beton pada umur 14 dan 28 hari dengan persentase penambahan serat besi sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% adalah 12 kg untuk 1 buah benda uji beton silinder, jadi berat isi untuk 1 m³ campuran beton sebesar 2264,68 kg/m³. Berdasarkan peraturan SNI 03 – 2834 – 2000, berat isi beton dengan penambahan serat besi limbah mesin bubut termasuk kedalam jenis beton normal yang mempunyai berat isi 2200 – 2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah.

Pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut disajikan grafik hubungan antara kadar serat dan kuat tekan beton dari data tabel di atas, kuat tekan rencana sebesar 25 MPa pada umur 14 dan 28 hari dengan persentase penambahan serat besi sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap berat semen.



Gambar 1. Grafik hubungan kuat tekan rata-rata dengan kadar serat umur beton 14 hari



Gambar 2. Grafik hubungan kuat tekan rata-rata dengan kadar serat umur beton 28 hari

Dari data Gambar 1 dan Gambar 2 dapat diketahui kenaikan dan penurunan kuat tekan beton pada umur 14 dan 28 hari untuk masing-masing persentase penambahan serat dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 sebagai berikut:

Tabel 5. Kenaikan dan penurunan kuat tekan beton umur 14 hari

Kadar serat (%)	Kuat tekan rata-rata (MPa)	Naik/ Turun	Kenaikan/penurunan kekuatan (dibandingkan ke 0% serat)
0	8,55	-	0 %
2	9,6	Naik	12,27 %
4	8,66	Naik	1,28 %
6	11,5	Naik	34,48 %
8	12,54	Naik	46,64 %

Tabel 6. Kenaikan dan penurunan kuat tekan beton umur 28 Hari

Kadar serat (%)	Kuat tekan rata-rata (MPa)	Naik/ Turun	Kenaikan/penurunan kekuatan (dibandingkan ke 0% serat)
0	9,37	-	0 %
2	9,52	Naik	1,6 %
4	10	Naik	6,72 %
6	12,51	Naik	33,5 %
8	13,63	Naik	45,45 %

Dari uraian Gambar 1 dan Gambar 2 serta Tabel 5 dan Tabel 6 di atas, khususnya untuk komposisi persentase penambahan serat besi sebesar 4% pada umur 14 hari menunjukkan bahwa penurunan kuat tekan beton yang sangat signifikan berbanding terbalik dengan kadar serat 4% pada umur 28 hari. Penurunan kuat tekan yang sangat signifikan ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu sebagai berikut:

- Pada saat pengadukan serat besi dengan campuran beton segar tidak merata, sehingga terjadi penggumpalan serat pada campuran beton (*balling effect*) dan berpengaruh terhadap kuat tekan beton.
- Penggumpalan serat pada campuran beton (*balling effect*) mempengaruhi kuat tekan pada umur 14 hari, karena beton belum mencapai kuat tekan yang maksimal dan ikatan matrik beton dengan serat besi belum sempurna, faktor ini dapat dilihat pada Gambar 7 umur beton 28 hari. Kenaikan kuat tekan beton secara bertahap sesuai dengan besarnya persentase kadar serat dan berbanding terbalik pada umur

beton 14 hari dilihat pada Gambar 6, kenaikan kuat tekan beton turun pada kadar serat 4% dan mengalami kenaikan kembali pada kadar serat 6% dan 8%.

- C. Setelah adukan semen dimasukkan ke dalam cetakan, air semen pada campuran beton segar akan naik ke permukaan benda uji karena pengaruh pemadatan dan tekanan yang berlebihan. Proses ini dinamakan *bleeding* yang mengakibatkan kekuatan beton menjadi turun karena air semen dalam campuran beton berkurang dan keretakan pada permukaan benda uji yang diakibatkan proses *bleeding*.

Untuk menguji keakuratan data yang diperoleh dari hasil penelitian, maka diperlukan suatu fungsi regresi untuk menguji keakuratan dan ketepatan hasil data penelitian tersebut, karena data yang diolah mungkin terdapat kesalahan dalam menentukan komposisi serat besi yang paling optimum terhadap kuat tekan beton. Berdasarkan kecenderungan data hasil penelitian kuat tekan beton, maka untuk menentukan komposisi kadar serat besi yang paling optimum, dianalisis menggunakan regresi non linear model kuadrat dan kubik dengan bantuan program SPSS 20 (*Statistical Product and Service Solutions*), dengan kecocokan yang sempurna mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) mendekati 1. Analisa tersebut akan menghasilkan persamaan garis yang menyatakan hubungan antara kadar serat dengan kuat tekan beton.

Berdasarkan data hasil penelitian pada umur beton 14 hari dengan penambahan serat besi limbah mesin bubut sebesar 4%, terjadi kesalahan dan kekeliruan saat pelaksanaan penelitian yang disebabkan oleh beberapa faktor, sehingga mengakibatkan penurunan kekuatan tekan beton yang sangat signifikan. Untuk mendapatkan analisis persamaan regresi yang benar dan akurat, maka data hasil penelitian dengan persentase penambahan serat besi limbah mesin bubut sebesar 4% dihilangkan atau tidak digunakan sebagai data variabel bebas (X) dan data tersebut dianalisis kembali menggunakan regresi non linear model kuadrat dan kubik dengan bantuan program SPSS 20 (*Statistical Product and Service Solutions*). Setelah dianalisis diperoleh persentase penambahan kadar serat limbah mesin bubut optimum yaitu sebesar 8% dengan persamaan regresi non linear model kubik dan kuadrat untuk beton umur 14 dan 28 hari, baik dengan penambahan serat maupun tanpa penambahan kadar serat sebesar 4% pada umur beton 14 hari. Persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8 sebagai berikut:

Tabel 7. Persamaan regresi kuat tekan beton dengan serat 4%

Umur Beton (hari)	Model Regresi	R (Square)	Persamaan Regresi
14	Kuadrat	0,820	$Y = 9,279 - 0,348x + 0,098x^2$
28		0,969	$Y = 9,272 + 0,101x + 0,059x^2$
14	Kubik	0,997	$Y = 9,324 - 0,509x + 0,154x^2 - 0,005x^3$
28		0,986	$Y = 9,424 - 0,444x + 0,249x^2 - 0,016x^3$

Tabel 8. Persamaan regresi kuat tekan beton tanpa serat 4% umur 14 hari

Umur Beton (hari)	Model Regresi	R (Square)	Persamaan Regresi
14	Kuadrat	0,997	$Y = 9,105 + 0,232x + 0,025x^2$
	Kubik	0,99	$Y = 9,15 + 0,070x + 0,082x^2 - 0,005x^3$

Berdasarkan data tabel dan gambar pengujian benda uji kuat tekan beton di atas dapat disimpulkan bahwa beton pada umur 14 dan 28 hari pengaruh terhadap kuat tekan dan persentase kadar serat optimum yaitu sebagai berikut:

- Dengan penambahan serat besi limbah mesin bubut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton pada umur 14 dan 28 hari, semakin besar persentase kadar serat maka semakin tinggi kuat tekan beton (terkecuali kadar serat 4% pada umur 14 hari). Tetapi tidak menutup kemungkinan dengan penambahan serat lebih dari 8% membuat kuat tekan semakin turun karena dalam penelitian ini belum terungkap dan terbatas dengan banyaknya benda uji.
- Dalam penelitian ini persentase penambahan serat limbah mesin bubut yang menghasilkan kuat tekan optimum pada umur beton 14 dan 28 hari yaitu sebesar 8% dengan kuat tekan sebesar 12,54 MPa pada umur 14 hari dan 13,63 MPa pada umur 28 hari.

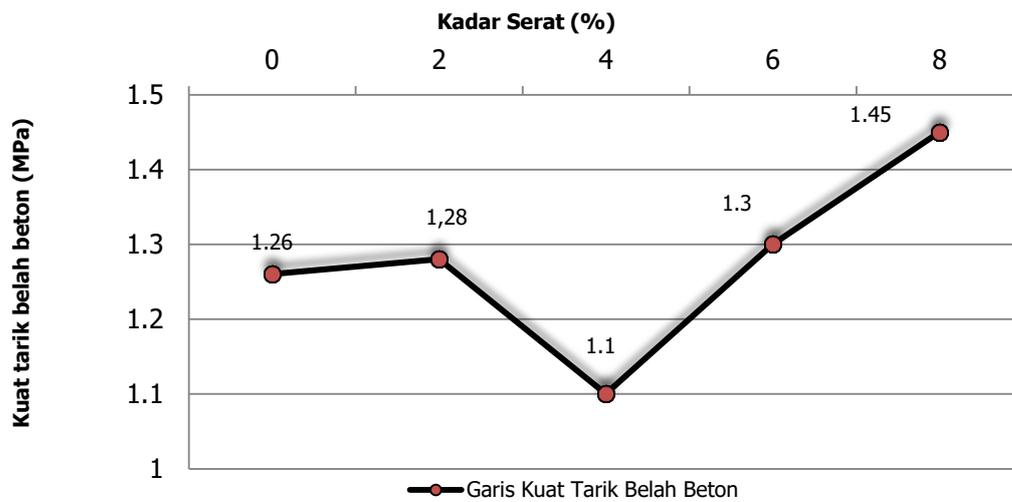
Walaupun pada hasil pengujian kuat tekan beton dengan penambahan serat diperoleh kenaikan kuat tekan sebesar 46,64 % pada umur 14 hari dan 45,45 % pada umur 28 hari dibandingkan dengan beton tanpa serat, tetapi belum berhasil mencapai kuat tekan rencana yaitu 25 MPa. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu sebagai berikut:

- a. Dalam penelitian ini penyerapan air agregat halus sangat besar yaitu 8,79%, yang dipengaruhi oleh pori-pori atau rongga dalam butiran agregat yang banyak. Pengaruh penyerapan air yang terlalu besar menyebabkan rongga pada beton karena terdapat air yang tidak bereaksi pada proses pematangan beton, sehingga mengurangi ketahanan dan kekuatan beton.
- b. Pemeriksaan kadar organik agregat halus pada *organic plate* menunjukkan warna coklat muda dengan penurunan kekuatan beton sebesar 10 – 15 %.
- c. Dari bentuk butiran dan tekstur permukaan agregat kasar yang digunakan agak bulat dan halus atau licin, sehingga mempengaruhi ikatan antar agregat dan akhirnya berpengaruh pada kekuatan beton. Agregat yang memiliki permukaan kasar dan tajam menghasilkan ikatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan permukaan agregat yang licin.
- d. Pada proses pembuatan benda uji terjadi pemisahan komponen material penyusun beton (*segresi*) yang disebabkan campuran beton segar terlalu encer kelebihan air atau kekurangan air yang menyebabkan campuran beton kering dan pemadatan yang berlebihan pada proses pembuatan benda uji.
- e. Pada proses pembuatan benda uji dilaksanakan pada waktu yang tidak ideal seharusnya dilaksanakan pada waktu dan keadaan yang ideal untuk melihat campuran material penyusun beton tersebut tercampur dengan baik.
- f. Pada proses pemadatan beton segar ke dalam cetakan terlalu berlebihan, sehingga terdapat banyak rongga dan air dalam campuran beton segar yang naik kepermukaan (*bleeding*) yang mengakibatkan campuran beton segar menjadi rapuh dan mempengaruhi kuat tekan beton.
- g. Peralatan pada proses pemeriksaan agregat material penyusun beton, pembuatan benda uji dan pengujian benda uji belum sempurna dan masih memiliki kekurangan.

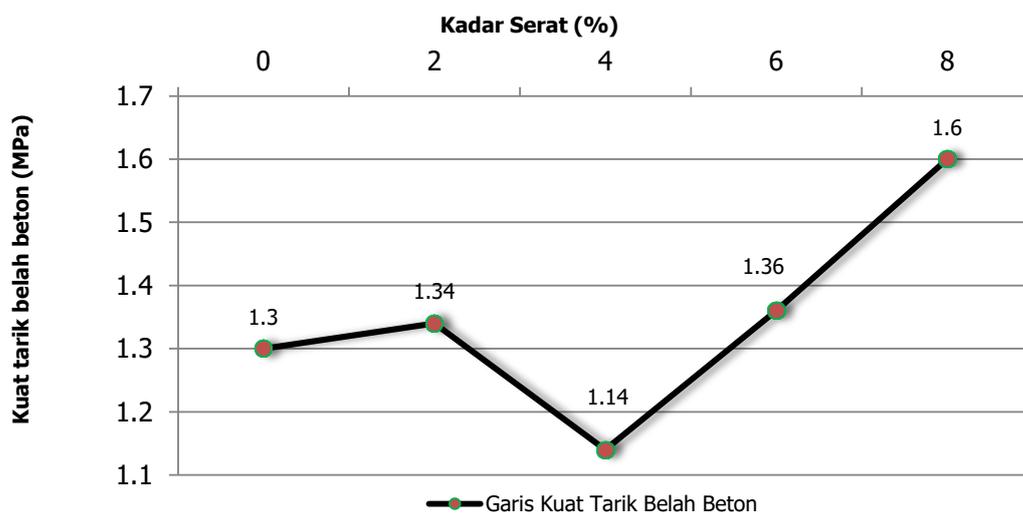
2. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton menggunakan mesin uji tarik beton dengan meletakkan benda uji pada arah memanjang di atas alat pengujian, kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Ukuran benda uji berbentuk silinder, tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. Yang dilaksanakan setelah beton mencapai umur 14 dan 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian, rata-rata berat isi beton silinder pada umur 14 dan 28 hari dengan persentase penambahan kadar serat besi limbah mesin bubut sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% adalah 12,05 kg untuk 1 buah benda uji beton silinder, jadi berat isi untuk 1 m³ campuran beton yaitu sebesar 2273,55 kg/m³. Berdasarkan syarat dan ketentuan menurut SNI 03 – 2834 – 2000, berat isi beton dengan penambahan serat besi limbah mesin bubut termasuk kedalam jenis beton normal yang mempunyai berat isi 2200 – 2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah.

Berikut ini disajikan pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 4 grafik hubungan antara kadar serat dengan kuat tarik belah beton dari data tabel di atas, kuat tekan rencana sebesar 25 MPa pada umur 14 dan 28 hari dengan persentase penambahan kadar serat besi limbah mesin bubut sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap berat semen.



Gambar 3. Grafik hubungan kuat tarik rata-rata dengan kadar serat umur beton 14 Hari



Gambar 4. Grafik hubungan kuat tarik rata-rata dengan kadar serat umur beton 28 Hari

Berdasarkan Gambar 3 dan Gambar 4 di atas diketahui kenaikan dan penurunan kuat tarik belah beton pada umur 14 dan 28 hari untuk setiap persentase penambahan serat besi yaitu pada Tabel 9 dan Tabel 10 berikut:

Tabel 9. Kenaikan dan penurunan kuat tarik belah umur 14 hari

Kadar serat (%)	Kuat tarik belah rata-rata (MPa)	Naik/ Turun	Kenaikan/penurunan kekuatan (dibandingkan ke 0% serat)
0	1,26	-	0 %
2	1,28	Naik	0,79 %
4	1,1	Turun	- 12,69 %
6	1,3	Naik	3,17 %
8	1,45	Naik	15,07 %

Tabel 10. Kenaikan dan penurunan kuat tarik belah umur 28 hari

Kadar serat (%)	Kuat tarik belah rata-rata (MPa)	Naik/ Turun	Kenaikan/penurunan kekuatan (dibandingkan ke 0% serat)
0	1,3	-	0 %
2	1,34	Naik	3,07 %
4	1,14	Turun	-12,30 %
6	1,36	Naik	4,61 %
8	1,6	Naik	23,07 %

Dari data Gambar 3 dan Gambar 4 serta Tabel 9 dan 10 di atas, khususnya untuk komposisi persentase penambahan serat limbah mesin bubut dengan kadar serat 4% pada umur 14 hari dan 28 hari menunjukkan bahwa penurunan kuat tarik belah beton sangat signifikan, tanpa mengalami kenaikan meskipun sudah mencapai umur beton yang maksimal yaitu 28 hari. Penurunan kuat tarik belah yang sangat signifikan ini disebabkan oleh beberapa faktor yang hampir sama dengan kuat tekan beton pada umur 14 hari, karena proses pembuatan benda uji dengan kadar 4% dilaksanakan 1 kali pengadukan yang mengakibatkan hampir semua benda uji dengan kadar serat 4% mengalami penurunan kekuatan. Untuk menguji keakuratan data hasil penelitian, maka diperlukan suatu fungsi regresi untuk menguji keakuratan dan ketepatan hasil data penelitian tersebut, karena data yang diolah mungkin terdapat kesalahan untuk menentukan komposisi serat besi yang paling optimum terhadap kuat tarik belah beton.

Berdasarkan kecenderungan data hasil penelitian kuat tarik belah beton, maka untuk menentukan komposisi kadar serat besi yang paling optimum, dianalisis menggunakan regresi non linear model kuadratik dan kubik dengan bantuan program SPSS 20 (*Statistical Product and Service Solutions*), dengan kecocokan yang sempurna mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) mendekati 1. Analisa tersebut akan menghasilkan persamaan garis yang menyatakan hubungan antara kadar serat dengan kuat tarik belah beton.

Berdasarkan data hasil penelitian pada umur beton 14 dan 28 hari dengan penambahan serat sebesar 4%, terjadi kesalahan dan kekeliruan saat pelaksanaan penelitian yang disebabkan oleh beberapa faktor, sehingga mengakibatkan penurunan kekuatan tarik belah beton yang sangat signifikan. Untuk mendapatkan analisis persamaan regresi yang benar dan akurat, maka data hasil penelitian dengan penambahan serat besi limbah mesin bubut sebesar 4% dihilangkan atau tidak digunakan sebagai data variabel bebas (X), dan data tersebut dianalisis kembali menggunakan regresi non linear model kuadratik dan kubik dengan bantuan program SPSS 20 (*Statistical Product and Service Solutions*). Setelah dianalisis diperoleh persentase penambahan serat limbah mesin bubut optimum yaitu sebesar 8% dengan persamaan regresi non linear model kubik dan kuadratik untuk beton umur 14 dan 28 hari, Persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 11 dan Tabel 12 berikut:

Tabel 11. Persamaan regresi kuat tarik beton dengan serat 4%

Umur Beton (hari)	Model Regresi	R (Square)	Persamaan Regresi
14	Kuadratik	0,729	$Y = 1,289 - 0,071x + 0,011x^2$
28		0,791	$Y = 1,341 - 0,086x + 0,015x^2$
14	Kubik	0,765	$Y = 1,274 - 0,018x - 0,007x^2 + 0,002x^3$
28		0,853	$Y = 1,315 + 0,007x - 0,018x^2 + 0,003x^3$

Tabel 12. Persamaan regresi kuat tarik tanpa serat 4% umur 14 dan 28 hari

Umur Beton (hari)	Model Regresi	R (Square)	Persamaan Regresi
14	Kuadratik	0,90	$Y = 1,275 - 0,023x + 0,005x^2$
28		0,878	$Y = 1,326 - 0,036x + 0,008x^2$
14	Kubik	0,99	$Y = 1,260 + 0,030x - 0,013x^2 + 0,002x^3$
28		0,971	$Y = 1,300 + 0,058x - 0,024x^2 + 0,003x^3$

Berdasarkan Gambar 3 dan Gambar 4 serta Tabel 9 sampai dengan Tabel 12 di atas dapat disimpulkan bahwa pengaruh kuat tarik belah beton pada umur 14 dan 28 hari terhadap kuat tarik belah beton dan persentase penambahan serat besi limbah mesin bubut optimum yaitu sebagai berikut:

- 1) Dengan penambahan serat besi limbah mesin bubut memberikan pengaruh terhadap kuat tarik belah beton pada umur 14 dan 28 hari, semakin besar persentase kadar serat maka semakin tinggi kuat tarik belah beton. Tetapi tidak menutup kemungkinan dengan penambahan serat lebih dari 8% membuat kuat tarik belah semakin turun karena dalam penelitian ini belum terungkap dan terbatas dengan banyaknya benda uji.
- 2) Dalam penelitian ini dengan persentase penambahan serat limbah mesin bubut yang menghasilkan kuat tarik belah optimum pada umur beton 14 dan 28 hari yaitu persentase penambahan serat limbah mesin bubut dengan kadar serat 8% dengan kuat tarik belah sebesar 1,45 MPa pada umur 14 hari dan 1,6 MPa pada umur 28 hari.

PENUTUP

Kesimpulan

- 1) Penambahan serat besi limbah mesin bubut ke dalam adukan akan mengurangi kelecakan, yang ditunjukkan dengan menurunnya nilai *slump*. Semakin banyak kadar serat dan semakin besar nilai *aspect ratio* maka akan semakin mengurangi kelecakan adukan.
- 2) Penambahan serat besi limbah mesin bubut meningkatkan dan memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton pada umur 14 dan 28 hari. Berdasarkan persamaan regresi non linear model kuadratik dan kubik pada Tabel 22 sampai dengan Tabel 23, baik dengan penambahan serat maupun tanpa penambahan kadar serat sebesar 4%. Untuk beton umur 14 hari, persentase penambahan kadar serat optimum yaitu 8% sebesar 12,54 MPa, kenaikan 46,64% dari beton normal dan beton umur 28 hari, persentase penambahan kadar serat optimum yaitu 8% sebesar 13,63 MPa, kenaikan 45,45% dari beton normal.
- 3) Penambahan serat besi limbah mesin bubut meningkatkan dan memberikan pengaruh terhadap kuat tarik belah beton pada umur 14 dan 28 hari. Berdasarkan persamaan regresi non linear model kuadratik dan kubik pada Tabel 31 sampai dengan Tabel 32, baik dengan penambahan serat maupun tanpa penambahan kadar serat sebesar 4%. Untuk beton umur 14 hari, persentase penambahan kadar serat optimum yaitu 8% sebesar 1,45 MPa, kenaikan 15,07% dari beton normal dan beton umur 28 hari dengan persentase penambahan kadar serat optimum yaitu 8% sebesar 1,6 MPa, kenaikan 23,07% dari beton normal.
- 4) Hasil pengujian silinder beton belum mencapai kuat tekan rencana sebesar 25 MPa, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor baik sifat fisik agregat, proses pembuatan, perawatan, pengujian maupun peralatan untuk proses penelitian yang belum sempurna dan memiliki kekurangan.

Saran

- 1) Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan persentase penambahan serat besi lebih besar dari 8%, karena kemungkinan terjadi kenaikan kuat tekan dan tarik belah beton. Berdasarkan dari hasil penelitian bahwa semakin besar persentase penambahan kadar serat maka semakin tinggi kuat tekan dan tarik belah beton.
- 2) Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan serat besi limbah mesin bubut dengan panjang $\pm 1 - 2$ cm, agar tidak terjadi penggumpalan serat pada campuran beton (*balling effect*).
- 3) Saat melaksanakan pemeriksaan kadar air agregat sebaiknya agregat yang sudah diperiksa disimpan di dalam karung yang terikat, agar kadar air tidak berubah dari keadaan kering jenuh permukaan karena kadar air agregat sangat menentukan kekuatan dan ketahanan beton.
- 4) Ketelitian pada proses pembuatan, perawatan, dan pengujian benda uji diharapkan lebih ditingkatkan dan laksanakan penelitian pada waktu dan keadaan yang ideal, sehingga memberikan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suyantoro, S.(2007). *Teknologi Beton*. Andi. Bandung.
- [2] Indarto, W. P. (1993). *Pedoman Pengerjaan Beton*. Erlangga. Jakarta.
- [3] Mulyono, T. (2004). *Tenologi Beton*. Andi. Yogyakarta.
- [4] Samekto, W.(2001). *Teknologi Beton*. Kanisius. Bandung.
- [5] Dipohusodo, W. (1996). *Struktur beton bertulang*. PT. Gramedia Pustaka Umum. Jakarta.
- [6] Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Andi. Yogyakarta.

- [7] Patrisia, Y., & Coenraad, R. (2014). MATHEMATIC MODELLING OF CONCRETE PUMP PRODUCTIVITY ON THE CONCRETE WORK OF CONSTRUCTION PROJECT IN PALANGKA RAYA. *BALANGA: Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 2(2), 12-22.
- [8] SNI 03-2834(2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional (BSN)
- [9] SNI 03-1972. (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [10] SNI 03-2491. (2002). *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [11] SNI 03-1971. (1990). *Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar dan Halus*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [12] SNI 03-2816. (1992). *Pemeriksaan Kotoran Organik Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [13] SNI 13-6669. (2002). *Pemeriksaan Kadar Lumpur atau Lempung Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [14] SNI 03-1970. (1990). *Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [15] SNI 03-1969. (1990). *Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [16] SNI 03-4804. (1998). *Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar dan Halus*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [17] SK SNI T-15-03. (1990). *Langkah-Langkah Pembuatan Benda Uji*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [18] SK SNI T-15-03. (1990) *Metode Perawatan Benda Uji*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [19] Sugiyono. (2014). *Statistika Untuk Penelitian*. Alfabeta. Bandung.
- [20] Tjokrodimuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Nafiri. Yogyakarta.