

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BAJA 4D DRAMIX TERHADAP KUAT TEKAN, TARIK BELAH, DAN LENTUR PADA BETON

Dennis Johannes¹, Kevin Mangundap², Handoko Sugiharto³, Gunawan Budi Wijaya⁴

ABSTRAK : Beton memiliki berat sendiri yang besar karena bersifat kompak dan masif, sehingga paling berat membebani struktur bangunan. Selain itu beton memiliki kelemahan, yaitu terhadap gaya tarik dan *plastic shrinkage* yang menyebabkan retak rambut pada beton, sehingga memperpendek umur beton. Untuk mengatasi masalah tersebut, solusinya adalah menambahkan serat baja ke dalam campuran beton yang dikenal dengan nama *Steel Fiber Reinforced Concrete* (SFRC). Penelitian ini mengedepankan serat baja 4D Dramix. Proses penelitian, pengujian, dan pengambilan data beton serat baja dilakukan di laboratorium teknologi beton.

Dari hasil penelitian, penambahan serat baja 4D Dramix pada beton sebesar 1.5% meningkatkan properti beton secara keseluruhan. Dari segi kuat tekan beton serat baja 4D Dramix mengalami kenaikan sebesar 20.79% sedangkan kuat tarik belah meningkat sebesar 47.66% dan kuat lentur meningkat sebesar 45.85%. Beton serat baja membuat beton memiliki sifat daktil, setelah mencapai tegangan maksimum beton mampu bertahan dan tidak patah, regangan yang dihasilkan juga melebihi desain beton normal yaitu mampu mencapai lebih dari 0.005. Pembuatan beton serat baja disarankan menggunakan superplasticizer dalam pengerjaan ditujukan untuk meningkatkan *bond* antara serat baja dengan beton serta untuk meningkatkan *workability*.

KATA KUNCI : beton, beton fiber, beton *steel fiber*, beton dramix, *dramix steel fiber*, beton serat baja, serat baja, dramix 4D

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton memiliki berat sendiri yang besar karena bersifat kompak dan masif, sehingga paling berat membebani struktur bangunan. Selain itu, beton dapat mengalami *plastic shrinkage* yang menyebabkan retak rambut pada beton, yang dapat memperpendek umur beton. Untuk mengatasi masalah tersebut, solusinya adalah menambahkan serat baja ke dalam campuran beton yang dikenal dengan nama *Steel Fiber Reinforced Concrete* (SFRC). *Steel fiber* berfungsi menahan penyebaran retak rambut, selain itu juga sedikit membantu menahan gaya tarik, dengan jalan menjadikan beton lebih daktil, sehingga memiliki nilai regangan yang lebih panjang jika dibandingkan beton biasa. Beton dengan kandungan serat baja dapat diperkecil dimensi strukturnya. Penelitian ini mengedepankan serat baja 4D Dramix. Proses pencampuran dan komposisi serat baja dengan material beton lainnya adalah hal yang penting untuk diperhatikan.

1.2. Rumusan Masalah

1. Seberapa signifikan penambahan serat baja 4D Dramix terhadap kuat tekan, tarik belah, dan lentur pada SFRC?
2. Bagaimana karakter daktilitas pada SFRC?

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21413078@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21413065@john.petra.ac.id

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, hands@petra.ac.id

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, gunawanbw@petra.ac.id

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui seberapa signifikan penambahan serat baja 4D Dramix terhadap kuat tekan, tarik belah, dan lentur pada SFRC
2. Mengetahui karakteristik daktilitas pada SFRC

1.4. Manfaat Penelitian

1. Dapat menjadi referensi dalam materi pembelajaran di program studi teknik sipil Universitas Kristen Petra.
2. Sebagai sarana untuk menambah wawasan dan pengetahuan penulis dalam hal *steel fiber reinforced concrete*.
3. Dapat digunakan sebagai bahan untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan khususnya penelitian mengenai *steel fiber reinforced concrete* dan pembuatan *Ultra High Performance Concrete* di Indonesia di kemudian hari.

1.5. Ruang Lingkup

Ruang Lingkup dibatasi pada serat baja menggunakan Dramix tipe 4D fraksi 1.5% volume beton, menggunakan semen *Portland Pozzolan Cement* PT. Semen Gresik, air PDAM, agregat halus yang berasal dari Lumajang, *mixing* dengan mesin molen, tes beton yang dilakukan tes kokoh tekan hancur silinder (ASTM C39M), tes tarik belah (ASTM C496) dan tes lentur balok (ASTM C78), ukuran benda uji yang digunakan silinder ukuran diameter 15 cm tinggi 30 cm dan balok ukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Steel Fiber

Terdapat 3 jenis serat baja berdasarkan banyaknya lekukannya yaitu Dramix 3D, 4D, dan 5D. Semakin banyak lekukan semakin baik mengait di dalam beton. *Pullout Test* dilakukan untuk meneliti kuat tarik, yaitu kemampuan serat baja bertahan ketika akan dicabut dari beton.

2.2. Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC)

SFRC adalah beton biasa yang ditambahkan serat baja untuk meningkatkan tarik dan mengurangi retak. Menurut Surendra (1983) penambahan serat baja mengurangi nilai *slump* dan memperlambat kecepatan runtuh *slump*. Menurut Singh (2017) serat baja mengait pada mortar semen, serat baja aktif menahan penyebaran retak dalam beton dan meningkatkan regangan beton sehingga menjadi lebih daktil.

2.3. Efek Penambahan Steel Fiber

Menurut Cuenca (2015), beton polos tanpa sengkang mengalami peningkatan kekuatan geser sebesar 100% ketika kandungan serat baja ditingkatkan dari 0% menjadi 2% (menggunakan serat baja berkait), untuk mendapatkan beton lebih daktil serat baja dengan aspek rasio lebih tinggi dibutuhkan, serat baja aktif menahan retakan agar tidak menyebar.

2.4. Respon SFRC terhadap Gaya Tekan (*Compression Stress*)

Menurut Singh (2017) perilaku awal beton SFRC sama dengan beton konvensional ketika dibebani tekan. Ketika tegangan tekan mencapai 30% tegangan *ultimate* beton terjadi retakan di dalam. Ketika 50%, terjadi *bending* dan serat baja mulai aktif menahan *microcracks* di permukaan.

Ketika 70% gaya tarik serat baja (*pullout anchor*) menahan pelebaran *microcracks*, sehingga meningkatkan kekuatan tekan beton pasca puncak pembebanan.

2.4.1 Kuat Tekan SFRC dengan 3D Dramix

Menurut Hardono (2012) beton $f_c' 30$ Mpa dengan campuran serat baja fraksi 1.25% tidak mengalami kenaikan kuat tekan yang signifikan yaitu 3% dibanding beton biasa. Menurut Sitompul (2011) penambahan serat baja berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan, fraksi *steel fiber* 0,19% meningkatkan kuat tekan 5.2%, fraksi 0.32% meningkatkan 6.7%, dan fraksi 0.51% meningkatkan 13.5% kuat tekan beton dibanding beton konvensional tanpa serat baja.

2.5. Respon SFRC terhadap Gaya Lentur (*Flexural Stress*)

Kuat tarik dalam lentur dikenal dengan nama modulus runtuh (f_{ct}, f_l) Perilaku terhadap lentur bisa dikategorikan menjadi 4 fase yaitu : *Uncracked phase, Linear-elastic phase, Non-linear cracked phase,* dan *Fiber pullout/fracturing phase.*

2.5.1. Kuat Lentur SFRC dengan 3D Dramix

Menurut Hardono (2012) beton $f_c' 30$ Mpa dengan serat baja 3D Dramix sebesar 1.25% mengalami peningkatan kuat lentur yang signifikan yaitu 30.09 % dibanding beton polos. Menurut Sitompul (2011) beton $f_c' 35$ Mpa dengan serat baja 3D Dramix sebesar 0.51% meningkatkan kekuatan lentur beton sebesar 21.09% dibanding beton polos.

2.6. Respon SFRC terhadap Gaya Tarik

Menurut Singh (2017), regangan tarik beton adalah 0.0001-0.0002. Serat baja akif ketika terjadi retakan pada SFRC. SFRC memiliki kemampuan tarik residual yang signifikan dibanding beton biasa. Kemampuan menahan *first crack* hampir sama dengan beton biasa. Kemampuan tarik SFRC dipengaruhi jumlah serat baja, sifat *pull out*, dan mutu beton. Kuat tarik belah mengacu pada ASTM C496.

2.6.1. Kuat Tarik SFRC dengan 3D Dramix

Menurut Hardono (2012) beton $f_c' 30$ Mpa dengan penambahan serat baja 1.25% mengalami peningkatan kekuatan tarik belah yang cukup signifikan yaitu 29.52%. Menurut Sitompul (2011) beton $f_c' 35$ Mpa dengan penambahan serat baja 0.51% mengalami peningkatan kuat tarik belah sebesar 15.39%.

2.7. Modulus Elastisitas pada Beton

Modulus elastisitas adalah ukuran yang digunakan untuk mempresentasikan kekuatan suatu bahan. Makin besar modulus elastisitas maka akan kecil reangan elastis yang dapat dihasilkan dari pemberian tegangan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pertama dilakukan studi literatur mengenai SFRC, kedua mendesain rancangan penelitian, ketiga menyiapkan bahan, keempat melakukan analisa ayakan, kelima menimbang bahan, keenam melakukan pengecoran beton serat baja 4D Dramix 1.5%, ketujuh melakukan pengtesan di laboratorium beton, dan yang terakhir adalah pencatatan hasil pengtesan dan pembuatan laporan.

4. ANALISA DATA

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Kuat Tekan

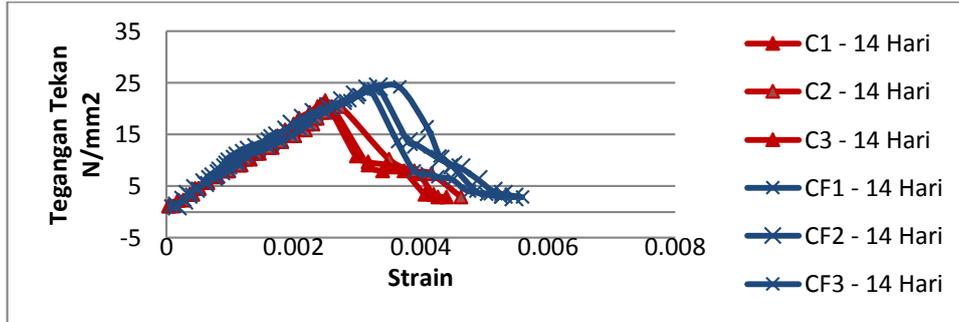
Pengujian kuat tekan dalam penelitian ini menggunakan benda uji berupa silinder berukuran 15 x 30 cm. Penelitian ini berstandarkan ASTM C39. Terdapat 12 sampel pada percobaan ini. Hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 1.** dan **Tabel 2.**

Tabel 1. Hasil Pengujian Tekan Beton f_c' 25 Mpa

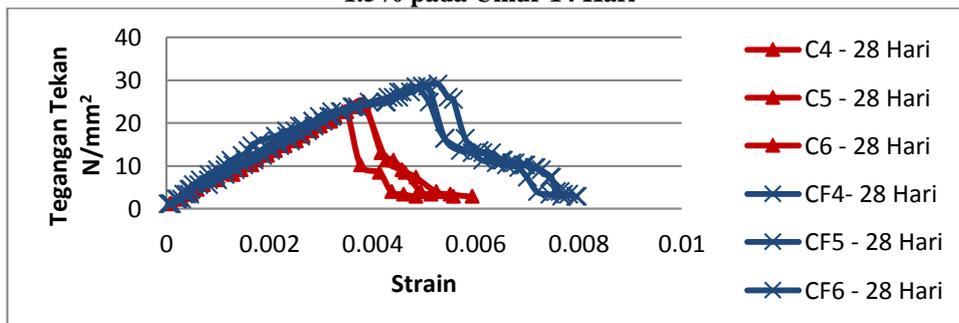
| Nama | Umur (hari) | Dimensi | | Hasil Uji | | | |
|------|----------------|-----------|-----------|------------------|------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| | | D (mm) | T (mm) | Penurunan | Gaya Tekan | f_c' | Kuat |
| | | | | δ (mm) | P (kN) | P/A (N/mm ²) | Tekan Rata2 (N/mm ²) |
| C1 | 14 | 150 | 300 | 0.78 | 365 | 20.67 | 20.85 |
| C2 | 14 | 150 | 300 | 0.82 | 360 | 20.38 | |
| C3 | 14 | 150 | 300 | 0.75 | 380 | 21.51 | |
| C4 | 28 | 150 | 300 | 1.15 | 440 | 24.91 | 23.78 |
| C5 | 28 | 150 | 300 | 1.05 | 400 | 22.65 | |
| C6 | 28 | 150 | 300 | 1.15 | 420 | 23.78 | |

Tabel 2. Hasil Pengujian Tekan Beton f_c' 25 Mpa Campuran Serat Baja Dramix 4D 35 kg/m³ (1.5%)

| Nama | Umur (hari) | Dimensi | | Hasil Uji | | | |
|------|----------------|-----------|-----------|------------------|------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| | | D (mm) | T (mm) | Penurunan | Gaya Tekan | f_c' | Kuat |
| | | | | δ (mm) | P (kN) | P/A (N/mm ²) | Tekan Rata2 (N/mm ²) |
| CF1 | 14 | 150 | 300 | 1.10 | 427 | 24.18 | 23.95 |
| CF2 | 14 | 150 | 300 | 1.00 | 422 | 23.89 | |
| CF3 | 14 | 150 | 300 | 0.96 | 420 | 23.78 | |
| CF4 | 28 | 150 | 300 | 1.56 | 505 | 28.59 | 28.72 |
| CF5 | 28 | 150 | 300 | 1.45 | 502 | 28.42 | |
| CF6 | 28 | 150 | 300 | 1.58 | 515 | 29.16 | |



Gambar 1. Grafik Hasil Uji Tegangan-Regangan Beton Normal dengan Beton Serat Baja 4D Dramix 1.5% pada Umur 14 Hari



Gambar 2. Grafik Hasil Uji Tegangan-Regangan Beton Normal dengan Beton Serat Baja 4D Dramix 1.5% pada Umur 28 hari

Dari **Gambar 1.** dan **Gambar 2.** dengan penambahan serat kawat 1.5% mampu mengalami kenaikan sebesar 14.84% pada hari ke 14 dan 20.79% pada hari ke 28 jika dibandingkan dengan beton tanpa serat baja.

4.1.2 Pengujian Kuat Tarik Belah

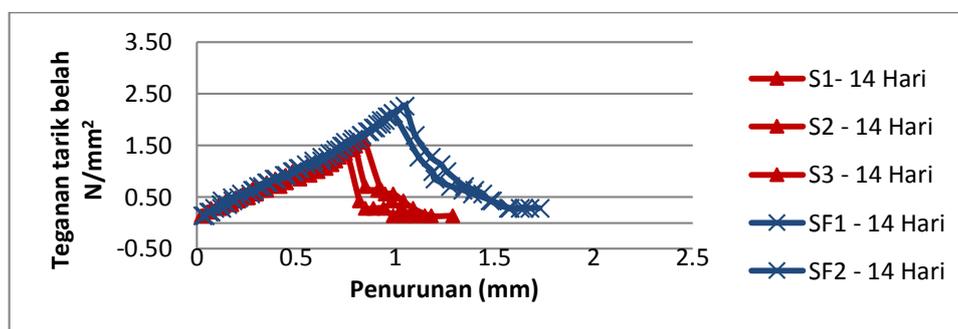
Untuk pengujian kuat tarik belah pada beton akan berpedoman pada ASTM C 496-04, sampel berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Percobaan ini terdapat 12 sampel Hasil uji kuat tarik belah dapat dilihat dari **Tabel 3.** dan **Tabel 4.**

Tabel 3. Hasil Pengujian Tarik Belah Beton $f_c' 25$ Mpa

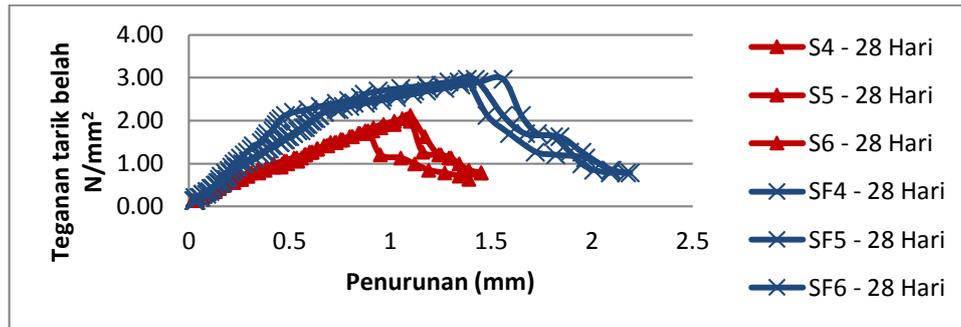
| Nama | Umur (hari) | Dimensi | | Hasil Uji | | | |
|------|----------------|-----------|-----------|------------------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| | | D (mm) | T (mm) | Penurunan | Gaya | fct | fct |
| | | | | δ (mm) | Tekan (kN) | $2P/\pi LD$ (N/mm ²) | Rata2 (N/mm ²) |
| S1 | 14 | 150 | 300 | 0.790 | 110 | 1.56 | 1.53 |
| S2 | 14 | 150 | 300 | 0.810 | 115 | 1.63 | |
| S3 | 14 | 150 | 300 | 0.750 | 100 | 1.42 | |
| S4 | 28 | 150 | 300 | 0.890 | 125 | 1.77 | 1.96 |
| S5 | 28 | 150 | 300 | 0.860 | 140 | 1.98 | |
| S6 | 28 | 150 | 300 | 1.10 | 150 | 2.12 | |

Tabel 4. Hasil Pengujian Tarik Belah Beton $f_c' 25$ Mpa dengan Campuran Serat Baja Dramix 4D 1.5%

| Nama | Umur (hari) | Dimensi | | Hasil Uji | | | |
|------|----------------|-----------|-----------|------------------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| | | D (mm) | T (mm) | Penurunan | Gaya | fct | fct |
| | | | | δ (mm) | Tekan (kN) | $2P/\pi LD$ (N/mm ²) | Rata2 (N/mm ²) |
| SF1 | 14 | 150 | 300 | 0.99 | 145 | 2.05 | 2.16 |
| SF2 | 14 | 150 | 300 | 1.005 | 160 | 2.26 | |
| SF3* | 14 | 150 | 300 | 0 | 116 | 1.64 | |
| SF4 | 28 | 150 | 300 | 1.34 | 205 | 2.90 | 2.90 |
| SF5 | 28 | 150 | 300 | 1.42 | 210 | 2.97 | |
| SF6 | 28 | 150 | 300 | 1.35 | 200 | 2.83 | |



Gambar 3. Grafik Hasil Uji Tegangan Tarik Belah dengan Penurunan Beton Normal terhadap Beton Serat Baja 4D Dramix 1.5% pada Umur 14 Hari



Gambar 4. Grafik Hasil Uji Tegangan Tarik Belah dengan Penurunan Beton Normal terhadap Beton Serat Baja pada Umur 28 Hari

Dari Gambar 3. dan Gambar 4. dengan penambahan serat baja dengan volume fraksi 1.5% mampu mengalami kenaikan 46.67% pada hari ke 14 dan 47.66% pada hari ke 28.

4.1.3 Pengujian Kuat Lentur

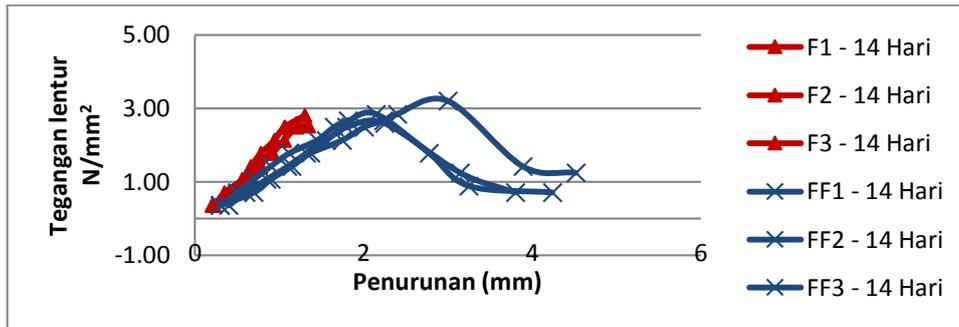
Untuk pengujian kuat tarik belah pada beton akan berpedoman pada ASTM C 496-04, sample berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Percobaan ini terdapat 12 sample. Hasil uji kuat tarik belah dapat dilihat pada Tabel 5. dan Tabel 6.

Tabel 5. Hasil Pengujian Lentur Beton $f_c' 25$ Mpa

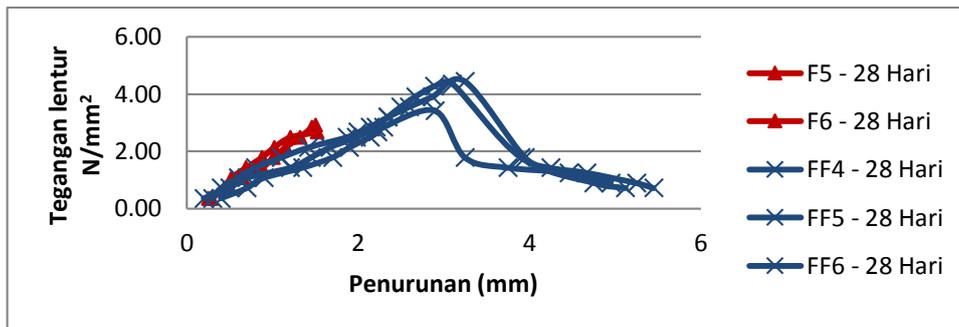
| Nama | Umur (hari) | Dimensi | | Hasil Uji | | | |
|------|----------------|-------------|-----------|-------------------------------|-----------------------|--|---|
| | | b=d (mm) | L (mm) | Penurunan δ (mm) | Gaya Tekan (kN) | fct,fl PL/bd2 (N/mm ²) | fct,fl Rata2 (N/mm ²) |
| | F1 | 14 | 150 | 450 | 1.20 | 14.6 | 2.60 |
| F2 | 14 | 150 | 450 | 1.30 | 15.8 | 2.81 | |
| F3 | 14 | 150 | 450 | 1.52 | 14.2 | 2.52 | |
| F4 | 28 | 150 | 450 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 2.79 |
| F5 | 28 | 150 | 450 | 1.50 | 16.4 | 2.92 | |
| F6 | 28 | 150 | 450 | 1.52 | 15.0 | 2.67 | |

Tabel 6. Hasil Pengujian Lentur Beton $f_c' 25$ Mpa dengan Campuran Serat Baja Dramix 4D 1.5%

| Nama | Umur (hari) | Dimensi | | Hasil Uji | | | |
|------|----------------|-------------|-----------|-------------------------------|-----------------------|--|---|
| | | b=d (mm) | L (mm) | Penurunan δ (mm) | Gaya Tekan (kN) | fct,fl PL/bd2 (N/mm ²) | fct,fl Rata2 (N/mm ²) |
| | FF1 | 14 | 150 | 450 | 2.15 | 16.0 | 2.84 |
| SF2 | 14 | 150 | 450 | 2.25 | 14.6 | 2.60 | |
| SF3 | 14 | 150 | 450 | 3.00 | 18.0 | 3.20 | |
| SF4 | 28 | 150 | 450 | 3.10 | 24.5 | 4.36 | 4.07 |
| SF5 | 28 | 150 | 450 | 3.25 | 25.0 | 4.44 | |
| SF6 | 28 | 150 | 450 | 2.90 | 19.2 | 3.41 | |



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Tegangan Lentur dengan Penurunan Beton Normal terhadap Beton Serat Baja 4D Dramix 1.5 % pada Umur 14 Hari



Gambar 6. Grafik Hasil Uji Tegangan Lentur dengan Penurunan Beton Normal terhadap Beton Serat Baja 4D Dramix 1.5 % pada Umur 28 Hari

Dari Gambar 5. dan Gambar 6. dengan penambahan serat baja pada beton, pada umur 14 hari terjadi kenaikan sebesar 13.33%. Kenaikan signifikan terjadi pada umur 28 hari yaitu sebesar 45.85%.

4.1.4 Modulus Elastisitas

Dari data tegangan – regangan percobaan tekan, dapat dihitung besarnya modulus elastisitas (E) dari kuat tekan yang didapat melalui percobaan tekan dengan berdasarkan pada ASTM C-469. Dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton $f_c'25$ MPa dengan Serat Baja Dramix 4D 1.5%

| No | Umur | S2=40%P | S1 | Strain | Modulus Elastisitas |
|-----|------|---------|-------|---------|---------------------|
| C4 | 28 | 9.9646 | 0.920 | 0.00140 | 6684 |
| C5 | 28 | 9.0587 | 1.120 | 0.00117 | 7088 |
| C6 | 28 | 9.5117 | 0.870 | 0.00153 | 5838 |
| CF4 | 28 | 11.4367 | 1.125 | 0.00125 | 8593 |
| CF5 | 28 | 11.3687 | 1.200 | 0.00170 | 6162 |
| CF6 | 28 | 11.6631 | 1.320 | 0.00159 | 6737 |

4.1.5 Regangan Maksimum

Regangan maksimum beton dengan serat baja 4D dramix juga mengalami peningkatan dimana beton normal biasanya hanya memiliki regangan maksimum kurang dari 0.004 (desain *strain* untuk beton normal = 0.003). tetapi beton dengan serat baja 4D terbukti mampu mencapai regangan maksimum lebih besar dari 0.005 pada saat beban puncak terjadi.

4.1.6 Peningkatan Daktilitas Beton Serat Baja

Dalam percobaan ini kontribusi serat tidak melebihi beban maksimum dalam arti setelah beban mencapai puncak beton hanya mampu menahan beban lebih kecil daripada beban maksimum. Serat baja dalam hal ini tidak meningkatkan dalam segi kekuatan dalam arti setelah beton mencapai beban maksimum, serat baja tidak mampu meningkatkan beban tetapi hanya menambah regangan. Dimana semestinya diharapkan serat kawat bekerja dan adanya kontribusi serat setelah terjadi beban maksimum.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Penambahan serat baja 4D DRAMIX ke dalam campuran beton memberikan peningkatan yang cukup signifikan (14.86%) umur 14 hari dan (20.79%) umur 28 hari pada kekuatan tekan beton pada mutu 25 MPa.
2. Penambahan serat baja 4D DRAMIX ke dalam campuran beton memberikan peningkatan yang signifikan (41.17%) umur 14 hari dan (47.66%) umur 28 hari pada kekuatan tarik belah pada mutu 25 MPa.
3. Penambahan serat baja 4D DRAMIX ke dalam campuran beton memberikan peningkatan yang signifikan (9.1%) umur 14 hari dan (45.85%) umur 28 hari pada kekuatan lentur pada mutu 25 MPa.
4. Perilaku beton normal terhadap beton serat baja 4D Dramix (1,5%) memiliki modulus elastisitas yang hampir sama dengan beton normal pada waktu elastis. Tetapi setelah mencapai puncak beton serat baja menunjukkan peningkatan dalam segi tegangan dan regangan.
5. Regangan maksimum meningkat dimana beton normal hanya di desain 0.003 sedangkan beton dengan serat baja 4D Dramix (1,5%) mampu melebihi 0.005.
6. Beton dengan serat baja 4D Dramix (1,5%) menunjukkan sifat daktail, setelah mencapai tegangan maksimum beton serat baja mampu bertahan tidak langsung patah seperti beton normal.

5.2. Saran

1. Untuk meningkatkan *bond* antara serat baja dengan beton dan juga untuk meningkatkan *workability*, disarankan menggunakan *superplasticizer*
2. Perlu dikaji signifikansi efek penambahan prosentase serat baja untuk tipe 5D

6. DAFTAR REFERENSI

- American Society for Testing and Materials. (2002). ASTM C469-02: Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. *ASTM Standard Book*, 4, 1-5.
- ASTM:C39/C39M-12a. (2012). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *ASTM International*, 4(March), 1-7.
- ASTM C496. (2011). Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, C496/C496M-11, (C), 1-5.
- ASTM C78-02. (2002). Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). *Annual Book of ASTM Standards*, 1-3.
- Cuenca, E. (2015). *On Shear Behaviour of Structural Elements Made of Steel Fiber Reinforced Concrete*.
- Hardono, Setyo. (2012). *Efektifitas Penambahan Serat Baja Dramix terhadap Karakteristik Mekanik Beton*. Jakarta
- Singh, H. (2017). *Steel Fiber Reinforced Concrete*. Singapore
- Sitompul, Heru Kurniawan. (2011). Studi Eksperimental Pelat Satu Arah dengan *Steel Fiber* sebagai *Reinforcement*. Universitas Indonesia. Jakarta
- Surendra, P. Shah. (1983). *Handbook of Structural Concrete*. Pitman. London