

ADDITION OF BENDRAT WIRE TO THE FIBER CONCRETE MIXTURE WITH ARTIFICIAL COARSE AGGREGATE MADE FROM TANGKILING CLAY, PALANGKA RAYA CITY

PENAMBAHAN KAWAT BENDRAT TERHADAP CAMPURAN BETON SERAT DENGAN AGREGAT KASAR BUATAN BERBAHAN BAKU TANAH LIAT TANGKILING KOTA PALANGKA RAYA

Liliana¹, Abertun Sagit Sahay², Supiyan³

¹⁾²⁾³⁾ Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya
Jl. H. Timang Tunjung Nyaho Palangkaraya Kode Pos 73112

Email: liliana@jts.upr.ac.id, abertun@gmail.com, supiyan@eng.upr.ac.id

ABSTRACT

This study evaluates the physical properties, bulk density, water absorption, and specific gravity of artificial coarse aggregate derived from Tangkiling clay, Palangka Raya City, as well as the effect of wire fiber addition on the mechanical properties of fiber concrete. The artificial coarse aggregate was produced by firing clay at a temperature of 1000°C, resulting in rounded aggregate shapes. The bulk density of the aggregate in a loose condition was recorded at 889 kg/m³, while the water absorption was 13.69%. The specific gravity in dry and saturated surface-dry conditions was 1.260 and 1.385, respectively. The fiber concrete made with a combination of artificial coarse aggregate and wire fiber showed a hardened concrete bulk density ranging from 1890 – 2070 kg/m³. The optimal wire fiber concentration of 1.93% produced a maximum compressive strength of 20.399 MPa. However, statistical analysis revealed that the addition of wire fiber had no significant effect on increasing the compressive strength.

Keywords: *Artificial Coarse Aggregate, Tangkiling Clay, Lightweight Concrete, Wire Fiber, Concrete Compressive Strength*

ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi sifat fisik, berat volume, penyerapan air, dan berat jenis agregat kasar buatan dari tanah liat Tangkiling, Kota Palangka Raya, serta pengaruh penambahan kawat bendrat terhadap sifat mekanis beton serat. Agregat kasar buatan diproduksi melalui pembakaran tanah liat pada suhu sebesar 1000°C, menghasilkan bentuk agregat rounded. Berat volume agregat dalam kondisi lepas tercatat sebesar 889 kg/m³, sedangkan nilai penyerapan air adalah 13,69%. Berat jenis kondisi kering dan kering permukaan jenuh masing-masing sebesar 1,260 dan 1,385. Beton serat yang dibuat dengan kombinasi agregat kasar buatan dan kawat bendrat menghasilkan berat volume beton keras berkisar antara 1890 – 2070 kg/m³. Penambahan kawat bendrat dengan konsentrasi optimal 1,93% menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 20,399 MPa. Namun, analisis statistik menunjukkan bahwa pengaruh penambahan kawat bendrat terhadap peningkatan kuat tekan tidak signifikan.

Kata Kunci: *Agregat Kasar Buatan, Tanah Liat Tangkiling, Beton Ringan, Kawat Bendrat, Kuat Tekan Beton*

PENDAHULUAN

Kota Palangka Raya, sebagian daerahnya merupakan daerah rawa gambut. Akibatnya daya dukung sangat rendah. Sehingga dituntut suatu bangunan rekayasa sipil dengan bobot yang ringan. Jika struktur bangunan di atasnya adalah struktur beton, maka agregat kasar yang memberikan kontribusi bobot yang terbesar. Salah satu solusi dengan pemakaian agregat kasar ringan yang bisa didapat dari alam maupun buatan. Dilihat dari potensi alam kota Palangka Raya, agregat ringan alami sangat sudah didapat. Dan untuk mendapatkan agregat ringan dapat dilakukan dengan melakukan pembuatan agregat ringan buatan. Dikombinasikan dengan potensi alam yang melimpah berupa tanah liat yang ada di daerah

Tangkiling Kota Palangka Raya. Tanah liat merupakan bahan baku yang murah dan melimpah di bumi (Subaer, 2012). Diharapkan jadi bahan baku sebagai pembuatan agregat ringan. Pembuatan agregat ini direncanakan sebagai agregat kasar yang bersifat ringan. Beberapa penelitian yang dilakukan untuk menghasilkan agregat kasar berbahan baku tanah liat. Di Indonesia penggunaan agregat ringan ataupun industri agregat ringan buatan dimulai sekitar tahun 1970–an oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum Cilacap, Jawa Tengah dengan menggunakan tanah liat sedimenter atau shale yang berasal dari wilayah Kabupaten Cilacap, dan untuk tanah liat dalam keadaan basah dapat dibuat pellet, kemudian pembakaran dalam tungku putar dengan suhu

antara 500-1200°C (Sulistyowati dan Rakhman, 2015; Trisnoyuwono, 2015). Agregat kasar buatan yang dikembangkan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum Cilacap, Jawa Tengah dikenal dengan nama ALWA (*Artificial Light Weight Aggregate*) Cilacap. Pemanfaatan ALWA Cilacap telah banyak digunakan para peneliti untuk bahan penelitian dalam menghasilkan campuran beton ringan. Karena ALWA Cilacap yang dihasilkan bersifat ringan, maka dimanfaatkan sebagai agregat kasar untuk campuran beton ringan. Dari beberapa penelitian, yang menjadi kendala adalah nilai penyerapan air yang berkisar 11-25% dan nilai keausan yang berkisar 30-50% (Widyawati, 2011; Sebayang, Widyawati dan Habibie, 2012; Sulistyowati dan Rakhman, 2015; Trisnoyuwono, 2015)

Sedangkan berdasarkan persyaratan untuk penggunaan agregat ringan untuk beton ringan, nilai penyerapan air maksimal 20% (SNI 03-2461-2002). Dan persyaratan nilai keausan untuk beton kelas III untuk kekuatan beton di atas 20 MPa, maksimum nilai keausannya sebesar 27% (Tjokrodimulyo, 1996:39). Penelitian lain yang dilakukan untuk meningkatkan nilai kuat tekan beton yang dihasilkan dengan menambahkan kawat bendrat.

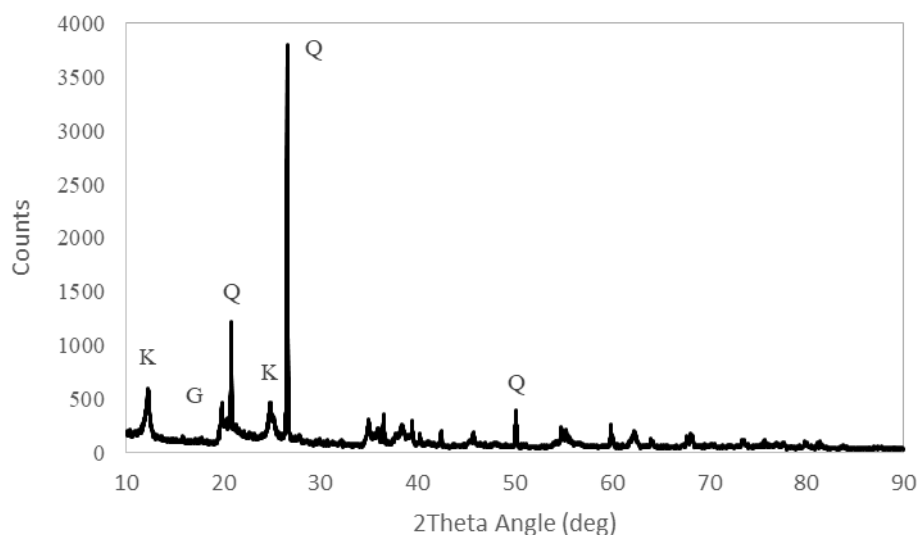
Penambahan kawat bendrat untuk meningkatkan kekuatan dari campuran beton yang terbuat dari agregat kasar buatan ini. Dikatakan volume serat antara 0,5% sampai dengan 1% merupakan volume efektif pada nilai kuat tarik dan lebar retak beton normal pada penggunaan serat baja (Carnovale, 2013 dalam Sirait, Wijatmiko, dan Firdausy, 2017)

Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian dengan melakukan penambahan kawat bendrat dalam campuran beton berbahan baku agregat kasar buatan dalam meningkatkan kuat tekan beton. Agregat kasar buatan menggunakan bahan baku muatan local kota Palangka Raya yaitu bahan baku dari tanah liat Tangkiling. Tangkiling adalah suatu daerah yang ada di kota Palangka Raya, Provinsi Kalimantan Tengah.

METODE PENELITIAN

Material Penelitian

Gambar 1 menggambarkan hasil difraksi dari tanah liat Tangkiling. Kandungan mineralnya berupa mineral kuarsa sebanyak 66%, kaolinit sebanyak 24% dan mineral Gibbsite sebanyak 10%.



Keterangan:

Q = Quartz-SiO₂ - Silicon Oxide = 66%

K = Kaolinite 1A - Al₂Si₂O₅ (OH)₄ - Aluminum Silicate Hydroxide = 24%

G = Gibbsite - Al (OH)₃-Aluminum Hydroxide = 10 %

Gambar 1. Hasil Pengujian XRD terhadap Lempung Kaolinit Tangkiling



Gambar 2. Kawat Bendrat yang sudah dipotong sepanjang 5 cm

Titik puncak di kisaran sebesar $2\theta = 26,651^\circ$, memiliki karakteristik utama adanya mineral lempung menunjukkan adanya kuarsa ($\text{quart-}\alpha\text{SiO}_2$) dalam komposisinya.

Semen PCC (*Portland Composite Cement*) merek dagang Gresik. Agregat Halus berasal dari daerah Tangkiling Kota Palangka Raya. Abu terbang dari limbah pembakaran PLTU Asam-Asam Kalimantan Selatan. Superplasticizer dari PT. Sika Nusa Pratama yaitu Sikament NN. Air yang digunakan adalah air sumur bor Laboratorium Beton Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya. Serat yang digunakan adalah kawat bendrat dengan panjang ± 5 cm dengan diameter 0,8 mm (Gambar 2).

Langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1) Pembuatan Agregat Kasar Ringan

Agregat kasar dari Tanah Liat Sei Gohong yang dibentuk menjadi kotak-kotak dengan menggunakan ukuran kombinasi gradasi fraksi yaitu ukuran 19 mm sebanyak 10 %, ukuran 9,5 mm sebanyak 40 %, dan ukuran 4,75 mm sebanyak 50 %. Kondisi tanah liat pada saat pembuatan agregat masih dalam kondisi basah sehingga memudahkan dalam pembentukan agregat. Setelah agregat dibentuk kemudian agregat dikeringkan menggunakan oven pada suhu $\pm 100^\circ\text{C}$ sampai agregat tersebut kering. Setelah kering

kemudian agregat dibakar ke dalam tanur tegak dengan suhu sebesar 1000°C selama ± 15 menit untuk memperoleh agregat kasar yang padat dan kuat. Setelah 15 menit agregat tersebut dikeluarkan dari oven dan akan tampak agregat yang sudah mengeras dan mempunyai ikatan yang lebih kokoh.

2) Pemeriksaan Material Pembentuk Beton

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan pengujian atau pemeriksaan terhadap bahan penyusun beton. Pemeriksaan bahan dilakukan di Laboratorium Beton Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya yang meliputi : a) berat jenis semen, b) berat volume agregat, c) berat jenis dan penyerapan agregat, d) kadar air agregat, e) analisis saringan agregat, f) kadar organik agregat, g) keausan agregat kasar dengan mesin *Los Angeles* dan h) berat volume kawat bendrat

3) Perencanaan campuran pada penelitian ini menggunakan metode ACI.

Rekapitulasi campuran beton yang berbahan baku agregat kasar buatan dari tanah liat Tangkiling dan penambahan serat bendrat dalam campuran dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Campuran Per m^3 Beton

Serat (%)	Agregat Kasar (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Semen (Kg)	Air (Kg)	Serat (Kg)	SP (Liter)	Abu Terbang (Kg)
0	662	256	348	313	0	4,1	26
1	662	256	348	313	6	4,1	26
2	662	256	348	313	11	4,1	26
3	662	256	348	313	17	4,1	26
4	662	256	348	313	23	4,1	26

4) Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dibuat berbentuk silinder yang berdiameter 100mm dan tinggi 200mm, seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Jumlah Benda Uji

No	Jenis Benda Uji	Jumlah Benda Uji (Buah)				
		Tiap Variasi Penambahan Serat Kawat Bendrat				
		0 %	1 %	2 %	3 %	4 %
1.	Silinder 100 x 200 mm ²	2	2	2	2	2

5) Pengujian Kuat Tekan



Gambar 3. Pengujian Benda Uji

Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan (Gambar 3). Pengujian dilakukan dengan memberikan pembebanan pada benda uji dengan mesin uji tekan. Sample akan diuji dengan menggunakan standar ASTM C₃₉₋₈₆ "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens". Beban akan didistribusikan secara merata sepanjang sumbu longitudinal dengan tegangan sebesar

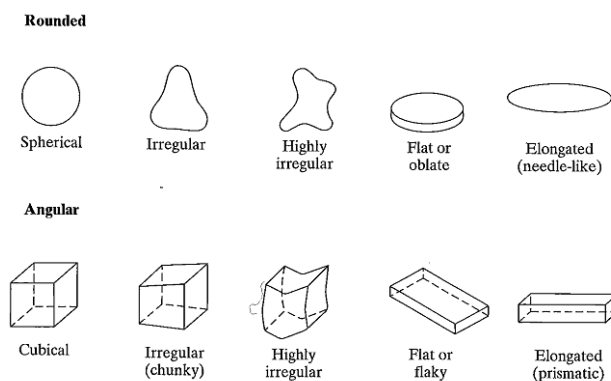
Keterangan :

- fc' = kuat tekan beton (MPa)
- P = Beban tekan maksimum (N)
- A = Luas penampang (mm²)

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN
SIFAT FISIK AGREGAT KASAR BUATAN
Bentuk Fisik Agregat Kasar Buatan

Bentuk butiran agregat biasanya seperti yang terlihat pada gambar 4. Bentuk butiran agregat yang diinginkan untuk pekerjaan beton dalam pekerjaan rekayasa sipil adalah *rounded*, *irregular*, dan *angular*.



Gambar 4. Klasifikasi Bentuk Butiran
(Sumber: Mindess, Young, dan Darwin, 2003 : 123)



Gambar 5. Bentuk Fisik dari Agregat Buatan

Berdasarkan penelitian bentuk fisik agregat kasar buatan yang dibuat dari tanah liat Tangkiling Kota Palangka Raya. Tanah liat yang dibulatkan sesuai variasi dan dibakar dengan menggunakan tanur tegak pada suhu berkisar 1000°C selama ± 15 menit. Bentuk fisik agregat kasar buatan berubah *rounded* (gambar 5)

Berat Volume Agregat

Berat volume adalah perbandingan perbandingan antara berat agregat kering dengan volumenya. Agregat adalah bahan pengisi dalam beton. Berat volume diuji dalam dua kondisi meliputi: 1) Kondisi Lepas/Gembur, pengujian dilakukan dengan agregat dimasukkan dalam wadah menggunakan sekop kecil dari ketinggian 5 cm sampai penuh wadah tersebut. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata dan timbang berat benda uji tersebut. Berdasarkan pengujian berat volume agregat kasar buatan dalam kondisi lepas/gembur berkisar 889 kg/m^3 . Berdasarkan ketentuan yang dituang dalam Standar Nasional Indonesia untuk dapat digunakan sebagai campuran beton ringan untuk tujuan structural, berat volume kondisi lepas/gembur maksimum sebesar 880 kg/m^3 (SNI-03-2462-2002). Hasil pengujian berat volume agregat tidak memenuhi ketentuan untuk dijadikan salah satu material pembentuk beton ringan untuk tujuan structural (beton ringan structural). 2) Kondisi padat, pengujian dilakukan dengan agregat dimasukan wadah silinder sebanyak 3 lapis yang sama tebal lapisan. Setiap lapisan dipadatkan dengan tongkat besi pemadat sebanyak 25 kali. Berat volume agregat kondisi padat dihasilkan sebesar 986 kg/m^3 . Penelitian yang dilakukan Riyawan dan Olivia (2013), menggunakan tanah lempung dari Kulim, Pekan Baru untuk dijadikan agregat kasar buatan menghasilkan berat volume agregat kasar sebesar 977 kg/m^3 untuk kondisi padat dan 891 kg/m^3 untuk kondisi lepas.

Penyerapan Air Agregat

Agregat kasar ringan umumnya memiliki nilai penyerapan air di atas 14% (Tjokrodimulyo, 1996 : 16). Hasil penelitian yang membuat agregat kasar buatan sebesar 13,69%. Ketentuan dari standar nasional Indonesia untuk agregat kasar yang dapat digunakan pada

campuran beton ringan structural, disyaratkan kurang dari 20% nilai penyerapan air (SNI-03-2462-2002). Penelitian yang dilakukan Riyawan dan Olivia (2013), menggunakan tanah lempung dari Kulim, Pekan Baru untuk dijadikan agregat kasar buatan menghasilkan penyerapan air sebesar 18.930 %. Penelitian lain berbahan tanah lempung juga menghasilkan nilai penyerapan air sebesar 14%. Agregat kasar dibuat dari campuran antara tanah lempung Hampangen dana arang cangkang kelapa sawit. Dibuat dengan menggunakan metode Geopolimerisasi (Liliana, Triwulan, dan Ekaputri, 2023).

Berat Jenis Agregat

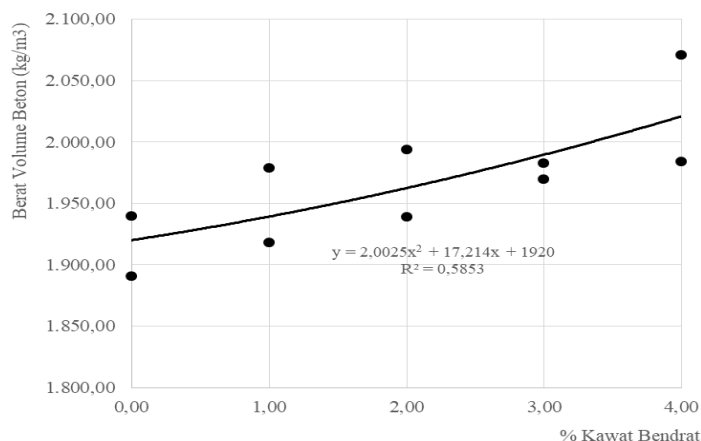
Agregat dapat dibedakan berdasarkan berat jenisnya. Untuk agregat ringan, berat jenisnya kurang dari 2,00 yang biasanya digunakan untuk campuran beton non structural. Namun dapat juga digunakan sebagai campuran beton structural. Berdasarkan SNI-03-2462-2002, agregat dalam hal ini adalah agregat kasar yang bersifat ringan untuk dapat digunakan sebagai campuran beton ringan structural, berat jenis yang disyaratkan berkisar 1,00 – 1,80. Berdasarkan hasil pengujian berat jenis kondisi kering permukaan jenuh sebesar 1,385 dan berat jenis kondisi kering sebesar 1,260. Dari kisaran nilai berat jenis yang dihasilkan masuk dalam kategori agregat kasar ringan yang dapat digunakan sebagai campuran beton ringan structural. Penelitian yang dilakukan Riyawan dan Olivia (2013), agregat kasar buatan dibuat dari tanah lempung dari Kulim Pekan Baru, berat jenis kondisi kering permukaan jenuh sebesar 1,985 dan kondisi kering sebesar 1,669. Liliana, Triwulan, dan Ekaputri (2023), agregat kasar buatannya menghasilkan berat jenis kondisi kering permukaan jenuh sebesar 1,37 dan kondisi kering sebesar 1,21.

BERAT VOLUME BETON SEGAR

Berdasarkan penelitian dengan kombinasi yang digunakan adalah agregat kasar #19 mm sebanyak 10%, #9,5 mm sebanyak 40%, dan #4,75 mm sebanyak 50% didapat berat volume beton segar sebesar $1957,37 \text{ kg/m}^3$. Suatu beton dikatakan sebagai beton ringan untuk tujuan struktur bila berat volume beton maksimum sebesar 1850 kg/m^3 . Mengacu pada besaran berat

volume beton segar yang dihasilkan, maka beton tersebut dikategorikan tidak memenuhi ketentuan sebagai beton ringan *structural*.

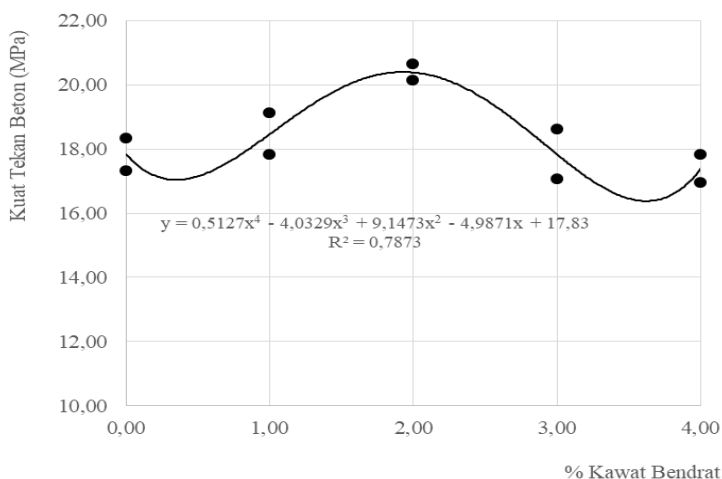
EFEK PENAMBAHAN KAWAT BENDRAT TERHADAP KUAT TEKAN DAN BERAT VOLUME BETON SERAT



Gambar 6. Hubungan Persentase Kawat Bendrat dengan Berat Volume Beton Keras

Gambar (6) memperlihatkan bahwa penambahan kawat bendrat menyebabkan perilaku beton semakin berperilaku sebagai beton normal berdasarkan berat volume betonnya. Rentang berat volume beton dalam kondisi beton keras yang dihasilkan berkisar 1890 – 2070 kg/m³. Berdasarkan SNI 03-3449 2003, beton ringan untuk tujuan struktur bila berat volume beton maksimum

sebesar 1850 kg/m³. Bila dibandingkan dengan penelitian penggunaan tanah liat Hampangan yang dijadikan agregat kasar buatan. Agregat tersebut dibuat menggunakan metode Geopolimerisasi, berat volume beton dalam keras yang dihasilkan sebesar 1809,93 kg/m³ (Liliana, Triwulan, dan Ekaputri, 2023).



Gambar 7. Hubungan Persentase Kawat Bendrat dengan Kuat Tekan Beton Sera

Ditinjau dari kuat tekan beton yang dihasilkan berkisar 17,30-20,30 MPa (Gambar 7). Menurut SNI 03-3449 2003, beton ringan untuk tujuan structural bila kuat tekan beton minimal sebesar 17,24 MPa dan berat volume beton maksimum 1850 kg/m³. Bila mengacu pada ketentuan tersebut, maka beton serat yang dihasilkan dikategorikan sebagai bukan sebagai beton ringan untuk tujuan structural. Persamaan regresi dari hubungan antara penambahan kawat bendrat terhadap kuat tekan

beton serat kawat bendrat dengan agregat kasar buatan adalah $Y = 17,83 - 4,9871 X + 9,1473 X^2 - 4,0329 X^3 + 0,5127 X^4$ (Y = Nilai Kuat Tekan Beton dan X = Persentase Kawat Bendrat). Berdasarkan nilai korelasi sebesar 0,887 menyatakan bahwa adanya hubungan positif yang sangat kuat antara penambahan serat kawat bendrat terhadap peningkatan kuat tekan beton serat yang dihasilkan. Berdasarkan nilai koefisien determinasi, R² (R-Square) sebesar 0,7873 atau 78,73% mengatakan bahwa

kontribusi penambahan serat kawat bendrat sebesar 78,73% terhadap peningkatan kuat tekan beton serat yang dihasilkan Dan sisanya sebesar 21,27% dipengaruhi oleh faktor lainnya. Penambahan serat kawat bendrat yang terbaik sebesar 1,93% yang menghasilkan kuat tekan optimum sebesar 20,399 MPa. Sedangkan penelitian lain mengatakan volume serat antara 0,5% sampai dengan 1% merupakan volume efektif pada nilai kuat tarik dan lebar retak beton normal pada penggunaan serat baja (Carnovale, 2013 dalam Sirait, Wijatmiko, dan Firdausy, 2017) Bila dilihat dari analisis varians, nilai p-value (*Significance F*) didapat sebesar 0,06195 lebih besar dibandingkan dengan α sebesar 0,05. Atau dilihat dari F_{hitung} sebesar 4,62596 lebih kecil dari F_{tabel} sebesar 5,19 artinya tidak ada pengaruh yang nyata antara penambahan serat kawat bendrat terhadap kuat tekan beton serat yang dihasilkan. Penelitian yang sejenis namun serat yang digunakan menggunakan serat dari pelepah kelapa sawit mengatakan bahwa penambahan serat tersebut tidak berpengaruh nyata dalam peningkatan kuat tekan beton serat pelepah kelapa sawit. Beton serat yang dihasilkan sebesar 14,33 MPa dengan penambahan serat sebesar 1%. (Saputra, Liliana, dan Frieda, 2021)

KESIMPULAN

Penambahan kawat bendrat pada campuran beton serat menggunakan agregat kasar buatan dari tanah liat Tangkiling kota Palangka Raya, dapat disimpulkan :

- 1) Berdasarkan sifat fisik agregat kasar buatan yang dihasilkan tidak dapat dikategorikan sebagai agregat kasar yang bersifat ringan yang digunakan untuk campuran beton ringan structural
- 2) Penambahan kawat bendrat menyebabkan perilaku beton serat yang dihasilkan berperilaku sebagai beton normal bila ditinjau dari berat volume beton.
- 3) Konsentrasi kawat bendrat yang terbaik sebesar 1,93% menghasilkan kuat tekan beton serat sebesar 20,399 MPa.
- 4) Penambahan kawat bendrat pada campuran beton serat dengan menggunakan agregat kasar buatan tidak ada berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. 2002. **Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural**. SNI 03-2461-2002.

- Liliana, Triwulan, dan Januarti Jaya Ekaputri. 2023. "Performance of Artificial Coarse Aggregates from a Mixture of Hampangen Clay and Palm Shell Charcoal by Geopolymerization Method". **Civil Engineering and Architecture, Vol. 11, No. 5A**, pp. 3142 - 3153, 2023. DOI: 10.13189/cea.2023.110824.
- Riyawan, Eko., dan Monita Olivia. 2013. "Pengaruh Gradasi Agregat Kasar Lempung Bakar pada Beton Ringan". **Jurnal Teknobiologi, IV(2)** . ISSN : 2087 – 5428 : 109 – 112
- Safi, Fahrudin., dan Rofikatul Kharimah. 2014."Alternatif Pemakaian Agregat Lempung Bakar Pada Beton Ringan Non Pasir". **Media Teknik Sipil** Volume 12, Nomor 2 : 119-129.
- Saputra, Haryadi., Liliana Sahay, dan Frieda. 2021. Pengaruh Variasi Kadar Serat Dan Rasio Panjang Terhadap Diameter (L/D) Serat Pelepah Sawit Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Serat. **Jurnal Kacapuri Jurnal Keilmuan Teknik Sipil** Volume 4 Nomor 2 Edisi Desember 2021.
- Sebayang, S., Ratna Widyawati dan Muhammad Habibie B. 2012. 'Pengaruh Abu Terbang Terhadap Sifat-Sifat Mekanik Beton Alir Ringan ALWA ." **Jurnal Teknik Sipil UBL**, Volume 3 Nomor 1
- Sirait, Christin Natalia., Indradi Wijatmiko, dan Ananda Insan Firdausy. 2017. Pengaruh Variasi Panjang Serat Kawat Locket Lapis PVC Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah Dan Modulus Elastisitas Beton Serat (*Fiber Concrete*). **Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya**.
- Subaer. 2012. **Pengantar Fisika Geopolimer**. Program Penulisan Buku Teks Perguruan Tinggi. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. ISBN :978-979-1082-79-2.
- Sulistiyowati, N.A., dan Johnny Rakhman. 2015. "Karakteristik Aplikasi Bering (Beton Ringan) ALWA Pada Komponen Panel Risha (Rumah Instan Sederhana Sehat)." **Jurnal Perumahan** Vol. 10 No. 1: 11-18
- Trisnoyuwono, Diarto. 2015. " Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Sifat Workability Dan Sifat Fisik - Mekanik Beton Non Pasir Dengan Agregat ALWA Asal Cilacap.' **Jurnal Rekayasa Sipil**. Volume 9, No.1. ISSN 1978 - 5658
- Widyawati, R. 2011. "Studi Kuat Tekan Beton Ringan Dengan Metoda Rancang-Campur Dreux-Corrise." **Jurnal Rekayasa** Vol. 15 No. 1 : 39-50.