

PENGARUH SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) PADA MATERIAL BETON RINGAN (CONCRETE FOAM)

Andreas G. Siregar¹, Bustami Syam², Indra³, M. Sabri⁴, Ikswansyah Isranuri⁵, Syahrul Abda⁶

Email: andreasgorga@yahoo.co.id

^{1,2,3,4,5,6}Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Jln.Almamater Kampus USU
Medan 20155 Medan Indonesia

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Selama ini tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang merupakan hasil dari pengolahan kelapa sawit hanya digunakan sebagai pupuk. Pada penelitian ini dilakukan riset yang akan menambah nilai ekonomis dari tandan kosong kelapa sawit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan proses pembuatan yang sesuai dengan kemampuan beton, mendapatkan komposisi material yang sesuai dengan kemampuan beton, serta mendapatkan tegangan dan regangan struktur beton ringan yang diperkuat serat TKKS akibat beban statik. Pengujian yang dilakukan terhadap benda uji yang telah dihasilkan adalah pengujian tarik belah. Dari hasil penelitian ini didapat kesimpulan bahwa perbandingan antara tinggi cetakan dengan volume bahan campuran material beton ringan (Concrete foam) adalah 1:0,75. Komposisi material dari beton ringan (Concrete foam) yang terbaik adalah komposisi K3: semen 23,7%; pasir 47,4%; air 14,7%; blowing agent 12,9%; serat TKKS 1,3%. Hasil dari pengujian tarik belah diperoleh nilai tegangan adalah 275.324,9 Pa, regangannya adalah 0,11 dan modulus elastisitasnya adalah 2,4 MPa.

Kata kunci: beton ringan, concrete foam, komposit, polymeric foam.

ABSTRACT

The drying process is one of important activities on agricultural and plantation products to increase quality by deaden water content partly till limit of microbes can't grow. Therefore, in this final project designed a drying chamber measuring 0.5 m x 0.5 m x 0.7 m using flat plate solar collector sized 2m x 0.5m and used cassava as sample. Design of this drying tool aim to dry cassava from the initial moisture content of $\pm 60\%$ to $>10\%$. Isolated solar collector with rockwool, sterof foam and wood are used to isolate the solar collector to minimize the heat loss. Medium dryer is hot air which produced through collector which caught the solar radiation and flowed naturally to drying chamber. Furthermore it will be used to dry the cassava. The research used experimental method, that is, observe and quantify directly the drying tool. Then it will be processing and evaluate the data. From research was conducted at 8 am until 5 pm in sunny weather, the result show that the average radiation heat which can be absorbed by the collector is 372.21 watt, the average heat loss is 161.32 watt and the average efficiency from the solar collector during test is 40.13%.

Keywords: dryer, solar collectors, heat transfer

1

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu produsen kelapa sawit (crude palm oil/CPO) terbesar di dunia, hal ini dibuktikan dengan data Ditjen Perkebunan Kementerian Pertanian (Kementan) yang menyebutkan luas areal lahan kelapa sawit di Indonesia pada 2011 mencapai 8.908.000 hektare, sementara di 2012 angka sementara mencapai 9.271.000 hektare, padahal target renstra Kementan hanya 8.557.000 hektare. Itu berarti, luas lahan sawit Indonesia saat ini telah meningkat dibanding 2011 dan melebihi target Renstra Kementan [1].

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan sisa produksi dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) yang jumlahnya sangat banyak, yaitu 1,9 juta ton berat kering atau setara dengan 4 juta ton berat basah pertahun. PT Perkebunan Nusantara II (PTPN II) menghasilkan limbah TKKS sebanyak 1350 ton pertahun [2]. Pada umumnya material ini dimanfaatkan sebagai pupuk organik dilahan perkebunan dengan cara dibakar atau dibuang kembali ke lahan tersebut dan dibiarkan mengalami proses fermentasi secara alami [3].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Beton adalah material yang sangat populer digunakan didalam dunia konstruksi. Hal ini dikarenakan sifat beton yang mudah dibentuk dan tidak akan berubah bentuk apabila telah mencapai waktu tertentu. Sampai saat ini beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur. Beton yang sangat sering ditemukan dipasaran adalah beton yang komposisi materialnya terdiri dari semen, air dan agregat atau dengan menambah zat aditif. Beton yang ada dipasaran lebih berat jika dibandingkan dengan beton ringan. Semakin berat beton tentu biaya pengirimannya akan semakin besar sehingga harga jual beton akan semakin tinggi.

Massa jenis beton normal : $2,2 \text{ kg/m}^3 - 2,5 \text{ kg/m}^3$

Massa jenis beton ringan : $< 1,9 \text{ kg/m}^3$

2.2 Beton

Beton adalah suatu komposit dari beberapa bahan batu – batuan yang direkatkan oleh bahan ikat. Beton dibentuk dari agregat campuran (halus dan kasar) dan ditambah dengan pasta semen. Susunan beton secara umum, yaitu: 7-15 % PC, 16-21 % air, 25-30% pasir, dan 31-50% kerikil. Kekuatan beton terletak pada perbandingan jumlah semen dan air, rasio perbandingan air terhadap semen (W/C ratio) yang semakin kecil akan menambah kekuatan (compressive strength) beton.

Daya tahan yang tinggi terhadap api dan cuaca merupakan bukti dari kelebihan beton. Beton normal diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu beton normal dan beton ringan. Beton normal adalah beton yang memiliki densitas $2,2 \text{ kg/m}^3 - 2,5 \text{ kg/m}^3$ beton ringan adalah beton yang memiliki densitas kurang dari $1,9 \text{ kg/m}^3$. Beton ringan juga terbagi dalam dua jenis, yaitu :

1. Beton Ringan Berpori

Beton ringan berpori adalah beton yang dibuat agar strukturnya terdapat banyak pori. Pori – pori yang timbul adalah akibat dari reaksi hidratisasi dimana semen akan menimbulkan panas (reaksi eksotermal) sehingga menimbulkan gelembung – gelembung gas H_2O dan CO_2 yang nantinya menimbulkan jejak pori dalam beton yang sudah mengeras. Semakin banyak gas yang dihasilkan akan semakin banyak pori yang terbentuk dan beton akan semakin ringan.

2. Beton Ringan Tidak Berpori

Pada beton jenis tidak memiliki pori melainkan digantikan dengan agregat ringan yang ditambahkan pada saat pembuatannya. Agregat yang sering digunakan adalah batu apung, serat sintesis dan alami, slag baja, perlite dan lain – lain.

2.3 Polimer

Dalam dunia industri konstruksi polimer merupakan bahan yang sangat bermanfaat. Polimer sebagai bahan konstruksi bangunan dapat digunakan baik berdiri sendiri, misalnya sebagai perekat, pelapis, cat, dan sebagai glazur maupun bergabung dengan bahan lain membentuk komposit. Polimer adalah rangkaian atom yang panjang dan berulang-ulang dan dihasilkan daripada sambungan beberapa molekul lain yang dinamakan monomer [10]. Polimer terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu :

1. Polimer termoplastik

Polimer jenis ini bila dipanaskan berubah sifat menjadi plastik dan mudah mengalir sehingga dapat dibentuk dengan cara dicetak.

2. Polimer termosetting

Polimer termosetting merupakan polimer yang mengeras apabila dipanaskan. Polimer jenis ini cocok digunakan untuk pelapisan (coating) Contoh dari jenis polimer ini antara lain *vulcanized rubber*, *duroplast*, *melamine*, *poliester resin*, dan *epoxy resin*.

3. Elastomer

Elastomer berasal dari bentuk *elastic* (kemampuan suatu material untuk kembali ke bentuk awalnya apabila beban yang diberikan padanya dihilangkan). Contoh dari polimer ini adalah *natural rubber, polyisoprene, butyl rubber, dan nitrile rubber*.

2.4 Material Komposit

Material komposit adalah material yang terbuat dari dua bahan atau lebih yang tetap terpisah dan berbeda dalam level makroskopik selagi membentuk komponen tunggal [4]. Secara umum material komposit tersusun dari dua komponen utama, yaitu matrik (bahan pengikat) dan filler (bahan pengisi). Filler adalah bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk. Matriks biasanya memiliki kerapatan/densitas, kekakuan dan kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dengan serat. Ada tiga faktor yang menentukan sifat-sifat dari material komposit, yaitu:

1. Material pembentuk. Sifat-sifat intrinsik material pembentuk memegang peranan yang sangat penting terhadap pengaruh sifat komposisinya.
2. Susunan struktural komponen. Dimana bentuk serta orientasi dan ukuran tiap-tiap komponen penyusun struktur dan distribusinya merupakan faktor penting yang memberi kontribusi dalam penampilan komposit secara keseluruhan.
3. Interaksi antar komponen. Karena komposit merupakan campuran atau kombinasi komponen-komponen yang berbeda baik dalam hal bahannya maupun bentuknya, maka sifat kombinasi yang diperoleh pasti akan berbeda.

2.4.1 Material *Concrete foam*

Material komposit *concrete foam* terdiri dari semen, pasir, air, *blowing agent*, dan serat TKKS. *Blowing Agent* yang digunakan dalam penelitian ini adalah: *Polyol* dan *Isocyanate*.

1. Semen

Material semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat-agregat menjadi suatu massa yang padat yang mempunyai kekuatan yang cukup.

2. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air digunakan untuk membuat adukan menjadi bubur kental dan juga sebagai bahan untuk menimbulkan reaksi pada bahan lain untuk dapat mengeras. Air yang dapat digunakan dalam proses pencampuran beton adalah sebagai berikut:

- a. Air yang digunakan pada campuran beton haruslah bersih dan bebas dari bahan – bahan yang merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan – bahan lainnya yang merugikan terhadap beton.
- b. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.

3. Pasir

Pasir merupakan jenis agregat alam. Agregat utamanya digunakan untuk mengisi bagian terbesar dari beton yang mana mengisi 75 % bagian dari beton.

4. *Blowing Agent*

Blowing agent adalah material yang digunakan untuk menghasilkan struktur berongga pada komposit yang dibentuk. Jenis *blowing agent* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *polyurethane*. *Polyurethane* adalah suatu jenis polimer yang mengandung jaringan *urethane* yaitu -NH-CO-O. *Polyurethane* dibentuk oleh reaksi senyawa isosianat yang bereaksi dengan senyawa yang memiliki hydrogen aktif seperti diol (*polyol*).

5. Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Penguat komposit yang digunakan ialah dari bahan TKKS yang kemudian dibentuk menjadi ukuran halus dan dicampurkan dalam matriks. Ukuran serat TKKS yang belum dicacah adalah 13-18cm dan serat ini dihaluskan lagi hingga mencapai ukuran 0,1-0,8mm. Bahan-bahan penyusun TKKS dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Bahan penyusun tandan kosong kelapa sawit

No	Bahan-Bahan Kandungan	Komposisi (%)
1.	Uap air	5.40
2.	Protein	3.00
3.	Serat	35.00
4.	Minyak	3.00
5.	Kelarutan air	16.20
6.	Kelarutan unsur alkali 1 %	29.30
7.	Debu	5.00
8.	K	1,71
9.	Ca	0,14
10.	Mg	0,12
11.	P	0,06
12.	Mn, Zn, Cu, Fe	1,07
TOTAL		100,00

2.5 Densitas

Densitas merupakan ukuran kepadatan dari suatu material atau sering didefinisikan sebagai perbandingan antara massa (m) dengan volume (v). Untuk pengukuran densitas dan penyerapan air beton digunakan metode Archimedeas. Untuk pengukuran densitas beton digunakan metode Archimedes. Rumus untuk menghitung besarnya densitas adalah sebagai berikut: $\rho = m/V$ atau $m = \rho \times V$ atau $V = m/\rho$

Keterangan :

ρ = Massa jenis zat (kg/m^3 atau g/cm^3)

m = Massa benda (kg atau g)

V = Volume benda (m^3 atau cm^3)

2.6 Teori Elastisitas

Elastisitas adalah pokok bahasan yang sangat menarik dan bagus yang berhubungan dengan stress, strain dan distribusi perpindahan pada sebuah benda padat yang elastis yang disebabkan oleh gaya luar.

1. Tegangan

Tegangan adalah besarnya gaya-gaya yang diterima per satuan luas permukaan dari suatu benda.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana:

σ = tegangan normal rata-rata pada sembarang titik di luas permukaan (Pa)

F = resultan gaya normal (N)

A = Luas Permukaan (m^2)

Pada penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik tidak langsung atau *Brazillian test*. Tegangan tarik tidak langsung dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{2F}{\pi \ell D}$$

Dimana:

σ = Kuat tarik beton (MPa)

F = Gaya (N)

ℓ = Panjang benda uji (m)

D = Diameter benda uji (m)

2. Regangan

Regangan normal adalah pemanjangan atau penyusutan dari sebuah bagian garis per satuan panjang.

$$\varepsilon = \frac{\Delta s' - \Delta s}{\Delta s}$$

Dimana :

ε = Regangan Normal

$\Delta s' - \Delta s$ = Perubahan panjang (m)

Δs = Panjang mula-mula (m)

3. Hukum Hooke

Hubungan linear antara tegangan dan regangan umumnya disebut juga sebagai hukum Hooke. Besarnya regangan yang terdapat pada suatu bidang segiempat yang mendapatkan tegangan normal σ_x yang terdistribusikan secara merata pada kedua ujungnya seperti pada pengujian tarik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E}$$

Dimana:

E = Modulus Elastisitas (Pa)

σ_x = Tegangan normal (Pa)

ε_x = Regangan

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Pembuatan Spesimen

3.1.1 Persiapan Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan mulai dari proses pembuatan serat sampai pada proses pembuatan spesimen uji adalah sebagai berikut.

3.1.1.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan selama proses pembuatan spesimen adalah sebagai berikut:

1. Gunting
Gunting digunakan untuk memperkecil ukuran serat TKKS.
2. Ayakan
Ayakan digunakan untuk menyaring pasir dan serat TKKS. Pasir dan serat TKKS yang digunakan adalah yang telah melewati tahap pengayakan.
3. Ember plastik
Ember plastik berfungsi sebagai wadah perendaman TKKS pada saat mengilangkan asam lemak dengan menggunakan air dan NaOH.
4. Cetakan
Cetakan terbuat dari besi carbon. Cetakan yang dibuat berbentuk silinder dengan ukuran diameter 53 mm dan tinggi 150 mm.
5. Timbangan
Timbangan berfungsi untuk mengukur berat bahan penyusun yang akan digunakan sebagai campuran pembuat beton ringan dan perubahan berat dari spesimen uji beton ringan selama 28 hari.
6. Sendok Plastik
Sendok plastik berfungsi sebagai pengaduk bahan campuran dari beton ringan. Sendok plastik dipilih untuk sekali pemakaian saja untuk mempercepat proses pengerjaan tanpa perlu harus dibersihkan.
7. Sekop
Sekop berfungsi untuk mengeruk pasir.
8. Gelas ukur
Gelas ukur berfungsi untuk menghitung volume dari spesimen uji beton ringan.
9. Gelas Plastik
Gelas plastik berfungsi untuk wadah bahan – bahan campuran yang akan ditimbang dan wadah pencampuran seluruh bahan – bahan campuran dari pembuatan beton ringan.
10. Oli
Oli berfungsi sebagai bahan pelapis antara cetakan dengan campuran dari bahan – bahan pembuatan beton ringan dimana juga untuk mempermudah mengeluarkan spesimen uji beton ringan dari cetakan.

11. Mesin Penghalus Serat

Mesin penghalus serat digunakan untuk menghaluskan serat TKKS menjadi berukuran 0,1 – 0,8 mm.

12. Alat Pengering

Alat Pengering berfungsi untuk pengering dari serat TKKS yang sudah direndam dan spesimen uji beton ringan.

13. Sarung Tangan Karet

Sarung tangan plastik berfungsi sebagai pelindung tangan.

3.1.1.2 Bahan

Bahan – bahan yang digunakan dalam pembuatan spesimen beton ringan (concrete foam) adalah sebagai berikut:

1. Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

Serat tandan kosong kelapa sawit berfungsi sebagai penguat matriks komposit *concrete foam* diperoleh dari hasil pengolahan tandan kosong kelapa sawit yang diolah menjadi serat berdasarkan proses – proses tertentu.

2. Semen

Semen adalah material bangunan yang tidak tergantikan penggunaannya dalam dunia konstruksi. Semen yang umumnya digunakan adalah semen portland. Material semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat-agregat menjadi suatu massa yang padat yang mempunyai kekuatan yang cukup.

3. Air

Air adalah bahan yang sangat penting dan sangat murah dari seluruh bahan campuran pembuatan beton. Air berfungsi sebagai matriks pengikat antara semen dan agregat.

4. Pasir

Pasir merupakan jenis agregat alam. Agregat utamanya digunakan untuk mengisi bagian terbesar dari beton yang mana mengisi 75 % bagian dari beton.

5. NaOH

NaOH berfungsi untuk menghilangkan asam lemak yang terikat pada TKKS sebelum diproses menjadi serat.

6. *Polyurethane*

Polyurethane berfungsi sebagai bahan penghasil foam atau sering disebut juga sebagai *blowing agent*. *Polyurethane* adalah campuran dari dua larutan *polyol* dan *isocyanate*.

3.3 Proses Pembuatan Serat TKKS

Proses pembuatan serat TKKS dikerjakan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pembersihan TKKS dengan menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran besar yang menempel, seperti pasir, tanah, dll,
2. TKKS direndam dalam air dan larutan NaOH 1M 1% dengan perbandingan selama lebih kurang 1 hari untuk mengikat lemak yang masih tersisa pada permukaannya.
3. TKKS dikeringkan dengan menggunakan sebuah alat pengering. Tujuan proses ini ialah untuk menurunkan kadar air yang terkandung sehingga kondisi TKKS cukup kering untuk diolah menjadi serat.
4. TKKS dicacah menggunakan gunting serat sehingga menjadi serat yang berukuran 1 cm – 5 cm.
5. Selanjutnya serat hasil pencacahan TKKS tersebut dihaluskan dengan menggunakan mesin penggiling hingga menjadi serat halus dengan ukuran berkisar 0,1 mm s.d. 0,8 mm.

3.4 Metode Pembuatan Concrete Foam

Pada penelitian metode yang dipakai untuk pembuatan spesimen adalah dengan dituang. Spesimen yang akan dibuat dalam bentuk silinder seperti pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Spesimen silinder

Spesifikasi dari spesimen yang akan dibuat oleh peneliti adalah memiliki tinggi 75 mm dan diameternya 53 mm. Adapun proses pembuatan spesimen dijelaskan sebagai berikut:

1. Semua alat dan bahan dipersiapkan
2. Semua bahan ditimbang menurut takarannya masing – masing. Perbandingan komposisi yang digunakan untuk bahan mortarnya sendiri adalah 1 : 2 : 0,5. Banyaknya material yang digunakan dari tiap komposisi dapat dilihat pada tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.4 Komposisi material beton ringan yang diperkuat serat TKKS

No.	Semen (gr)	Pasir (gr)	Air (gr)	Polyol (gr)	Isocyanate (gr)	Serat TKKS (gr)
1.	129	258	100	40	30	17
2.	129	258	80	40	30	10
3.	129	258	80	30	40	7

3. Permukaan dalam cetakan diolesi dengan oli. Hal ini bertujuan agar mempermudah pada saat pembongkaran.
4. Pasir dan semen terlebih dahulu dicampur hingga merata.
5. Pasir dan semen kemudian dicampurkan dengan air hingga seluruh bagian tercampur dengan air.
6. Setelah pasta tercampur (Pasir, semen, dan air) merata, maka dicampurkan dengan serat TKKS.
7. Kemudian *polyol* dicampurkan.
8. Kemudian *Isocyanate* dicampurkan. Campuran tersebut diaduk selama ± 10 detik hingga terjadi perubahan suhu.
9. Pasta dapat dituangkan pada cetakan.
10. Cetakan yang sudah berisi campuran dari bahan – bahan tersebut dibiarkan selama 24 jam. Kemudian cetakan dibongkar.
11. Spesimen uji yang telah jadi dikeringkan selama 28 hari dan ditimbang perubahan massa yang terjadi setiap harinya.

3.5 Prosedur Pengujian Tarik Belah

Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji uji servo pulser yang terdapat di Laboratorium Impak dan Keretakan Magister Teknik Mesin-USU. Berikut ini akan dijelaskan prosedur pengujian tarik belah dengan menggunakan alat uji servo pulser.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.1 Pembuatan Material Komposit *Concrete foam*

Pembuatan material komposit *concrete foam* dilakukan dengan metode penuangan secara langsung dengan cetakan I yang berukuran diameter 26 mm dan panjang 10 mm. Pada cetakan I material yang dihasilkan tidak maksimal akibat dari pengaruh proses pengelembungan *polymeric foam* yang tidak efektif sehingga campuran matriks dan serat melimpah dan keluar dari cetakan, yang mengakibatkan munculnya kekosongan yang sangat besar di dalam material. Seperti terlihat pada Gambar 4.1 di bawah ini. Cetakan I menggunakan 2 jenis yaitu cetakan I dengan menggunakan penutup dan tanpa penutup.



Gambar 4.1 benda uji dengan cetakan I

Pada cetakan II dibuat dengan ukuran diameter 53 mm dan panjang 150 mm dengan asumsi pada saat mencetak volume isi cetakan yang ideal adalah $\frac{3}{4}$ dari ketinggian cetakan, hal ini untuk memudahkan terjadinya pengembangan atau penggelembungan gas-gas. Setelah terjadi penggelembungan gas, material uji akan mengeras. Proses pengerasan yang terjadi dengan menggunakan alat pengering yang dibuat dari 10 buah lampu pijar 80 W. Pada dinding cetakan dilapisi dengan wax yang bertujuan untuk mempermudah saat melepaskan benda dari cetakan.

4.1.2 Komposisi Material

Nilai perbandingan material penyusun komposisi *concrete foam* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.1. Pada penelitian ini persentase *blowing agent* yang digunakan berkisar antara 12,1% - 13,0%.

Tabel 4.1 Komposisi Material

Komposisi	Semen (%)	Pasir (%)	Air (%)	Blowing Agent (%)	Serat (%)
K1	22,5	44,9	17,4	12,2	3
K2	23,6	47,2	14,6	12,8	1,8
K3	23,7	47,4	14,7	12,9	1,3

Pada tabel 4.2 dapat dilihat besarnya massa jenis (ρ) dari ketiga komposisi yang telah dibuat. Dari hasil penghitungan massa jenis dapat dilihat bahwa benda uji K1 memiliki massa jenis paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat TKKS pada komposisi akan menurunkan nilai massa jenis material *concrete foam* tersebut.

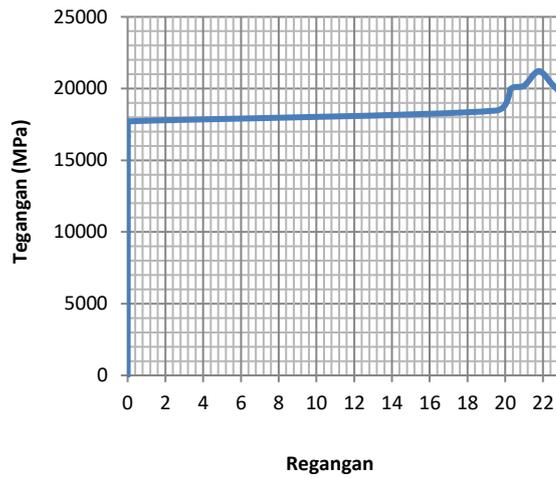
Tabel 4.2 Massa jenis (ρ) tiap komposisi

No.	Komposisi	Massa (kg)	Volume (m ³)	Massa Jenis (kg/m ³)
1.	K1	36×10^{-3}	35×10^{-6}	1029
2.	K2	66×10^{-3}	5×10^{-5}	1320
3.	K3	47×10^{-3}	3×10^{-5}	1567

4.4 Pengujian Tarik Belah

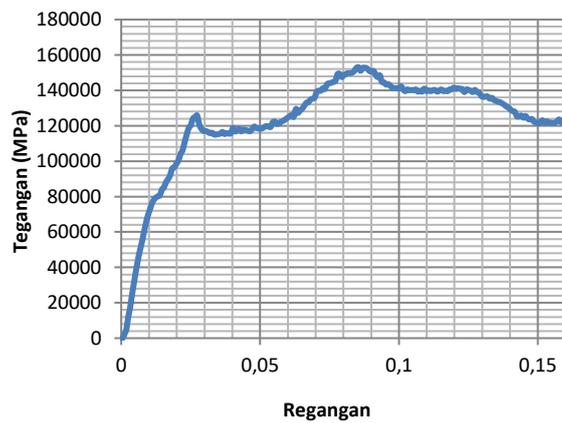
Pengujian yang dilakukan hanya sekali untuk setiap komposisi. Pengujian yang dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Hasil dari pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat sebagai berikut.

Pada grafik pengujian Gambar 4.2 di bawah ini menunjukkan bahwa material komposit *concrete foam* dengan komposisi satu mampu menahan tegangan maksimum hingga 21.215,08 Pa. Besarnya nilai modulus elastisitasnya sendiri sebesar 973,89 Pa yang diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.6). Nilai regangan yang diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.3) adalah 21,78.



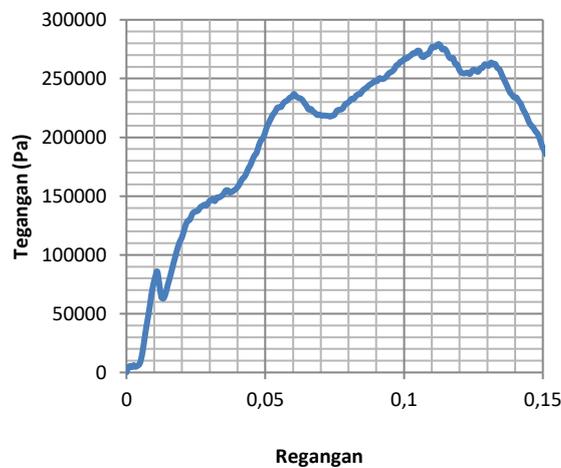
Gambar 4.2 Grafik tegangan terhadap regangan K1

Untuk pengujian tarik belah pada material komposit yang menggunakan komposisi dua adalah seperti pada Gambar 4.3. Pada Gambar 4.3 di bawah terlihat jelas bahwa material komposit *concrete foam* dengan komposisi empat mampu menahan tegangan maksimumnya adalah 153.028,1 Pa. Nilai modulus elastisitasnya adalah sebesar 1,7 MPa dan regangan sebesar 0,08.



Gambar 4.3 Grafik tegangan terhadap regangan K2

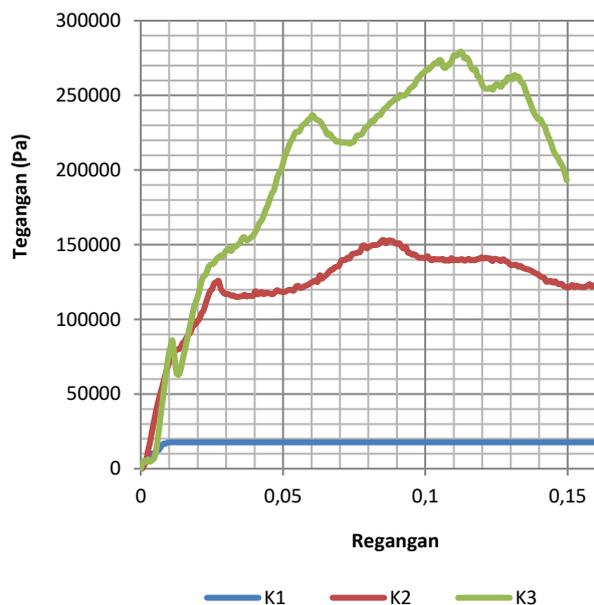
Untuk hasil pengujian tarik belah pada material komposit *concrete foam* dengan komposisi tiga dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik tegangan terhadap regangan K3

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa material komposit *concrete foam* dengan komposisi 3 mampu menahan tegangan maksimum sebesar 275.324,9 Pa. Nilai regangan dari benda uji dengan komposisi 4 adalah 0,11 dan modulus elastisitasnya sebesar 2,4 MPa seperti terlihat pada Gambar 4.4.

Dari data hasil pengujian uji tarik belah yang telah dilakukan dengan tiga komposisi yang disebutkan di atas maka dapat kita lihat perbandingan dari tiap komposisinya. Grafik yang menunjukkan perbandingan kekuatan dari ketiga komposisi dapat dilihat pada Gambar 4.5. Pada grafik Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa benda uji dengan komposisi K3 memiliki kekuatan yang paling besar.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan tegangan terhadap regangan seluruh komposisi

Tabel 4.3 Tabel hasil pengujian tarik belah

No	Komposisi	Regangan	Tegangan (Pa)	Modulus (Pa)	Elastisitas
1.	K3	0,11	275.324,9	$2,4 \times 10^6$	
2.	K2	0,08	153.028,1	$1,7 \times 10^6$	
3.	K1	21,78	21.215,08	973,89	

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil dan analisa penelitian yang telah dilakukan dan dilaporkan, maka kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah

1. Proses pembuatan

Pembuatan material komposit *concrete matrix foam* berhasil dilakukan dengan baik dengan cetakan yang memiliki perbandingan antara tinggi cetakan dengan volume bahan campuran material komposit adalah 1:0,75.

2. Komposisi

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa benda uji dengan komposisi K1 memiliki massa jenis terendah dibandingkan dengan benda uji dengan komposisi K2 dan K3, yaitu sebesar 1029 kg/m^3 . Benda uji dengan komposisi K1 menggunakan campuran serat sebanyak 17 gr yang menunjukkan bahwa penambahan serat TKKS pada komposisi campuran beton ringan akan menurunkan massa jenisnya.

3. Nilai tegangan dan regangan

Hasil dari pengujian diperoleh bahwa benda uji dengan komposisi K3 memiliki besar tegangan tertinggi, yaitu 0,27 MPa.

5.2 Saran

1. Dari hasil eksperimental bahwa pada proses pembuatan material komposit *concrete foam*, pengadukan sebaiknya dilakukan dengan menggunakan mixer. Hal ini akan menambah homogen hasil pengadukan. Dengan demikian hasil akan lebih baik dari proses pengadukan secara manual.
2. Ruang lingkup pada penelitian ini masih bisa dikembangkan dengan menggunakan pengujian pada beton berbentuk kubus dengan persentase serat yang lebih bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Goggle, (online), *Luas Lahan Kelapa Sawit Indonesia 9,27 Juta Hektar*”, <http://duniaindustri.com/berita-agroindustri-indonesia/1214-luas-lahan-sawit-indonesia-927-juta-hektare.html> , jam 9:35 wib.
- [2]. Muftil Badri M, *Respon Polymeric Foam Yang Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Akibat Beban Tekan Statik dan Impak (Simulasi Numerik)*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara, 2011.
- [3]. Subianto, Bambang, dkk., *Utilization of Fruit Bunch Waste from Oil and Palm Industry for Particleboard Using Phenol Formaldehyde Adhesive*, Warta PPKS: 1-4
- [4] Sperling, L.H. 1986. *Introduction to Physical Polymer Science*. John Wiley & Sons, Inc. New York.