

Analisa Kuat Tarik Mekanik Serat Tunggal Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Mechanical Tensile Strength Analysis of Single Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) Fiber

Wahyu Fitriadi¹, Syurkarni Ali ^{*2}, Pribadyo³, Herdi Susanto⁴, Zakir Husin⁵, Azhar⁶ Muzakkir⁷

^{1,2,3,4,5,6}Jurusan Teknik Mesin, F. TEKNIK Universitas Teuku Umar, Meulaboh

⁷Jurusan Ilmu Komunikasi, FISIP Universitas Teuku Umar, Meulaboh

Corresponden author: * syurkarni@utu.ac.id

Abstrak

Limbah Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) di Indonesia dewasa ini sangat melimpah, sebagai limbah hasil pertanian dari industri pengolahan sawit, material ini sering dibuang meskipun serat dari TKKS ini masih dapat dimanfaatkan. Penelitian ini menganalisa kekuatan Tarik mekanik serat tunggal yang diekstrak dari empat jenis bagian serat yang berbeda, yaitu bagian Serat Duri Segar, Serat Tandan Segar, Serat Duri Hasil Rebusan dan Serat Tandan Hasil Rebusan yang selanjutnya serat tersebut diperlakukan perendaman menggunakan larutan Natrium Hidroksida (NaOH) sebanyak 10 %, untuk meningkatkan sifat mekanik dengan menghilangkan lignin dan komponen non selulosa lainnya. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji Universal Testing Machine (UTM) untuk mendapatkan Tegangan, Regangan Dan Modulus Elastisitas dari setiap jenis serat, hasil menunjukkan bahwa jenis serat dan perlakuan secara signifikan mempengaruhi kinerja mekanik. Serat Duri Segar kekuatan rata-rata tertinggi sebesar 77,44 N/mm², selanjutnya Serat Tandan Segar 58,38N/mm², Nilai ini menunjukkan bahwa perlakuan kimia dan proses serta mempengaruhi perilaku mekanik pengujian tarik, penelitian ini menunjukkan potensi serat sebagai alternatif berkelanjutan pengganti serta sintetis yang digunakan dalam komposit serat alami. Dengan perlakuan yang tepat dapat diaplikasikan di berbagai industri, termasuk otomotif, konstruksi dan pengembangan material ramah lingkungan.

Kata kunci—tandan kosong kelapa sawit, serat alam, kekuatan Tarik, pengujian Tarik mekanik, material komposit

Abstract

Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB), known as in Indonesia, are one of the most abundant agricultural waste materials generated by the palm oil industry. Despite their high fiber content, these materials are often underutilized and disposed of through incineration or used as mulch. This study aims to analyze the mechanical tensile strength of single fibers extracted from four different types of : Fresh Thorns Fiber, Fresh Bunch Fiber, Boiled Thorns Fiber, and Boiled Bunch Fiber. The fibers were treated with a 10% sodium hydroxide (NaOH) solution to improve their mechanical properties by removing lignin and other non-cellulose components. Tensile tests were conducted using a Universal Testing Machine (UTM) to determine the stress, strain, and elastic modulus of each fiber type. The results showed that fiber type and treatment significantly influenced mechanical performance. Fresh Thorns Fiber exhibited the highest average tensile strength at 77.44 N/mm², followed by Fresh Bunch Fiber at 58.36 N/mm². These values indicate that chemical treatment and fiber origin affect tensile behavior. This study demonstrates the potential of fibers as a sustainable alternative to synthetic fibers for use in natural fiber composites. With proper processing, these fibers can be applied in various industries, including automotive, construction, and environmentally friendly materials development.

Keywords— Oil Palm Empty Fruit Bunch, Natural Fiber, Tensile Strength, Universal Testing Machine, Composite Materials

1. PENDAHULUAN

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan salah satu sumber serat alam yang melimpah di Indonesia, dihasilkan sebagai limbah padat oleh industri perkebunan kelapa sawit. TKKS memiliki kandungan serat yang cukup tinggi. Namun, pemanfaatannya masih terbatas, di mana biasanya limbah ini hanya dibakar dalam insinerator, dan abu yang dihasilkan digunakan sebagai pengganti pupuk kalium atau langsung dimanfaatkan sebagai mulsa pada perkebunan kelapa sawit[1,2,3]. Serat TKKS dapat digunakan sebagai alternatif penguat material komposit.. Serat TKKS diperoleh dari pengolahan pabrik kelapa sawit dengan proses perebusan tandan buah segar kelapa sawit dengan tekanan 2,5 sampai 3atm pada suhu 130 C selama 50 – 60 menit. TKKS yang sudah diurai kemudian dipilih dan diukur dengan panjang 6 cm dan diameter 0,2 mm. Kemudian diberi alkali NaOH 5%. pada perlakuan alkali NaOH 5% diberikan perlakuan selama 0 jam (tanpa perlakuan), 2 jam, 4 jam, 6 jam. Hasil dari penelitian didapatkan bahwa kuat tarik serat dipengaruhi oleh komposisi kimia pada serat, semakin tinggi kuat tarik maka kadar selulosa semakin tinggi. Kuat tarik pada serat dengan perlakuan alkali 2 jam sebesar 0,03528 Mpa, regangan 0,3996%, modulus elastisitas 0,088288 MPa, jika dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan alkali sebesar 0,018946 MPa kuat tarik, regangan 0,2056%, modulus elastisitas 0,092149 MPa. Hal ini disebabkan kadar selulosa serat dengan perlakuan alkali 2 jam meningkat sebesar 58,2808%, jika dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan alkali sebesar 13,2848% [4,5]. Efek perlakuan alkali terhadap kekuatan serat kelapa sawit dengan matrik berupa karet alam. Tiga perlakuan alkali diterapkan yaitu konsentrasi NaOH 5%, 10%, dan 15%. Komposit dengat serat yang dilakukan perlakuan alkali NaOH5% menghasilkan kekuatan tarik 9,95 MPa, sedangkan pada perlakuan alkali 10% NaOH dan 15% NaOH menghasilkan kekuatan tarik 9,61 MP adan 8,865 MPa. Jadi perlakuan alkali NaOH 5% menghasilkan kekuatan tarik terbaik.[6]. sifat tarik komposit serat buah sawit acak bermatrik polyester diperoleh hasil kekuatan tarik tertinggi komposit yang diperkuat serat perlakuan selama 2 jam. Besarnya kekuatan tarik pada Wf (fraksi berat) adalah 27% sebesar 20,94 MPa. Kekuatan ini meningkat 47,36% dibandingkan dengan komposit yang diperkuat serat tanpa perlakuan.[7] Meskipun serat dari TKKS berpotensi menghasilkan produk bernilai tinggi, namun minat untuk memanfaatkan masih rendah, masalah utama yang dihadapi adalah kurangnya penelitian mendalam mengenai sifat mekanik dari berbagai jenis serat TKKS, termasuk Serat Duri *Fresh*, Serat Tandan *Fresh*, Serat Duri Rebusan Dan Serat Tandan Rebusan. Selain itu, kompleksitas dalam proses ekstraksi dan pengolahan serat juga menjadi kendala, sehingga banyak industri lebih banyak memilih untuk membuang atau membakar limbah ini dibandingkan mengolahnya menjadi produk bernilai tambah. Sebagian besar masyarakat masih memanfaatkan TKKS secara konvensional, seperti untuk pupuk organik atau mulsa bsgi perkebunan kelapa sawit, tanpa mempertimbangkan potensi pemanfaatan seratnya dalam industri[8].

Pengujian tarik

Menerapkan gaya tarik atau tegangan pada suatu material untuk mengukur kekuatannya dikenal sebagai pengujian tarik. Tegangan eksternal nyata atau perpanjangan sumbu benda uji adalah tegangan tarik yang digunakan. Menarik uji dengan gaya tarik konstan menyebabkan material (tampilannya) meningkat dan tetap konstan hingga pecah. Tujuan penelitian ini untuk menentukan kekuatan tarik mekanik. material, dimana beban tarik lurus harus dihasilkan dengan menekan garis gaya material terhadap garis porosnya. Tetapi jika Meremas tegangan tarik sudut menghasilkan gaya lentur [9]. Hubungan antara tegangan dan regangan ditunjukkan oleh uji tarik. Perangkat uji tarik sering digunakan untuk memastikan karakteristik mekanis material. Rangka mesin uji tarik, mekanisme gripper spesimen, sistem penarikan dan mekanisme, dan sistem pengukuran adalah beberapa komponen pendukung utamanya. Uji tarik sering dilakukan sebagai bukti pendukung untuk spesifikasi material

1. Jenis pengujian tarik

Adapun jenis-jenis pengujian tarik yaitu, sebagai berikut:

- Pengujian Tarik Statis
Pengujian tarik statis dilakukan dengan pembebanan yang relatif lambat dan konstan, menghasilkan data seperti kekuatan tarik maksimum, titik luluh, dan elongansi. Umumnya pengujian tarik dinamis digunakan untuk material logam, polimer, dan komposit.
- Pengujian Tarik Dinamis
Uji tarik dinamis dilakukan dengan pembebanan yang cepat atau berubah-ubah, bertujuan untuk mengetahui respons material terhadap beban kejutan dan sering digunakan dalam aplikasi struktural dan otomotif.
- Pengujian Tarik Suhu Tinggi
Uji tarik suhu tinggi dilakukan pada temperatur di atas ruang, mengevaluasi sifat material pada kondisi operasi panas, serta penting untuk aplikasi di industri power plant dan aerospace.

2. Alat uji tarik

Alat uji tarik juga dikenal sebagai mesin uji tarik merupakan perangkat yang digunakan dalam teknik material, manufaktur, dan penelitian untuk menguji kekuatan dan sifat mekanis suatu material dengan memberikan gaya tarik hingga material mengalami deformasi atau patah. alat uji tarik untuk menentukan karakteristik material seperti:

- Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*): kekuatan maksimum material sebelum patah.
- Perpanjangan (*Elongation*): Seberapa jauh material dapat meregang sebelum patah.
- Titik Luluh (*Yield Point*): Titik dimana material mulai mengalami deformasi plastis.

Universal Testing Machine

Universal Testing Machine (UTM) merupakan instrumen yang digunakan untuk menguji sifat mekanik suatu material dengan memberikan gaya tertentu pada benda uji. Pengujian ini mencakup berbagai jenis tegangan, seperti tekanan (kompresi), tarikan (*tensile*), dan tegangan geser (*shear*). Mesin ini disebut Universal karena memiliki kemampuan untuk melakukan berbagai macam pengujian dengan menggunakan berbagai jenis bahan dan objek, termasuk logam, plastik, komposit, serta serat alami. Salah satu aplikasi dari alat ini adalah dalam evaluasi kekuatan serat tandan kosong kelapa sawit, di mana serat tersebut diuji untuk mengetahui karakteristik mekaniknya, seperti kekuatan tarik, elastisitas, dan ketahanan terhadap beban. Dengan menggunakan UTM, data yang diperoleh dapat digunakan untuk menganalisis potensi pemanfaatan serat tandan kosong kelapa sawit dalam berbagai industri, seperti tekstil, komposit, dan material berkelanjutan lainnya. sesuai Hukum Hooke, Pada tahap awal uji tarik, hampir semua material menunjukkan proporsionalitas langsung antara beban atau gaya yang diterapkan dan perubahan panjang material, sebagai zona atau area linier. Kurva panjang vs beban, rasio tegangan terhadap regangan adalah konstan. “Tegangan adalah beban pada luas penampang bahan” “regangan adalah pertambahan panjang terhadap panjang awal bahan”

Stress (Tegangan Mekanis):

$$\sigma = F/A \quad (1)$$

Dimana

σ = Tegangan tarik (MPa atau N/mm²)
F = gaya tarik yang diterapkan (N)
A = luas penampang

➤ Strain (Regangan):

$$\varepsilon = \Delta L/L \quad (2)$$

Dimana

ε = Regangan (tanpa satuan)

ΔL = Pertambahan panjang

L = Panjang awal

Maka, hubungan antara stress dan strain dirumuskan:

$$E = \sigma/\varepsilon \quad (3)$$

Dimana

E = Modulus elastisitas

σ = Tegangan

ε = Regangan

2. METODE PENELITIAN

Mesin uji tarik UTM

Adapun alat digunakan adalah uji tarik material serat komposit TKKS menggunakan mesin uji tarik *Universal Testing Machine* seperti dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Mesin uji tarik UTM

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian uji tarik material serat komposit TKKS ini yaitu terdiri dari cairan NaOH 10%, sampel tandan rebusan, sampel tandan *Fresh*, sampel duri rebusan, dan sampel duri *Fresh*.

- Cairan NaOH 10%

Cairan Natrium Hidroksida (NaOH) 10% merupakan larutan yang mengandung 10 gram Natrium Hidroksida terlarut dalam 100 ml air. Natrium hidroksida juga dikenal sebagai soda kaustik, adalah senyawa kimia yang sangat korosif dan digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan laboratorium, termasuk pembuatan sabun pengolahan air dan sebagai bahan pembersih[4].

1. Bahan Sampel Tandan Rebusan

Berikut ini merupakan gambar sampel tandan rebusan yang digunakan untuk pengujian tarik, sampel ini dapat dilihat pada gambar 2.a. di bawah ini.

2. Bahan Sampel Tandan *Fresh*

Sampel tandan fresh adalah tandan kelapa sawit yang masih segar yaitu tandan yang langsung diambil dari pohon dan belum masuk ke dalam proses perebusan. Berikut gambar 2.b. sampel tandan fresh.

3. Bahan Sampel Duri Rebusan

Sampel

Sampel duri rebusan adalah batang buah yang mengikat antara buah dengan tandan kelapa sawit, yang telah melewati proses perebusan di dalam *sterilizer*. berikut gambar 2.c. sampel duri rebusan.

4. Bahan Sampel Duri *Fresh*

Sampel duri fresh adalah batang buah yang mengikat antara buah dengan tandan kelapa sawit yang masih Segar atau tidak melewati proses perebusan. Dapat dilihat pada gambar 2.d.



Gambar 2 : a. Tandan Rebusan, b. Tandan *Fresh* c. Duri Rebusan, d Duri *Fresh*

Pengolahan Bahan Baku

Untuk memperoleh serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang berkualitas dan siap digunakan dalam penelitian, diperlukan beberapa tahapan pengolahan. Proses ini bertujuan untuk memisahkan serat dari kotoran, lignin, dan zat-zat lain yang dapat mempengaruhi karakteristik mekaniknya. Tahapan pembuatan sampel serat TKKS adalah sebagai berikut:

- Mengambil sampel tandan kosong kelapa sawit yang masih utuh atau mentah. Memisahkan duri pada tandan segar dari tandan yang telah direbus. Lalu mencuci sampel dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran.
- Merendam empat sampel dalam larutan NaOH 10%. Setelah 24 jam perendaman, mencuci kembali serat dengan air bersih sambil membersihkan lignin agar serat dapat terpisah dengan sempurna.
- Selanjutnya proses pemisahan dari yang berbentuk utuh menjadi serat basah.
- kemudian serat dicuci ulang hingga benar-benar bersih, kemudian menjemur serat hingga benar-benar kering.
- Sampel yang telah kering siap digunakan untuk penelitian.

Pengujian Serat Komposit

Setelah proses persiapan sampel selesai, langkah-langkah pengujian kuat tarik serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dilakukan secara sistematis untuk mendapatkan data yang akurat mengenai sifat mekaniknya. Berikut adalah tahapan dalam pengujian kuat tarik serat TKKS:

1. Persiapan Sampel Uji

Pada tahapan persiapan sampel uji pemisahan serat TKKS dipisah menjadi satu helai serat tunggal (*single fiber*) dengan hati-hati, menggunakan alat bantu seperti pinset atau tangan, agar tidak merusak struktur alami serat. Pemisahan ini bertujuan untuk mendapatkan spesimen serat tunggal yang utuh dan layak untuk dilakukan pengujian tarik individual.

2. Pengujian Kuat Tarik

Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tarik (Universal Testing Machine, UTM). Sampel serat dijepit pada kedua ujung mesin uji dengan posisi yang tepat agar tidak terjadi slip selama pengujian. Beban Tarik diberikan dengan laju tertentu sesuai dengan standar yang digunakan hingga sampel mengalami kegagalan atau putus.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemisahan Serat

Mempersiapkan pembuatan sampel uji tarik tandan buah kosong *fresh* dan tandan buah kosong rebusan yang digunakan sebagai bahan utama pengambilan serat untuk pengujian Tarik sebagaimana terlihat pada gambar 3.



Gambar 3 : a. Tandan Buah Kosong *Fresh*, b. Tandan Buah Kosong Rebusan

- Proses perendaman terhadap sampel
Proses perendaman terhadap sampel tandan *fresh*, duri *fresh*, tandan rebusan, dan duri rebusan kedalam larutan natrium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi 10%, larutan NaOH, Perendaman dilakukan selama 24 jam dalam kondisi terkontrol, sehingga larutan alkali dapat meresap secara merata ke seluruh bagian serat. Dengan waktu perendaman yang cukup, serat dapat terpisah dengan sempurna tanpa mengalami kerusakan struktural, sehingga tidak mudah terputus saat dilakukan proses pemisahan. secara manual, proses ini bertujuan untuk melunakkan tandan/sampel serat memecah struktur lignoselulosa yang mengikat serat, serta menghilangkan lignin, dan seyawa-senyawa pengotor lainnya.
- Proses pengeringan
Serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dilakukan setelah tahap pencucian dan perendaman, dengan tujuan untuk mengurangi kadar air dalam serat agar tidak memengaruhi hasil pengujian. Lama penjemuran tergantung pada cuaca panas matahari, selain menggunakan cahaya matahari bisa juga menggunakan pengering seperti inkubator yang suhunya bisa diatur seperti cuaca normal panas matahari
Setelah proses pengeringan selesai dan serat dalam kondisi kering optimal, serat TKKS dipisahkan secara manual menggunakan pinset halus dan tangan secara hati-hati untuk mendapatkan satu helai serat tunggal (single fiber). Pemisahan dilakukan dengan memperhatikan agar serat tidak mengalami kerusakan atau putus, sehingga panjang dan struktur serat tetap utuh. Serat tunggal yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan keseragaman diameter dan panjang untuk memastikan konsistensi sampel sebelum dilakukan pengujian tarik mekanik

Persiapan Uji Tarik

Persiapan mesin uji tarik beserta perlengkapan pendukungnya dalam proses pengujian. Berikut alat uji tarik dapat dilihat pada gambar dibawah



Gambar 4. Mesin Uji Tarik Universal Testing Machine (UTM)

Untuk mendapatkan data hasil uji Tarik, selanjutnya mempersiapkan serat yang sudah dipisah dengan ukuran yang sama panjang dan diameter serat tunggal (*single fiber*).

- Pemasangan /mengikat serat pada cekam yang ada pada mesin uji tarik Universal Testing Machine (UTM). Dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. Proses Pemasangan Spesimen uji (Serat)

- Menyatukan patahan serat TKKS yang telah dilakukan pengujian tarik untuk melihat perubahan bentuk dan perubahan ukuran panjang yang terjadi.

Hasil Pengujian Tarik

Dari keempat sampel yaitu serat Tandan *fresh*, Duri *fresh*, Tandan rebusan, dan Duri Rebusan yang telah direndam menggunakan cairan NaOH 10%, dan telah dilakukan pengujian tarik dan mendapatkan data sebagai berikut:

- **Hasil Pengujian Tarik Tandan *Fresh***

Hasil uji Tarik pada tandan fresh sebagaimana terlihat pada table berikut ini:

Tabel 1 Data Hasil Uji Tandan Fresh

Nomor Sampel	Panjang mm	Jari-Jari mm	Panjang Akhir mm	Gaya N	Elongasi %	Regangan %	Tegangan N/mm ²	Elastisitas modul us MPa
1	130	0,1	136	0,7361	6,1843	0,048	23,44	1019,6
2	130	0,14	140	3,469	9,8513	0,076	56,37	370,32
3	130	0,08	138	2,2382	8,4104	0,065	111,38	624,78
4	130	0,12	139	2,7985	8,97	0,069	61,89	657,06
5	130	0,145	140	2,8193	9,9235	0,076	42,70	539,89
6	130	0,11	138	3,2664	7,9957	0,062	85,97	774,35
7	130	0,1	139	1,6898	8,8526	0,068	53,82	1029,6
8	130	0,135	134	1,0848	3,9035	0,030	18,96	954,8
9	130	0,105	135	2,5481	4,7839	0,037	73,61	2474,3
10	130	0,09	136	1,4097	6,0826	0,047	55,43	1423,8
Rata-rata						0,058	58,355	986,850

Pada tabel 1. dapat dilihat hasil pengujian tarik terhadap 10 sampel serat tandan *fresh* , diperoleh rata-rata panjang akhir serat setelah pengujian sebesar 137,6 mm. Hal ini menunjukkan adanya perubahan panjang yang terjadi akibat pembebanan gaya tarik selama uji berlangsung. Sementara itu, rata-rata regangan yang dihasilkan adalah 0,058, yang mencerminkan kemampuan serat dalam mengalami deformasi elastis sebelum mengalami kerusakan. Sedangkan rata-rata tegangan yang dicapai selama pengujian adalah sebesar 58,355 N/mm²,

yang menggambarkan besarnya maksimum yang mampu ditahan oleh serat sebelum mengalami patahan atau kerusakan permanen

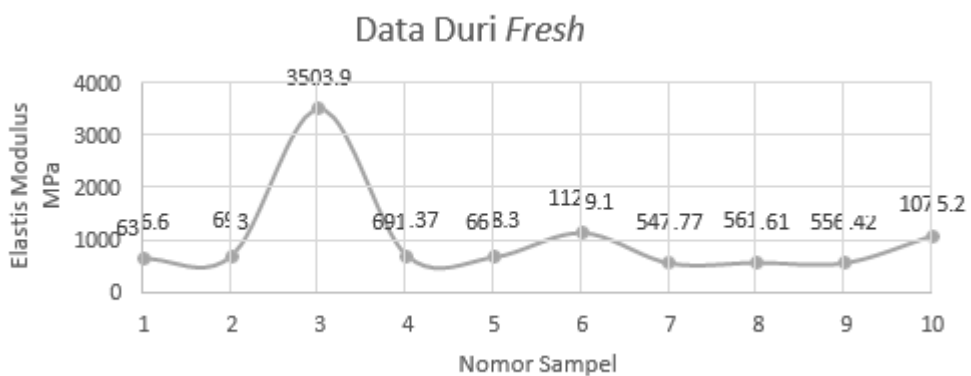
• **Hasil Uji Tarik Duri Fresh**

Berdasarkan hasil uji tarik terhadap 10 sampel serat duri *fresh*, diperoleh rata-rata panjang akhir setelah pengujian sebesar 142,3 mm, yang menunjukkan adanya pemanjangan serat akibat tarikan, sebagaimana terlihat pada tabel berikut

Tabel 2 Data Duri Fresh

Nomor Sampel	Panjang mm	Jari-Jari mm	Panjang Akhir mm	Gaya N	Elongasi %	Regangan %	Tegangan N/mm ²	Elastisitas modulus Mpa
1	130	0,15	144	8,0497	14,061	0,108	113,94	636,6
2	130	0,16	141	7,0245	11,202	0,086	87,39	693
3	130	0,12	133	3,0369	3,0426	0,023	67,16	3503,9
4	130	0,155	136	3,6598	5,9922	0,046	48,51	691,37
5	130	0,165	142	7,1348	12,444	0,096	83,46	668,3
6	130	0,115	140	5,74	10,018	0,077	138,22	1129,1
7	130	0,17	139	5,5046	9,0139	0,069	60,66	547,77
8	130	0,16	147	6,0291	16,593	0,128	75,00	561,61
9	130	0,175	135	2,2769	4,6052	0,035	23,68	556,42
10	130	0,13	135	4,0532	4,5848	0,035	76,38	1075,2
Rata-rata						0,070	77,441	1006,327

Selanjutnya, rata-rata regangan yang tercatat adalah sebesar 0,070 yang menandakan tingkat deformasi relatif terhadap panjang awal serat sebelum mengalami kerusakan. Sedangkan rata-rata tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh serat duri *fresh* adalah sebesar 77,44 N/mm², sebagaimana dijelaskan pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik data duri fresh

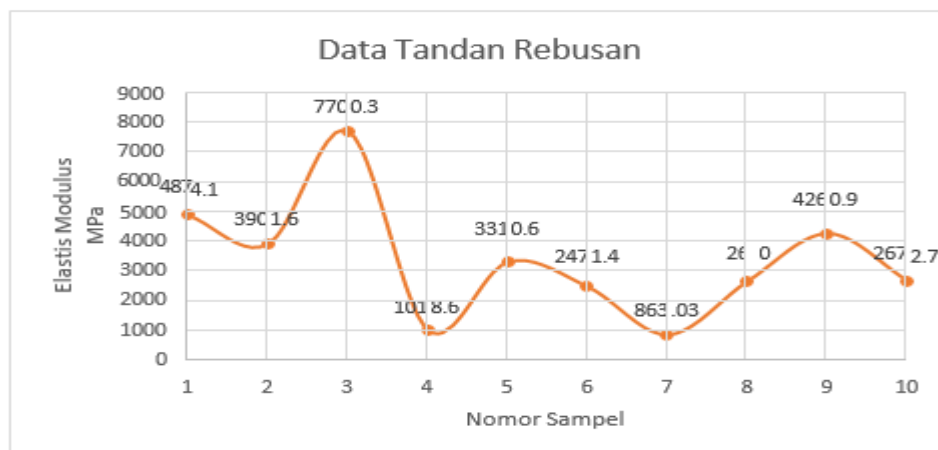
• **Hasil Uji Tarik Tandan Rebusan**

Berdasarkan hasil pengujian tarik terhadap 10 sampel serat tandan rebusan, diperoleh rata-rata panjang akhir setelah pengujian sebesar 134,5 mm, yang menunjukkan adanya pertambahan panjang akibat pembebanan gaya tarik. Selanjutnya, rata-rata regangan yang tercatat adalah sebesar 0,048, yang menunjukkan tingkat deformasi serat terhadap panjang awal. Sebagaimana terlihat pada tabel berikut:

Tabel 3 Data Tandan Rebusan

Nomor Sampel	Panjang Awal mm	Jari-Jari mm	Panjang Akhir mm	Gaya N	Elongasi %	Regangan %	Tegangan N/mm ²	Elastis modulus MPa
1	130	0,07	135	1,5289	5,163	0,040	99,37	4874,1
2	130	0,07	137	2,5779	7,3057	0,056	167,55	3901,6
3	130	0,065	134	0,0209	4,0757	0,031	1,58	7700,3
4	130	0,085	141	2,9862	11,426	0,088	131,63	1018,6
5	130	0,085	136	0,5037	5,83	0,045	22,20	3310,6
6	130	0,07	138	3,028	7,5574	0,058	196,80	2471,4
7	130	0,125	139	2,7299	8,8809	0,068	55,64	863,03
8	130	0,07	135	2,0236	4,9917	0,038	131,52	2660
9	130	0,07	134	1,1325	3,8657	0,030	73,61	4260,9
10	130	0,08	134	1,9133	3,6243	0,028	95,21	2672,7
Rata-rata						0,048	97,510	3373,323

Sementara itu, rata-rata tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh serat tandan rebusan mencapai 97,510 N/mm², yang mencerminkan kekuatan tarik rata-rata dari sampel serat tersebut sebelum mengalami kerusakan permanen sebagaimana dijelaskan pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik data tandan rebusan

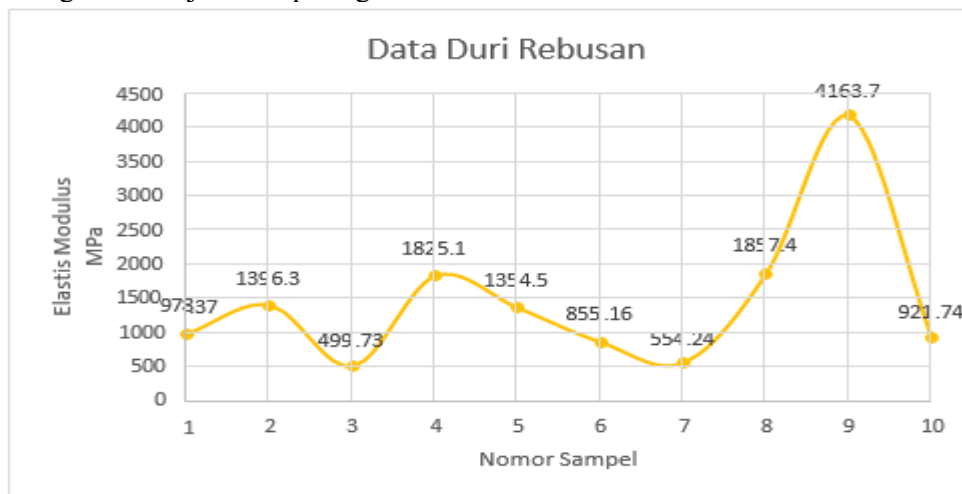
..1 **Hasil Uji Tarik Duri Rebusan**

Berdasarkan hasil pengujian terhadap 10 sampel serat duri rebusan, diperoleh rata-rata panjang akhir serat setelah mengalami pembebanan sebesar 142,7 mm, yang menunjukkan adanya perubahan panjang akibat gaya tarik yang diterapkan. Selanjutnya, rata-rata regangan yang dihasilkan adalah sebesar 0,074, yang mengindikasikan kemampuan serat untuk mengalami deformasi relatif terhadap panjang awal sebelum putus.

Tabel 4 Data Duri Rebusan

Nomor Sampel	Panjang Awal mm	Jari-jari mm	Panjang Akhir mm	Gaya N	Elongasi %	Regangan %	Tegangan N/mm ²	Elastis modulus Mpa	
1	130	0,175	132	1,9312	1,5622	0,012	20,08	978,37	
2	130	0,17	139	5,6685	8,6974	0,067	62,47	1396,3	
3	130	0,135	143	5,594	12,86	0,099	97,75	499,73	
4	130	0,18	141	8,9945	11,137	0,086	88,41	1825,1	
5	130	0,14	144	8,7739	14,475	0,111	142,56	1354,5	
6	130	0,15	138	5,4658	8,0152	0,062	77,36	855,16	
7	130	0,17	136	3,776	6,1022	0,047	41,61	554,24	
8	130	0,16	136	6,3927	5,9991	0,046	79,53	1857,4	
9	130	0,105	142	8,2524	12,387	0,095	238,38	4163,7	
10	130	0,155	145	7,6176	14,637	0,113	100,98	921,74	
Rata-rata							0,074	94,913	1440,624

Sementara itu, rata-rata tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh serat duri rebusan sebesar 94,913 N/mm², yang mencerminkan kekuatan tarik material terhadap beban yang diberikan sebagaimana dijelaskan pada gambar 8.



Gambar 8 Grafik data Duri rebusan

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian mengenai uji tarik mekanik serat tunggal dari tandan kosong kelapa sawit dengan empat jenis sampel yaitu serat Tandan *Fresh*, Serat Duri *Fresh*, Serat Tandan Rebusan, dan Serat Duri Rebusan, diperoleh hasil sebagai berikut:

- Serat Tandan *Fresh*, serat memiliki karakteristik mekanik yang cukup stabil dengan regangan rata-rata 0,058, tegangan maksimum 58,36 N/mm², dan modulus elastisitas sekitar 986,85 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa serat tandan segar memiliki struktur yang lebih padat dan kuat dalam menahan beban tarik.

- Serat Duri *Fresh* dengan tegangan tarik rata-rata tertinggi 77,44 N/mm² dan regangan 0,070, serta modulus elastisitas mencapai 1006,33 MPa, serat duri *fresh* menunjukkan kombinasi optimal antara kekuatan dan fleksibilitas. Oleh karena itu, serat ini kuat, elastis, dan tidak terlalu kaku.
- Sedangkan Serat Tandan Rebusan menunjukkan nilai tegangan tertinggi 97,51 N/mm² dan modulus elastisitas yang sangat tinggi 3373,32 MPa, nilai regangannya yang rendah 0,048 mengindikasikan bahwa serat ini cenderung rapuh, hasil yang bervariasi juga menunjukkan bahwa proses perebusan dapat menyebabkan ketidakhomogenan struktur, sehingga mempengaruhi konsistensi kekuatan tarik.
- Sedangkan Serat Duri Rebusan dengan nilai regangan tertinggi diantara keempat jenis serat 0,074 dan tegangan rata-rata 94,91 N/mm² serta modulus elastisitas 1440,62 MPa, serat ini menunjukkan kelebihan dalam fleksibilitas. Namun, kekuatan tariknya tidak mampu menandingi serat duri *fresh*, mengindikasikan bahwa proses perebusan pada serat duri mengurangi kekuatannya akibat degradasi struktur internal.
- Berdasarkan hasil uji tarik, serat duri *fresh* memiliki performa mekanik terbaik karena memberikan keseimbangan antara kekuatan tarik yang tinggi dan elastisitas yang memadai. Sebaliknya, serat hasil perebusan (baik tandan maupun duri) meskipun memiliki nilai tegangan yang tinggi, cenderung menunjukkan ketidakstabilan dan kekakuan yang lebih besar. Oleh karena itu, untuk aplikasi penguat komposit ramah lingkungan, serat yang diperoleh tanpa melalui proses perebusan (*fresh*) lebih direkomendasikan.

5. SARAN

Pengujian dilakukan dengan variasi larutan NaOH dan waktu perendaman yang berbeda, agar bisa ditemukan perlakuan terbaik yang dapat memperkuat serat. apakah lama perendaman serat mempengaruhi kekuatan tarik. Pengamatan bentuk serat dengan menggunakan mikroskop, untuk melihat perubahan struktur serat setelah diberi perlakuan kimia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Agil Rahayu Smed, W., & Athaillah, T. (2023). Analisis Risiko Panen Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis (Fmea) Di Afdeling Oa (Alpa) Pada Pt. Karya Tanah Subur. *Jurnal Agrica*, 16(1), 53–64.
- [2]. Bayu, B. M., Mujianto, A., & Triwaloyo, H. (2023). ANN adalah metode analisis dima Prediksi Kekuatan Komposit Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Dengan Menggunakan Artificial Neural Network Radial. *TURBINE Journal Technology Urgency Breaktrugh in Engineering*, 2(1), 81-87.
- [3]. Supriadi, H. (2014). Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Kekuatan Tarik Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Digunakan pada Komposit Serat Tkks. *MECHANICAL*, 5(1).
- [4]. Bambang Irawan & Danawati Hari Prajitno. (2024). Pengaruh Penambahan NaOH Terhadap Pemutusan Rantai C Selulosa Pada Sampel Eucalyptus Dalam Medium Consistency Oxygen. 03(01), 36–41.
- [5]. Gultom, Firman; Supriadi, Harnowo; SAVETLANA, Shirley. Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Tarik Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Digunakan Pada Komposit Serat TKKS. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 2014, 2.2.
- [6]. Joseph, Shaji; JOSEPH, Kuruvilla; THOMAS, Sabu. Komposit hijau dari karet alam dan serat kelapa sawit: sifat fisik dan mekanis. *Jurnal Internasional Material Polimer dan Biomaterial Polimer*, 2006, 55.11: 925-945.
- [7]. Jamas, Kuncoro Diharjo, et al. Kajian sifat tarik komposit serat buah sawit acak bermatrik polyester. *Media Teknik*, 2005, 27.2005.

- [8] Hawanda, P., & Sudiarti, S. (2023). Implementasi Strategi Pengembangan Industri Sawit dalam Menghadapi Revolusi 4.0. *Jurnal Ilmu Manajemen, Ekonomi Dan Kewirausahaan*, 3(3), 172-184.
- [9]. Salindeho, R. D., Soukota, J., & Poeng, R. (2018). Pemodelan pengujian tarik untuk menganalisis sifat mekanik material. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, 2(2), 88–98.
-