

Karakteristik Papan Komposit dengan Substitusi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan Perlakuan Susunan Serat

Alwi Mashudin Yahya, Ida Bagus Banyuro Partha, Reni Astuti Widyowanti^{*)}

Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian
INSTIPER Yogyakarta

Jl. Nangka II, Maguwoharjo (Ringroad Utara), Yogyakarta

^{*)}Correspondence email: reniastuti8484@gmail.com

ABSTRAK

Composite boards are generally made from plastic and natural wood, on the one hand, oil palm empty fruit bunches (TKKS) which are palm oil mill waste contain lignocellulose which is one of the requirements for composite board making materials. This study aims to determine the effect of TKKS fiber substitution on composite boards, determine the effect of TKKS fiber arrangement on composite boards, determine the composition of TKKS substitution and TKKS fiber arrangement that produces composite boards that are suitable for their uses. This research uses the Complete Block Design (RBL) method with 2 factors. The first factor is the substitution of TKKS based on 20 grams of sengan powder with 3 levels, namely 40% (8 grams), 50% (10 grams), 60% (12 grams). The second factor is the arrangement of the TKKS fibers with 3 levels, namely random, parallel, cross. The results of this study indicate that the substitution of TKKS with sengan powder base affects the chemical properties, namely water content, as well as physical properties in the form of water absorption, thickness development, density, porosity, and flexibility in composite boards. The arrangement of TKKS fibers affects the physical properties which include water absorption, thickness development, density, porosity, and flexibility of the composite board. The best results of this study were found in the treatment of 40% sengan powder: 60% TKKS fiber with an average value of 3,493% moisture content, 27,581% water absorption, 2,241% thick development, 2,13 g/cm³ density, 27,189% porosity, and 63.641 kgf/cm² flexibility value is the most brittle sample so it is suitable to be applied to furniture such as tables, cabinets, and stacking shelves.

Keywords: Composite board; fiber arrangement; sengan particles; substitution; TKKS.

PENDAHULUAN

Bahan komposit adalah jenis bahan dengan teknologi yang relatif baru di dunia teknologi dari kombinasi dua atau lebih bahan. Bahan yang diperlukan untuk membuat papan komposit adalah penguat (serat), pengikat atau matriks (resin), dan katalis. Bahan dasar yang digunakan memiliki sifat yang berbeda dengan papan komposit yang dihasilkan (Fadilah, 2020).

Komposit serat dibuat menggunakan serat yang menjadi bahan penguatnya, berfungsi untuk menguatkan struktur konstruksi. Komposit partikel merupakan material yang dihasilkan melalui penguat dalam bentuk partikel atau serbuk yang ditambahkan ke dalam matriks guna mendorong kekuatan dan karakteristik mekaniknya (Saputera, M. I. A., Rachmat S., 2024).

Matriks merupakan salah satu bahan pengikat suatu komposit untuk mempertahankan kekuatan penyebaran retakan, tekanan, tarikan, atau cuaca ekstrim yang dapat merusaknya. Matriks terbuat dari bahan resin yang akan saling mengikat dengan material sehingga beban yang dikenakan pada komposit akan tersebar secara merata (Diana, L., Arrad G. S., 2022).

Katalis yakni bahan kimia *methyl ethyl ketone peroxide* (MEKPO) yang merupakan senyawa polimer berbentuk cair dan bening. Katalis berfungsi untuk mempercepat proses pengeringan bahan matriks pada komposit. Semakin banyak katalis pengeringan makin cepat, tetapi apabila terlalu banyak akan menyebabkan komposit getas (Sihombing, 2022).

Menurut (Nurfadilah, 2024) pada komposit yang berpenguat serat alam, pemberian katalis dan resin berpengaruh besar pada kekuatan mekaniknya. Peran katalis sangat berpengaruh dalam meningkatkan kekuatan komposit. Selain untuk mempercepat proses pengeringan resin, katalis juga berperan sebagai material pengikat yang menjadi penyatu serat-serat penguat, yang bisa menambah kekuatan tarik komposit. Pengikatan serat-serat sebagai penguat tidak hanya oleh resin, namun juga adanya tambahan katalis pada resin. Reaksi kimia yang terjadi dapat terpengaruh akibat dari adanya variasi penggunaan katalis. Sehingga sifat mekanik komposit yang diperoleh pada akhirnya akan terpengaruh juga. Papan komposit pada umumnya diaplikasikan untuk *furniture* seperti laci kayu, permukaan meja, panel dinding, dan pintu geser (Wibowo, C. H., Sunardi., 2021).

Menurut (Siagian, 2024) serat sintetis biasanya berbahan plastik yang salah satu kekurangannya adalah tidak ramah lingkungan. Sedangkan serat alam diperoleh dari sumber daya alam yang dapat diperbarui seperti serat kayu, serat rami, serat bambu, serat pisang, dan lain-lain.

Salah satu upaya untuk mengurangi penggunaan plastik pada pembuatan papan komposit adalah menggantikan serat sintetis dengan serat alami seperti serat kayu. Permintaan dan konsumsi papan komposit dari serat kayu menunjukkan peningkatan, karena stabilitasnya dan harganya yang lebih murah dibandingkan dengan serat sintetis (Desiasni, R., Nur A., 2023).

Menurut (Tanjung, R., Rita D., 2023) sengon termasuk jenis kayu yang sering dimanfaatkan dalam industri pengolahan kayu dan limbahnya berupa serbuk kayu dapat dimanfaatkan menjadi bahan pembuat papan komposit yang sangat baik karena adanya kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa. Menurut (Florenza, D., Anerasari M., 2021) kayu atau serat yang mengandung lignoselulosa dapat digunakan untuk membuat papan komposit. Lignoselulosa adalah biomassa tanaman yang mencakup tiga unsur utama, yakni selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Lignin ada di dalam dinding sel dan di daerah antar sel (lamela tengah) membuat kayu menjadi keras dan kaku yang menjadikannya kuat menahan tekanan mekanis yang besar.

Serbuk kayu sengon mengandung komponen utama lignin (26,8%) yang dapat membantu ikatan antara serbuk dan resin, selulosa (49,40%), hemiselulosa (24,59%), dan zat ekstraktif kayu, yang membuatnya dapat mengisi pori-pori dan mudah menyerap air. Serbuk kayu sengon memiliki karakteristik berat jenis $0,62-0,75 \text{ kg/cm}^3$, kadar abu 1,4%, kadar silika 0,4%, serabut 66,3%, nilai kalor 5.081 kal/gram, kerapatan $0,31 \text{ g/cm}^3$ ((Tanjung, R., Rita D., 2023).

Salah satu limbah padat dari pabrik kelapa sawit adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang seratnya mengandung selulosa 33,2%, hemiselulosa 23,24%, lignin 25,83%, holoselulosa 56,49%, dan kadar air 8,56% ((Florenza, D., Anerasari M., 2021).

Menurut (Hanifi. B, Q, I., Purwanto., 2022) kekuatan komposit dapat dipengaruhi oleh susunan serat, karena akan mempengaruhi daya ikat antara serat dan *polyester*. Susunan serat terbaik pada material komposit berbahan eceng gondok adalah berlapis (acakan) dengan nilai *yield stress* 17,423 MPa dan *max stress* 19,077 MPa. Semakin banyak variasi susunan serat semakin tinggi kekuatan tariknya.

Menurut (Manurung T, 2022) susunan serat secara acak pada komposit berbahan serat bambu dan resin *polyester* memberikan kekuatan yang lebih baik dibandingkan penempatan secara lurus memanjang. Susunan serat acakan menunjukkan nilai uji tarik terbaik sebesar 93,0457 kg, sedangkan untuk susunan serat lurus memanjang 40,8767 kg. Banyaknya variasi susunan serat yang dibentuk pada bahan komposit meningkatkan kekuatan material tersebut.

Menurut (Desiasni, R., Nur A., 2023) serbuk kayu mempengaruhi kualitas material komposit. Penelitiannya membuat komposit *polyester* berpenguat partikel serbuk aren dengan ukuran partikel 40-60 *mesh*, 60-80 *mesh*, dan 80-100 *mesh*. Hasilnya menunjukkan bahwa kekuatan *bending* tertinggi 86.87 Mpa diperoleh pada ukuran partikel dengan *mesh* 80-100. Makin kecil ukuran serbuknya, maka nilai kekuatan material komposit akan semakin kecil. Ukuran partikel yang kecil dapat mempersulit proses pelumasan resin. Jika resin tidak meresap atau mengikat dengan baik maka ikatan antara resin dan material akan lemah sehingga mengurangi kekuatan mekaniknya.

Berdasarkan hal tersebut di atas maka perlu dilakukan inovasi pembuatan papan komposit dengan substitusi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan perlakuan susunan serat. Serbuk kayu sengon digunakan sebagai bahan penguat (serat alami) karena mengandung lignoselulosa, mudah diperoleh dan harganya murah. Sedangkan serat TKKS mengandung lignoselulosa sehingga dapat digunakan sebagai substitusi serbuk kayu sengon. Selanjutnya digunakan matriks resin *polyester* karena mudah diperoleh, harganya murah, dan lebih tahan terhadap air. Katalis yang digunakan adalah MEKPO karena dapat diaplikasikan pada suhu ruang dan harganya murah. Faktor penelitian pertama adalah substitusi serat TKKS dengan bahan dasar serbuk kayu sengon. Faktor kedua adalah susunan serat TKKS yang dilapisi serbuk kayu sengon. Analisis dilakukan pada sifat kimia (kadar air) dan sifat fisik (daya serap air, uji pengembangan tebal, uji densitas, uji porositas, uji kelenturan atau *bending*).

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di *Pilot Plant* Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Stiper Yogyakarta dan Laboratorium Pusat Unggulan Teknologi Plastik (PUTP) Politeknik ATMI Surakarta, yang sebelumnya bernama Akademi Teknik Mesin Industri Industri Surakarta, selama 2 bulan yaitu pada 24 Oktober – 10 Desember 2024.

Alat dan Bahan

Alat yang dipergunakan pada pembuatan papan komposit adalah gunting dan pisau, timbangan digital, cetakan, jangka sorong, *oven*, *stopwatch*, dan alat uji kelenturan (*bending*). Bahan yang digunakan adalah serbuk kayu sengon, tandan kosong kelapa sawit, resin *polyester*, katalis MEKPO, dan NaOH

Rancangan Percobaan

Penelitian dilaksanakan mempergunakan rancangan blok lengkap (RBL) yang terdiri dari dua faktor yaitu:

Faktor 1 : Substitusi TKKS berdasarkan total berat serbuk sengon 20 gram dengan 3 taraf :

A1 : 40% (8 g)

A2 : 50% (10 g)

A3 : 60% (12 g)

Faktor 2 : susunan serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan 3 taraf :

B1 : Acakan

B2 : Sejajar

B3 : Silangan

Kontrol yang digunakan pada penelitian ini ialah papan komposit berbahan 100% (20 g) serbuk sengon

Faktor pertama dan kedua memiliki 3 taraf dan dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali sehingga terdapat $3 \times 3 \times 2 = 18$ satuan eksperimental.

Prosedur Penelitian

1. Penyiapan serat TKKS

TKKS dicacah dan diambil bagian seratnya, lalu direndam NaOH dengan konsentrasi 100g/l dan didiamkan selama 2 jam. Selanjutnya dibilas dengan air bersih, dijemur sampai mencapai kadar air 3 – 5%, dan diuraikan secara manual hingga diperoleh serat yang terpisah satu sama lain.

2. Penyiapan serbuk sengon

Disiapkan serbuk sengon berdiameter antara 1 – 2 cm, kemudian dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan pasir atau tanah, ditiriskan, dan dikeringkan hingga kadar air mencapai 3 – 5 %.

3. Pembuatan papan komposit

Disiapkan serbuk sengon, serat TKKS, resin, katalis, dan alat alat yang digunakan. *Vaseline* dioleskan pada permukaan cetakan berbentuk persegi ukuran 10 cm x 10 cm. Resin dan katalis dicampur pada mangkuk, kemudian diaduk hingga homogen. Serbuk sengon dimasukkan ke dalam cetakan sebanyak setengah dari taraf yang digunakan. Serat TKKS diletakkan di atasnya dengan susunan serat sesuai taraf perlakuan. Selanjutnya ditutup dengan sisa serbuk sengon. Resin dituangkan dan diratakan menggunakan spatula. Adonan dibiarkan mengeras selama 4 hari. Pada hari pertama pengeringan dilakukan pada ruangan tertutup, lalu pada hari selanjutnya cukup diangin-anginkan. Setelah adonan mengering maka papan komposit telah jadi kemudian dirapikan dengan pisau *cutter* dan diamplas agar permukaannya halus. Selanjutnya papan komposit siap diuji:

- a. Sifat kimia : uji kadar air (% db) (Mirza, H., Muhammad F. M., 2020)
- b. Sifat fisika :
 - 1) Uji porositas (%) (Haisyah., Yudha A., 2021)
 - 2) Uji daya serap air (%) (Desiasni, R., Rico C., 2021)
 - 3) Uji pengembangan tebal (%) (Said M, L., Nurul F., 2021)
 - 4) Uji densitas (g/cm³) (Desiasni, R., Nur A., 2023)
 - 5) Uji kelenturan (*bending*) (kgf/cm²) (Prayoga, Devit, Alda., Novi, sukma, 2021).

Formula pembuatan papan komposit disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Formulasi pembuatan papan komposit

Komponen	A1B1	A1B2	A1B3	A2B1	A2B2	A2B3	A3B1	A3B2	A3B3
Serat TKKS (g)	8	8	8	10	10	10	12	12	12
Serbuk sengon (g)	12	12	12	10	10	10	8	8	8
Resin (g)	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Katalis (g)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Vaseline (g)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Susunan serat TKKS	Acakan	Sejajar	Silangan	Acakan	Sejajar	Silangan	Acakan	Sejajar	Silangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sifat Kimia (Kadar Air)

Kadar air pada papan komposit dipengaruhi oleh kondisi udara di sekitarnya, dan lignoselulosa yang menyebabkan papan bersifat higroskopis dan menjadi lembab (Hidanto & Mora, 2019). Hasil uji keragaman menunjukkan bahwa substitusi TKKS (A) dan susunan serat (B) berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air papan komposit, tetapi tidak ada interaksi antara kedua faktor tersebut. Kemudian dilakukan uji *Duncan* yang disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji jarak berganda *Duncan* kadar air (% db)

Substitusi TKKS	Susunan Serat			Rata-rata
	B1 (Acakan)	B2 (Sejajar)	B3 (Silangan)	
A1 (40%)	7,743	7,311	7,209	7,421 ^a
A2 (50%)	4,622	4,489	4,086	4,399 ^b
A3 (60%)	3,611	3,493	3,079	3,395 ^c
Rata-rata	5,325 ^c	5,098 ^b	4,791 ^a	

Keterangan : rerata yang diikuti huruf berbeda pada kolom maupun baris menunjukkan beda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada jenjang nyata 5%.

Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin banyak substitusi TKKS akan mengurangi kadar air papan komposit. Hal ini berkaitan dengan kadar air pada bahan penyusun spesimen yakni TKKS dan serbuk sengon, dimana kadar air TKKS 8,56 % db ((Dewanti, 2018) dan kadar air serbuk sengon 10% db (Tanjung, R., Rita D., 2023).

Selanjutnya susunan serat TKKS juga berpengaruh terhadap kadar air papan komposit, dimana susunan serat acakan menghasilkan papan komposit dengan kadar air yang paling tinggi dan susunan serat silangan menghasilkan kadar air terendah. Serat pada spesimen dengan susunan serat acakan tidak saling mengikat satu sama lain sehingga terbentuk rongga yang mudah menyerap air. Sedangkan serat pada susunan menyilang saling mengikat satu sama lain, sehingga resin dapat melumasi spesimen dengan lebih baik hingga rongga atau ruang kosong yang terbentuk lebih sedikit.

B. Sifat Fisika

1. Porositas (%)

Uji porositas dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak rongga atau ruang kosong yang terdapat pada papan komposit. Hasil uji keragaman menunjukkan bahwa substitusi TKKS (A) dan susunan serat sangat berpengaruh terhadap porositas, tetapi tidak ada interaksi antara faktor A dan B. Hasil uji *Duncan* yang disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji jarak berganda *Duncan* porositas (%)

Substitusi TKKS	Susunan Serat			Rata-rata
	B1 (Acakan)	B2 (Sejajar)	B3 (Silangan)	
A1 (40%)	33,907	28,860	32,136	31,634 ^b
A2 (50%)	34,217	28,001	30,889	31,036 ^a
A3 (60%)	33,326	27,188	29,790	30,101 ^a
Rata-rata	33,816 ^x	28,016 ^y	30,938 ^z	

Keterangan : rerata yang diikuti huruf berbeda pada kolom maupun baris menunjukkan beda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada jenjang nyata 5%.

Porositas pada papan komposit merupakan ruang kosong atau pori - pori pada struktur spesimen. Semakin banyak pemakaian TKKS yang berarti semakin sedikit pemakaian serbuk kayu sengon akan mengurangi porositas. Serbuk sengon memiliki struktur yang lebih halus dibandingkan dengan serat TKKS sehingga resin tidak dapat mengikat material dengan baik hingga terbentuk banyak rongga yang menyebabkan porositasnya tinggi. Sebaliknya serat TKKS memudahkan resin menyerap dan membentuk ikatan yang padat antar partikel sehingga tidak banyak pori pori yang terbentuk atau porositasnya rendah. Hal ini berbanding lurus dengan penelitian (Afrilda, 2021) pada pembuatan Partikel Berbasis tandan kosong kelapa sawit dan serbuk bambu, dimana semakin banyak TKKS yang digunakan maka porositas semakin rendah.

Susunan serat sejajar menghasilkan papan komposit dengan nilai porositas terendah dibandingkan susunan serat acakan dan silangan. Hal ini disebabkan oleh sedikitnya rongga atau pori yang tercipta pada susunan serat sejajar. Pada susunan serat yang disusun secara sejajar atau searah maka pengikatan antar serat menjadi lebih rapat, menyebabkan lebih sedikit rongga atau ruang kosong sehingga papan komposit memiliki struktur yang lebih padat dan porositas yang lebih rendah (Nurhanisa, M., Wahyuni D., 2021). Pada susunan serat acakan, serat TKKS didistribusi secara acak, hal ini menciptakan banyak pori yang terbentuk karena serat tidak saling mengikat dengan baik, menyebabkan porositas meningkat. Susunan serat silangan memiliki ruang kosong yang lebih sedikit dibandingkan susunan serat acakan.

Daya serap air (%)

Daya serap air pada papan komposit adalah kemampuan papan tersebut untuk menyerap air ketika terpapar oleh kelembaban atau pada saat direndam dalam air. Hasil uji keragaman menunjukkan bahwa substitusi TKKS (A) dan susunan serat sangat berpengaruh nyata terhadap daya serap air, tetapi tidak ada interaksi antara kedua faktor tersebut terhadap daya serap air. Hasil uji *Duncan* yang disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji jarak berganda *Duncan* daya serap air (%)

Perlakuan Substitusi TKKS	Susunan Serat			Rata-rata
	B1 (Acakan)	B2 (Sejajar)	B3 (Silangan)	
A1 (40%)	33,421	28,557	32,227	31,401 ^b
A2 (50%)	34,726	27,906	31,807	31,480 ^b
A3 (60%)	33,326	27,580	29,641	30,182 ^a
Rata-rata	33,824 ^z	28,014 ^x	31,225 ^y	

Keterangan : rerata yang diikuti huruf berbeda pada kolom maupun baris menunjukkan beda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada jenjang nyata 5%.

Semakin banyak substitusi TKKS mengurangi daya serap air papan komposit atau dengan kata lain semakin sedikit serbuk kayu sengon yang dipakai maka semakin kecil daya serap airnya. Hal ini berkaitan dengan ukuran serbuk sengon berukuran 1 – 2 cm, yang membuat air lebih mudah terperangkap pada spesimen komposit. Ukuran partikel yang kecil mengakibatkan ikatan antar partikel satu dengan yang lainnya menjadi berkurang, makin kecil ukuran partikelnya maka daya serap air pun makin tinggi (Hasan, A., Muhammad Y., 2020). Menurut (Sutanto, T. D., Fika D. A., Charles B., 2022) semakin besar kadar serat pada papan komposit maka daya serap air semakin berkurang karena serat dan resin dapat mengikat satu sama lain dengan baik sehingga pori pori semakin rapat yang menyebabkan air sulit untuk meresap ke dalam spesimen.

Selanjutnya susunan serat berpengaruh terhadap daya serap air papan komposit. Papan komposit dengan susunan serat acakan mempunyai daya serap air tinggi, karena banyak rongga kosong yang disebabkan oleh penyusunan serat yang tidak teratur hingga memudahkan air untuk terperangkap pada spesimen. Semakin banyak ruang kosong (pori-pori) maka makin banyak air yang bisa diserap oleh papan komposit.

Daya serap air papan komposit dengan susunan serat sejajar paling rendah dibandingkan acakan dan silangan. Serat yang disusun secara sejajar akan rapat membuat spesimen lebih padat dan menghasilkan ruang kosong lebih sedikit hingga air yang terserap ke dalam spesimen akan lebih sedikit.

Nilai daya serap air pada susunan serat silangan mendapatkan lebih rendah dibanding acakan. Susunan serat silangan menciptakan ruang lebih banyak dibanding susunan serat sejajar namun lebih terstruktur dibanding serat acakan. Susunan serat silangan memungkinkan air menyerap secara perlahan, tidak sebanyak susunan serat acakan karena

arah serat yang berlawanan lebih banyak menghambat penyerapan air. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Hasan, A., Muhammad Y., 2020) dimana daya serap air papan komposit serat acakan cenderung meningkat dibandingkan susunan serat sejajar.

2. Pengembangan tebal (%)

Pengembangan tebal pada papan komposit adalah penambahan ketebalan yang terjadi ketika papan komposit menyerap air atau kelembaban dari lingkungannya. Hasil uji keragaman menunjukkan bahwa substitusi TKKS (A) dan susunan serat sangat berpengaruh terhadap daya serap air, tapi tak terdapat interaksi antara faktor A dan B. Hasil uji *Duncan* yang disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji jarak berganda *Duncan* pengembangan tebal (%)

Substitusi TKKS	Susunan Serat			Rata-rata
	B1 (Acakan)	B2 (Sejajar)	B3 (Silangan)	
A1 (40%)	9,863	3,924	7,369	7,052 ^c
A2 (50%)	8,357	3,503	6,575	6,145 ^b
A3 (60%)	7,690	2,241	5,692	5,207 ^a
Rata-rata	8,636 ^z	3,222 ^x	6,545 ^y	

Keterangan : rerata yang diikuti huruf berbeda pada kolom maupun baris menunjukkan beda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada jenjang nyata 5%.

Tabel 5 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya serat TKKS atau berkurangnya pemakaian serbuk kayu sengon menyebabkan makin sedikit pengembangan tebal yang terjadi pada papan komposit. Pengembangan tebal berkorelasi dengan daya serap air, dimana makin rendah daya serap air, maka makin kecil pengembangan papan komposit. Pengembangan tebal terbesar 9,863% terdapat pada sampel A1B1 dengan komposisi serbuk sengon paling tinggi yaitu 60%. Serbuk sengon bersifat higroskopis sehingga mudah menyerap air dan meningkatkan pengembangan tebal (Shobib, A., Teodora D.S., Bambang P., Nur R., 2023). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan (Afrilda, 2021) dimana semakin bertambahnya TKKS pada spesimen maka semakin rendah pengembangan tebal.

Susunan serat secara acakan menghasilkan papan komposit dengan pengembangan tebal tertinggi karena banyaknya rongga ataupun ruang kosong pada spesimen, sehingga memungkinkan air terserap dan menyebabkan peningkatan volume.

Susunan serat sejajar menjadi susunan serat dengan pengembangan tebal terkecil, serat yang disusun dengan sejajar menjadikan spesimen lebih padat dan mengurangi ruang kosong pada spesimen, pengembangan tebal yang lebih rendah disebabkan karena air tidak bisa menyebar dan mengendap dengan mudah didalam spesimen, akibatnya pengembangan tebal terjadi lebih sedikit.

Susunan serat silangan menciptakan rongga yang lebih banyak dibanding susunan serat sejajar, namun lebih sedikit dibanding susunan serat acakan. Serat yang disusun secara

silangan memungkinkan air tetap terserap namun secara perlahan karena jaringan serat lebih rapat sehingga air dapat terserap secara perlahan.

3. Densitas (g/cm^3)

Uji densitas pada papan komposit adalah pengujian massa dalam volume suatu benda. Tinggi dan rendahnya kerapatan dipengaruhi oleh rongga pada papan komposit. Hasil uji keragaman menunjukkan bahwa substitusi TKKS (A) dan susunan serat sangat berpengaruh terhadap densitas, tetapi tidak ada interaksi faktor A dan B. Kemudian dilakukan uji *Duncan* yang disajikan pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil uji jarak berganda *Duncan* densitas (g/cm^3)

Substitusi TKKS	Susunan Serat			Rata-rata
	B1 (Acakan)	B2 (Sejajar)	B3 (Silangan)	
A1 (40%)	0,708	1,146	0,884	0,913 ^a
A2 (50%)	0,813	1,260	0,907	0,993 ^b
A3 (60%)	0,876	1,458	1,064	1,133 ^c
Rata-rata	0,799 ^x	1,288 ^z	0,952 ^y	

Keterangan : rerata yang diikuti huruf berbeda pada kolom maupun baris menunjukkan beda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada jenjang nyata 5%.

Semakin kecil nilai densitas pada papan komposit maka semakin ringan komposit tersebut. Densitas yang tinggi pada papan komposit cenderung lebih kuat, lebih sedikit menyerap air, dan lebih tahan lama (Surono, Untoro. Budi., 2020).

Substitusi serat TKKS sangat berpengaruh terhadap densitas pada papan komposit. Serat TKKS memiliki struktur yang lebih padat dan kasar bila dibandingkan dengan serbuk sengon yang membuat resin dapat mengikat secara lebih baik pada spesimen, maka semakin banyak TKKS yang terkandung pada spesimen, semakin tinggi nilai densitas papan komposit.

Susunan serat juga sangat berpengaruh pada papan komposit. Pada susunan serat acakan diduga terjadi banyak ruang kosong diantara serat yang tidak saling berhubungan, menyebabkan material menjadi kurang rapat dan padat hingga menghasilkan densitas yang lebih rendah. Susunan serat sejajar memiliki nilai densitas yang paling tinggi karena diduga dengan susunan yang paralel dan teratur, serat dapat mengikat lebih rapat satu sama lain hingga menciptakan lebih sedikit ruang kosong. Selanjutnya susunan serat silangan memiliki nilai densitas yang lebih tinggi dibanding acakan, namun tidak melebihi nilai densitas pada susunan sejajar. Hal ini diduga karena pada susunan silangan terbentuk sudut antar serat satu sama lain yang menyebabkan terbentuknya ruang kosong.

4. Uji kelenturan (*bending*) (kgf/cm^2)

Pengujian kelenturan dilakukan untuk mengukur kemampuan papan komposit dalam menahan beban yang diterapkan pada permukaan papan komposit. Hasil uji keragaman

menunjukkan bahwa substitusi TKKS (A) dan Susunan serat sangat berpengaruh terhadap kelenturan papan komposit, lalu terdapat interaksi antara substitusi TKKS dan susunan serat terhadap kelenturan. Kemudian dilakukan uji *Duncan* yang disajikan pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil uji jarak berganda *Duncan* kelenturan (kgf/cm²)

Substitusi TKKS	Susunan Serat			Rata-rata
	B1 (Acakan)	B2 (Sejajar)	B3 (Silangan)	
A1 (40%)	17.986	47.095	36.263	33.781 ^b
A2 (50%)	33.005	39.002	26.560	32.855 ^a
A3 (60%)	47.219	63.641	46.713	52.524 ^c
Rata-rata	32.736 ^x	49.912 ^z	36.512 ^y	

Keterangan : rerata yang diikuti huruf berbeda pada kolom maupun baris menunjukkan beda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada jenjang nyata 5%.

Substitusi serat TKKS sangat mempengaruhi kekuatan kelenturan pada papan komposit. Menurut (Meliana., dan Asifa A., 2021) serat TKKS memiliki kekuatan mekanik yang tinggi 1008,55 kg/cm², sehingga mampu menahan tekanan dengan baik dan membuat spesimen lebih getas, hal ini dibuktikan dengan meningkatnya nilai kelenturan seiring bertambahnya kandungan serat TKKS pada spesimen.

Susunan serat secara acakan dapat mendistribusikan beban dari berbagai arah dan membuat spesimen menjadi lebih lentur karena serat tersebar lebih merata pada seluruh spesimen. Dibuktikan dengan nilai rerata bending pada sampel A1B1 17.986 kgf/cm². Menurut (Hanifi. B, Q, I., Purwanto., 2022) kekuatan komposit dipengaruhi oleh variasi susunan serat, susunan serat secara acak membuat spesimen lebih kuat menahan lentur karena saat spesimen diberi tekanan matriks dan serat akan terlepas dari ikatannya tetapi ada sebagian serat masih berikatan sehingga serat tersebut belum dapat tercabut dan spesimen menjadi lebih lentur.

Susunan serat sejajar membuat ikatan yang lebih kuat pada spesimen. Susunan serat yang teratur dapat mendistribusikan gaya lebih efisien dibanding susunan serat acakan dan silangan, Kemampuan spesimen menahan pembengkokan meningkat karena serat bekerja secara maksimal dalam mendistribusikan gaya. Susunan serat yang teratur mampu menopang tekanan dengan lebih baik karena resin dapat mengikat serat dengan lebih baik sehingga spesimen menjadi lebih getas. Papan komposit yang getas cocok digunakan untuk *furniture* seperti meja, lemari, dan rak susun.

Susunan serat silangan memiliki kekuatan bending menyerupai susunan serat acakan bahkan cenderung lebih lentur. Susunan serat secara menyilang menyebabkan spesimen lebih lentur karena dengan susunan serat yang lurus dan berlawanan membuat spesimen mampu menahan tekanan dan mendistribusikan gaya dari dua arah sehingga spesimen dapat membengkok. Papan komposit yang lentur cocok digunakan untuk *skateboard* dan papan sirkuit cetak.

C. Rerata Uji Keseluruhan

Tabel 8. Rerata analisis keseluruhan

Perlakuan	Kadar air (% db)	Porositas (%)	Daya serap air (%)	Pengembangan tebal (%)	Densitas (g/cm ³)	Kelenturan (kgf/cm ²)
A1B1	7,743	33,907	33,421	9,863	0,708	17.986
A1B2	7,311	28,861	28,557	3,924	1,146	47.095
A1B3	7,209	32,137	32,227	7,369	0,884	36.263
A2B1	4,622	34,217	34,726	8,357	0,813	33.005
A2B2	4,489	28,001	27,906	3,503	1,260	39.002
A2B3	4,086	30,890	31,807	6,575	0,907	26.560
A3B1	3,611	33,327	33,326	7,690	0,876	47.219
A3B2	3,493	27,189	27,580	2,241	1,458	63.641
A3B3	3,079	29,790	29,641	5,692	1,064	46.713

Pada tabel 8 diperoleh hasil terbaik sifat kimia yaitu kadar air pada sampel A3B3 3,079 % db. Sifat fisika terbaik diperoleh pada sampel A3B2. Hal ini disebabkan substitusi TKKS sebanyak 60% (12 gram) dan perlakuan susunan serat sejajar, dimana semakin banyak TKKS yang terkandung dalam spesimen maka daya serap air, pengembangan tebal porositas akan semakin rendah, lalu densitas dan kekuatan menahan kelenturan semakin tinggi. Ini membuat papan komposit semakin kuat. Papan komposit dengan karakteristik seperti A3B2 cocok digunakan untuk *furniture* seperti meja, lemari, dan rak susun. Adapun papan komposit yang paling lentur adalah sampel A1B1 dengan nilai kelenturan paling rendah 17.986 kgf/cm² cocok digunakan untuk *skateboard* dan papan sirkuit cetak. Seluruh sampel pada penelitian ini telah memenuhi standar SNI 03-2105-2006 yakni kadar air <14%, densitas 0,40 g/cm³ – 0,90 g/cm³ dan kelenturan minimal 10⁴ kgf/cm².

D. Analisa Korelasi

Analisa korelasi adalah analisa yang digunakan untuk mengetahui hubungan parameter dengan parameter yang lain, yang ditandai oleh koefisien korelasi (r). Tabel analisa korelasi disajikan pada tabel 8.

Tabel 8. Analisa Korelasi

Analisis		Kadar_Ai r	Porositas	Pengembangan_T ebal	Daya_Serap	Densitas	Kelenturan
Kadar_Air	Pearson Correlation	1	.790**	.624**	.646**	-.550*	-.179
	Sig. (2-tailed)		.000	.006	.004	.018	.477
Porositas	Pearson Correlation	.790**	1	.795**	.776**	-.739**	-.316
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.000	.000	.201
Pengembangan_ Tebal	Pearson Correlation	.624**	.795**	1	.920**	-.963**	-.656**
	Sig. (2-tailed)	.006	.000		.000	.000	.003
Daya_Serap	Pearson Correlation	.646**	.776**	.920**	1	-.907**	-.578*
	Sig. (2-tailed)	.004	.000	.000		.000	.012
Densitas	Pearson Correlation	-.550*	-.739**	-.963**	-.907**	1	.727**
	Sig. (2-tailed)	.018	.000	.000	.000		.001
Kelenturan	Pearson Correlation	-.179	-.316	-.656**	-.578*	.727**	1
	Sig. (2-tailed)	.477	.201	.003	.012	.001	

Keterangan: 0,00 s/d 0,20 = korelasi sangat lemah

0,21 s/d 0,40 = korelasi lemah

0,41 s/d 0,60 = korelasi sedang
0,61 s/d 0,80 = korelasi kuat
0,81 s/d 1,00 = korelasi sangat kuat
1,00 = korelasi sempurna

Tabel 8 Menunjukkan nilai bahwa nilai kriteria korelasi (r) dari kadar air terhadap porositas sebesar 0.790, pengembangan tebal sebesar 0,624 lalu signifikasi kadar air terhadap daya serap air sebesar 0,646 (korelasi kuat, searah). Korelasi dari ketiga parameter disebabkan oleh porositas yang dipengaruhi rongga yang terdapat pada spesimen. Banyaknya air yang terserap ke dalam spesimen menandakan terdapat rongga rongga. Apabila spesimen memiliki banyak rongga maka kadar air, daya serap air, pengembangan tebal dan porositas cenderung meningkat.

Korelasi pengembangan tebal terhadap daya serap air menunjukkan signifikasi sebesar 0,920 (korelasi sangat kuat, searah). Korelasi sangat kuat yang terjadi pada pengembangan tebal terhadap daya serap air disebabkan oleh banyak rongga yang terdapat pada papan komposit. Semakin banyak air yang terserap pada spesimen maka nilai pengembangan tebal semakin besar, hal ini berbanding lurus dengan porositas yang ditunjukkan oleh nilai korelasi pengembangan tebal 0,795 dan daya serap air 0,776 (korelasi kuat searah) semakin banyak air yang terserap pada papan komposit menandakan porositas pada spesimen tinggi.

Selanjutnya korelasi densitas menunjukkan korelasi berbanding terbalik terhadap kadar air -0,550 (korelasi sedang, berlawanan arah), porositas -0,739 (kuat, berlawanan arah), pengembangan tebal dan , daya serap air dengan nilai kriteria korelasi (r) -0,963 – -0,907 (sangat kuat, tetapi berlawanan arah). Hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi nilai densitas maka semakin rendah nilai kadar air, porositas, daya serap air, dan pengembangan tebal. Densitas pada papan komposit menunjukkan sifat ringan pada bahan komposit, semakin kecil nilai densitas pada papan komposit maka semakin ringan, semakin banyak rongga dan semakin mudah menyerap air (Surono, Untoro. Budi., 2020).

Densitas berbanding lurus dengan kelenturan dengan nilai 0,727 (kuat, searah). Semakin tinggi nilai densitas pada spesimen maka semakin tinggi kekuatan pada spesimen, hal ini disebabkan oleh semakin padat spesimen papan komposit maka semakin getas karena rongga yang cenderung lebih sedikit pada spesimen dengan densitas yang rendah maka saat spesimen diberi tekanan yang kuat akan mengalami patah, berbanding terbalik dengan spesimen dengan densitas rendah yang memiliki banyak rongga ketika diberi tekanan yang kuat maka rongga rongga tersebut membantu mendistribusikan gaya agar spesimen melengkung hingga patah ketika diberi tekanan.

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Substitusi TKKS pada pembuatan papan komposit dengan basis serbuk sengon berpengaruh terhadap sifat kimia yakni kadar air, maupun sifat fisika berupa daya serap air, pengembangan tebal, densitas, porositas, dan kelenturan pada spesimen papan komposit. Susunan serat TKKS pada papan komposit berpengaruh terhadap sifat fisika yang divalidasi daya serap air, pengembangan tebal, densitas, porositas, dan kelenturan pada spesimen papan komposit.

Hasil terbaik dari penelitian ini terdapat pada sampel A3B2 (40% serbuk sengon : 60% serat TKKS, dengan perlakuan susunan serat sejajar) dengan nilai rerata kadar air 3,493%, daya serap air 27,581%, pengembangan tebal 2,241%, densitas $2,13\text{g/cm}^3$, porositas 27,189%. Pada uji kelenturan, sampel paling mudah melengkung terdapat pada sampel A1B1 dengan nilai kelenturan 17.986 kgf/cm^2 dan sampel paling getas terdapat pada sampel A3B2 dengan nilai kelenturan 63.641 kgf/cm^2 . Sampel yang getas dapat diaplikasikan sebagai *furniture* seperti meja, lemari, rak susun. Sampel yang mudah melengkung juga dapat diaplikasikan sebagai *skate board*, dan papan sirkuit cetak.

SARAN

Pada penelitian ini pencetakan spesimen dilakukan pengepresan secara manual didalam cetakan, akibatnya tekanan yang diberikan tidak stabil dan tidak merata. Resin tidak dapat melumasi spesimen secara merata sehingga banyak pori yang terbentuk mengakibatkan porositas tinggi.

Saran dari penelitian ini adalah gunakan alat *press* saat mencetak agar tekanan pencetakan stabil dan merata sehingga resin dapat mengenai seluruh bagian cetakan secara merata.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrilda, N. P. (2021). *Sintesis Papan Partikel Berbasis Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Serbuk Bambu Dengan Perekat Gambir dan Urea Formaldehida*. Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.
- Desiasni, R., Nur A., dan F. W. (2023). Sifat Fisik dan Mekanik Komposit Papan Partikel Berdasarkan Variasi Ukuran Serbuk Kayu Mahoni (*Swietenia Macrophylla*) Sebagai Material Alternatif: Papan Komposit. *Jurnal TAMBORA*, 7(2), 78–83.
- Desiasni, R., Rico C., dan F. W. (2021). Pengaruh Volume Limbah Serbuk Kayu Jati (*Tectona Grandis*) Terhadap Daya Serap Air Pada Komposit Partikel Dengan Matriks Epoksi. *Jurnal TAMBORA*, 5(2), 74–78. <https://doi.org/10.36761/jt.v5i2.1128>
- Dewanti, D. P. (2018). Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 81–87.
- Diana, L., Arrad G. S., dan M. N. A. (2022). Analisis Kekuatan Tarik pada Material Komposit dengan Serat Penguat Polimer. *Jurnal Kesehatan dan Masyarakat*, 2(2), 2808–6171.

- Fadilah, R. (2020). Analisis Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Material Komposit Pada Body Mobil Listrik Prosoe Kmhe 2019. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(1), 124–128.
- Florenza, D., Anerasari M., dan E. D. (2021). Rancang Bangun Alat Screw Extruder Untuk Pembuatan Papan Partikel Campuran Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Plastik LDPE. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia (JPTI)*, 1(10), 403–413.
- Haisyah., Yudha A., dan A. A. (2021). Konduktivitas Termal Papan Komposit dari Sekam Padi dan Ampas Tebu. *Prisma Fisika*, 9(3), 208–212.
- Hanifi. B, Q, I., Purwanto., dan I. S. (2022). Pengaruh Variasi Susunan Serat Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Dengan Resin Polyester Sebagai Bahan Komposit Anti Peluru. *momentum*, 16(1), 1–23.
- Hasan, A., Muhammad Y., dan M. N. K. (2020). Papan Partikel Ampas Tebu (Saccharum officinarum) Dengan Perekat High Density Polyethylene. *Jurnal Kinetika*, 11(03), 8–13.
- Hidanto, W., & Mora, Mora. (2019). Analisis Pengaruh Komposisi Serbuk terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Papan Partikel Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit, Serbuk Kayu dan Tempurung Kelapa. *Jurnal Fisika Unand*, 8(2), 106–112.
- Manurung T. (2022). Analisis Perbandingan Kekuatan Bahan Komposit Dengan Variasi Susunan Acak Dan Lurus Memanjang Berbasis Serat Bambu Dan Resin Polyester. *Jurnal Kolaborasi Sains dan Ilmu Terapan*, 1(1), 19–23.
- Meliana., dan Asifa A. (2021). Analisis Pengaruh Ukuran Serat Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Papan Komposit Berbahan Serat Batang Pisang Kepok. *Prisma Fisika*, 9(3), 221–227.
- Mirza, H., Muhammad F. M., dan G. A. R. T. (2020). Sifat Fisik dan Mekanik Papan Partikel Dari Serbuk Gergajian Kayu Sengon Laut (Paraserianthes falcataria) Menggunakan Perekat PVAC. *Jurnal Sylva Scienteeae*, 3(5), 855–867.
- Nurfadilah, S. (2024). *Pengaruh Fraksi Volume Serat Dan Persentase Katalis Terhadap Sifat Mekanik Komposit Polyester Berpenguat Serat Ijuk Dengan Metode Vacuum Bag*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Nurhanisa, M., Wahyuni D., dan P. M. (2021). Pengaruh Susunan Serat pada Papan Komposit Serat Bambu terhadap Sifat Fisis dan Mekanis. *Positron*, 11(2), 126–132.
- Prayoga, Devit, Alda., Novi, sukma, Drastiawati. (2021). Pengaruh Jumlah Laminasi Core Komposit Sandwich Serat Kenaf Dengan Core Kayu Sengon Terhadap Kekuatan Bending. *Jtm*, 9(1), 1–10.
- Said M, L., Nurul F., dan F. D. (2021). Karakterisasi Sifat Fisis Papan Partikel Sabut Kelapa—Serat Pelepah Lontar. *Jurnal Fisika dan Terapannya*, 8(2), 1–12.
- Saputera, M. I. A., Rachmat S., dan M. (2024). Pengaruh Fraksi Volume dan Susunan Serat Komposit Polyester-Serat Eceng Gondok Terhadap Nilai Konduktifitas Termal. *Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa Rotary*, 6(1), 71–84.
- Shobib, A., Teodora D.S., Bambang P., Nur R., dan M. K. (2023). Analisis Komposisi Selulosa, Hemiselulosa, dan Lignin Dalam Berbagai Jenis Kayu: Metode Chesson-Datta. *Inovasi Teknik Kimia*, 8(1), 1–14.
- Siagian, D. E. N. dan M. H. S. P. (2024). Serat Alam Sebagai Bahan Komposit Ramah Lingkungan Natural Fiber As an Environmentally Friendly Composite Material. *CIVeng*, 5(1), 55–60.
- Sihombing, F. B. (2022). *Analisis Kekuatan Mekanik Material Komposit Yang Berpeluang Diaplikasikan Pada Handle Rem Sepeda Motor*. Universitas Medan Area.
- Surono, Untoro. Budi., S. (2020). Analisa Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Serat Ijuk Dengan Bahan Matrik Poliester. *prosiding seminar nasional xi*, 5(1), 15–30.
- Sutanto, T. D., Fika D. A., Charles B., dan B. T. (2022). Pengaruh Campuran Cocodust dan Serabut Halus Sabut Kelapa Terhadap Sifat Fisika Papan Partikel. *Rafflesia Journal of Natural and Applied Sciences*, 2(1), 106–111.
- Tanjung, R., Rita D., dan F. W. (2023). Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Kekuatan Fisik, Mekanik dan Morfologi Komposit Berpenguat Serbuk Kayu Sengon (Albizia Chinensis)—Resin Epoxy. *Hexagon Jurnal Teknik dan Sains*, 4(1), 29–39.

Wibowo, C. H., Sunardi., dan R. L. (2021). Karakteristik Papan Komposit dengan Menggunakan Kulit Salak Sebagai Filler Komposit. *Jurnal Mettek*, 7(2), 109–117.