

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perlakuan Awal Serbuk Kayu Akasia

Perlakuan awal serbuk kayu akasia bertujuan untuk memperoleh bahan penguat dengan karakteristik yang sesuai untuk pembuatan papan komposit berbasis HDPE. Hasil dari setiap tahapan perlakuan awal menunjukkan perubahan karakteristik fisik serbuk kayu akasia, terutama pada keseragaman ukuran partikel, kondisi permukaan, dan tingkat kekeringan material.

Pengayakan awal menghasilkan serbuk dengan ukuran partikel yang masih bervariasi, sedangkan perendaman menggunakan larutan NaOH menunjukkan perubahan pada permukaan serbuk kayu. Proses pengeringan menggunakan oven menghasilkan serbuk kayu dengan kadar air yang lebih rendah, meskipun masih dijumpai penggumpalan pada beberapa sampel. Tahap penghalusan menggunakan blender yang dilanjutkan dengan pengayakan akhir menghasilkan serbuk kayu yang lebih halus dan seragam. Pembahasan lebih rinci dari setiap tahapan tersebut disajikan pada subbab 4.1.1 hingga 4.1.4.

4.1.1 Hasil Pengayakan Awal Serbuk Kayu Akasia

Pengayakan awal serbuk kayu akasia dilakukan untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih seragam sebelum digunakan dalam pembuatan papan komposit. Hasil pengayakan serbuk kayu akasia disajikan pada gambar berikut dan dibahas lebih lanjut pada bagian pembahasan.



(a)



(b)

Gambar 4. 1 (a) serbuk kayu akasia sebelum diayak, (b) serbuk kayu akasia setelah diayak

Hasil pengayakan awal serbuk kayu akasia menunjukkan perbedaan karakteristik yang jelas antara serbuk sebelum dan sesudah dilakukan pengayakan menggunakan ayakan mesh 60. (a) Sebelum diayak mesh 60, serbuk kayu akasia masih memiliki ukuran partikel yang tidak seragam. Pada kondisi ini, serbuk terdiri atas campuran partikel halus dan kasar, serta masih terdapat gumpalan-gumpalan kecil akibat perbedaan ukuran dan bentuk partikel. Ketidakteraturan ukuran partikel ini berpotensi memengaruhi proses pencampuran dengan matriks HDPE serta distribusi serat dalam komposit yang dihasilkan. Sementara itu, (b) sesudah diayak menggunakan mesh 60, serbuk kayu akasia menunjukkan ukuran partikel yang lebih seragam dan homogen. Partikel-partikel kasar yang tidak lolos ayakan terpisah, sehingga serbuk yang digunakan dalam proses selanjutnya didominasi oleh partikel halus dengan ukuran relatif seragam. Kondisi ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas pencampuran antara serbuk kayu dan HDPE, serta menghasilkan struktur komposit yang lebih merata dan konsisten.

4.1.2 Hasil Perendaman Serbuk Kayu Akasia Menggunakan NaOH

Perendaman serbuk kayu akasia menggunakan larutan NaOH dilakukan sebagai perlakuan awal untuk memodifikasi permukaan serbuk kayu sebelum digunakan dalam pembuatan papan komposit.

Proses perendaman ini bertujuan untuk membersihkan permukaan serbuk kayu dari zat pengotor serta meningkatkan interaksi antara serbuk kayu akasia dan matriks HDPE. Hasil perendaman serbuk kayu akasia menggunakan NaOH disajikan pada gambar berikut. Perubahan kondisi serbuk kayu setelah proses perendaman selanjutnya dibahas lebih lanjut pada bagian pembahasan.



Gambar 4. 2 (a) serbuk kayu akasia sebelum direndam NaOH, (b) serbuk kayu akasia setelah direndam NaOH

Hasil perendaman serbuk kayu akasia menggunakan larutan NaOH menunjukkan adanya perbedaan karakteristik antara serbuk sebelum dan sesudah dilakukan perendaman.

(a) Sebelum direndam NaOH, serbuk kayu akasia berada dalam kondisi kering dengan warna alami khas kayu akasia. Pada kondisi ini, permukaan serbuk masih tertutup oleh zat ekstraktif, lignin, dan kotoran ringan yang menempel, sehingga serbuk tampak relatif kasar dan kurang bersih. Keberadaan komponen tersebut berpotensi menghambat ikatan antara serbuk kayu dengan matriks polimer pada proses pembuatan komposit.

(b) Sesudah direndam NaOH, serbuk kayu akasia mengalami perubahan karakteristik yang terlihat secara visual serbuk berada dalam kondisi basah karena masih mengandung larutan sisa perendaman dan belum melalui proses pengeringan.

Warna serbuk tampak lebih gelap dan teksturnya terlihat lebih lembap, yang mengindikasikan terjadinya proses pembersihan permukaan serat akibat perlakuan alkali. Perendaman dengan NaOH berfungsi untuk mengurangi kandungan lignin, hemiselulosa, serta zat ekstraktif pada permukaan serbuk kayu, sehingga permukaan serat menjadi lebih bersih dan reaktif. Kondisi ini diharapkan dapat meningkatkan daya ikat antara serbuk kayu akasia dan matriks HDPE pada tahap proses selanjutnya.

4.1.3 Hasil Pengeringan Serbuk Kayu Akasia Menggunakan Oven

Pengeringan serbuk kayu akasia dilakukan untuk mengurangi kadar air setelah proses perlakuan sebelumnya sebelum digunakan dalam pembuatan papan komposit. Hasil pengeringan serbuk kayu akasia disajikan pada gambar berikut dan dibahas lebih lanjut pada bagian pembahasan.



(a)



(b)

Gambar 4. 3 (a) serbuk kayu akasia sebelum dikeringkan NaOH, (b) serbuk kayu akasia setelah dikeringkan

Hasil pengeringan serbuk kayu akasia menggunakan oven menunjukkan perbedaan kondisi yang jelas antara serbuk sebelum dan sesudah dilakukan proses pengeringan.

(a) Sebelum dikeringkan, serbuk kayu akasia berada dalam kondisi basah karena masih mengandung sisa air hasil proses perendaman dan pembilasan sebelumnya. Pada kondisi ini, serbuk tampak lembap, cenderung menggumpal, dan memiliki berat yang relatif lebih besar akibat kandungan air yang masih tinggi. Keberadaan air dalam serbuk berpotensi mengganggu proses pencampuran dengan matriks polimer serta dapat memengaruhi kualitas ikatan antarmuka pada komposit yang dihasilkan.

12

4.1.4 Hasil Penghalusan Blender dan Pengayakan Akhir

Penghalusan serbuk kayu akasia menggunakan blender dan pengayakan akhir dilakukan untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih halus dan seragam sebelum digunakan dalam pembuatan papan komposit. Hasil penghalusan dan pengayakan akhir serbuk kayu akasia disajikan pada gambar berikut dan dibahas lebih lanjut pada bagian pembahasan.



(a)



(b)

Gambar 4. 4 (a) serbuk kayu akasia sebelum diblender, (b) serbuk kayu akasia setelah diblender

Hasil penghalusan menggunakan blender dan pengayakan akhir menunjukkan perbedaan kondisi serbuk kayu akasia sebelum dan sesudah dilakukan proses penghalusan serta pengayakan.

(a) Sebelum dihaluskan dan diayak, serbuk kayu akasia merupakan serbuk yang telah melalui proses pengeringan menggunakan oven setelah perlakuan alkali (NaOH).







Meskipun telah dikeringkan, serbuk masih menunjukkan adanya gumpalan-gumpalan kecil akibat sisa kelembapan dan interaksi antarpartikel selama proses pengeringan. Ukuran partikel pada kondisi ini masih relatif tidak seragam, sehingga berpotensi menghambat proses pencampuran yang homogen dengan matriks polimer pada tahap selanjutnya. (b) Sesudah dihaluskan menggunakan blender dan diayak, serbuk kayu akasia mengalami perubahan karakteristik yang signifikan. Proses penghalusan bertujuan untuk memecah gumpalan-gumpalan serbuk sehingga diperoleh partikel yang lebih halus, sedangkan pengayakan akhir berfungsi untuk menghasilkan ukuran partikel yang lebih seragam. Setelah melalui kedua tahapan tersebut, serbuk tampak lebih homogen, tidak menggumpal, dan memiliki distribusi ukuran partikel yang lebih merata. Kondisi ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas pencampuran antara serbuk kayu akasia dan matriks HDPE, serta menghasilkan struktur komposit yang lebih seragam dan konsisten.

4.2 Pengaruh Fraksi Volume Terhadap Karakteristik Visual Papan Komposit Hot Press

Berdasarkan hasil perhitungan komposisi komposit, variasi fraksi volume serbuk kayu akasia yang digunakan dalam pembuatan sampel terdiri atas 10%, 20%, dan 30%. Penentuan massa serbuk kayu akasia dan biji HDPE pada setiap variasi dilakukan dengan mempertimbangkan volume total komposit serta densitas masing-masing material, sehingga diperoleh perbandingan massa yang sesuai dengan fraksi volume yang direncanakan.

Fraksi volume yang secara visual terbaik kemudian ditetapkan sebagai fraksi volume tetap. Fraksi volume ini selanjutnya digunakan sebagai variabel tetap pada pengujian berikutnya, khususnya dalam analisis pengaruh variasi tekanan dan temperatur proses hot press terhadap sifat papan komposit.

4.2.1 Hasil Fraksi Volume Terhadap Karakteristik Visual Papan Komposit Hot Press

	Tampak Depan	Tampak Belakang
Fraksi Volume 10%	 Wrinkles	 Void
Fraksi Volume 20%	 Void	 Void
Fraksi Volume 30%	 Dry spot	 Dry spot

Gambar 4.5 Karakteristik visual komposit hasil proses hot press pada variasi fraksi volume 10%, 20%, dan 30% (tampak depan dan belakang).

Papan komposit dengan fraksi volume 10% menunjukkan adanya void (rongga) dan wrinkles (kerutan pada papan) komposisi serbuk kayu yang relatif sedikit, sehingga kandungan HDPE masih dominan; akibatnya, struktur komposit menjadi kurang padat dan distribusi serbuk tidak merata.

Pada fraksi volume 20%, terdapat void (rongga besar) dan komposisi serbuk kayu meningkat, sehingga struktur komposit menjadi lebih padat dengan distribusi serbuk yang lebih merata.

Sementara itu, pada fraksi volume 30%, tidak terdapat void (rongga besar) dan komposisi serbuk kayu relatif tinggi, namun terdapat dry spot (bagian serbuk yang tidak terbasahi secara merata oleh lelehan HDPE), sehingga beberapa partikel berpotensi terlepas dari matriks.

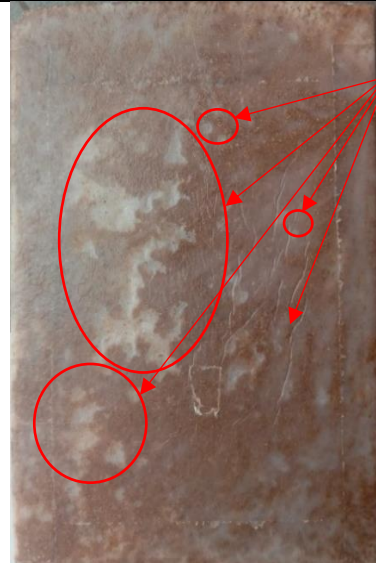
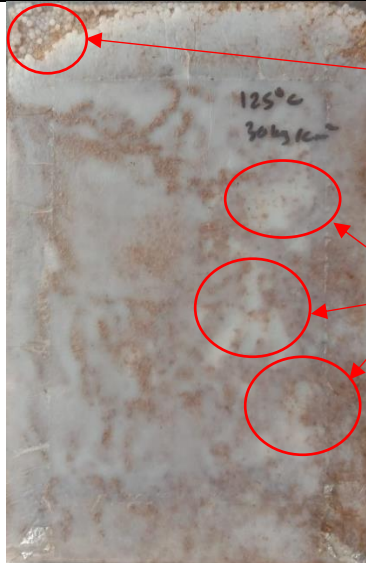
Berdasarkan hasil pengamatan terhadap spesimen papan komposit yang dihasilkan, fraksi volume serbuk kayu akasia sebesar 20% menunjukkan karakteristik terbaik dibandingkan variasi lainnya. Pada fraksi volume ini, jumlah void (rongga besar) yang terbentuk relatif sedikit dan komposisi serbuk kayu cukup memadai, sehingga menghasilkan struktur komposit yang lebih padat.

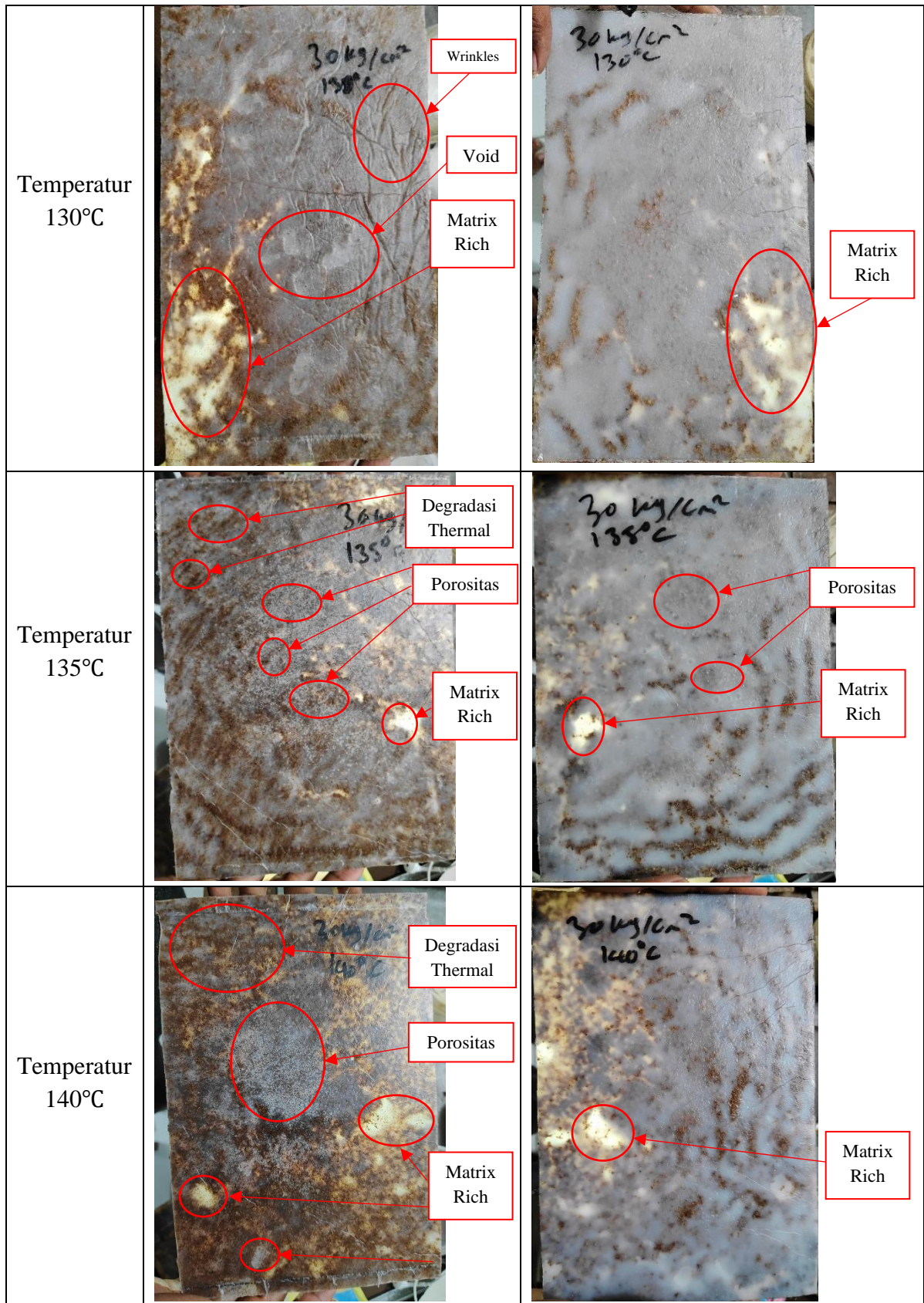
4.3 Pengaruh Temperatur Terhadap Karakteristik Visual Papan Komposit Hot Press

Berdasarkan hasil pembuatan papan komposit pada berbagai variasi temperatur, proses hot press dilakukan pada temperatur 125°C, 130°C, 135°C, 140°C, dan 145°C. Perbedaan temperatur dapat berpengaruh terhadap kondisi fisik papan komposit yang dihasilkan, terutama pada tingkat peleburan matriks HDPE, kerapatan struktur, serta kualitas ikatan antara matriks dan serbuk kayu akasia.

Hasil papan komposit tersebut, dipilih tiga variasi temperatur yang memberikan karakteristik papan komposit paling baik untuk selanjutnya ditetapkan sebagai variabel bebas temperatur. Ketiga temperatur terpilih ini kemudian dikombinasikan dengan variasi tekanan pada proses hot press guna menganalisis pengaruh simultan temperatur dan tekanan terhadap sifat papan komposit pada tahap pengujian berikutnya.

4.3.1 Hasil Pengaruh Temperatur Terhadap Karakteristik Visual Papan Komposit Hot Press

Variasi	Tampak Depan	Tampak Belakang
Temperatur 125°C		





Gambar 4. 6 Karakteristik visual komposit hasil proses hot press pada variasi temperatur 125°C, 130°C, 135°C, 140°C, dan 145°C (tampak depan dan belakang)

Pada papan komposit dengan temperatur 125 °C, terlihat adanya *void* (rongga besar) berukuran cukup besar serta fenomena *unmelted matrix* (matriks HDPE belum meleleh sempurna). Hal ini menunjukkan bahwa temperatur tersebut masih terlalu rendah sehingga matriks belum mampu mengalir dan membasahi filler secara optimal, sehingga ikatan menjadi lemah.

Pada temperatur 130 °C, proses pelelehan HDPE mulai meningkat, namun masih ditemukan *void* (rongga besar) dan area *matrix rich* (daerah dominan matriks tanpa filler merata). Selain itu, muncul *wrinkles* (kerutan pada papan komposit) yang menunjukkan distribusi material dan tekanan belum merata, meskipun belum terjadi degradasi termal pada serbuk.

Memasuki temperatur 135 °C, HDPE telah meleleh lebih optimal, namun mulai terjadi degradasi termal ringan pada serbuk. Selain itu, masih ditemukan porositas (rongga kecil akibat gas) dan *matrix rich* (daerah dominan matriks tanpa filler merata), yang menunjukkan adanya pengaruh pelepasan gas dari filler.

Pada temperatur 140 °C, degradasi termal meningkat menjadi tingkat sedang, yang menyebabkan terbentuknya gas dan menghasilkan *void* (rongga besar) serta porositas. Meskipun matriks semakin mudah mengalir, area *matrix rich* (daerah dominan matriks tanpa filler merata) masih ditemukan.

Sementara itu, pada temperatur 145 °C terjadi degradasi termal berat yang ditandai dengan serbuk yang menghitam atau gosong. Kondisi ini menyebabkan porositas (rongga kecil), *void* (rongga besar), serta masih adanya *matrix rich* (daerah dominan matriks tanpa filler merata), sehingga kualitas komposit menurun.

Berdasarkan hasil pembuatan dan pengamatan terhadap papan komposit yang dihasilkan pada berbagai variasi temperatur, dapat disimpulkan bahwa temperatur 130°C, 135°C, dan 140°C memberikan karakteristik papan komposit yang paling optimal dibandingkan variasi temperatur lainnya. Pada rentang temperatur tersebut, proses peleburan matriks HDPE berlangsung dengan baik sehingga mampu meningkatkan kerapatan struktur serta memperbaiki ikatan antara matriks dan serbuk kayu akasia.

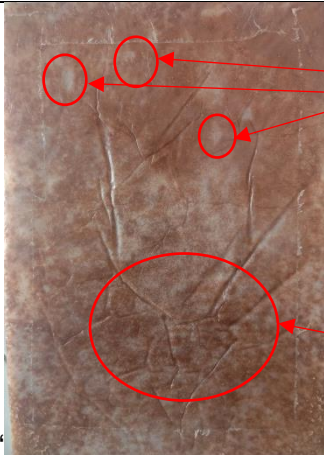
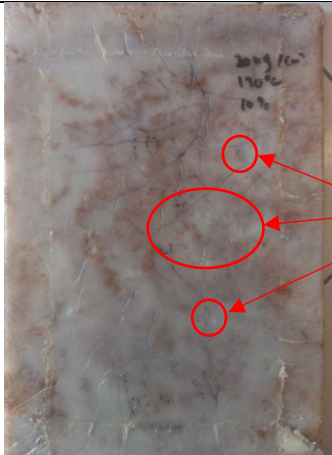
Oleh karena itu, ketiga temperatur tersebut ditetapkan sebagai variabel bebas temperatur dan selanjutnya dikombinasikan dengan variasi parameter tekanan pada proses hot press untuk menganalisis pengaruh keduanya terhadap sifat papan komposit pada tahap pengujian berikutnya.

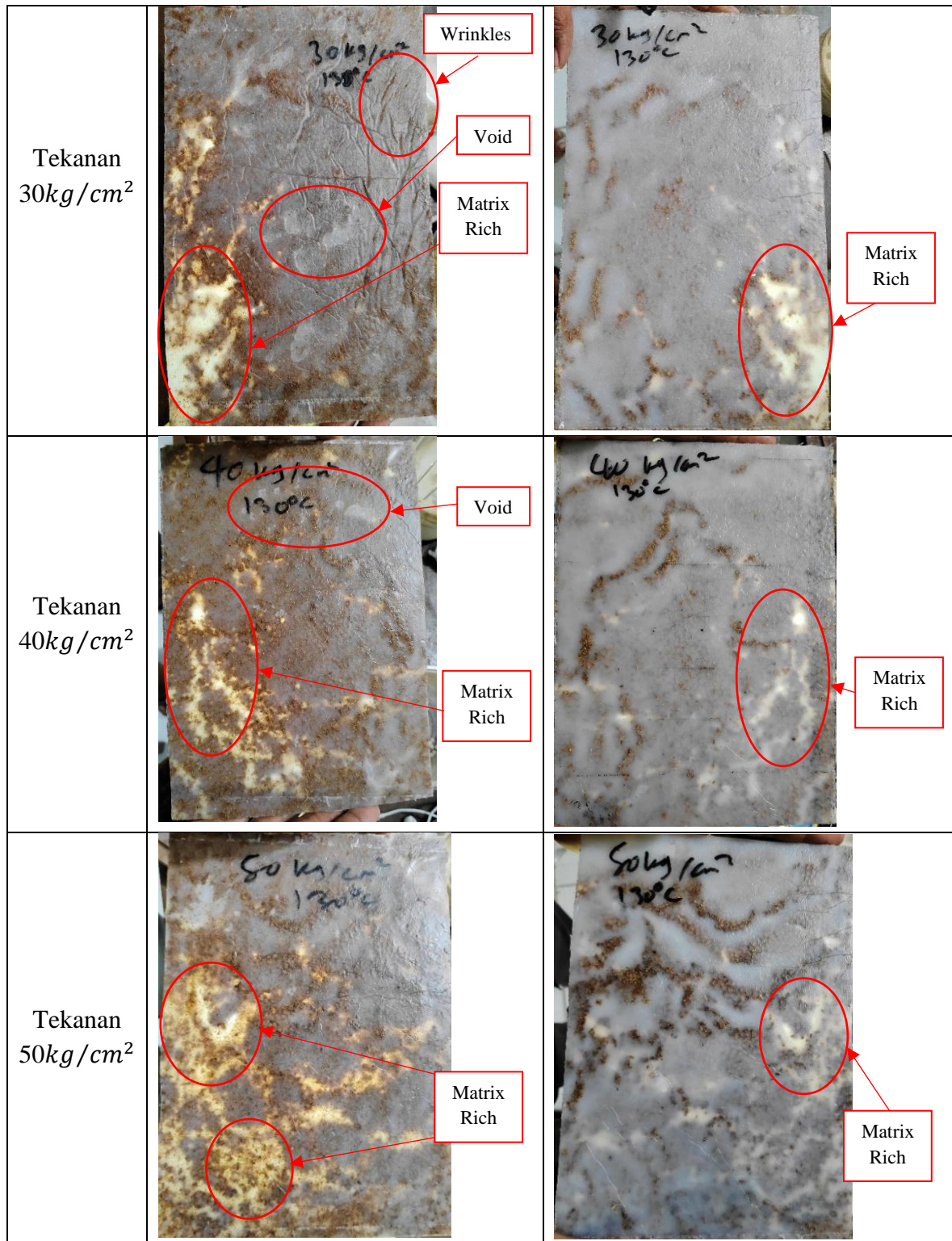
4.4 Pengaruh Tekanan Terhadap Karakteristik Visual Papan Komposit Hot Press

Berdasarkan hasil pembuatan papan komposit pada berbagai variasi tekanan, proses hot press dilakukan pada tekanan 20 kg/cm², 30 kg/cm², 40 kg/cm², dan 50 kg/cm². Variasi tekanan tersebut akan berpengaruh terhadap tingkat pemadatan papan komposit serta kualitas ikatan antara matriks HDPE dan serbuk kayu akasia.

Selanjutnya dipilih tiga variasi tekanan yang menghasilkan karakteristik papan komposit paling baik untuk ditetapkan sebagai variabel bebas tekanan. Variasi tekanan terpilih ini kemudian dikombinasikan dengan variabel temperatur pada proses hot press untuk menganalisis pengaruh kombinasi tekanan dan temperatur terhadap sifat papan komposit pada tahap pengujian berikutnya.

4.4.1 Hasil Pengaruh Tekanan Terhadap Karakteristik Visual Papan Komposit Hot Press

Variasi	Tampak Depan	Tampak Belakang
Tekanan 20kg/cm ²	 <p>Void</p> <p>Wrinkles</p>	 <p>Void</p>



Gambar 4.7 Karakteristik visual komposit hasil proses hot press pada variasi tekanan 20kg/cm^2 , 30kg/cm^2 , 40kg/cm^2 dan 50kg/cm^2 (tampak depan dan belakang).

Pada tekanan 20 kg/cm², masih ditemukan porositas (rongga kecil), *void* (rongga besar), dan *wrinkles* (kerutan akibat aliran/tekanan tidak stabil). Hal ini menunjukkan bahwa tekanan yang diberikan masih rendah sehingga belum mampu memadatkan material secara optimal dan masih banyak udara atau gas yang terperangkap.

Pada tekanan 30 kg/cm², jumlah cacat mulai berkurang, namun masih terdapat *wrinkles* (kerutan), *void* (rongga), dan *matrix rich* (daerah dominan matriks tanpa filler merata). Peningkatan tekanan mulai membantu pemadatan, tetapi distribusi filler dan aliran matriks masih belum homogen.

Pada tekanan 40 kg/cm², cacat semakin berkurang dan hanya ditemukan *void* (rongga) serta *matrix rich* (kelebihan matriks di area tertentu). Hal ini menunjukkan bahwa tekanan yang lebih tinggi mampu meningkatkan densifikasi dan mengurangi cacat akibat udara terperangkap, meskipun distribusi material belum sepenuhnya merata.

Pada tekanan 50 kg/cm², hanya ditemukan *matrix rich* (dominan matriks), sementara porositas dan *void* sudah tidak terlihat signifikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa tekanan tinggi sangat efektif dalam meminimalkan rongga dan meningkatkan kerapatan komposit, namun dapat menyebabkan matriks lebih mendominasi dibanding filler di beberapa area.

Berdasarkan hasil pembuatan dan pengamatan terhadap papan komposit pada berbagai variasi tekanan, dapat disimpulkan bahwa tekanan 30 kg/cm², 40 kg/cm², dan 50 kg/cm² menghasilkan karakteristik papan komposit yang lebih baik dibandingkan variasi tekanan lainnya.

Pada rentang tekanan tersebut, proses pemadatan berlangsung secara lebih optimal sehingga mampu mengurangi pembentukan void dan meningkatkan kualitas ikatan antara matriks HDPE dan serbuk kayu akasia. Oleh karena itu, ketiga variasi tekanan tersebut ditetapkan sebagai variabel bebas tekanan dan selanjutnya dikombinasikan dengan parameter temperatur pada proses hot press untuk menganalisis pengaruh kombinasi tekanan dan temperatur terhadap sifat papan komposit pada tahap pengujian berikutnya.

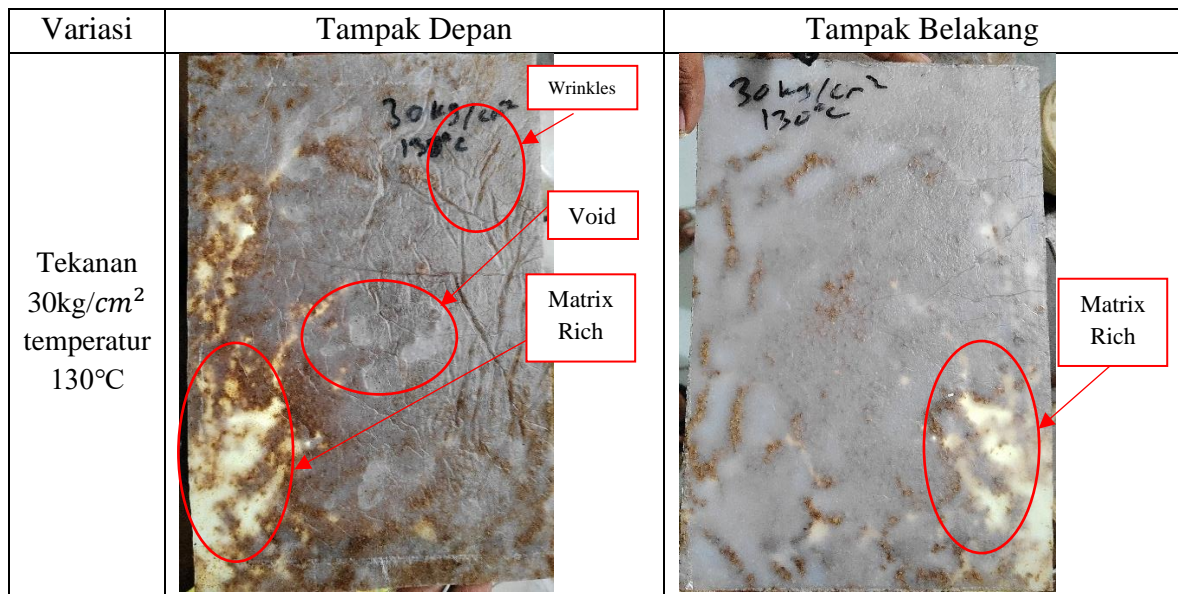
4.5. Hasil Pembuatan Papan Komposit *Hot Press* pada Variasi Tekanan dan Temperatur

Berdasarkan hasil analisis pengaruh fraksi volume, temperatur, dan tekanan, ditetapkan bahwa fraksi volume serbuk kayu akasia sebesar 20% digunakan sebagai variabel tetap pada tahap pengujian selanjutnya. Penetapan ini didasarkan pada hasil pengamatan yang menunjukkan karakteristik papan komposit yang paling sesuai dibandingkan variasi fraksi volume lainnya.

Pada variasi temperatur proses hot press yang meliputi 125°C, 130°C, 135°C, 140°C, dan 145°C, diperoleh bahwa temperatur 130°C, 135°C, dan 140°C menunjukkan hasil yang lebih baik secara visual. Oleh karena itu, ketiga temperatur tersebut ditetapkan sebagai variabel bebas temperatur yang selanjutnya dikombinasikan dengan variabel bebas tekanan.

Sementara itu, dari variasi tekanan 20 kg/cm², 30 kg/cm², 40 kg/cm², dan 50 kg/cm², tekanan 30 kg/cm², 40 kg/cm², dan 50 kg/cm² dipilih sebagai variabel bebas tekanan. Variasi tekanan terpilih ini kemudian dikombinasikan dengan variasi temperatur untuk menganalisis pengaruh kombinasi tekanan dan temperatur terhadap karakteristik papan komposit pada tahap pembahasan berikutnya.

4.5.1 Pengamatan Visual Papan Komposit pada Variasi Tekanan dan Temperatur

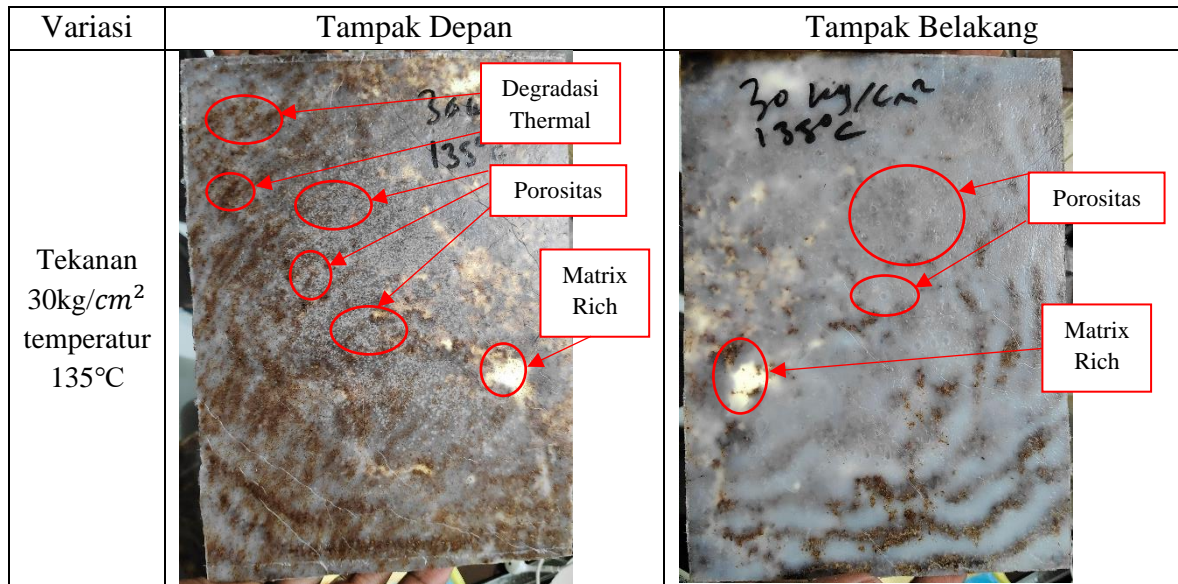


Gambar 4. 8 Papan komposit serbuk kayu dengan 30kg/cm² temperatur 130°C

Berdasarkan pengamatan visual pada komposit , kondisi permukaan bagian depan komposit menunjukkan kualitas yang kurang baik. Terlihat beberapa matrix rich berukuran diatas 13 mm dan porositas, terutama pada sisi kiri bawah, di mana serbuk kayu tidak mengisi area tersebut dengan sempurna. Serbuk kayu tidak mengalami degradasi termal karena proses berlangsung pada temperatur relatif rendah, yaitu 130 °C. Terdapat wrinkles pada permukaan depan yang disebabkan oleh lembaran aluminium sebagai pelapis yang tidak tersusun rata serta mengalami tekukan saat proses pengolesan release agent, sehingga menghasilkan permukaan yang kurang halus.

Pada permukaan bagian belakang, jumlah void dan porositas cenderung lebih sedikit. Porositas lebih dominan pada area sisi atas, sedangkan void berukuran besar tampak pada sisi kanan bawah, menandakan adanya bagian yang tidak terisi serbuk secara optimal.

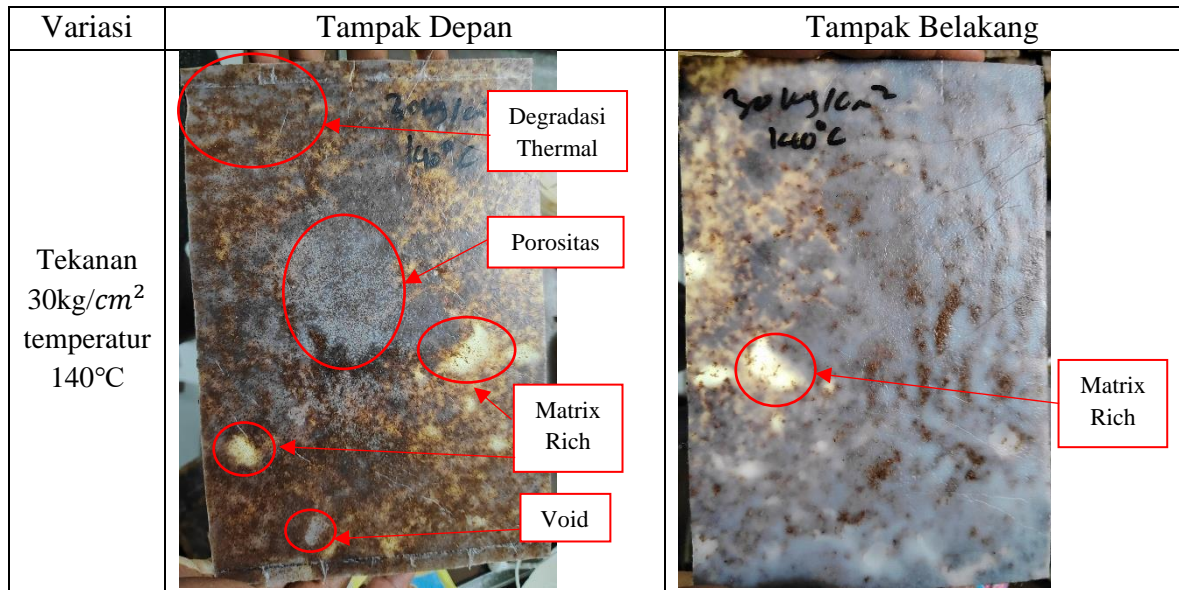
Meskipun demikian, permukaan belakang terlihat lebih halus karena lembaran aluminium yang digunakan sebagai pelapis tidak mengalami tekukan seperti pada bagian bawah.



Gambar 4. 9 Papan komposit serbuk kayu dengan 30kg/cm² temperatur 135°C

Berdasarkan pengamatan visual pada komposit, permukaan bagian depan menunjukkan banyak porositas berukuran kecil (<1 mm) yang tersebar terutama pada area tengah. Selain itu, terlihat void pada sisi kanan bawah dan sisi kanan atas yang menandakan adanya bagian yang tidak terisi oleh serbuk kayu. Secara umum, permukaan bawah depan lebih halus, namun terdapat beberapa titik serbuk yang mengalami degradasi termal, ditandai dengan perubahan warna serbuk menjadi hitam akibat pemanasan pada temperatur menengah yaitu sekitar 135 °C.

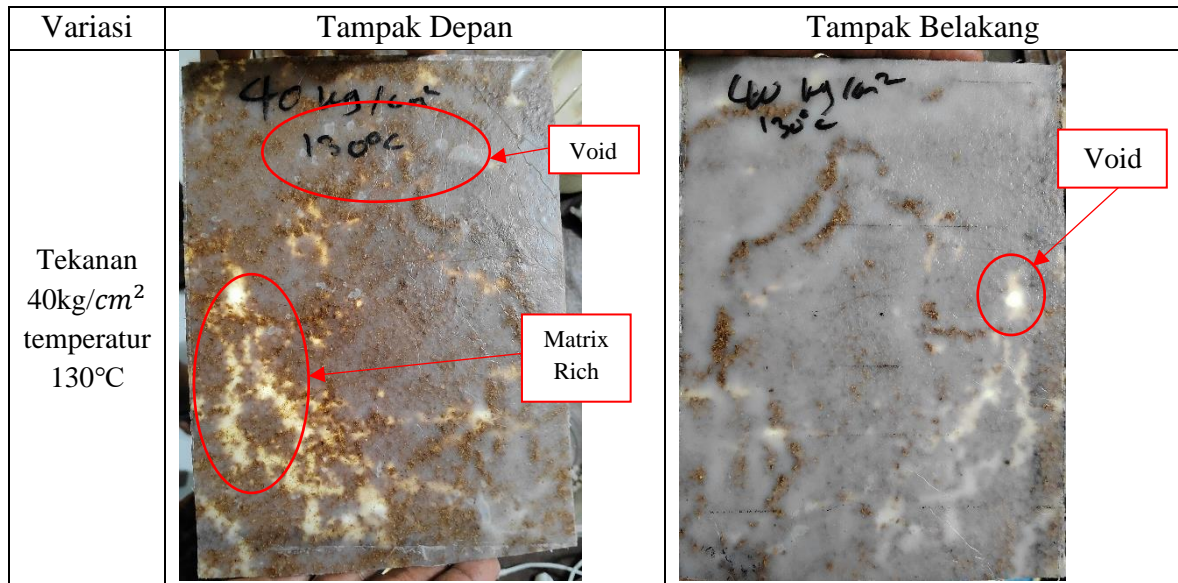
Pada permukaan bagian belakang, teramati banyak void berukuran sekitar 3 mm serta porositas yang tersebar di beberapa bagian. Meskipun demikian, permukaan belakang cenderung lebih halus dan tidak menunjukkan adanya tanda-tanda degradasi termal.



Gambar 4. 10 Papan komposit serbuk kayu dengan 30kg/cm² temperatur 140°C

Berdasarkan hasil pengamatan visual pada komposit, kondisi permukaan bagian depan menunjukkan adanya banyak porositas berukuran kecil (<1 mm) yang terletak pada area tengah papan komposit. Selain itu, terdapat beberapa matrix rich berukuran lebih besar (<13 mm) pada sisi kanan permukaan depan.

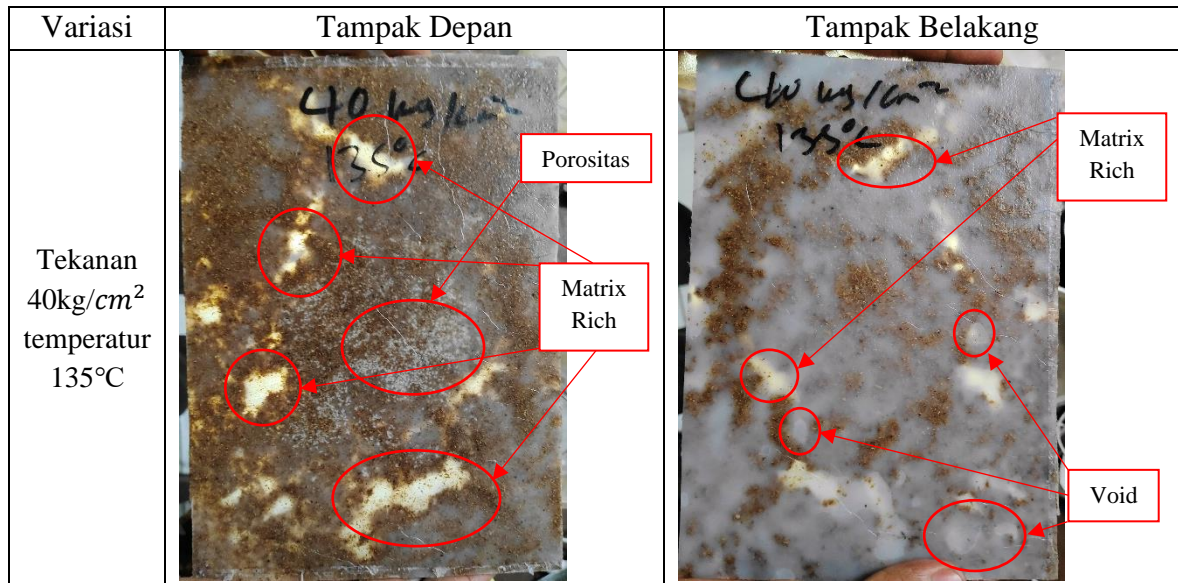
Pada permukaan depan juga terlihat beberapa titik yang mengalami degradasi termal, ditandai dengan perubahan warna serbuk. Sementara itu, pada permukaan bagian belakang komposit ditemukan beberapa matrix rich berukuran <13 mm yang umumnya berada pada sisi kiri. Namun, pada permukaan belakang tidak ditemukan porositas kecil maupun indikasi degradasi termal pada serbuk.



Gambar 4. 11 Papan komposit serbuk kayu dengan 40kg/cm² temperatur 130°C

Berdasarkan hasil pengamatan visual pada komposit, kondisi permukaan bagian depan menunjukkan adanya matrix rich.

Pada sisi kiri permukaan bawah juga terlihat area yang tidak terisi serbuk. Secara umum, permukaan bagian bawah tampak cukup halus dan tidak menunjukkan adanya porositas maupun indikasi degradasi termal. Pada permukaan bagian belakang, tidak ditemukan porositas. Namun, terdapat void berukuran kecil (<5 mm). Permukaannya juga tampak cukup halus dan tidak menunjukkan adanya degradasi termal pada serbuk.

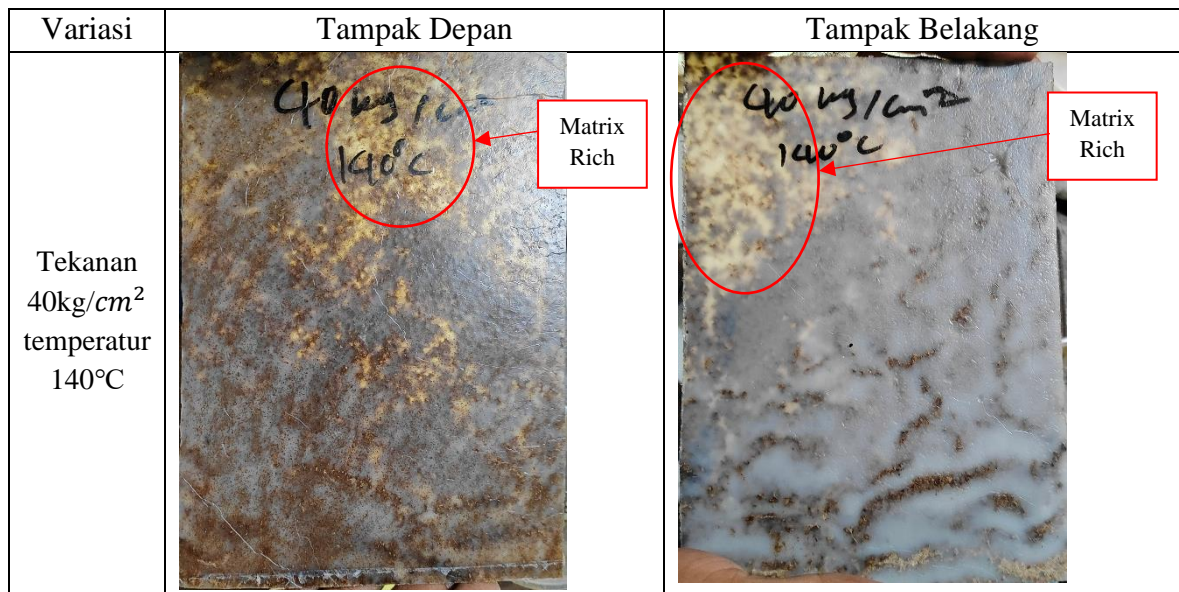


Gambar 4. 12 Papan komposit serbuk kayu dengan 40kg/cm^2 temperatur 135°C (a) permukaan bagian bawah, (b) permukaan bagian atas

Berdasarkan hasil pengamatan visual pada komposit, permukaan bagian depan menunjukkan adanya banyak porositas pada area tengah dengan ukuran kurang dari 1 mm. Selain porositas, ditemukan pula beberapa void yang tidak terisi serbuk. Salah satu matrix rich memiliki bentuk memanjang dengan panjang hingga <55 mm dan terletak pada sisi bawah komposit.

Pada sisi atas dari permukaan depan juga terlihat beberapa titik yang mengalami degradasi termal, ditandai oleh perubahan warna serbuk. Meskipun terdapat beberapa cacat seperti porositas, void, dan degradasi termal, secara umum permukaan bagian bawah masih tampak cukup halus. Pada permukaan bagian belakang, tidak ditemukan porositas. Namun demikian, permukaan ini menunjukkan adanya void dengan ukuran bervariasi

Beberapa titik pada permukaan belakang juga mengalami degradasi termal yang ditandai oleh perubahan warna lokal pada serbuk. Secara keseluruhan, permukaan bagian belakang tampak cukup halus meskipun terdapat cacat berupa void dan degradasi termal.



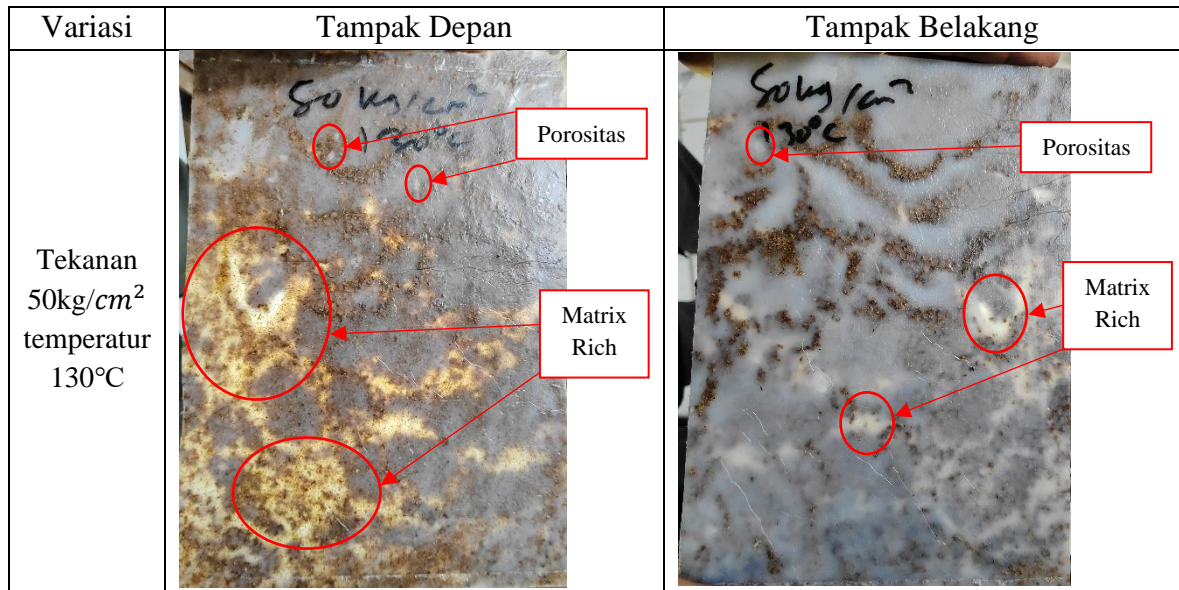
Gambar 4. 13 Papan komposit serbuk kayu dengan 40kg/cm² temperatur 140°C

Berdasarkan hasil pengamatan visual pada komposit, permukaan bagian depan menunjukkan kualitas yang cukup baik. Hanya terdapat sedikit porositas dan void. Namun, warna serbuk pada beberapa area terlihat lebih gelap, yang mengindikasikan terjadinya degradasi termal selama proses hot press. Secara umum, permukaan tampak cukup halus.

Pada bagian sisi kanan permukaan depan, distribusi serbuk kurang merata, namun tidak menimbulkan void karena area tersebut terisi oleh biji HDPE yang padat.

Pada permukaan bagian belakang komposit, tidak ditemukan porositas maupun void, serta tidak terlihat adanya degradasi termal pada serbuk.

Permukaan atas juga tampak cukup halus. Meskipun demikian, pada sisi kiri permukaan atas terdapat area dengan distribusi serbuk yang kurang merata, tetapi kondisi ini tidak menyebabkan terbentuknya void karena bagian tersebut dipenuhi oleh biji HDPE yang padat.

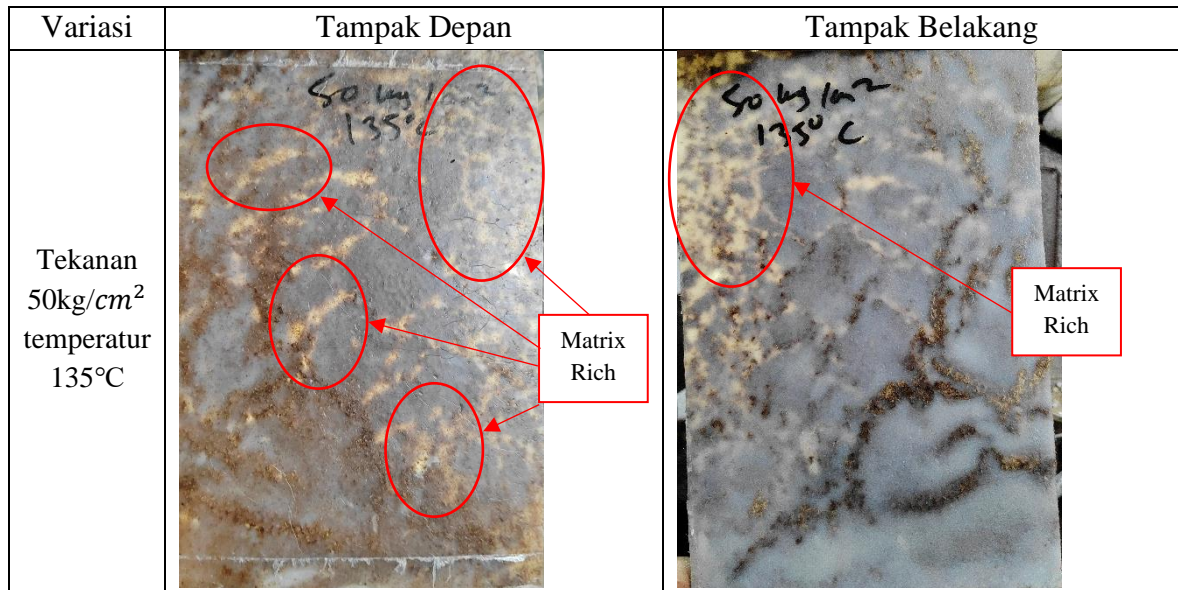


Gambar 4. 14 Papan komposit serbuk kayu dengan 50kg/cm²temperatur 130°C

Berdasarkan hasil pengamatan visual pada komposit, permukaan bagian depan menunjukkan adanya beberapa matrix rich berukuran besar dengan diameter hingga <21 mm. Selain itu, teridentifikasi sedikit porositas pada area tertentu. Warna permukaan cenderung lebih gelap dan terdapat beberapa titik yang mengalami degradasi termal. Secara keseluruhan, permukaannya tampak cukup halus.

Pada sisi kiri permukaan depan, distribusi serbuk terlihat kurang merata, namun kondisi tersebut tidak menimbulkan void karena area tersebut telah terisi oleh HDPE yang padat. Pada permukaan bagian atas, terdapat beberapa matrix rich berukuran hingga <21 mm serta sedikit porositas.

Pada sisi kanan bagian bawah, distribusi serbuk juga kurang merata, tetapi tidak menyebabkan terbentuknya void karena area tersebut terisi oleh HDPE yang sudah padat. Beberapa titik pada permukaan atas menunjukkan adanya degradasi termal, namun secara umum permukaannya tetap terlihat cukup halus.

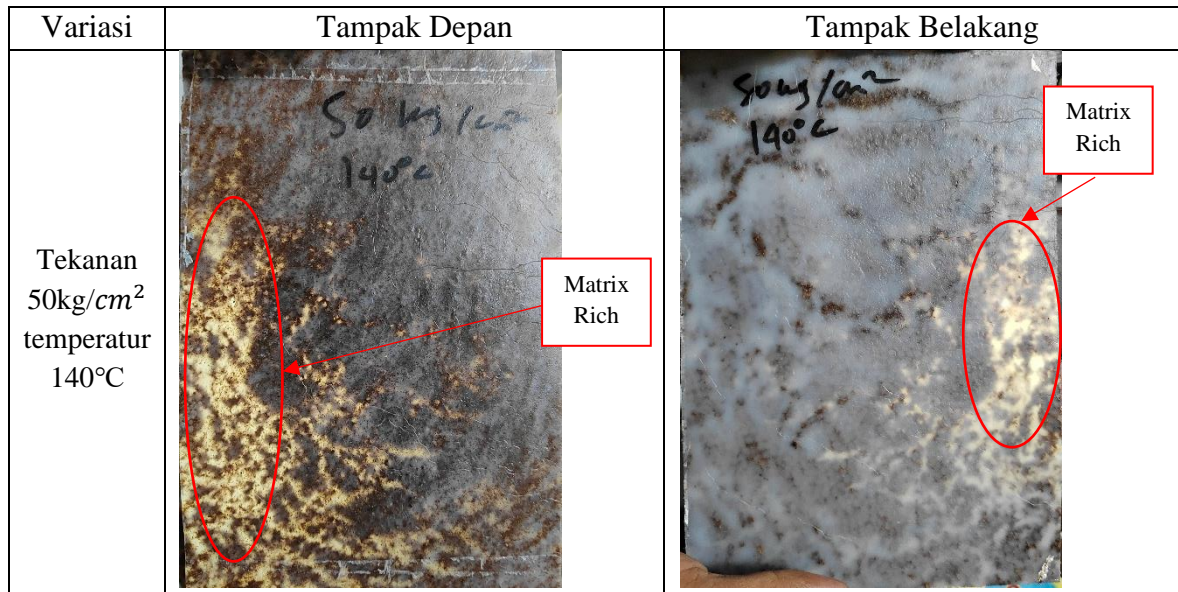


Gambar 4. 15 Papan komposit serbuk kayu dengan 50kg/cm² temperatur 135°C

Berdasarkan pengamatan visual, pada permukaan bagian depan komposit terdapat matrix rich berukuran <8 mm dan tidak ditemukan porositas. Warna permukaan tampak lebih gelap, serta terlihat beberapa titik yang mengalami degradasi termal.

Pada sisi kanan atas permukaan depan, distribusi serbuk tidak merata, namun kondisi tersebut tidak menimbulkan void karena area tersebut telah terisi oleh HDPE yang padat. Secara keseluruhan, permukaan bagian depan tampak cukup halus.

Pada permukaan bagian belakang, terdapat matrix rich berukuran <8 mm dan tidak ditemukan porositas. Permukaan tampak cukup halus dan tidak menunjukkan adanya degradasi termal. Pada sisi kiri atas permukaan atas, distribusi serbuk juga kurang merata, tetapi tidak menyebabkan terbentuknya void karena area tersebut telah terisi oleh HDPE yang padat.



Gambar 4. 16 Papan komposit serbuk kayu dengan 50kg/cm² temperatur 140°C

Berdasarkan pengamatan visual pada komposit, permukaan bagian depan tidak menunjukkan adanya matrix rich. Warna permukaan tampak lebih gelap dan terlihat banyak titik yang mengalami degradasi termal. Secara keseluruhan, permukaan bagian bawah tergolong cukup baik karena tidak terdapat cacat berupa void dan porositas, meskipun terdapat banyak degradasi termal. Permukaannya juga terlihat cukup halus.

Pada sisi kiri permukaan depan, distribusi serbuk kurang merata, namun tidak menimbulkan void karena area tersebut telah terisi oleh HDPE yang padat. Pada permukaan bagian atas, tidak ditemukan void maupun porositas, sehingga kualitas permukaan dapat dikategorikan cukup baik.

Namun, beberapa titik pada permukaan atas menunjukkan adanya degradasi termal. Pada sisi kanan permukaan belakang, distribusi serbuk juga tidak merata, tetapi kondisi tersebut tidak menyebabkan terbentuknya void karena area tersebut terisi oleh HDPE yang padat. Secara umum, permukaan bagian belakang tampak cukup halus.

4.6 Pengujian Uji Tarik Komposit *Hot Press* Variasi Tekanan dan Temperatur

Penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada standar *ASTM D638-01* dalam pelaksanaan pengujian tarik. Pengujian tarik dilakukan pada material komposit dengan variasi tekanan dan temperatur yang berbeda. Untuk setiap papan komposit, dibuat lima spesimen uji tarik yang kemudian diuji menggunakan mesin uji tarik.

Dari kelima spesimen tersebut, dipilih tiga spesimen dengan nilai deviasi terkecil agar data yang digunakan menjadi lebih konsisten, representatif, dan reliabel, serta untuk meminimalkan pengaruh ketidakhomogenan material dan variasi proses manufaktur.

Setelah pengujian tarik dilakukan, data berupa beban tarik (load) dan pertambahan panjang (extension) diperoleh untuk setiap spesimen. Data hasil pengujian dari tiga spesimen terpilih dirata-ratakan untuk memperoleh nilai yang lebih akurat. Berdasarkan data rata-rata tersebut, Tegangan Tarik, regangan, dan modulus elastisitas dari setiap benda uji dihitung. Langkah-langkah perhitungan sifat mekanik tersebut dijelaskan sebagai berikut.

1. Beban uji tarik mengacu pada *ASTM D638-01*.
2. Sebelum dilakukan perhitungan Tegangan Tarik pada spesiment, luas penampang spesiment harus dicari terlebih dahulu, menggunakan cara berikut:

$$\begin{aligned} A &= \text{Luas penampang aktual} \\ &= \text{Tebal aktual} \times \text{Lebar aktual} \\ &= 5\text{mm} \times 13\text{mm} \\ &= 65\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan Tarik } (\sigma) &= \frac{\text{Beban tarik } (N)}{\text{Luas penampang } (mm^2)} \\
 &= \frac{915 N}{65 mm^2} \\
 &= 14,08 MPa
 \end{aligned}$$

3. Setelah diperoleh pertambahan panjang, maka dapat dicari regangan sebagai berikut:

$$\Delta L (mm) = \text{Pertambahan panjang} = 2,12 \text{ mm}$$

$$L_0 = \text{Panjang awal} = 57 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{4,73 \text{ mm}}{57 \text{ mm}} = 0,08$$

4. Modulus elastisitas ditentukan dari kemiringan kurva tegangan–regangan pada daerah elastis:

$$E_{\text{daerah elastis}} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$\sigma_{\text{daerah elastis}} \text{ (MPa)} = 119,65 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{\text{daerah elastis}} = 0,71$$

$$E_{\text{daerah elastis}} = \frac{119,65}{0,71} = 168,89 \text{ MPa}$$

4.6.1 Hasil Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanik Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai Tegangan Tarik, Regangan Tarik dan Modulus elastisitas dari material komposit serbuk kayu akasia dengan campuran palstik HDPE. Berikut dapat dilihat pada tabel-tabel data hasil dari perhitungan pengujian tarik dan gambar hasil dari uji tarik spesimen.

1. Hasil Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Tegangan Tarik

Tabel 4. 1 Hasil perhitungan pengaruh temperatur Tegangan Tarik komposit serbuk kayu akasia

No	Tekanan (kg/cm ²)	Temperatur (°C)	Beban Tarik (N)	Luas Penampang (mm)	Tegangan Tarik (MPa)
1	30	130	697	67	10,41
		135	705	72	9,89
		140	732	65	11,21
2	40	130	825	63	13,13
		135	873	65	13,44
		140	831	65	12,78
3	50	130	443	61	7,28
		135	915	63	14,60
		140	836	63	13,34

Dari Tabel 4.1, pengaruh temperatur terhadap tegangan tarik terlihat pada setiap variasi tekanan.

Pada tekanan 30 kg/cm², tegangan tarik cenderung meningkat dari 10,41 MPa (130°C) menjadi 11,21 MPa (140°C), meskipun terjadi penurunan pada 135°C (9,89 MPa). Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan temperatur membantu pelelehan matriks HDPE, namun pada tekanan rendah distribusi matriks belum optimal sehingga hasilnya fluktuatif.

Pada tekanan 40 kg/cm², tegangan tarik meningkat dari 13,13 MPa (130°C) menjadi 13,44 MPa (135°C), kemudian menurun menjadi 12,78 MPa (140°C) hal ini menunjukkan bahwa temperatur 135°C merupakan kondisi optimum karena matriks telah meleleh cukup untuk membentuk ikatan antarmuka yang baik. Penurunan pada 140°C diduga akibat degradasi termal ringan yang memicu terbentuknya porositas.

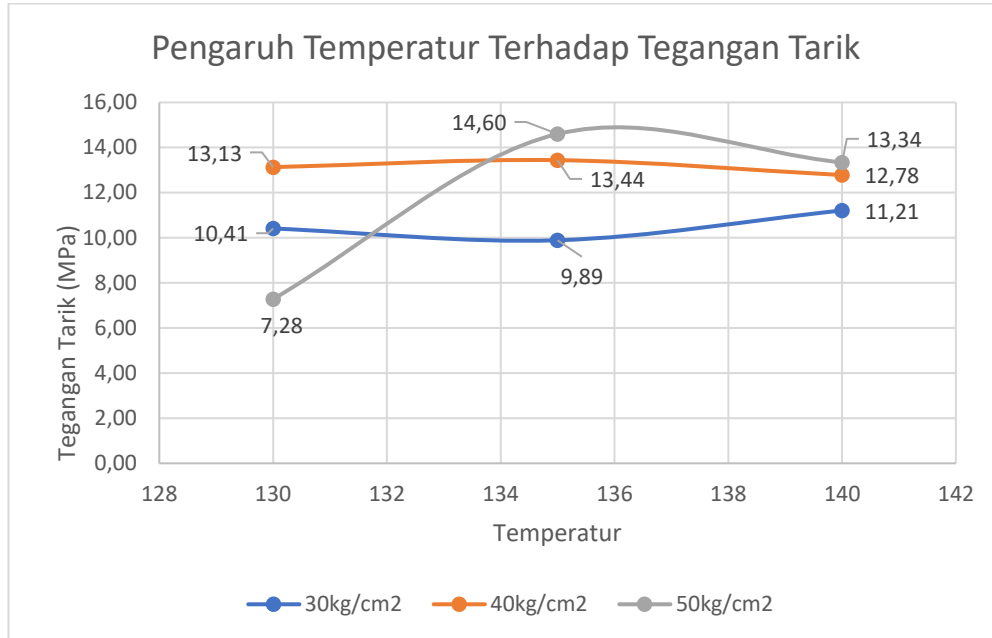
Pada tekanan 50 kg/cm², peningkatan temperatur memberikan pengaruh paling signifikan, yaitu dari 7,28 MPa (130°C) menjadi 14,60 MPa (135°C), lalu menurun menjadi 13,34 MPa (140°C) hal ini menegaskan bahwa kombinasi tekanan tinggi dan temperatur 135°C menghasilkan ikatan antarmuka paling kuat, sedangkan temperatur lebih tinggi mulai menurunkan sifat mekanik akibat degradasi. Secara umum, terdapat temperatur optimum dalam meningkatkan kekuatan tarik komposit, yaitu 135°C.

Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa peningkatan temperatur dan kualitas proses dapat meningkatkan kekuatan tarik, namun keberadaan porositas atau cacat internal akan menurunkan kekuatan mekanik komposit (Nurchayanto, 2018)

Penurunan tegangan tarik setelah melewati suhu optimum ini juga sejalan dan divalidasi oleh penelitian komposit sejenis menggunakan mesin *hot press*. (Johari & Santoso 2021) mengonfirmasi bahwa peningkatan temperatur cetakan yang terlalu tinggi pada komposit berbasis matriks limbah HDPE memicu terbentuknya lebih banyak rongga udara (porositas) akibat proses degradasi, yang pada akhirnya menurunkan nilai kekuatannya secara signifikan karena rongga tersebut menjadi awal mula terjadinya retakan.

Grafik hubungan regangan tarik terhadap temperatur dapat dilihat pada

Gambar 4.17



Gambar 4. 17 Grafik hubungan temperatur terhadap Tegangan Tarik

2. Hasil Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Regangan Tarik

Tabel 4. 2 Hasil perhitungan pengaruh temperatur regangan tarik komposit serbuk kayu akasia

No	Tekanan (kg/cm ²)	Temperatur (°C)	Pertambahan Panjang (mm)	Panjang Awal Spesimen (mm)	Regangan Tarik
1	30	130	3,49	57	0,06
		135	6,87	57	0,12
		140	5,33	57	0,09
2	40	130	5,52	57	0,10
		135	4,65	57	0,08
		140	5,07	57	0,09
3	50	130	3,02	57	0,05
		135	4,75	57	0,08
		140	4,37	57	0,08

Dari tabel 4.2, parameter yang diamati adalah pertambahan panjang spesimen dengan panjang awal sebesar 57 mm, sehingga diperoleh nilai regangan tarik.

Berdasarkan hasil pengujian, nilai regangan tarik komposit berada pada rentang 0,05 hingga 0,12 yang menunjukkan bahwa komposit memiliki sifat deformasi yang dipengaruhi oleh kombinasi temperatur dan tekanan selama proses *hot press*.

Pada tekanan 30 kg/cm², kenaikan temperatur dari 130°C ke 135°C meningkatkan regangan tarik dari 0,06 menjadi 0,12. Hal ini menunjukkan bahwa pada temperatur 135°C, matriks polimer berada dalam kondisi lebih lunak sehingga mampu mentransfer tegangan dengan lebih baik dan memungkinkan deformasi yang lebih besar sebelum terjadi patah. Namun, ketika temperatur dinaikkan menjadi 140°C, regangan menurun menjadi 0,09 yang diakibatkan oleh degradasi sebagian komponen serbuk kayu atau penurunan kualitas ikatan internal.

Sementara itu, pada tekanan 40 kg/cm², nilai regangan tarik menunjukkan kecenderungan yang relatif stabil, yaitu 0,10 pada 130°C, menurun menjadi 0,08 pada 135°C, dan sedikit meningkat menjadi 0,09 pada 140°C. Tekanan yang lebih tinggi dibanding 30 kg/cm² menyebabkan struktur komposit menjadi lebih padat dan kaku. Kerapatan yang meningkat dan berkurangnya rongga di dalam komposit membuat material lebih kuat tetapi cenderung lebih getas, sehingga regangan sebelum patah tidak terlalu besar.

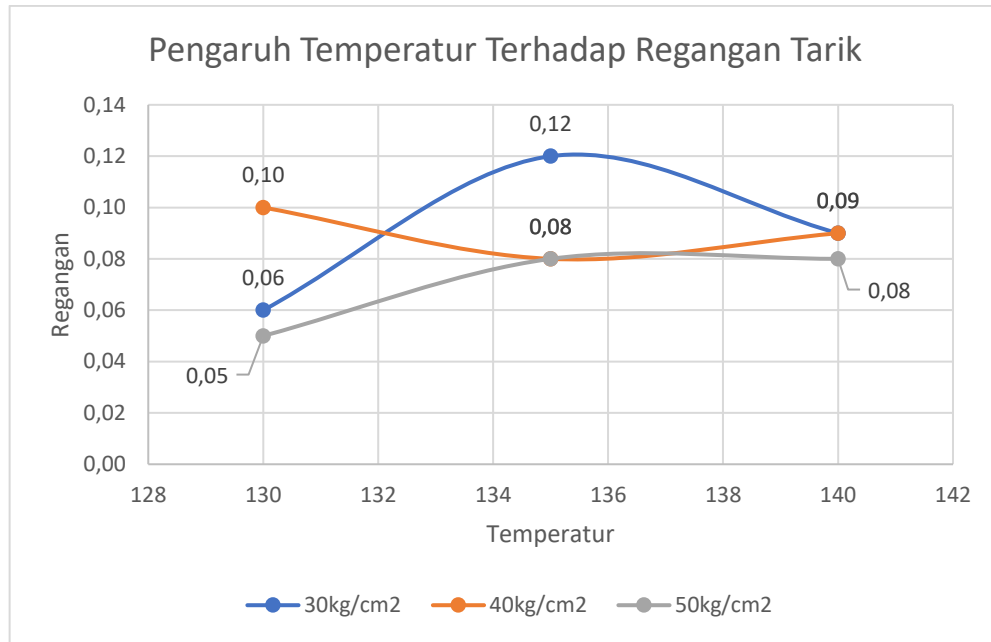
Pada tekanan 50 kg/cm², nilai regangan tarik merupakan yang terendah pada temperatur 130°C, yaitu 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa pada tekanan tinggi dan temperatur rendah, matriks belum meleleh secara optimal sehingga distribusinya kurang merata dan ikatan internal kurang baik, yang mengakibatkan komposit menjadi kaku dan mudah patah.

Ketika temperatur dinaikkan menjadi 135°C dan 140°C, regangan meningkat menjadi 0,08 kenaikan ini menandakan bahwa temperatur yang lebih tinggi membantu proses pelelehan matriks dan memperbaiki distribusi di antara partikel serbuk kayu, sehingga komposit mampu mengalami deformasi yang lebih besar sebelum patah.

Hasil pengujian ini sejalan dengan penelitian sejenis yang menyatakan bahwa peningkatan tekanan pada proses cetak panas (*hot press*) cenderung memadatkan struktur material sehingga komposit menjadi lebih kaku dan getas, yang pada akhirnya menurunkan nilai kemampuan regangannya (Ginting & Maulida, 2019)

Selain itu, fenomena fluktuasi regangan akibat kenaikan suhu dikonfirmasi oleh (Johari & Santoso 2021), yang memvalidasi bahwa terdapat temperatur optimum pemanasan di mana matriks meleleh secara sempurna; apabila suhu dilanjutkan hingga terlalu tinggi, bahan penguat organik akan mulai mengalami degradasi termal ringan yang melemahkan ikatan antarmuka dan secara langsung menurunkan regangan tariknya.

Grafik hubungan regangan tarik terhadap temperatur dapat dilihat pada Gambar 4.18



Gambar 4. 18 Grafik hubungan temperatur terhadap regangan tarik

3. Hasil Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Modulus Elastisitas

Tabel 4. 3 Hasil perhitungan pengaruh temperatur modulus elastisitas komposit serbuk kayu akasia

No	Tekanan (kg/cm ²)	Temperatur (°C)	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan Tarik	Modulus Elastisitas (MPa)
1	30	130	10,41	0,06	159,64
		135	9,89	0,12	82,00
		140	11,21	0,09	119,77
2	40	130	13,13	0,10	136,04
		135	13,44	0,08	164,75
		140	12,78	0,09	144,06
3	50	130	7,28	0,05	137,45
		135	14,60	0,08	175,14
		140	13,34	0,08	174,14

Dari tabel 4.3, diperoleh bahwa temperatur dan tekanan *hot press* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai modulus elastisitas papan komposit serbuk kayu–HDPE.

Pada tekanan 30 kg/cm², modulus elastisitas mengalami penurunan yang tajam dari 159,64 MPa pada temperatur 130°C menjadi 82,00 MPa pada 135°C, kemudian meningkat kembali menjadi 119,77 MPa pada 140°C. Hal ini menunjukkan bahwa pada tekanan rendah, peningkatan temperatur hingga 135°C belum mampu menghasilkan ikatan yang optimal antara matriks HDPE dan filler serbuk kayu, sehingga kekakuan material menurun secara fluktuatif akibat distribusi matriks yang tidak merata.

Sementara itu, pada tekanan 40 kg/cm² dan 50 kg/cm², modulus elastisitas menunjukkan tren peningkatan dari 130°C ke 135°C dan mencapai nilai maksimum masing-masing sebesar 164,75 MPa dan 175,14 MPa, kemudian mengalami sedikit penurunan pada 140°C. Kondisi ini mengindikasikan bahwa temperatur 135°C merupakan suhu yang paling efektif dalam meningkatkan interaksi dan ikatan antar komponen komposit, sehingga menghasilkan struktur yang lebih kaku dan stabil.

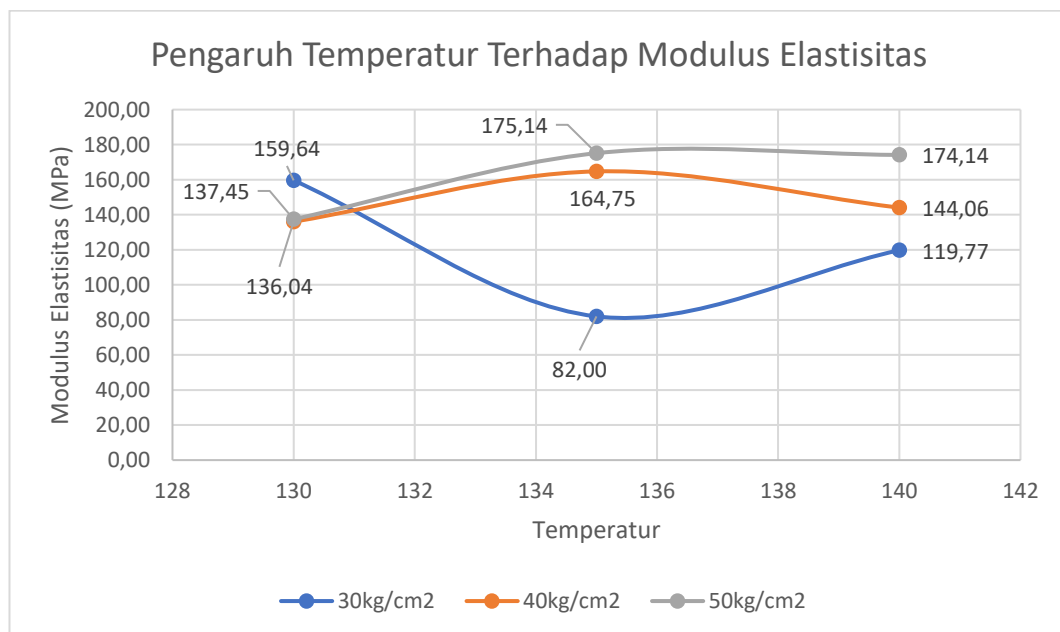
Namun, pada temperatur 140°C terjadi penurunan modulus elastisitas yang diduga akibat awal terjadinya degradasi termal pada serbuk kayu, sehingga menurunkan kekakuan material secara keseluruhan. Secara umum, kombinasi tekanan tinggi dan temperatur 135°C memberikan modulus elastisitas terbaik dibandingkan kondisi lainnya karena kepadatan yang lebih tinggi mampu meminimalkan *void*.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kekakuan material komposit sangat dipengaruhi oleh kualitas ikatan antarmuka (*interfacial bonding*), dimana ikatan yang baik akan meningkatkan modulus elastisitas.

Sebaliknya, keberadaan porositas dan distribusi matriks–filler yang tidak merata akibat tekanan atau temperatur yang tidak optimal dapat menurunkan modulus elastisitas secara signifikan (Zainuri dkk 2018)

Selain itu, fenomena penurunan kekakuan pada suhu tinggi (140°C) ini divalidasi oleh (Johari & Santoso 2021) yang menjelaskan bahwa suhu yang melampaui titik optimum akan memicu degradasi termal pada serat alami, yang menyebabkan penurunan kemampuan matriks dalam mentransfer beban dan mengurangi rigiditas struktur komposit. Hal ini juga diperkuat oleh (Nurchayanto 2018) yang menyebutkan bahwa pencapaian modulus elastisitas maksimal memerlukan keseimbangan antara viskositas matriks saat meleleh dan tekanan yang cukup untuk mengisi ruang antar serat secara homogen.

Grafik hubungan modulus elastisitas terhadap temperatur dapat dilihat pada Gambar 4.19



Gambar 4. 19 Grafik hubungan temperatur terhadap modulus elastisitas

4.6.2 Hasil Analisa Pengaruh Tekanan Terhadap Sifat Mekanik Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai Tegangan Tarik, Regangan Tarik dan Modulus elastisitas dari material komposit serbuk kayu akasia dengan campuran palstik HDPE. Berikut dapat dilihat pada tabel-tabel data hasil dari perhitungan pengujian tarik dan gambar hasil dari uji tarik spesimen.

1. Hasil Analisa Pengaruh Tekanan Terhadap Tegangan Tarik

Tabel 4. 4 Hasil perhitungan pengaruh temperatur tegangan tarik komposit serbuk kayu akasia

No	Temperatur (°C)	Tekanan (kg/cm ²)	Beban Tarik (N)	Luas Penampang (mm)	Tegangan Tarik (MPa)
1	130	30	697	67	10,41
		40	825	63	13,13
		50	443	61	7,28
2	135	30	705	72	9,89
		40	873	65	13,44
		50	915	63	14,60
3	140	30	732	65	11,21
		40	831	65	12,78
		50	836	63	13,34

Dari tabel 4.4, terlihat bahwa tekanan proses berpengaruh jelas terhadap nilai tegangan tarik komposit pada setiap variasi temperatur, meskipun kecenderungannya tidak selalu linier.

Pada temperatur 130°C, kenaikan tekanan dari 30 kg/cm² ke 40 kg/cm² meningkatkan tegangan tarik dari 10,41 MPa menjadi 13,13 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan yang lebih tinggi membantu proses pemadatan material sehingga ikatan antar partikel serbuk kayu dan matriks polimer menjadi lebih baik.

Namun, saat tekanan dinaikkan lagi menjadi 50 kg/cm², tegangan tarik justru turun drastis menjadi 7,28 MPa, yang mengindikasikan adanya tekanan berlebih sehingga dapat menimbulkan kerusakan struktur internal, seperti retak mikro, ketidakseragaman distribusi pori, atau ketidakefektifan pelelehan matriks pada suhu rendah yang terhambat oleh tekanan tinggi.

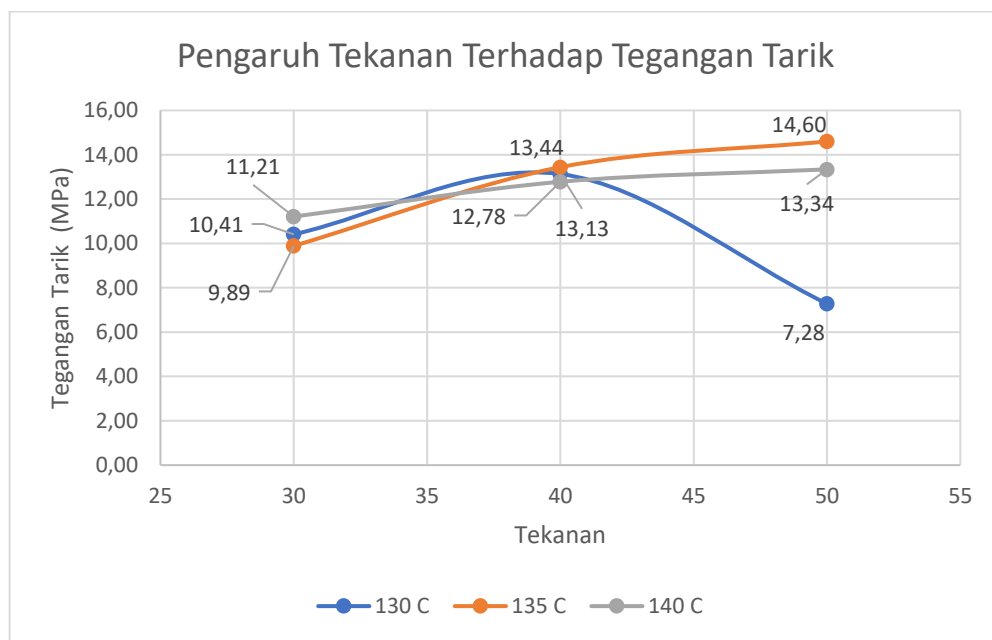
Berdasarkan hasil pada temperatur 135°C, peningkatan tekanan menunjukkan pola yang lebih stabil, di mana tegangan tarik naik bertahap dari 9,89 MPa (30 kg/cm²) menjadi 13,44 MPa (40 kg/cm²) dan mencapai nilai tertinggi sebesar 14,60 MPa (50 kg/cm²). Kondisi ini menandakan bahwa pada suhu tersebut, peningkatan tekanan berada pada rentang optimal sehingga mampu meningkatkan kerapatan komposit, mengurangi rongga (*void*), dan memperkuat ikatan antarmuka antara serbuk kayu dan matriks secara maksimal.

Selanjutnya, pada temperatur 140°C, kenaikan tekanan dari 30 kg/cm² ke 40 kg/cm² meningkatkan tegangan tarik dari 11,21 MPa menjadi 12,78 MPa, dan meningkat sedikit menjadi 13,34 MPa pada tekanan 50 kg/cm². Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu yang lebih tinggi, efek tekanan mulai mencapai titik jenuh, di mana struktur komposit sudah cukup padat pada tekanan menengah sehingga tambahan tekanan tidak memberikan peningkatan yang seproporsional dibandingkan pada suhu 135°C.

Berdasarkan keseluruhan data, dapat disimpulkan bahwa peningkatan tekanan umumnya meningkatkan tegangan tarik karena memperbaiki pemadatan dan ikatan antar komponen, namun efektivitasnya sangat bergantung pada temperatur proses.

Temuan ini didukung oleh penelitian (Nurchayanto 2018) yang menyatakan bahwa parameter tekanan sangat krusial dalam meminimalkan porositas yang menjadi titik lemah pada komposit; namun, tekanan yang terlalu tinggi pada suhu yang kurang tepat dapat memicu kegagalan prematur pada struktur mikro. Selain itu, (Johari & Santoso 2021) juga memvalidasi bahwa distribusi beban tarik yang optimal hanya tercapai apabila kombinasi suhu dan tekanan mampu menciptakan adhesi antarmuka yang sempurna tanpa merusak konstituen penyusun komposit tersebut.

Grafik hubungan tegangan tarik terhadap tekanan dapat dilihat pada Gambar 4.20



Gambar 4. 20 Grafik hubungan tekanan terhadap Tegangan Tarik

2. Hasil Analisa Pengaruh Tekanan Terhadap Regangan Tarik

Tabel 4. 5 Hasil perhitungan pengaruh temperatur regangan tarik komposit serbuk kayu akasia

No	Temperatur (°C)	Tekanan (kg/cm ²)	Pertambahan panjang (mm)	Panjang Awal Spesimen (mm)	Regangan Tarik
1	130	30	3,49	57	0,06
		40	5,52	57	0,10
		50	3,02	57	0,05
2	135	30	6,87	57	0,12
		40	4,65	57	0,08
		50	4,75	57	0,08
3	140	30	5,33	57	0,09
		40	5,07	57	0,09
		50	4,37	57	0,08

Dari tabel 4.5, terlihat bahwa tekanan proses juga memengaruhi regangan tarik komposit, yang menggambarkan kemampuan material mengalami deformasi sebelum putus. Regangan tarik dihitung dari perbandingan pertambahan panjang terhadap panjang awal spesimen (57 mm), sehingga nilainya menunjukkan sifat keuletan material.

Berdasarkan kondisi pada 130°C, kenaikan tekanan dari 30 ke 40 kg/cm² meningkatkan regangan tarik dari 0,06 menjadi 0,10. Ini menunjukkan bahwa tekanan yang lebih tinggi membantu matriks polimer mengalir dan mengisi rongga di antara partikel serbuk kayu, sehingga struktur menjadi lebih homogen dan mampu mengalami deformasi lebih besar. Namun pada tekanan 50 kg/cm², regangan turun menjadi 0,05, yang menandakan material menjadi lebih kaku atau getas. Tekanan berlebih dapat menyebabkan struktur terlalu padat dan mengurangi kemampuan matriks untuk meregang secara fleksibel.

Berdasarkan data pada 135°C, regangan tarik tertinggi justru terjadi pada tekanan 30 kg/cm² yaitu 0,12, kemudian menurun menjadi 0,08 pada tekanan 40 dan 50 kg/cm². Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu ini, tekanan rendah membuat material lebih ulet, sedangkan tekanan yang lebih tinggi meningkatkan kerapatan dan kekakuan sehingga kemampuan regangan berkurang. Ikatan antarmuka yang semakin kuat sering kali meningkatkan kekuatan tarik, tetapi di sisi lain mengurangi elastisitas material.

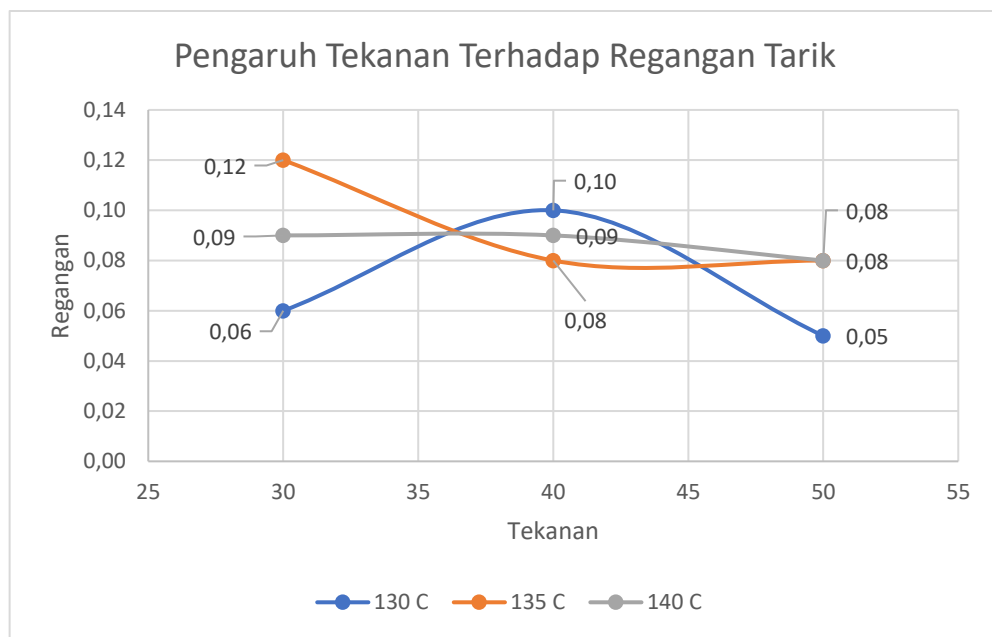
Berdasarkan hasil pada 140°C, regangan tarik menunjukkan tren menurun seiring peningkatan tekanan, dari 0,09 (30 kg/cm²) menjadi 0,09 (40 kg/cm²) dan 0,08 (50 kg/cm²). Kondisi ini mengindikasikan bahwa kombinasi suhu tinggi dan tekanan tinggi membuat struktur komposit semakin kaku dan rapat, sehingga deformasi plastis sebelum patah menjadi lebih kecil.

Berdasarkan keseluruhan data, dapat disimpulkan bahwa peningkatan tekanan cenderung menurunkan regangan tarik setelah melewati kondisi tertentu, karena struktur komposit menjadi lebih padat dan kaku. Tekanan sedang dapat memberikan keseimbangan antara kekuatan dan keuletan, sedangkan tekanan terlalu tinggi membuat material lebih getas.

Fenomena ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa peningkatan tekanan pada proses hot press dapat meningkatkan kerapatan dan kualitas ikatan antara matriks dan penguat, sehingga struktur komposit menjadi lebih kaku. Namun, peningkatan kekakuan ini menyebabkan penurunan kemampuan regangan karena terbatasnya deformasi plastis material (Ginting & Maulida, 2019).

Selain itu, (Johari & Santoso 2021) menambahkan bahwa pada suhu tinggi, tekanan yang besar mempercepat terbentuknya struktur yang kompak namun rentan terhadap *brittle failure* (patah getas) jika terjadi degradasi termal pada komponen organik.

Grafik hubungan regangan tarik terhadap tekanan dapat dilihat pada Gambar 4.21



Gambar 4. 21 Grafik hubungan tekanan terhadap regangan tarik

3. Hasil Analisa Pengaruh Tekanan Terhadap Modulus Elastisitas

Tabel 4. 6 Hasil perhitungan pengaruh temperatur modulus elastisitas komposit serbuk kayu akasia

No	Temperatur (°C)	Tekanan (kg/cm ²)	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan Tarik	Modulus Elastisitas (MPa)
1	130	30	10,41	0,06	159,64
		40	13,13	0,10	136,04
		50	7,28	0,05	137,45
2	135	30	9,89	0,12	82,00
		40	13,44	0,08	164,75
		50	14,60	0,08	175,14
3	140	30	11,21	0,09	119,77
		40	12,78	0,09	144,06
		50	13,34	0,08	174,14

Dari tabel 4.6, terlihat bahwa tekanan proses juga memengaruhi nilai modulus elastisitas komposit, yang menunjukkan tingkat kekakuan material dalam menahan deformasi elastis. Modulus elastisitas diperoleh dari kemiringan kurva tegangan–regangan pada daerah elastis, sehingga nilainya mencerminkan kemampuan material untuk kembali ke bentuk semula setelah diberi beban.

Berdasarkan kondisi pada 130°C, peningkatan tekanan dari 30 ke 40 kg/cm² menyebabkan penurunan modulus elastisitas dari 159,64 MPa menjadi 136,04 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa pada tekanan menengah terjadi kemungkinan distribusi beban yang kurang optimal atau adanya cacat seperti void yang menurunkan kekakuan material. Namun, pada tekanan 50 kg/cm², modulus elastisitas sedikit meningkat menjadi 137,45 MPa, yang mengindikasikan bahwa tekanan yang lebih tinggi mulai memperbaiki kepadatan struktur komposit meskipun belum signifikan.

Berdasarkan data pada 135°C, terlihat tren peningkatan modulus elastisitas seiring bertambahnya tekanan. Nilai modulus meningkat dari 82,00 MPa pada tekanan 30 kg/cm² menjadi 164,75 MPa pada tekanan 40 kg/cm², dan kembali meningkat hingga sekitar 174 MPa pada tekanan 50 kg/cm². Hal ini menunjukkan bahwa pada temperatur ini, peningkatan tekanan mampu meningkatkan aliran matriks HDPE sehingga mengisi rongga secara lebih optimal dan menghasilkan ikatan antarmuka yang lebih baik antara matriks dan serbuk kayu, sehingga kekakuan material meningkat secara signifikan.

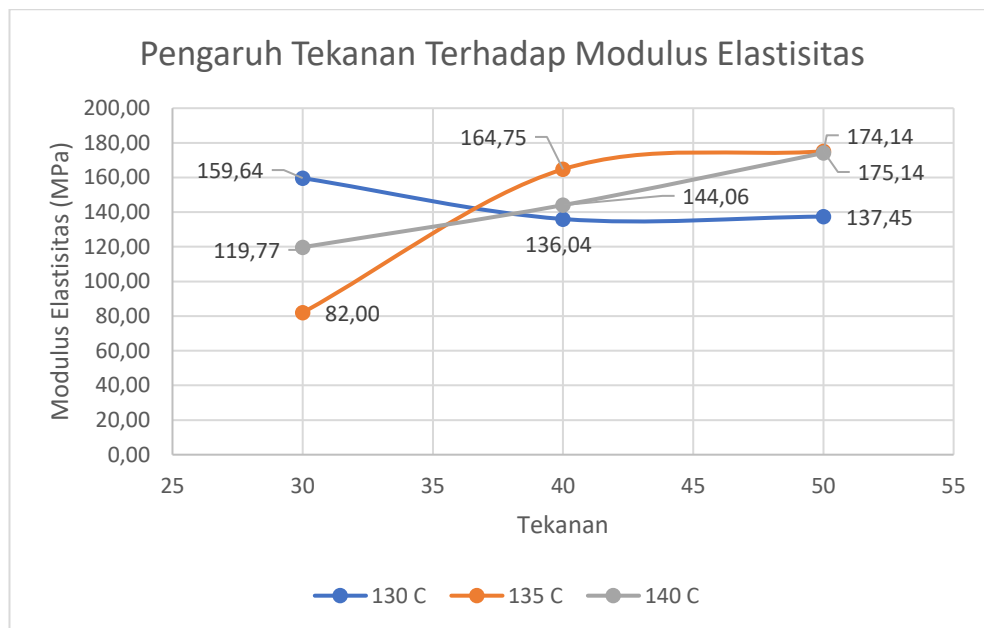
Berdasarkan hasil pada 140°C, modulus elastisitas juga menunjukkan tren meningkat dengan bertambahnya tekanan, yaitu dari 119,77 MPa pada tekanan 30 kg/cm² menjadi 144,06 MPa pada tekanan 40 kg/cm², dan mencapai sekitar 175 MPa pada tekanan 50 kg/cm². Kondisi ini mengindikasikan bahwa kombinasi temperatur tinggi dan tekanan tinggi menghasilkan struktur komposit yang semakin padat dan kaku akibat berkurangnya porositas dan meningkatnya interaksi antar fase.

Berdasarkan keseluruhan data, dapat disimpulkan bahwa peningkatan tekanan umumnya meningkatkan modulus elastisitas komposit, terutama pada temperatur yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya densifikasi material, berkurangnya cacat internal seperti void, serta membaiknya ikatan antarmuka antara matriks dan penguat. Namun, pada kondisi tertentu seperti pada temperatur rendah, peningkatan tekanan belum tentu memberikan efek yang signifikan akibat keterbatasan aliran matriks.

Fenomena ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa peningkatan tekanan pada proses komposit dapat meningkatkan kerapatan struktur dan kualitas distribusi penguat dalam matriks, sehingga meningkatkan kekakuan material (Ginting & Maulida, 2019; Ayub & Anggono, 2020).

Selain itu, (Johari & Santoso, 2021) menjelaskan bahwa tekanan tinggi pada temperatur yang cukup akan memperbaiki interfacial bonding, sehingga meningkatkan modulus elastisitas, meskipun perlu dihindari kondisi ekstrem yang dapat menyebabkan degradasi material.

Grafik hubungan modulus elastisitas terhadap tekanan dapat dilihat pada Gambar 4.22



Gambar 4. 22 Grafik hubungan tekanan terhadap modulus elastisitas

4.6.3 Hasil Foto Patahan



Gambar 4. 23 Patahan ketiga spesimen dengan kode A1

Berdasarkan pengamatan visual terhadap tiga spesimen A1 setelah pengujian, terlihat bahwa seluruh sampel mengalami kegagalan struktural yang seragam di area kerja (*gauge length*). Permukaan patahan pada setiap spesimen menunjukkan karakteristik patah getas (*brittle fracture*), yang ditandai dengan bidang patah yang tegak lurus terhadap arah sumbu tarik dan permukaan yang cenderung rata. Selain itu, tidak ditemukan adanya fenomena penipisan penampang atau pengecilan diameter (*necking*) pada area di sekitar patahan, yang mengindikasikan bahwa material tidak mengalami deformasi plastis yang signifikan sebelum putus. Kondisi fisik ini mengonfirmasi data pada grafik *stress-strain* sebelumnya, di mana material langsung mencapai titik patah sesaat setelah melewati beban maksimumnya tanpa adanya fase regangan yang panjang.



Gambar 4. 24 Patahan ketiga spesimen dengan kode A2

Berdasarkan pengamatan visual, ketiga spesimen A2 menunjukkan pola patahan yang serupa, dengan arah patahan tegak lurus terhadap sumbu pembebanan tarik. Hal ini mengindikasikan kegagalan akibat tegangan normal maksimum. Tidak terlihat adanya necking yang signifikan, sejalan dengan penurunan tegangan secara drastis setelah mencapai beban puncak pada grafik uji tarik.

Permukaan patahan memperlihatkan tekstur heterogen dengan keberadaan partikel filler yang berpotensi menjadi titik konsentrasi tegangan dan memicu inisiasi retak. Meskipun grafik menunjukkan fase plateau yang mengindikasikan sedikit sifat ulet, karakter patahan secara keseluruhan bersifat getas dan terjadi secara tiba-tiba. Hal ini menegaskan peran penting ikatan antar muka matriks–filler dalam menahan beban sebelum terjadinya kegagalan.



Gambar 4. 25 Patahan ketiga spesimen dengan kode A3

Berdasarkan pengamatan visual terhadap 3 spesimen A3 setelah pengujian, terlihat bahwa seluruh sampel mengalami kegagalan struktural yang seragam di area kerja (*gauge length*). Permukaan patahan pada setiap spesimen menunjukkan karakteristik patah getas (*brittle fracture*), yang ditandai dengan bidang patah yang tegak lurus terhadap arah sumbu tarik dan permukaan yang cenderung rata. Selain itu, tidak ditemukan adanya fenomena penipisan penampang atau pengecilan diameter (*necking*) pada area di sekitar patahan, yang mengindikasikan bahwa material tidak mengalami deformasi plastis yang signifikan sebelum putus. Kondisi fisik ini mengonfirmasi data pada grafik *stress-strain* sebelumnya, di mana material langsung mencapai titik patah sesaat setelah melewati beban maksimumnya tanpa adanya fase regangan yang panjang.



Gambar 4. 26 Patahan ketiga spesimen dengan kode B1

Berdasarkan pengamatan visual terhadap ketiga spesimen B1 setelah pengujian tarik, seluruh sampel menunjukkan pola kegagalan struktural yang relatif seragam dan terjadi di area kerja (gauge length). Hal ini menandakan bahwa distribusi tegangan selama pengujian berlangsung cukup merata dan tidak dipengaruhi oleh cacat geometris di luar daerah uji.

Permukaan patahan pada masing-masing spesimen memperlihatkan karakteristik patah getas (brittle fracture), yang ditandai oleh bidang patah yang hampir tegak lurus terhadap arah sumbu pembebanan tarik serta permukaan patahan yang cenderung rata. Tidak ditemukan indikasi deformasi plastis yang signifikan sebelum terjadinya patahan, seperti necking atau perpanjangan yang besar. Karakteristik ini mengindikasikan bahwa material mengalami kegagalan secara tiba-tiba setelah mencapai batas kekuatannya, dengan kemampuan deformasi plastis yang relatif rendah.



Gambar 4. 27 Patahan ketiga spesimen dengan kode B2

Berdasarkan pengamatan visual terhadap ketiga spesimen B2 setelah pengujian tarik, seluruh sampel menunjukkan karakteristik patahan yang relatif seragam. Permukaan patahan pada spesimen B2 menunjukkan karakteristik kegagalan patahan getas (brittle fracture). Bidang patahan cenderung relatif rata dan hampir tegak lurus terhadap arah pembebanan tarik, namun masih terlihat deformasi plastis terbatas pada bagian tepi penampang patahan. Hal ini mengindikasikan bahwa material mengalami deformasi kecil sebelum terjadinya kegagalan akhir.



Gambar 4. 28 Patahan ketiga spesimen dengan kode B3

Berdasarkan pengamatan visual terhadap ketiga spesimen B3 setelah pengujian tarik, seluruh sampel menunjukkan karakteristik patahan yang relatif seragam. Secara makroskopis, material mengalami kegagalan tanpa menunjukkan indikasi deformasi plastis yang berarti sebelum terjadinya patahan.

Permukaan patahan pada spesimen B3 memperlihatkan karakteristik kegagalan patahan getas (brittle fracture), yang ditandai oleh bidang patahan yang relatif rata dan hampir tegak lurus terhadap arah pembebanan tarik. Tidak ditemukan adanya fenomena deformasi plastis yang signifikan, seperti penyempitan penampang (necking). Tekstur permukaan patahan yang cenderung kasar dan granular mengindikasikan bahwa perambatan retak berlangsung dengan cepat setelah material mencapai tegangan maksimumnya.



Gambar 4. 29 Patahan ketiga spesimen dengan kode C1

Berdasarkan pengamatan visual terhadap ketiga spesimen C1 setelah pengujian tarik, seluruh sampel menunjukkan karakteristik patahan yang relatif seragam dan konsisten dengan hasil grafik uji tarik. Secara makroskopis, material memperlihatkan perilaku mekanik yang cenderung getas, yang ditandai oleh permukaan patahan yang relatif rata, hampir tegak lurus terhadap arah pembebanan tarik, serta tidak ditemukannya indikasi deformasi plastis yang signifikan seperti penyempitan penampang (necking).

Permukaan patahan pada spesimen C1 menunjukkan pola kegagalan patahan getas (brittle fracture), di mana kegagalan terjadi secara mendadak setelah material mencapai batas elastisnya. Perbedaan perilaku antar spesimen diduga dipengaruhi oleh ketidakhomogenan struktur internal material, seperti distribusi partikel penyusun atau keberadaan cacat mikro, yang tercermin dari tekstur permukaan patahan yang tidak sepenuhnya seragam



Gambar 4. 30 Patahan ketiga spesimen dengan kode C2

Berdasarkan pengamatan visual terhadap ketiga spesimen C2 setelah pengujian tarik, seluruh sampel menunjukkan karakteristik patahan yang relatif seragam. Secara makroskopis, material memperlihatkan perilaku mekanik yang cenderung getas, yang ditunjukkan oleh kegagalan material yang terjadi tanpa deformasi plastis yang berarti selama proses pembebanan.

Permukaan patahan pada spesimen C2 memperlihatkan karakteristik kegagalan patahan getas (brittle fracture), yang ditandai oleh bidang patahan yang relatif rata dan hampir tegak lurus terhadap arah pembebanan tarik. Pada area sekitar patahan tidak ditemukan indikasi penyempitan penampang (necking) maupun deformasi permanen lainnya. Regangan yang terjadi sebelum kegagalan berlangsung sangat terbatas, sehingga patahan terjadi secara mendadak setelah material melampaui batas elastisnya. Karakteristik ini menunjukkan bahwa material memiliki kemampuan deformasi plastis yang rendah dan cenderung mengalami kegagalan katastrofik.



Gambar 4. 31 Patahan ketiga spesimen dengan kode C3

Berdasarkan pengamatan visual terhadap ketiga spesimen C3 setelah pengujian tarik, seluruh sampel menunjukkan karakteristik patahan yang relatif seragam dan konsisten dengan hasil grafik uji tarik. Secara makroskopis, material memperlihatkan pola kegagalan yang cenderung getas, yang ditandai oleh permukaan patahan yang relatif rata, hampir tegak lurus terhadap arah pembebanan tarik, serta tidak ditemukannya indikasi reduksi luas penampang atau fenomena necking sebelum terjadinya patahan.

Permukaan patahan pada spesimen C3 menunjukkan karakteristik kegagalan patahan getas (brittle fracture), di mana kegagalan terjadi secara mendadak setelah material mencapai beban maksimum. Pada beberapa bagian permukaan patahan terlihat adanya retakan-retakan mikro (micro-cracks) yang mengindikasikan kemampuan deformasi plastis material yang sangat terbatas. Konsistensi bentuk dan pola patahan pada ketiga spesimen menunjukkan bahwa material penyusun spesimen C3 bersifat relatif homogen, namun memiliki tingkat daktilitas yang rendah sehingga cenderung mengalami kegagalan katastropik.