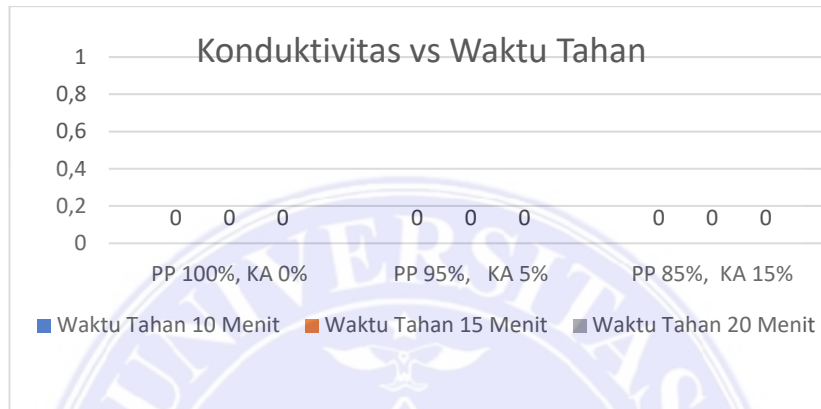


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Untuk kerja alat uji konduktivitas listrik empat titik pengujian



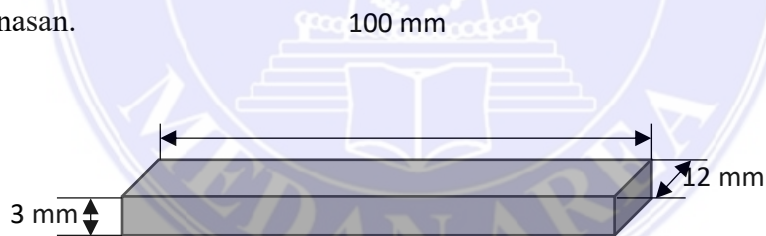
Gambar 4. 1. hubungan konduktivitas listrik vs Waktu Tahan

Berdasarkan gambar 4.1, seluruh hasil pengujian menunjukkan hasil pengukuran konduktivitas listrik pada tiga variasi komposisi material, yaitu PP 100% KA 0%, PP 95% KA 5%, dan PP 85% KA 15%, masing-masing diuji pada tiga waktu tahan berbeda: 10 menit, 15 menit, dan 20 menit. Berdasarkan grafik, semua nilai konduktivitas yang dihasilkan adalah nol (0), tanpa adanya perbedaan antara satu perlakuan dengan perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh waktu tahan maupun variasi komposisi terhadap kemampuan material untuk menghantarkan arus listrik. Dengan kata lain, semua kombinasi komposisi dan perlakuan waktu mempertahankan sifat dasar sebagai isolator listrik.

Sifat ini dapat dijelaskan berdasarkan karakteristik dari material utama, yaitu polipropilena (PP), yang secara alami merupakan bahan polimer dengan resistivitas tinggi dan tidak memiliki muatan bebas untuk menghantarkan listrik. Selain itu, penambahan bahan KA hingga 15% juga tidak cukup untuk mengubah

struktur internal material menjadi konduktif, yang berarti KA tidak memiliki sifat konduktif atau tidak berperan sebagai pengantar muatan listrik dalam sistem ini. Perlakuan waktu tahan, meskipun mencapai 20 menit, tidak menyebabkan pembentukan jalur karbonisasi atau fasa logam yang mungkin terjadi pada material dengan komposisi tertentu atau pada suhu yang lebih tinggi.

Secara keseluruhan, grafik ini menyiratkan bahwa sistem komposit PP-KA tetap menunjukkan sifat insulatif bahkan setelah pemanasan hingga 20 menit. Hal ini penting dalam konteks aplikasi teknis, karena material ini tidak cocok untuk penggunaan sebagai penghantar listrik, namun sangat ideal untuk digunakan sebagai bahan isolator listrik atau pelindung komponen elektronik, di mana kestabilan termal dan isolasi listrik sangat dibutuhkan. Selain itu, ketidakpekaan terhadap perlakuan panas dalam hal konduktivitas juga menandakan bahwa material ini memiliki stabilitas sifat elektrik yang tinggi terhadap variasi proses pemanasan.



Gambar 4. 2. Uji Spesimen ASTM D730-1

Gambar 4.2 menunjukkan dimensi spesimen uji yang digunakan dalam penelitian ini. Spesimen berbentuk balok persegi panjang dengan ukuran panjang 100 mm, lebar 12 mm, dan ketebalan 3 mm. Dimensi ini disesuaikan dengan standar pengujian mekanik dan konduktivitas listrik, agar hasil yang diperoleh dapat dianalisis secara konsisten dan dapat dibandingkan antar sampel. Bentuk dan ukuran spesimen yang seragam penting untuk memastikan bahwa setiap pengujian dilakukan dalam kondisi yang setara, sehingga pengaruh variabel lain seperti jenis

bahan atau komposisi campuran dapat terlihat secara lebih objektif. Spesimen ini digunakan baik untuk bahan polipropilen murni maupun campuran polipropilen dengan karbon aktif, yang kemudian akan diuji untuk mengetahui perubahan sifat mekanik dan konduktivitas listrik akibat variasi komposisi. Selain itu, ukuran yang relatif kecil dan presisi ini juga memudahkan dalam proses pencetakan dan penempatan di alat uji seperti mesin uji tarik atau alat uji konduktivitas

4.1.2 Pengaruh Densitas Terhadap Konduktivitas Listrik



Gambar 4. 3. Spesimen Polipropilen Murni

Gambar 4.3 menunjukkan spesimen yang terbuat dari polipropilen (PP) murni tanpa tambahan bahan pengisi seperti karbon aktif. Secara visual, spesimen ini tampak berwarna putih keabu-abuan, sesuai dengan karakteristik umum dari polipropilen murni. Polipropilen memiliki densitas yang relatif rendah, sehingga material ini dikenal sebagai salah satu jenis plastik yang ringan. Dalam hal konduktivitas listrik, polipropilen bersifat sebagai isolator, artinya tidak menghantarkan listrik karena tidak memiliki struktur molekul yang memungkinkan pergerakan elektron bebas. Dengan demikian, meskipun memiliki densitas rendah, konduktivitas listriknya juga sangat rendah, hampir mendekati nol. Hal ini menunjukkan bahwa dalam bahan polimer seperti polipropilen, tidak ada hubungan langsung antara rendahnya densitas dengan kemampuan menghantarkan listrik. Spesimen ini menjadi penting sebagai acuan pembandingan terhadap spesimen

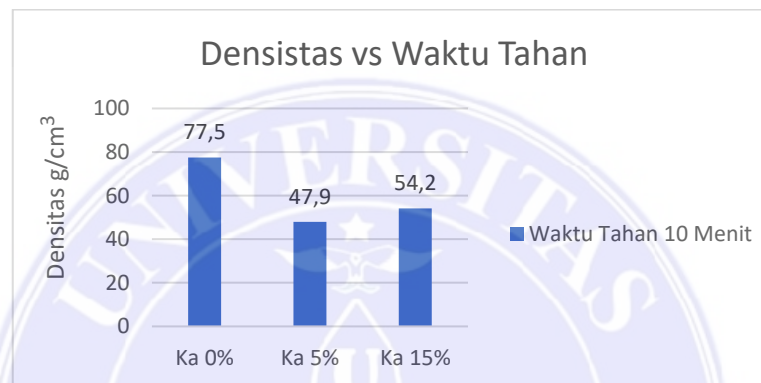
campuran, seperti pada Gambar 4.4 yang menggunakan karbon aktif sebagai pengisi. Dengan membandingkan keduanya, dapat dianalisis bagaimana penambahan bahan berkonduktif tinggi seperti karbon aktif dapat meningkatkan densitas sekaligus konduktivitas listrik dari bahan komposit.



Gambar 4. 4. Spesimen Polipropilen campuran Karbon Aktif

Gambar 4.4 menunjukkan spesimen komposit hasil pencampuran antara polipropilen (PP) dengan karbon aktif. Secara visual, spesimen ini tampak berwarna hitam pekat, yang menunjukkan dominasi karbon aktif dalam campurannya. Penambahan karbon aktif ke dalam matriks polipropilen tidak hanya memengaruhi sifat mekanik, tetapi juga berdampak langsung pada perubahan densitas dan konduktivitas listrik dari bahan tersebut. Karbon aktif memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan polipropilen, sehingga semakin besar kadar karbon aktif yang ditambahkan, maka densitas spesimen akan meningkat. Di sisi lain, polipropilen bersifat isolator atau tidak menghantarkan listrik, sedangkan karbon aktif memiliki sifat konduktif. Oleh karena itu, peningkatan jumlah karbon aktif juga akan meningkatkan konduktivitas listrik spesimen. Hal ini terjadi karena partikel karbon aktif mulai membentuk jalur-jalur konduktif di dalam matriks polimer, sebuah fenomena yang dikenal sebagai *percolation*. Dengan demikian, terdapat hubungan

yang saling terkait antara peningkatan densitas dan peningkatan konduktivitas listrik. Namun, perlu dicatat bahwa pada titik tertentu, peningkatan karbon aktif bisa menyebabkan aglomerasi, yang justru menghambat peningkatan konduktivitas. Spesimen seperti ini umumnya dikembangkan untuk aplikasi yang membutuhkan kombinasi antara kekuatan mekanik, kestabilan termal, dan kemampuan menghantarkan listrik secara terbatas



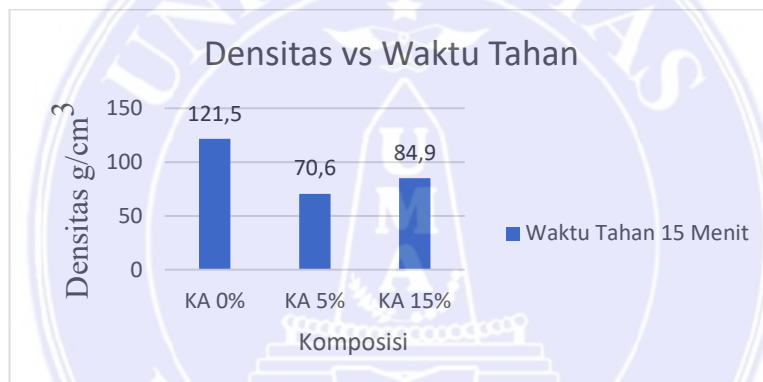
Gambar 4. 5. Grafik Pengujian Waktu Tahan

Grafik 4.5 di atas menunjukkan bahwa densitas tertinggi sebesar 77,5 g/cm³ dicapai pada sampel dengan 0% Karbon Aktif (murni PP). Hal ini mengindikasikan bahwa *polypropylene* (PP) tanpa penambahan bahan pengisi (KA) memiliki kemampuan mencetak struktur padat secara maksimal karena tidak terganggu oleh partikel asing. Saat ditambahkan 5% KA, densitas menurun tajam menjadi 47,9 g/cm³. Penurunan ini disebabkan oleh sifat ampas (KA) yang lebih ringan dan berpori, sehingga menciptakan celah dalam struktur material serta mengurangi kepadatan secara keseluruhan.

Menariknya, pada penambahan 15% KA, densitas meningkat kembali menjadi 54,2 g/cm³. Kenaikan ini dapat disebabkan oleh kemungkinan distribusi partikel KA yang lebih merata atau terjadi pemadatan yang lebih efektif akibat tekanan dan waktu tahan yang cukup. Meski begitu, densitasnya tetap lebih rendah

dibandingkan dengan PP murni, menandakan bahwa penambahan KA tetap menurunkan kualitas kerapatan dibandingkan material tanpa campuran.

Waktu tahan selama 10 menit memungkinkan PP untuk melebur dan menyatu cukup baik, terutama pada sampel tanpa KA. Namun, pada sampel dengan penambahan KA, waktu ini mungkin belum cukup optimal untuk menciptakan fusi sempurna antara PP dan partikel ampas, terutama bila pencampuran kurang homogen. Secara keseluruhan, penambahan KA cenderung menurunkan densitas karena sifat alaminya, namun pada kadar tertentu dapat menunjukkan kestabilan struktur jika tercampur secara merata.

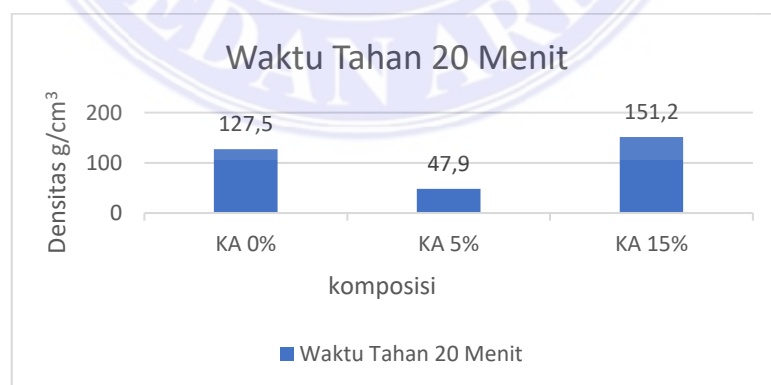


Gambar 4. 6. Grafik Pengujian Waktu Tahan 15 Menit

Grafik 4.6 menunjukkan bahwa pada waktu tahan 15 menit, densitas tertinggi dicapai oleh sampel dengan KA 0% (murni PP) yaitu sebesar 121,5 g/cm³. Hal ini mengindikasikan bahwa *polypropylene* murni mampu menciptakan struktur yang sangat padat ketika diberikan waktu tahan yang cukup, karena tidak terganggu oleh keberadaan partikel lain. Penambahan 5% KA menyebabkan penurunan densitas yang cukup drastis menjadi 70,6 g/cm³, yang menunjukkan bahwa partikel KA bersifat ringan, kurang menyatu dengan baik, dan berpotensi menciptakan porositas dalam struktur material.

Menariknya, pada KA 15%, densitas mengalami kenaikan kembali menjadi 84,9 g/cm³. Meskipun masih di bawah nilai densitas PP murni, peningkatan ini menunjukkan adanya potensi keterikatan antar partikel KA dan PP yang lebih baik atau penyebaran ampas yang lebih merata, sehingga struktur material menjadi lebih padat dibandingkan pada kadar 5% KA. Secara umum, penambahan KA memang cenderung menurunkan densitas karena menambah porositas dan mengurangi daya leleh sempurna dari PP, namun pada kadar tertentu seperti 15%, material bisa mulai menyesuaikan struktur internalnya.

Waktu tahan selama 15 menit terbukti memberi pengaruh besar dalam pembentukan densitas, terutama untuk sampel tanpa KA, yang menunjukkan peningkatan densitas signifikan dibandingkan waktu tahan yang lebih singkat. Namun, untuk campuran dengan KA, meskipun waktu tahan membantu, efeknya terbatas karena karakteristik KA yang tidak mudah menyatu secara termoplastik dengan PP. Dengan demikian, waktu tahan berperan penting dalam optimasi proses, namun tetap sangat dipengaruhi oleh komposisi material.



Gambar 4. 7. Grafik Pengujian Waktu Tahan 20 Menit

Gambar 4.7 Grafik Pengujian menunjukkan Hubungan antara densitas dan waktu tahan selama 20 menit bahwa variasi komposisi KA (kemungkinan bahan

aditif atau pengikat) memiliki pengaruh signifikan terhadap perubahan densitas material. Berdasarkan grafik, pada komposisi KA 0% densitas material mencapai 127,5 g/cm³, kemudian menurun drastis menjadi 47,9 g/cm³ pada KA 5%, dan selanjutnya meningkat tajam hingga 151,2 g/cm³ pada KA 15%. Pola ini mengindikasikan bahwa peningkatan maupun penurunan densitas tidak hanya dipengaruhi oleh waktu tahan, tetapi juga sangat bergantung pada komposisi KA yang digunakan. Penurunan densitas pada KA 5% kemungkinan disebabkan oleh terbentuknya struktur internal yang lebih berpori akibat pelepasan air atau gas selama pemanasan, yang tidak mampu diimbangi oleh kekuatan pengikatan antar partikel. Sebaliknya, pada komposisi KA 15%, peningkatan densitas secara signifikan dapat diinterpretasikan sebagai hasil dari proses pemadatan yang lebih efektif, di mana KA berperan penting dalam memperkuat ikatan antar partikel, menutup pori-pori, dan meningkatkan fraksi padat. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu tahan 20 menit, terjadi proses-proses fisik dan kimia seperti evaporasi air, sintering, dan reorientasi partikel yang dipengaruhi langsung oleh jumlah KA yang ditambahkan. Dengan demikian, kombinasi antara komposisi KA dan waktu tahan memberikan pengaruh yang kompleks namun terukur terhadap karakteristik fisik material, terutama densitas. Pemahaman ini penting dalam merancang material teknik seperti beton ringan, keramik, atau bahan bangunan lainnya yang membutuhkan densitas tertentu untuk mencapai sifat mekanik yang diinginkan.

Pengujian Bending. Densitas material dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

Pengujian 1

$$\rho_{\text{benda}} = \frac{m_{\text{udara}}}{m_{\text{udara}} - m_{\text{air}}} \times \rho_{\text{air}}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{benda}} &= \frac{3,84 \text{ gr}}{3,84 \text{ gr} - 3,80} \times 1 \text{ g/cm}^3 \\ &= \frac{3,84 \text{ gr}}{0,04} \\ &= 96 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

Pengujian 2

$$\begin{aligned}\rho_{\text{benda}} &= \frac{4,13 \text{ gr}}{4,13 \text{ gr} - 4,06} \times 1 \text{ g/cm}^3 \\ &= \frac{4,13}{0,07} \\ &= 59 \text{ g/cm}^3 \\ &= \frac{96 + 59}{2} = 77,5\end{aligned}$$

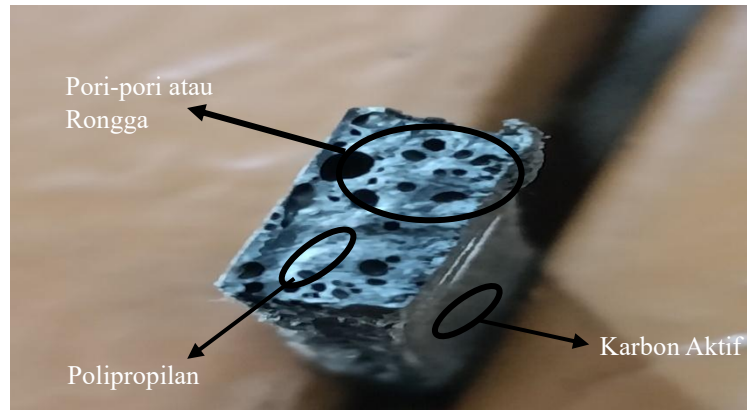
4.1.3 Pengujian Bending



Gambar 4. 8. Hasil Spesimen PP 100%, KA 0% Setelah Pengujian Bending



Gambar 4. 9. Hasil Spesimen PP 95%, KA 5% Setelah Pengujian Bending



Gambar 4. 10. Spesimen PP 85%, KA 15% Setelah Pengujian Bending

Gambar pada di atas menunjukkan spesimen setelah dilakukan pengujian bending, dengan tampilan penampang patahan yang memperlihatkan banyak pori-pori. Keberadaan pori-pori ini menandakan bahwa spesimen memiliki struktur yang tidak sepenuhnya padat, yang kemungkinan besar disebabkan oleh proses pencampuran material yang kurang homogen, penguapan zat volatile saat pemrosesan, atau pemadatan yang tidak optimal. Pori-pori tersebut berfungsi sebagai titik konsentrasi tegangan, sehingga mempercepat inisiasi dan propagasi retak saat spesimen menerima beban lentur. Akibatnya, kekuatan lentur material menurun secara signifikan. Selain itu, pori-pori juga dapat memengaruhi sifat mekanik lainnya seperti modulus elastisitas dan ketahanan terhadap kelelahan material. Oleh karena itu, untuk meningkatkan performa material, penting untuk meminimalkan jumlah dan ukuran pori melalui optimasi proses manufaktur.

Tabel 4. 1. Tegangan vs Regangan

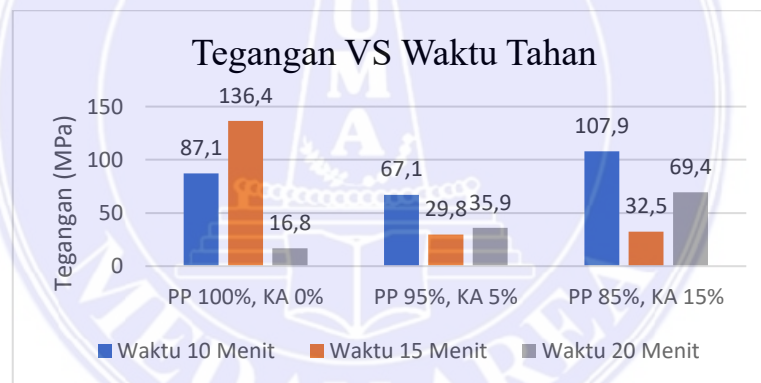
No	Variasi	Waktu Tahan	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)
1	PP :100%	10 Menit	87,1	2,3
2		15 Menit	136,4	3,3
3		20 Menit	16,8	2,5
4	PP :95%	10 Menit	67,1	1,6
5		15 Menit	29,8	1,1
6		20 Menit	35,9	0,8
7	PP:85%	10 Menit	107,9	0,5
8		15 Menit	32,5	0,3
9		20 Menit	69,4	0,2

Uji bending atau uji lentur dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur (tegangan) dan kemampuan deformasi (regangan) dari material komposit berbasis polypropylene (PP) dan karbon aktif (KA) dengan berbagai variasi komposisi dan waktu tahan. Berdasarkan data pada Tabel 4.3, terlihat bahwa komposisi murni PP (100%) menunjukkan nilai tegangan dan regangan tertinggi dibandingkan dengan campuran yang mengandung karbon aktif. Tegangan tertinggi sebesar 136,4 MPa dan regangan maksimum 3,3% diperoleh pada komposisi PP:100% dengan waktu tahan 15 menit. Hal ini menunjukkan bahwa material murni PP memiliki kelenturan dan kekuatan mekanik yang lebih baik dibandingkan komposit yang mengandung karbon aktif. Penambahan karbon aktif secara bertahap justru menurunkan nilai tegangan dan regangan. Misalnya, pada komposisi PP:95% dan KA:5%, tegangan maksimum hanya mencapai 67,0 MPa dan regangan sebesar 1,6%, sementara pada komposisi PP:85% dan KA:15%, tegangan maksimum sebesar 107,9 MPa dengan

regangan yang menurun tajam menjadi 0,5%. Penurunan ini menunjukkan bahwa keberadaan karbon aktif membuat material menjadi lebih kaku dan rapuh sehingga kemampuannya untuk mengalami deformasi lentur berkurang. Selain itu, waktu tahan juga memengaruhi hasil uji bending. Pada beberapa komposisi, waktu tahan yang lebih lama justru menurunkan nilai tegangan dan regangan. Sebagai contoh, pada komposisi PP:100%, nilai tegangan menurun drastis dari 136,4 MPa (15 menit) menjadi 16,8 MPa (20 menit)

$$\sigma = \frac{3FL}{2bd^2}$$

$$\sigma = \frac{3 \times 125,45 \times 50}{2 \times 12 \times 3^2} = \frac{18.817,5}{216} = 87,1$$



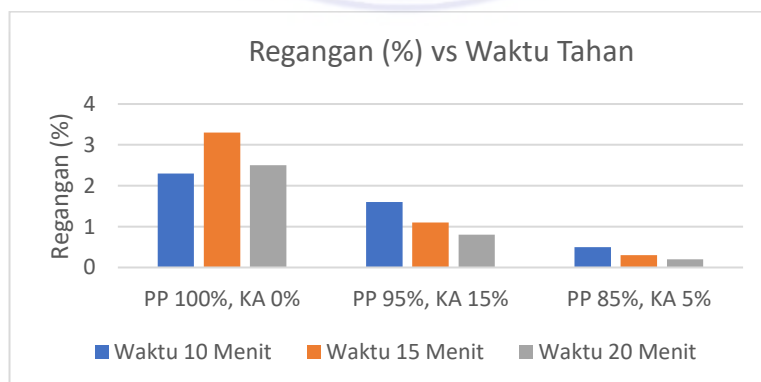
Gambar 4. 11. Grafik Pengujian Tegangan Bending

Gambar 4.11 menunjukkan hasil uji tegangan lentur (bending) terhadap variasi komposit PP (*polypropylene*) dengan penambahan karbon aktif (KA) pada waktu tahan yang berbeda. Grafik ini memperlihatkan bahwa komposisi PP 100% tanpa karbon aktif (KA 0%) dengan waktu tahan 15 menit menghasilkan tegangan

tertinggi sebesar 136,4 MPa, yang menandakan bahwa PP murni memiliki kekuatan lentur paling baik dibandingkan campuran lainnya.

Namun, ketika karbon aktif ditambahkan ke dalam komposit, terjadi penurunan tegangan lentur secara umum. Pada komposisi PP 95% dan KA 5%, tegangan maksimum yang tercapai hanya sebesar 67,1 MPa pada waktu tahan 10 menit, dan bahkan lebih rendah untuk waktu tahan 15 dan 20 menit (29,8 MPa dan 35,9 MPa). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif dalam jumlah kecil pun dapat mengurangi kekuatan lentur material, kemungkinan akibat gangguan pada struktur PP atau distribusi partikel karbon aktif yang tidak merata.

Menariknya, pada komposisi PP 85% dan KA 15%, nilai tegangan tertinggi justru tercapai pada waktu tahan 10 menit, yaitu 107,9 MPa, namun nilai ini mengalami penurunan signifikan menjadi 32,5 MPa pada 15 menit dan 69,4 MPa pada 20 menit. Fenomena ini mengindikasikan bahwa waktu tahan pemrosesan sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit, di mana waktu tahan yang terlalu lama dapat menyebabkan degradasi material, seperti degradasi termal pada PP atau perubahan sifat karbon aktif, sehingga menurunkan performa lentur secara drastis.



Gambar 4. 12. Grafik Pengujian Regangan Bending