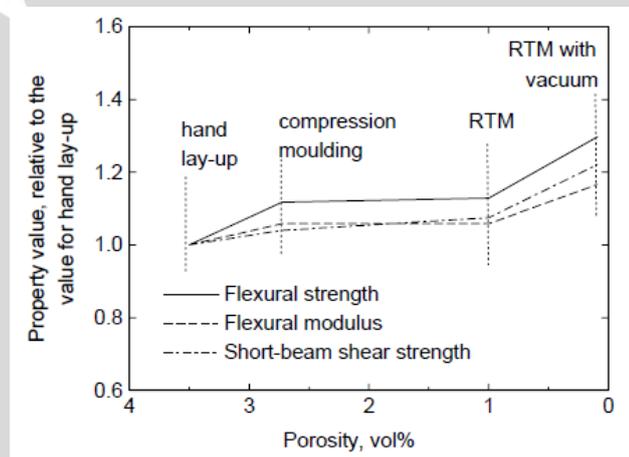


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pembahasan

Pada gambar 4.1 adalah penjelasan mengenai perbandingan porositas dengan nilai karakteristik yang relative berdasarkan *hand lay-up*. Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa RTM (*Resin Transfer Molding*) dengan metode vakum memiliki nilai porositas yang lebih baik di banding yang lainnya dan juga memiliki nilai karakteristik yang lebih tinggi di banding dengan metode yang lain. Oleh karena itu pemilihan metode yang digunakan adalah RTM (*Resin Transfer Molding*) dengan metode vakum.

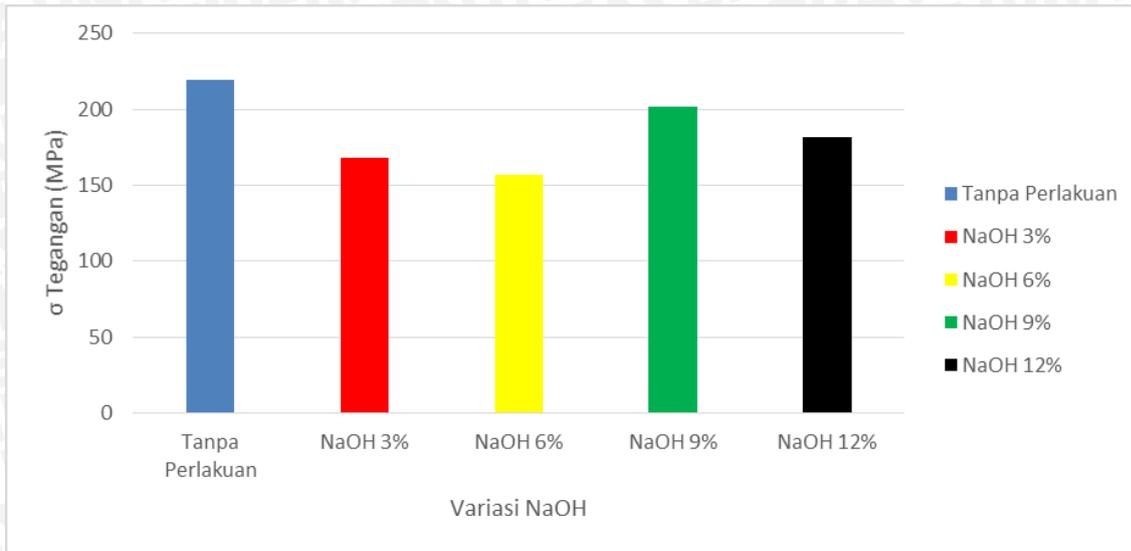


Gambar 4.1 Variasi metode manufaktur komposit terhadap *porosity*

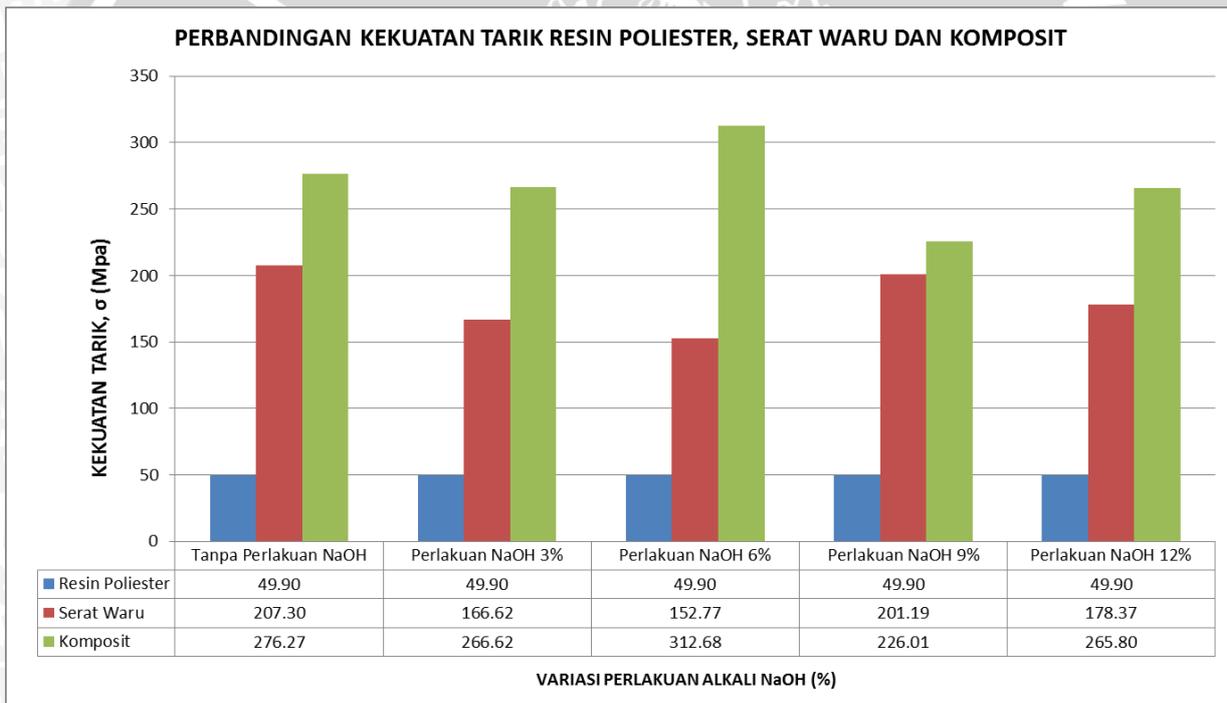
Sumber : Bryan Harris, *Engineering Composite* (1999)

Dari grafik diatas dapat dilihat sumbu-x pada grafik menyatakan presentase porositas. Dapat kita ketahui pada RTM dengan menggunakan metode vakum yang memiliki nilai porositas mendekati presentase porositas 0% jika dibandingkan metode *hand lay-up* yang masih memiliki presentase porositas sekitar 3,5%.

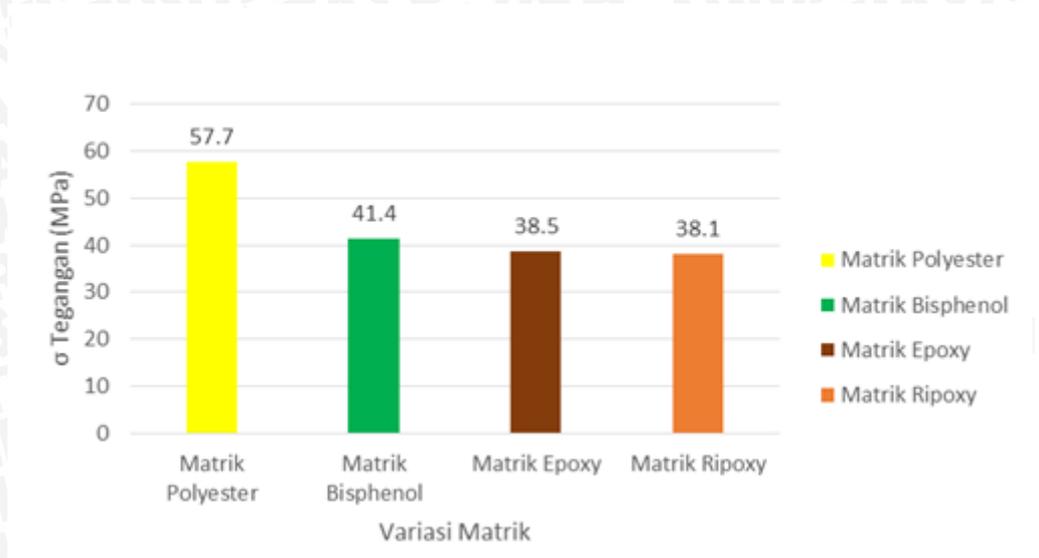
4.1.1 Hasil Pengujian Tarik Serat Tunggal, Komposit, dan Matrik



Gambar 4.2 Diagram Kekuatan Tarik Serat Tunggal



Gambar 4.3 Diagram Kekuatan Tarik Matrik, Serat, Dan Komposit



Gambar 4.4 Diagram Kekuatan Tarik Matrik Tanpa Serat

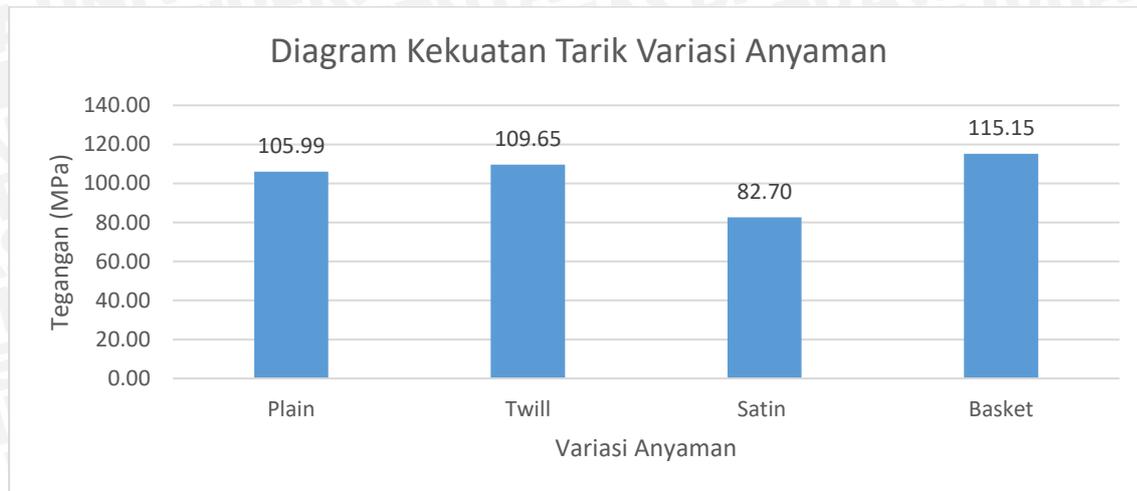
Pada gambar 4.2 menunjukkan hasil kekuatan tarik serat tunggal dimana kadar NaOH 6% memiliki nilai paling rendah yaitu 42.8 MPa.

Pada gambar 4.3 menunjukkan perbandingan komposit, serat tunggal, dan matrik terhadap kekuatan tarik. Dapat dilihat bahwa kekuatan tarik komposit dengan perlakuan NaOH 6% memiliki kekuatan yang paling tinggi walaupun pada pengujian serat tunggal nilai kekuatan tarik dengan perlakuan NaOH yang lain memiliki nilai yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan pada perlakuan NaOH 3% masih terdapat lignin sebagai matrik alami sehingga nilai kekuatan tarik kompositnya lebih rendah karena masih dipengaruhi lignin tersebut. Pada perlakuan NaOH 9% dan 12% nilai kekuatan tarik komposit lebih rendah dibandingkan NaOH 6% dikarenakan perendaman NaOH juga menyebabkan ikatan selulosa pada NaOH 9% dan 12% menjadi hilang sehingga serat menjadi rapuh.

Maka dari itu perlakuan NaOH 6% memiliki kelebihan dimana lignin pada serat hilang yang membuat matrik dapat berikatan maksimal dengan serat dan tidak sepenuhnya menghilangkan ikatan selulosa sehingga serat menjadi tidak rapuh. Dapat dilihat kekuatan tarik komposit dengan matrik polyester memiliki nilai yang paling tinggi yaitu sebesar 312.68 Mpa

Pada gambar 4.4 menunjukkan kekuatan tarik dari variasi matrik. Dapat dilihat kekuatan tarik pada matrik bisphenol adalah 42.1 MPa.

4.2 Analisa Hubungan Antara Anyaman Serat dengan Kekuatan Tarik



Gambar 4.5 Analisis Hubungan Antara Anyaman Serat Dengan Kekuatan Tarik

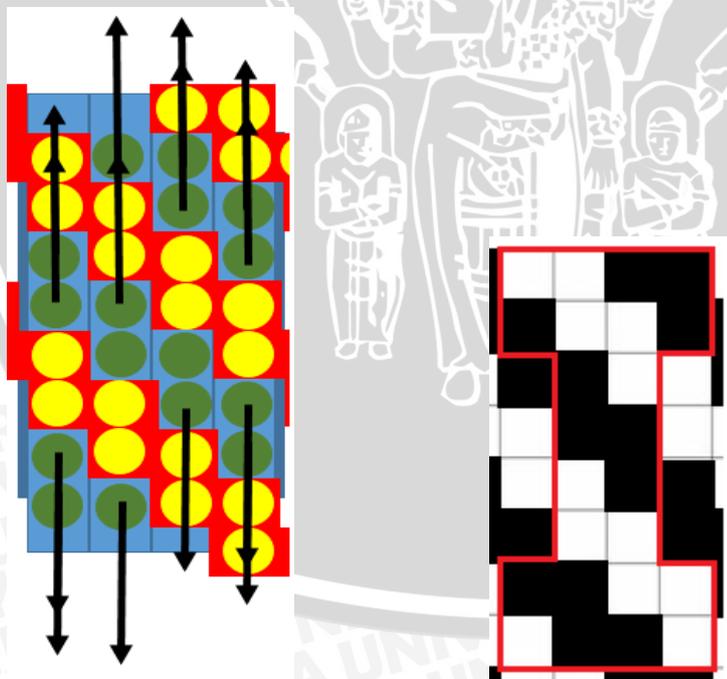
Dapat dilihat dari gambar 4.5 menjelaskan tentang perbandingan kekuatan tarik rata-rata pada variasi anyaman komposit. Kekuatan tarik maksimal terdapat pada serat anyaman *basket* yang mempunyai kekuatan tarik sebesar 115.15 MPa dan anyaman *satin* yang paling rendah memiliki kekuatan tarik sebesar 82.7 MPa.

Faktor utama yang menentukan nilai kekuatan tarik komposit anyaman adalah persilangan antara benang lusi (*vertikal*) dan benang pakan (*horizontal*). Persilangan antara kedua benang menjadikan kekuatan komposit dapat bertambah jika dalam keadaan seimbang. Pada anyaman *basket* contohnya yang memiliki nilai kekuatan tertinggi dikarenakan seimbangnya antara benang lusi dan pakan dan sedikitnya celah antar benang sehingga pendistribusian gaya pun maksimal. Ilustrasi distribusi gaya dapat dilihat dibawah.

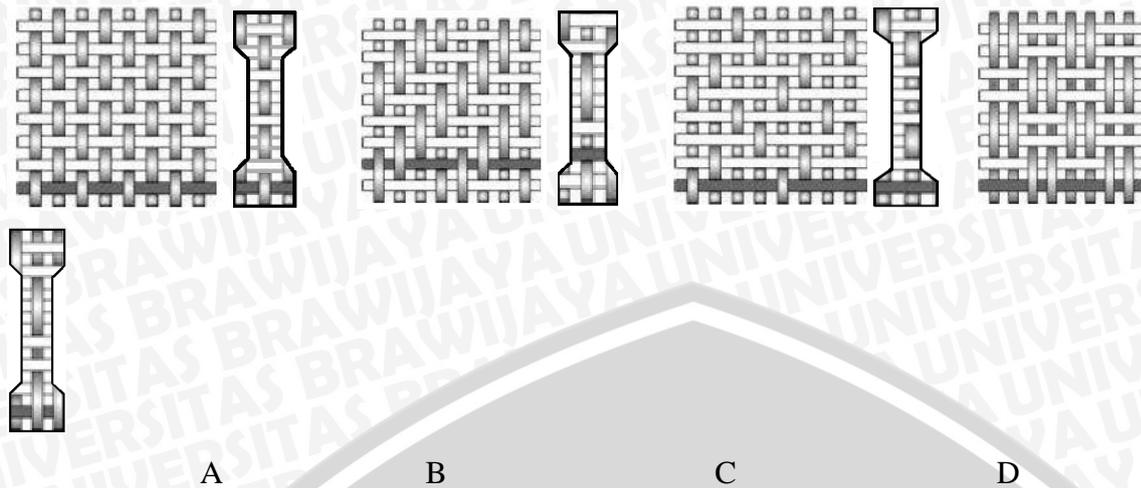


Gambar 4.6 Ilustrasi gaya pada anyaman *basket* dan bentuk spesimen *basket*

Untuk memudahkan penjelasan, dari gambar 4.6 diambil sampel titik gaya berada pada titik hijau. Titik hijau menandakan benang pakan berada dibawah benang lusi. Titik hijau yang bereaksi terhadap gaya tarik tertahan oleh benang pakan yang berada pada bagian atas benang lusi. Persilangan pada antara benang pakan yang berada dibawah dan diatas benang lusi akan membuat susunan komposit menjadi saling menahan satu sama lain. Contoh lain untuk memudahkan penjelasan distribusi gaya pada anyaman, dapat juga dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Ilustrasi gaya pada anyaman *twill* dan bentuk spesimen *twill*



Gambar 4.8 Ilustrasi anyaman jika dibentuk spesimen uji tarik
(A) Plain, (B) twill, (C) satin, (D) basket

4.2.1 Analisa Hubungan Tegangan dan Regangan Variasi Anyaman Serat

Dari hasil pengujian Tarik di dapatkan data beban pertambahan panjang seperti yang tercatat dalam lampiran 1 kemudian diolah sehingga didapatkan diagram tegangan ragangan seperti pada gambar 4.9 dari diagram tersebut diperoleh *tensile strength* (kekuatan Tarik) yang ditunjukkan oleh tegangan ultimate spesimen kemudian nilai *tensile strength* dengan berbagai variasi anyaman serat. Pada table 4.1 dengan rumus :

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

Dimana

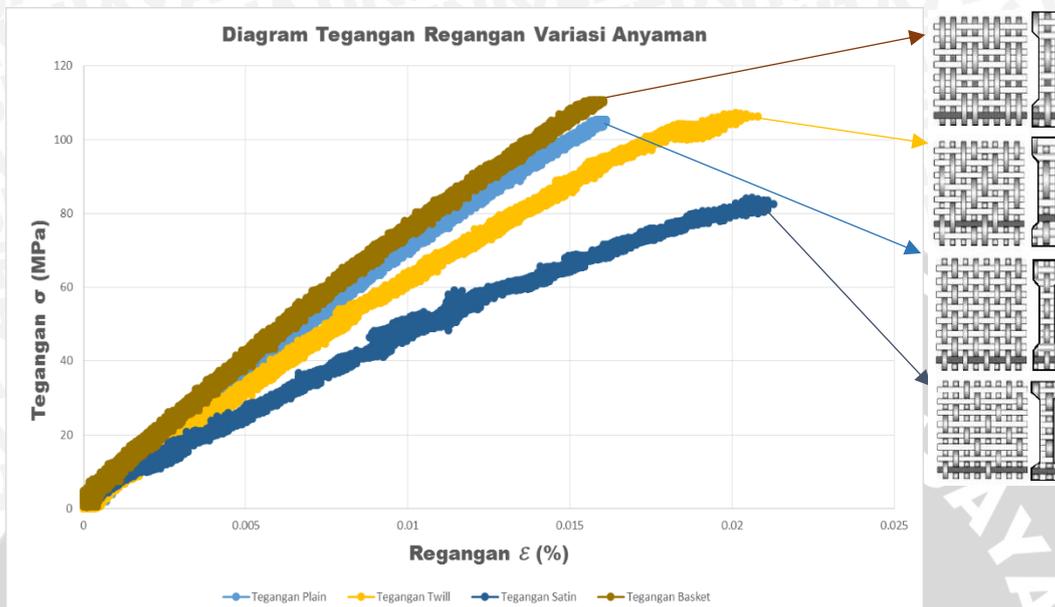
σ = Tegangan Tarik (N/mm²)

F = Gaya yang diterima (N)

A = luas penampang spesimen (mm²)

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Tarik Komposit Variasi Anyaman

NO	Variasi Anyaman	Kekuatan Tarik (MPa)
1	Plain	105.99
2	Twill	109.65
3	Satin	82.7



Gambar 4.9 Grafik Tegangan Regangan Komposit Anyaman Serat Waru

A. Hubungan tegangan - regangan pada berbagai Variasi

Grafik diatas merupakan grafik yang menunjukkan hubungan tegangan regangan dari berbagai variasi anyaman serat waru diantaranya adalah anyaman *plain*, *twill*, *satin*, dan *basket*. Dimana dari grafik dapat diketahui sumbu x menjelaskan regangan dan sumbu y menjelaskan tegangan.

Pada grafik hubungan antara tegangan dengan regangan pada berbagai variasi anyaman diperoleh urutan kekuatan tarik dari tertinggi ke rendah yaitu *basket*, *twill*, *plain*, dan *satin*.

- Variasi Anyaman *Plain*

Kekuatan tarik variasi anyaman *plain* yaitu sebesar 105.99 MPa dengan ukuran gaya yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak bahan. Dengan besar persatuan panjang sebagai regangan memiliki 0.016. *yield strength* yang di terima specimen komposit 63.4 MPa. Harga modulus elastisitas pada spesimen *plain* adalah 6.7 GPa.

- Variasi Anyaman *Twill*

Kekuatan tarik variasi anyaman *twill* yaitu sebesar 109.65 MPa adalah ukuran gaya yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak bahan.

Dengan besar persatuan panjang sebagai regangan memiliki 0.0202. *yield strength* yang di terima specimen komposit 65.3MPa. Harga modulus elastisitas pada spesimen *twill* adalah 5.5 GPa.

- Variasi Anyaman *Satin*

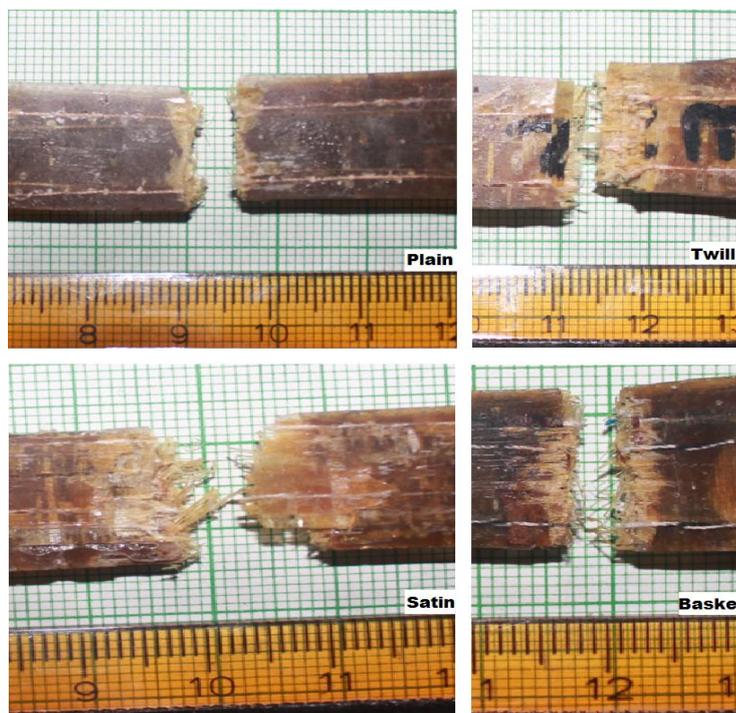
Kekuatan tarik variasi anyaman *satin* yaitu sebesar 82.7MPa adalah ukuran gaya yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak bahan. Dengan besar persatuan panjang sebagai regangan memiliki 0.0204. *yield strength* yang di terima specimen komposit 54.9 MPa. Harga modulus elastisitas pada spesimen *satin* adalah 4.2 GPa.

- Variasi Anyaman *Basket*

Kekuatan tarik variasi anyaman *Basket* yaitu sebesar 115.15 MPa adalah ukuran gaya yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak bahan. Dengan besar persatuan panjang sebagai regangan memiliki 0.0172. *yield strength* yang di terima specimen komposit 73.9 MPa. Harga modulus elastisitas pada spesimen *basket* adalah 6.4 GPa.

4.3 Analisa Patahan

Dari hasil pengujian Tarik dapat diketahui bentuk permukaan patahan specimen komposit serat waru bermatrik bisphenol dengan berbagai variasi anyaman serat adalah sebagai berikut:



Gambar 4.10 Perbandingan patahan tiap variasi anyaman

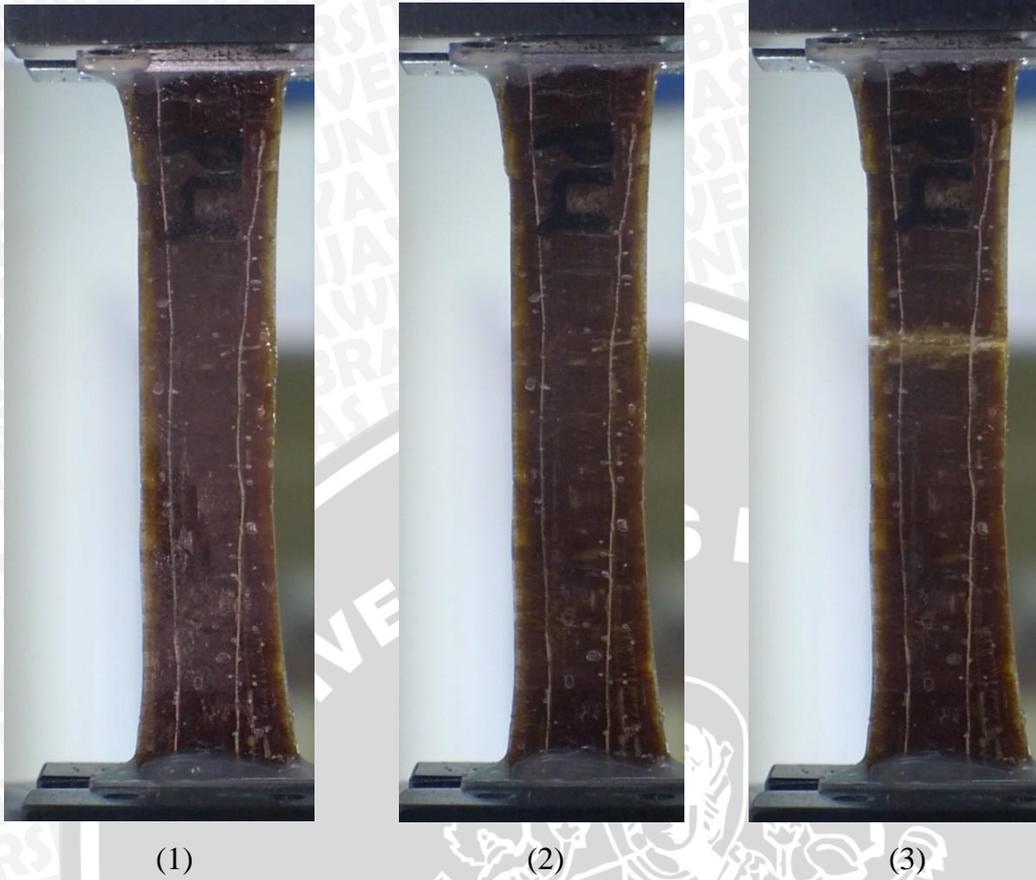
Pada gambar 4.10 menunjukkan bentuk patahan dari masing-masing variasi tiap spesimen uji tarik komposit. Dapat dilihat bahwa semua variasi hanya mengalami local debonding dimana debonding hanya terjadi di daerah tertentu saja tidak menyeluruh.

Debonding adalah jenis kegagalan komposit yang terjadi karena lemahnya matrik untuk berikatan pada serat, ciri-cirinya adalah pada bagian tengah spesimen akan terjadi pengelupasan antar serat. Pada semua jenis patahan komposit semua mengalami local debonding. Sedangkan, *pull-out* adalah jenis kegagalan pada komposit yang terjadi akibat beban yang mampu ditahan oleh serat sudah mencapai batas maksimal. Memiliki ciri terdapatnya serabut serabut serat pada bagian patahan seperti pada gambar 4.10.

4.3.1 Anyaman Plain

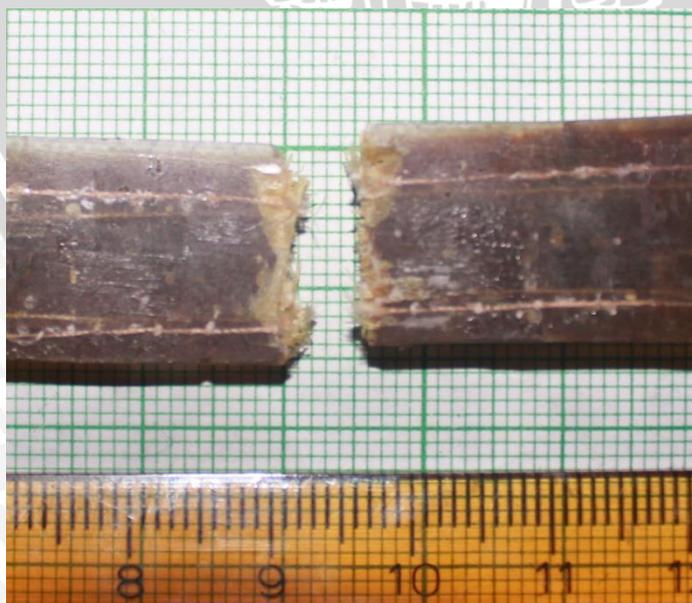
Dari hasil pengujian Tarik dapat diketahui bentuk permukaan patahan specimen komposit serat waru bermatrik bishphenol-A dengan berbagai variasi anyaman.





Gambar 4.11 Fase bentuk patahan spesimen Uji Tarik Anyaman serat *Plain*

Pada gambar 4.11 poin nomor (1) adalah kondisi awal spesimen saat proses uji tarik dimulai. (2) pada kondisi ini hanya terjadi penambahan panjang sehingga terjadi necking. (3) dapat dilihat bentuk patahan dari spesimen membentuk patahan getas.



Gambar 4.12 Bentuk tampak atas patahan spesimen Uji Tarik Anyaman *Plain*

Analisa Makrostruktur

Foto Makro



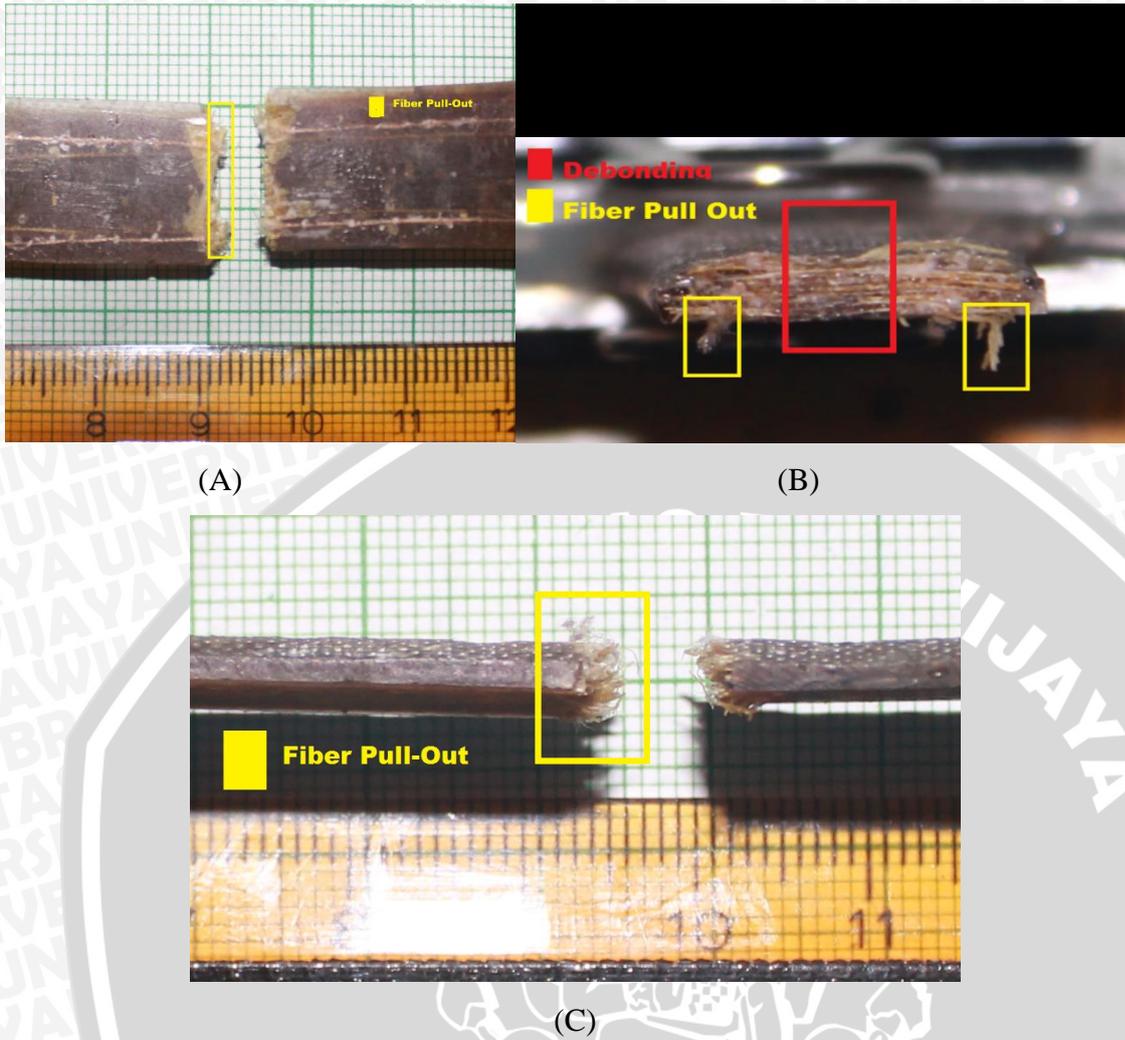
Gambar 4.14 Foto Makro Patahan *Plain*

Dari hasil foto mikrostruktur tersebut diambil lima sampel untuk dihitung prosentase kegagalan komposit, dengan ukuran 1x1 cm menggunakan millimeter.

1	2	3	4	5

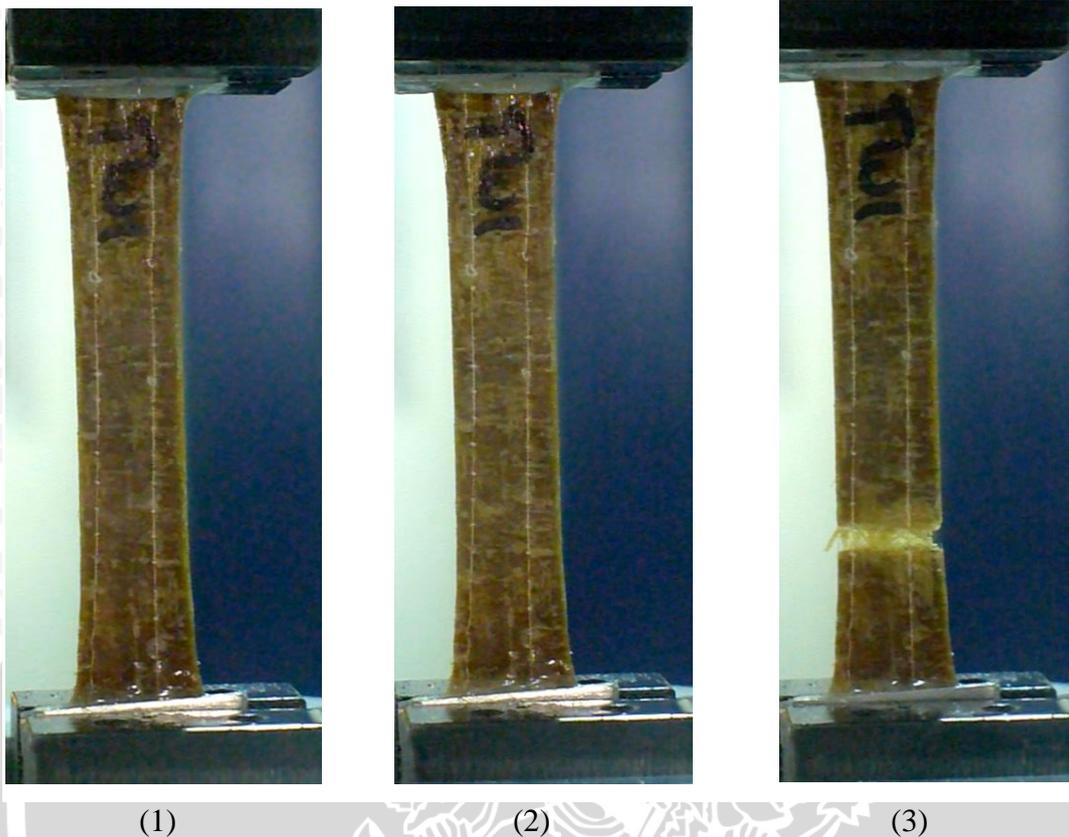
Dari lima sampel tersebut dapat diperoleh data sebagai berikut :

No.	Debonding	Fiber Pull-Out
1	72	28
2	19	81
3	26	74
4	14	86
5	83	17
	42.8	57.2



Gambar 4.15 Foto permukaan patah spesimen *plain* (A) tampak atas, (B) tampak depan, (C) tampak samping

4.3.2 Anyaman *Twill*



Gambar 4.16 Fase bentuk patahan specimen Uji Tarik Anyaman serat *Twill*

Pada gambar 4.16 poin nomor (1) adalah kondisi awal spesimen saat proses uji tarik dimulai. (2) kondisi pada spesimen mulai timbul daerah patahan yang terbentuk akibat penyempitan luas penampang atau necking. (3) pada kondisi ini spesimen terjadi tanpa didahului oleh crack



Gambar 4.17 Bentuk tampak atas patahan specimen Uji Tarik Anyaman *Twill*

Dengan melihat bentuk patahan dari penampang pada anyaman *twill*, dapat dilihat bahwa patahan membentuk garis miring pada kedua sisi patahan. Hal ini menandakan terjadinya tegangan geser pada komposit, tegangan geser terjadi karena terjadinya kerusakan matrik terlebih dahulu disusul dengan serat.

Analisa Makrostruktur

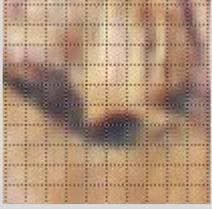
Mikrostruktur dari patahan *twill*

Foto Makro



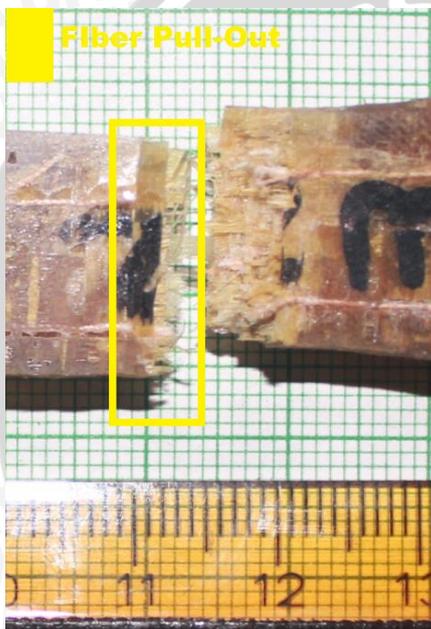
Gambar 4.19 Foto Makro Patahan *Twill*

Dari hasil foto mikrostruktur tersebut diambil lima sampel untuk dihitung prosentase kegagalan komposit, dengan ukuran 1x1 cm menggunakan millimeter.

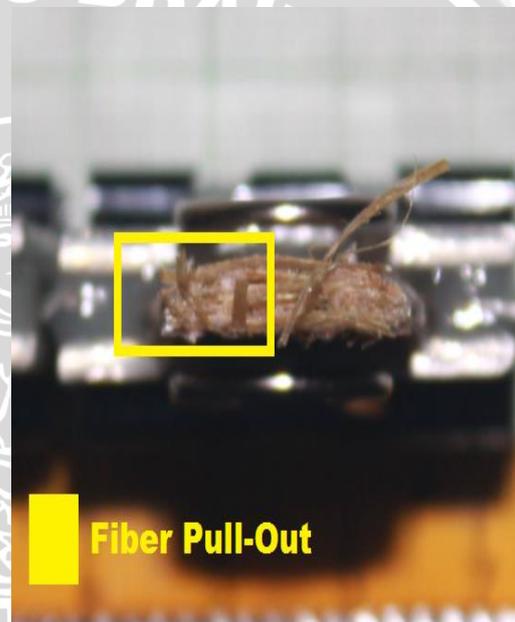
				
1	2	3	4	5

Dari lima sampel tersebut dapat diperoleh data sebagai berikut :

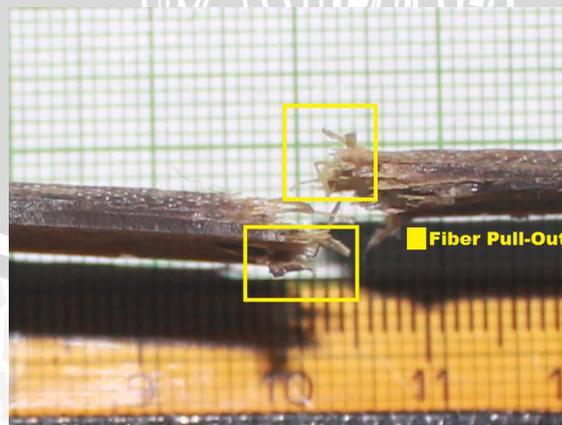
No	Debonding	Fiber Pull-Out
1.	25	75
2.	0	100
3.	17	83
4.	17	83
5.	35	65
	18.8	81.2



(A)



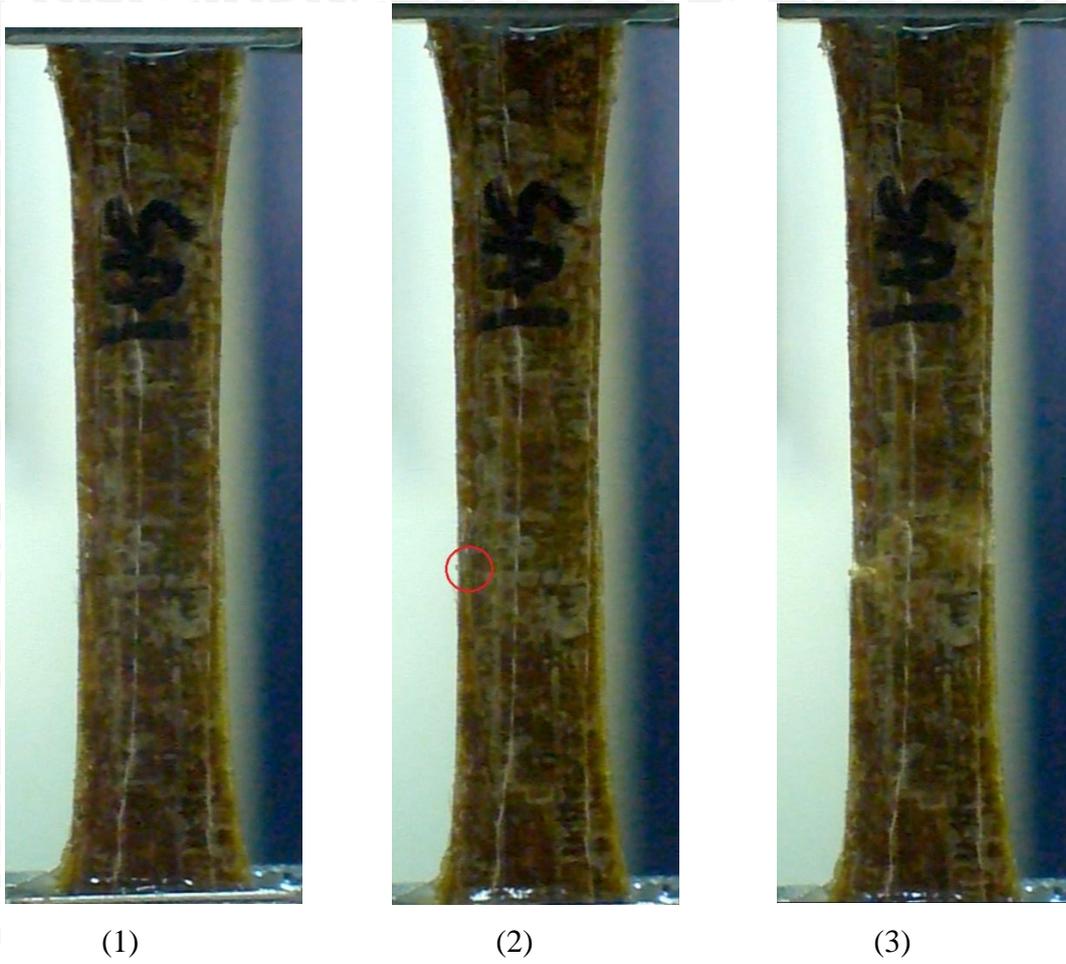
(B)



(C)

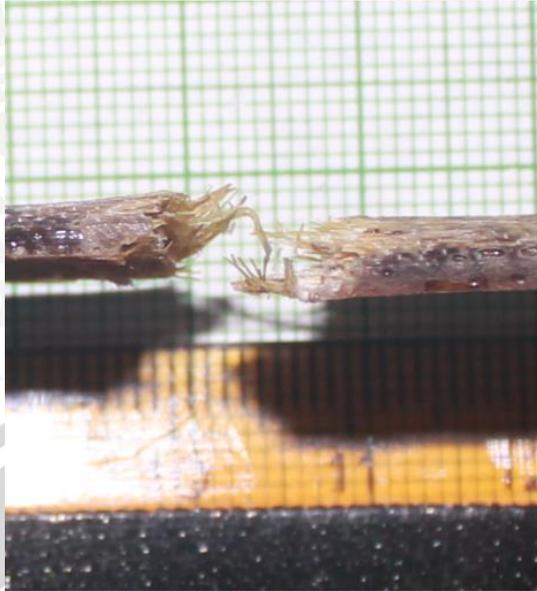
Gambar 4.20 Foto permukaan patah spesimen *Twill* (A) tampak atas, (B) tampak depan, (C) tampak samping

4.3.3 Anyaman Satin



Gambar 4.21 Fase patahan specimen Uji Tarik Anyaman serat *Satin*

Pada gambar 4.21 poin nomor (1) adalah kondisi awal spesimen saat proses uji tarik dimulai. (2) kondisi pada spesimen mulai timbul daerah patahan yang terbentuk akibat penyempitan luas penampang atau necking. (3) Pada kondisi ketiga, dapat dilihat bentuk patahan yang berawal dari crack pada gambar kondisi kedua.



Gambar 4.22 Bentuk tampak atas samping spesimen Uji Tarik Anyaman *Satin*

Dengan melihat bentuk patahan dari penampang pada anyaman *twill*, dapat dilihat bahwa patahan membentuk garis miring pada kedua sisi patahan. Hal ini menandakan terjadinya tegangan geser pada komposit, tegangan geser terjadi karena terjadinya kerusakan matrik terlebih dahulu disusul dengan serat.

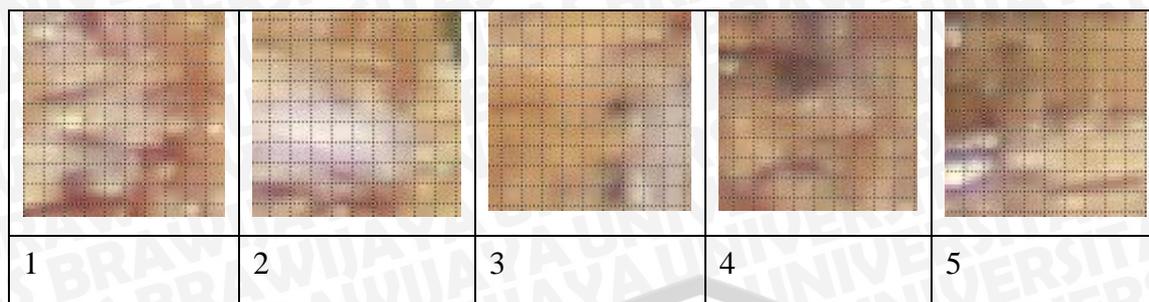
Analisa Makrostruktur

Foto Makro



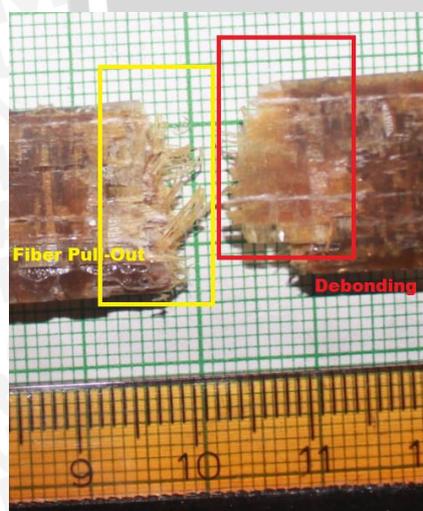
Gambar 4.24 Foto Makro Patahan *Satin*

Dari hasil foto mikrostruktur tersebut diambil lima sampel untuk dihitung prosentase kegagalan komposit, dengan ukuran 1x1 cm menggunakan millimeter.

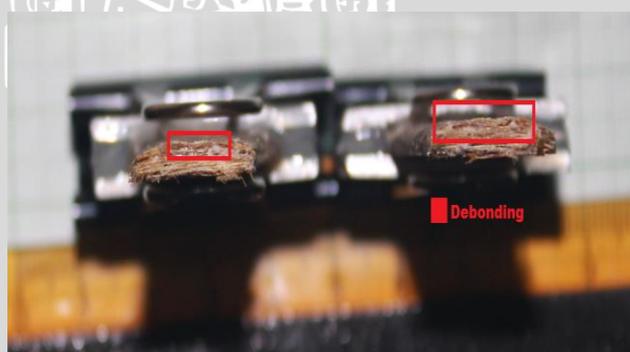


Dari lima sampel tersebut dapat diperoleh data sebagai berikut :

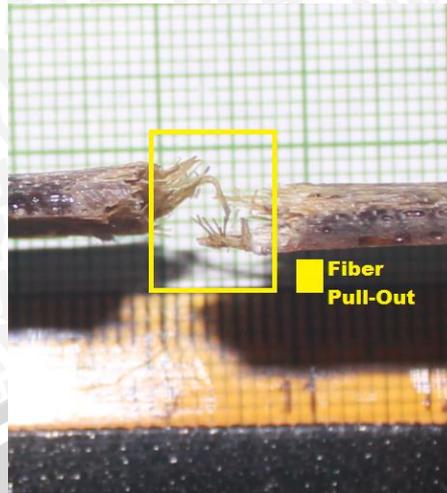
No.	Debonding (%)	Pull out (%)
1.	36	64
2.	8	92
3.	28	72
4.	19	81
5.	24	76
Σ	23	77



(A)



(B)

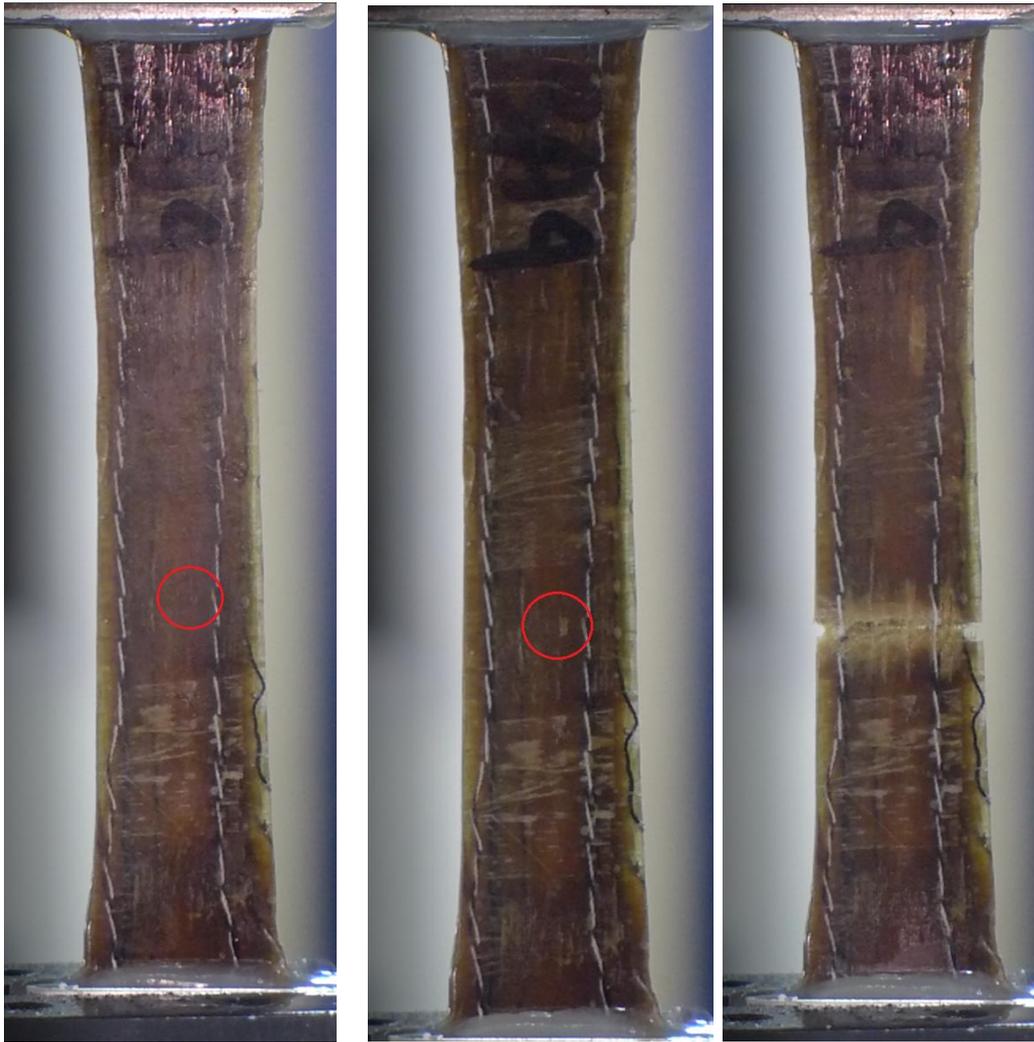


(C)

Gambar 4.25 Foto permukaan patah spesimen *Satin* (A) tampak atas, (B) tampak depan, (C) tampak samping



4.3.4 Anyaman *Basket*



(1)

(2)

(3)

Gambar 4.26 Fase patahan specimen Uji Tarik Anyaman serat *Basket*

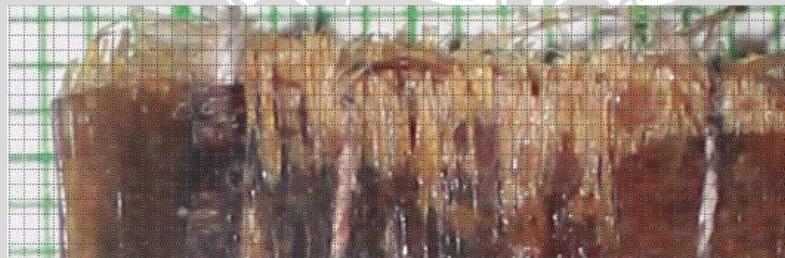
Pada gambar 4.24 poin nomor (1) adalah kondisi awal spesimen saat proses uji tarik dimulai. (2) pada kondisi pertama terdapat void yang menjadi pemicu terjadinya patahan pada spesimen. Pada kondisi ini void menjadi lebih besar. (3) dapat dilihat daerah patahan pada kondisi ketiga tidak jauh dari daerah void pada kondisi kedua.



Gambar 4.27 Bentuk tampak atas patahan specimen Uji Tarik Anyaman *Basket*

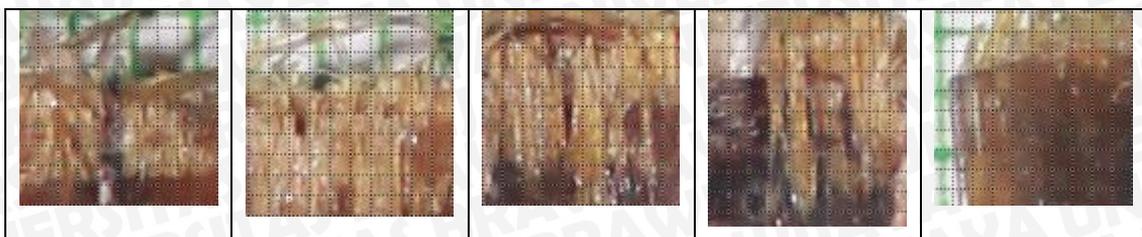
Analisa Makrostruktur

Foto Makro



Gambar 4.29 Foto Makro Patahan *Basket*

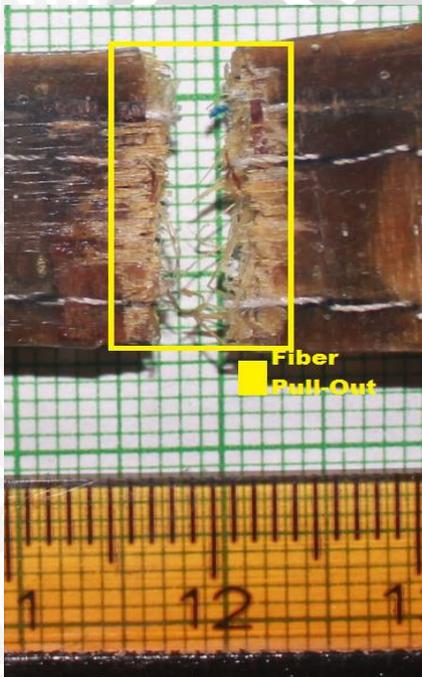
Dari hasil foto mikrostruktur tersebut diambil lima sampel untuk dihitung prosentase kegagalan komposit, dengan ukuran 1x1 cm menggunakan millimeter.



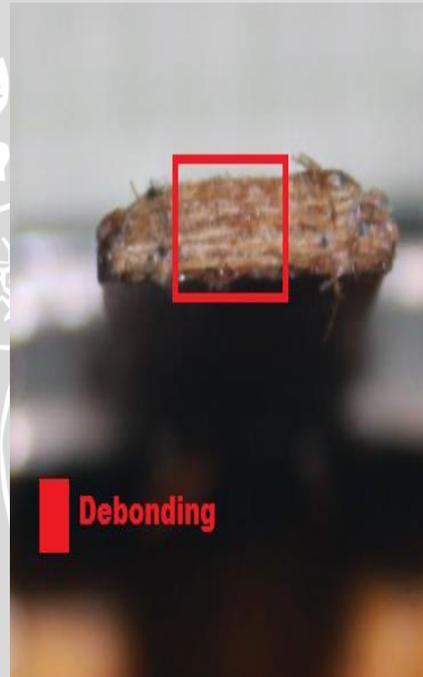
1	2	3	4	5
D				

ari lima sampel tersebut dapat diperoleh data sebagai berikut :

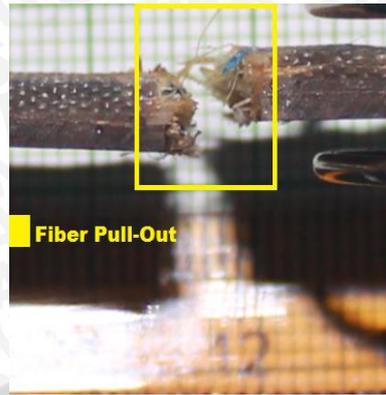
NO	Debonding	Fiber Pull-Out
1	22	78
2	7	93
3	22	78
4	34	64
5	70	30
	31.4	68.6



(A)



(B)



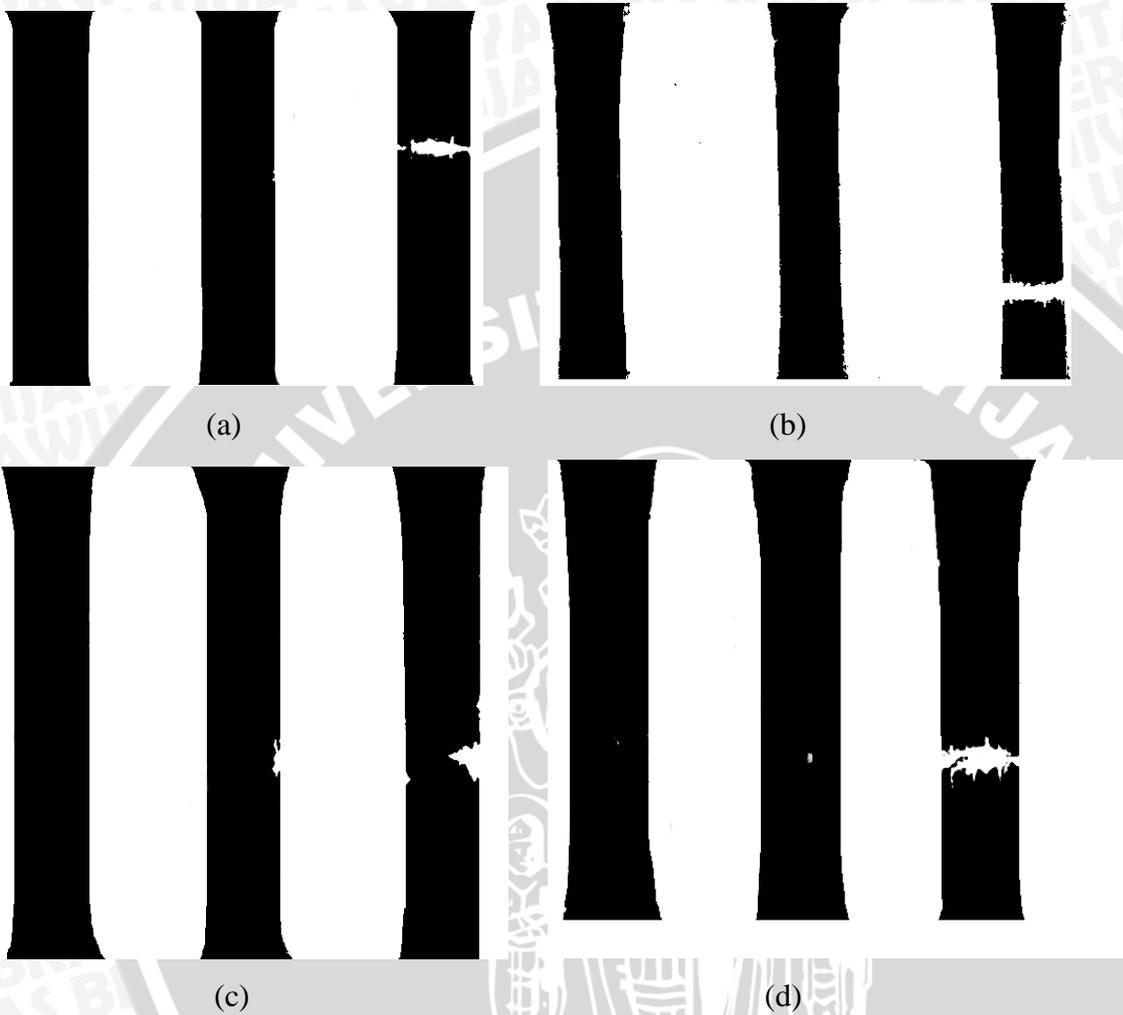
(C)

Gambar 4.30 Foto permukaan patah spesimen *Basket* (A) tampak atas, (B) tampak depan,

(C)tampak samping



4.3.5 Sketsa Patahan Variasi Anyaman



Gambar 4.30 Sketsa Patahan pada variasi anyaman (a) Plain; (b) Twill; (c) Satin; (d) Basket

Gambar diatas adalah gambar dari sketsa patahan pada variasi anyaman setelah dilakukan uji tarik. Gambar ini didapatkan memakai aplikasi *ImageJ* dengan cara menyesuaikan *brightness* dan *contrast* yang berasal dari gambar 4.11 , gamba 4.16 , gamba 4.21, dan gambar 4.26.

Sketsa dari gambar diatas bertujuan untuk menunjukan bentuk patahan yang terjadi pada tiap variasi anyaman.