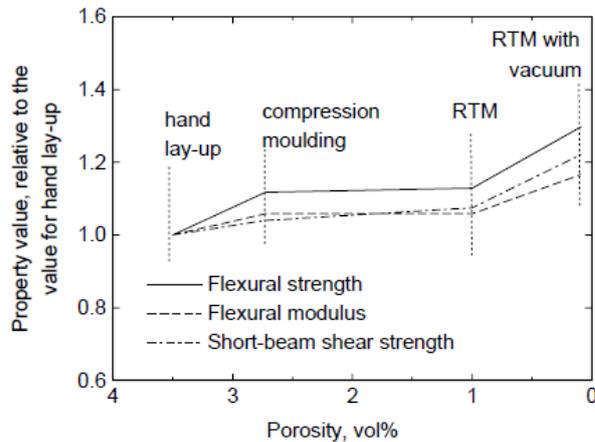


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil dan Pembahasan Penelitian



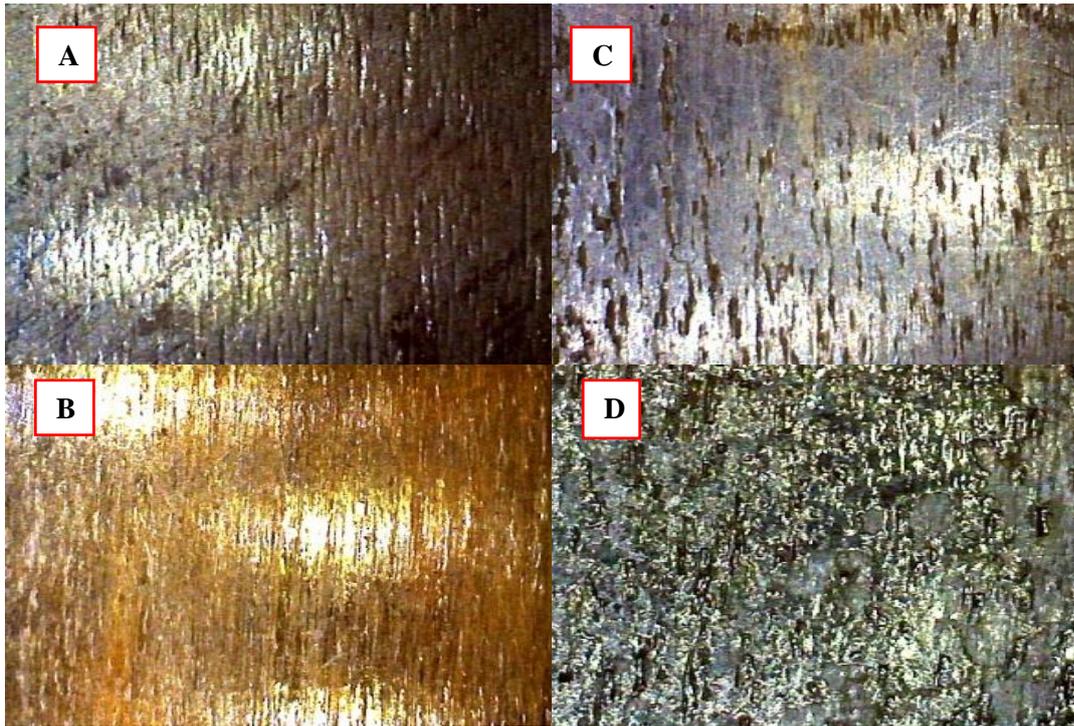
Gambar 4.1 Variasi metode manufaktur komposit terhadap *porosity*  
Sumber: Bryan Harris (1999)

Pada Gambar 4.1 adalah penjelasan mengenai perbandingan porositas dengan nilai karakteristik yang relatif 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.

### 4.2 Foto Permukaan Produk Komposit *Parallel Vacuum*

Dalam penentuan kualitas dari produk komposit, tentunya kita harus melihat cacat apa saja yang terjadi pada produk hasil komposit. Salah satu cara mengetahui cacat yang terjadi pada produk hasil komposit dengan metode pembuatan *parallel vacuum* adalah dengan melakukan pengamatan Persentase *void* yang terbentuk pada produk komposit.

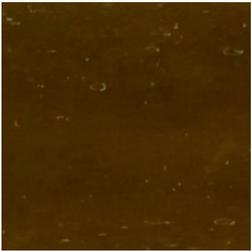
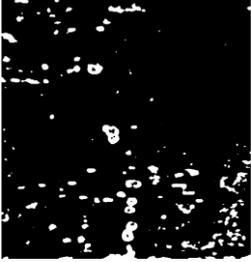
Pengamatan ini dilakukan menggunakan bantuan lensa kamera makro dengan perbesaran 100x dan dilakukan pada permukaan atas spesimen, tujuan dari diambilnya permukaan atas spesimen adalah agar daerah luasan yang hitung memiliki luasan yang cukup untuk diambil sample, selain itu guna melihat kualitas produk komposit dari luar, sehingga dapat terlihat *void* pada produk komposit sebagai berikut.



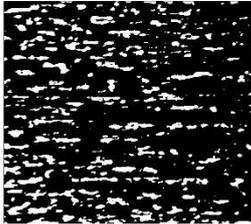
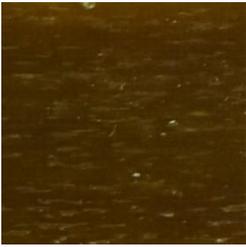
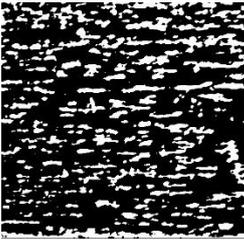
Gambar 4.2 Foto makro permukaan produk komposit. (A) Epoxy, (B) Polyester, (C) Bisphenol, (D) Ripoxy

Dari Gambar 4.2 dilakukan perhitungan dengan mengambil 5 sampel secara acak pada permukaan spesimen dengan ukuran 5 x 5 mm dengan *software* ImageJ. ImageJ menghitung *void* pada permukaan spesimen berdasarkan beeda kontras warna antara daerah yang rata dan tidak rata, sehingga apabila terjadi *void* pada permukaan produk komposit, dapat dengan mudah terdeteksi oleh gradasi warna yang kemudian akan dihitung secara otomatis oleh *software* ImageJ.

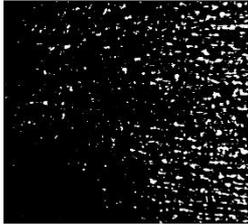
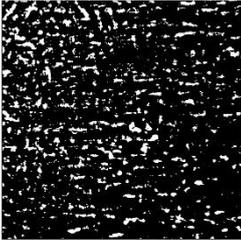
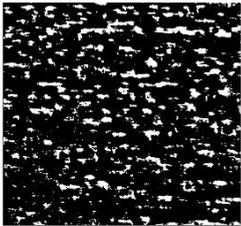
Tabel 4.1  
Perhitungan Persentase *Void* Komposit Matrik *Epoxy*

Gambar Sampel	Pengolahan	Persentase <i>Void</i> (%)
		0.12
		2.25
		5.75
		5.77
		10.47
<b>Rata-rata</b>		4.87%

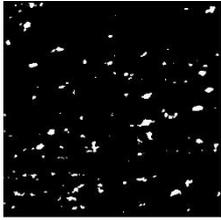
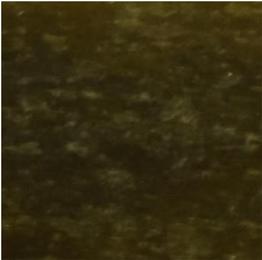
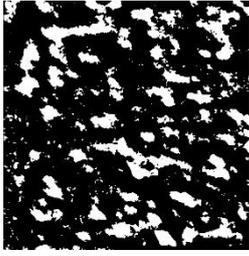
Tabel 4.2  
Perhitungan Persentase *Void* Komposit Matrik *Polyester*

Gambar Sampel	Pengolahan	Persentase <i>Void</i> (%)
		15.90
		18.49
		23.96
		24.85
		33.67
<b>Rata-rata (%)</b>		23.37

Tabel 4.3  
Perhitungan Persentase *Void* Komposit Matrik *Bisphenol*

Gambar Sampel	Pengolahan	Persentase <i>Void</i> (%)
		4.08
		6.50
		11.84
		14.33
		14.59
<b>Rata-rata</b>		10.26

Tabel 4.4  
Perhitungan Persentase *Void* Komposit Matrik *Ripoxy*

Gambar Sampel	Pengolahan	Persentase <i>Void</i> (%)
		2.74
		10.02
		20.33
		21.74
		28.68
<b>Rata-rata</b>		16.70

Dari hasil perhitungan persentase *void* yang terjadi pada produk komposit, diketahui porositas yang paling banyak, terjadi pada produk komposit dengan matrik *polyester* sebanyak 23.37% *void* yang terjebak pada permukaan spesimen, setelah itu adalah produk komposit dengan matrik *ripoxy* dengan *void* sebanyak 16.70%, setelah itu adalah spesimen *bisphenol* dengan 10.26% *void*, dan yang paling sedikit memiliki Persentase *void* adalah matrik *epoxy* dengan 4.87% *void*. *Void* adalah cacat yang terdapat pada komposit, akibat adanya udara yang terjebak pada saat proses pembuatan komposit, sehingga menimbulkan rongga udara pada produk hasil pembuatan komposit.

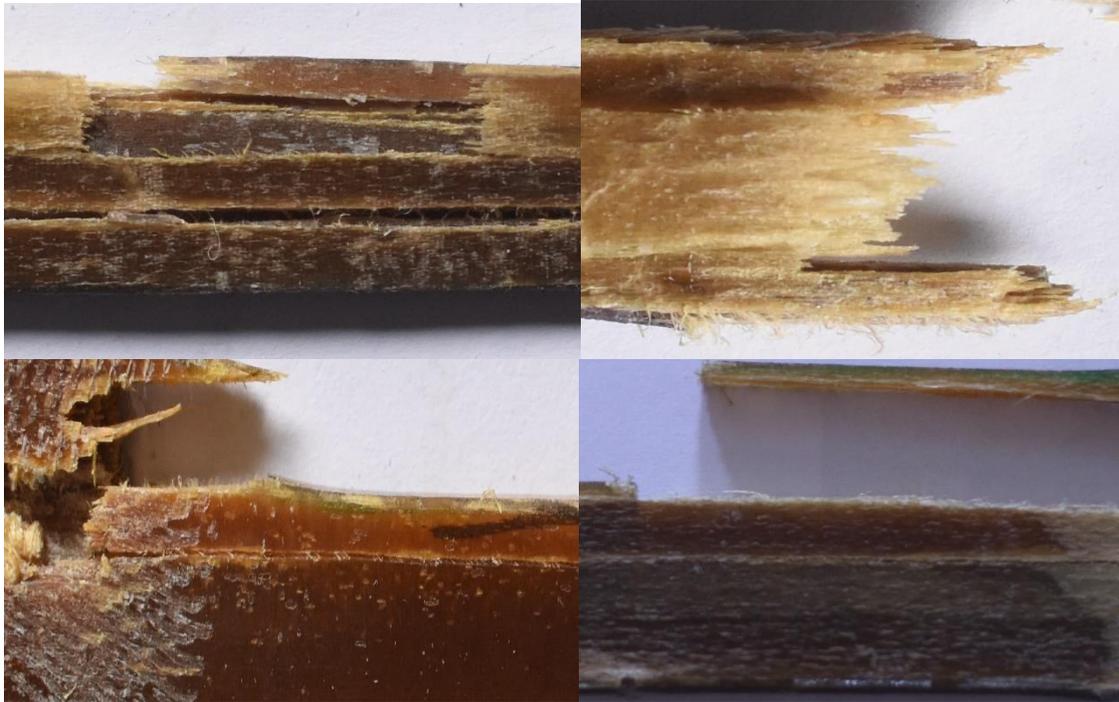
*Void* mempengaruhi kualitas dari komposit, semakin banyak *void* pada matrik, maka kualitas dari matrik pengikat akan mengalami penurunan dan mempengaruhi kekuatan dari komposit dikarenakan *void* dapat menjadi pemusatan tegangan pada saat produk komposit menerima gaya. Dengan semakin banyak *void* yang terjadi, maka menunjukkan penurunan kualitas matrik dari komposit tersebut. Bila ditinjau dari ilmu manufaktur, toleransi terjadinya *void* pada material komposit skala industri harus memiliki nilai toleransi yang rendah. Hal ini dikarenakan, produk yang akan diproduksi secara masal, harus memenuhi standart keamanan supaya dapat digunakan oleh masyarakat. Semakin banyak *void* yang terjadi, maka akan menurunkan kekuatan dari material komposit tersebut.

*Void* pada proses pembuatan komposit dengan metode RTM dengan *parallel vacuum* diduga terjadi pada saat proses pencampuran resin dengan *hardener* maupun katalis. Setelah proses pencampuran yang dilakukan dalam ruangan terbuka, kemudian dilakukan pengadukan pada resin secara manual. Terjadinya gelembung udara yang terperangkap, banyak terjadi pada saat proses pengadukan akibat kecepatan pengadukan yang terlalu cepat. Pengadukan yang terlalu cepat mengakibatkan udara disekitar ruangan ikut masuk kedalam resin. Pengadukan resin hendaknya dilakukan secara perlahan guna mengurangi gelembung udara yang terjebak didalam matrik sehingga akan menimbulkan banyaknya *void* yang terjadi. Selain itu, pada proses transfer *resin* dari penampungan menuju cetakan juga mempengaruhi terjadinya gelembung udara pada specimen, jika terjadi penumpukan *resin* yang begitu banyak pada sisi *in* maka dapat menyebabkan terbentuknya gelembung.

### **4.3 Analisa Patahan Komposit dengan Metode *Parallel Vacuum***

Pengujian tarik merupakan salah satu *destructive test*, sehingga akan merusak material setelah dilakukan pengujian karena material akan ditarik hingga patah. Namun hasil pengujian tarik juga memungkinkan untuk dilakukan analisa patahan guna melihat sifat dan kegagalan akibat dari proses manufaktur sehingga dapat diketahui kualitas dari

produk hasil metode manufaktur komposit yang digunakan, gambar diambil menggunakan lensa makro dengan perbesaran 100x. Adapun gambar penampang patahan spesimen uji tarik dengan metode *vacuum bagging* sebagai berikut.



Gambar 4.3 Perbandingan patahan tiap variasi komposit produk *parallel vacuum*

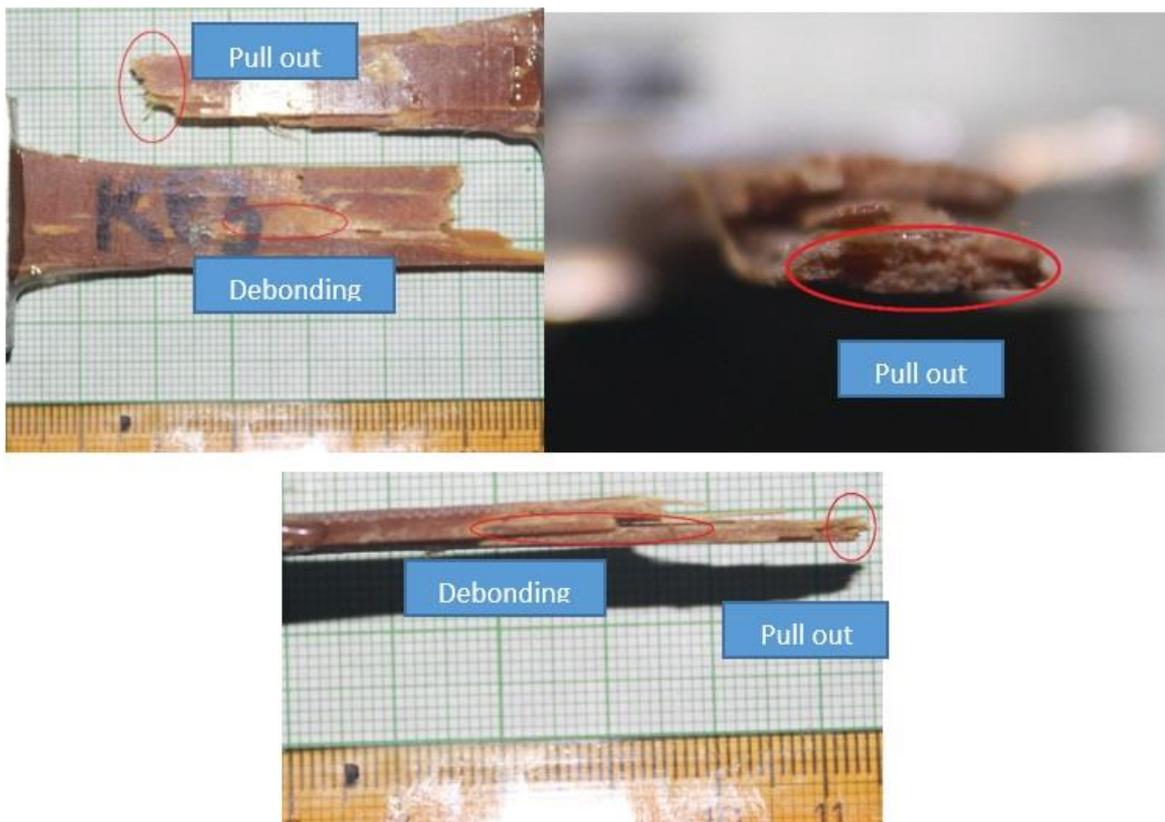
Pada Gambar 4.3 menunjukkan bentuk patahan dari masing-masing variasi tiap spesimen uji tarik komposit. Dapat dilihat bahwa variasi matrik *ripoxy* dan *polyester* memiliki daerah *debonding* yang cukup besar pada bagian samping spesimen. Selain *debonding*, masing-masing dari tiap spesimen memiliki patahan *pull-out*.

*Debonding* adalah jenis kegagalan komposit yang terjadi karena lemahnya *adhensi* antara matrik dan serat. Lemahnya gaya *interface* antara *matrik* dan *fiber* inilah yang menimbulkan terkelupasnya matrik pada serat sehingga mempengaruhi kualitas produk. Dari gambar foto makro patahan komposit diatas, matrik *polyester* mengalami cukup banyak *debonding*.

### 4.3.1 Analisa Patahan Matrik *Epoxy*

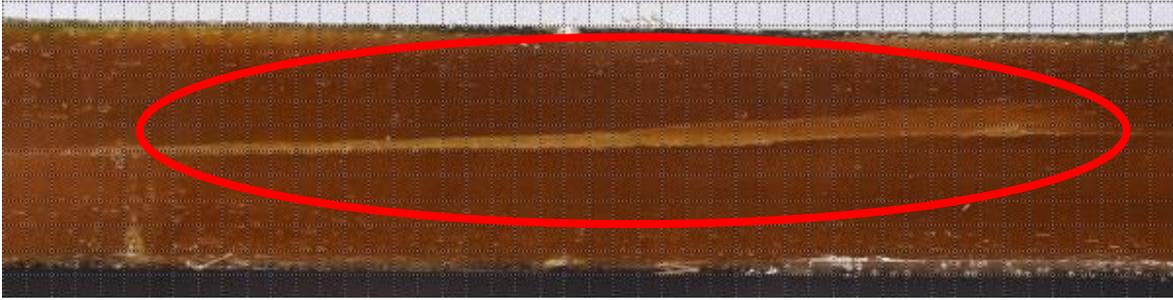


Gambar 4.4 Foto permukaan patah spesimen matrik *epoxy parallel vacuum*



Gambar 4.5 Foto permukaan patah spesimen matrik *epoxy single vacuum*

Dari Gambar 4.5 diatas terlihat bahwa komposit dengan matrik *epoxy* terdapat beberapa cacat diantaranya terdapat *pull out* dan *debonding*. Apabila dilihat lebih seksama, komposit dengan matrik *epoxy* terdapat *void* pada permukaan spesimen, hal ini tentunya akan mempengaruhi kekuatan tarik dari komposit.



Gambar 4.6 Analisa *debonding* pada spesimen

Pada metode *parallel vacuum* spesimen mengalami rata-rata *debonding* sebesar 5,72%. *Debonding* yang terjadi pada produk komposit dengan matrik *epoxy* cenderung paling kecil dibandingkan dengan patahan lainnya. *Debonding* merupakan mekanisme lepasnya serat dan matrik akibat lemahnya gaya ikat antara matrik dan serat sehingga matrik dan serat terkelupas sebelum dapat mentransfer gaya yang diterima dengan maksimal.

#### 4.3.2 Analisa Patahan Matrik *Polyester*

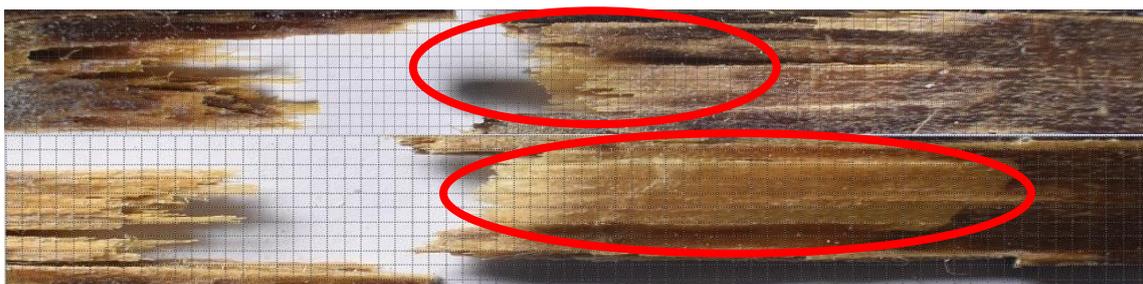


Gambar 4.7 Foto permukaan patah spesimen matrik *polyester parallel vacuum*



Gambar 4. 8 Foto permukaan patah spesimen matrik *polyester single vacuum*

Dari Gambar 4.8 terlihat bahwa produk komposit dengan matrik *polyester* memiliki daerah *debonding* yang cukup luas. Dari gambar di atas terlihat pula terdapat *void* pada patahan produk komposit dengan matrik *polyester*. *Void* ini terbentuk akibat adanya udara yang terperangkap masuk kedalam produk komposit pada saat proses pembuatan. Diduga udara masuk pada saat proses pengadukan dikarenakan dalam kondisi udara ruang dan mengalami kontak langsung dengan udara. Pada metode *parallel vacuum* spesimen mengalami rata-rata *debonding* sebesar 21.57%.

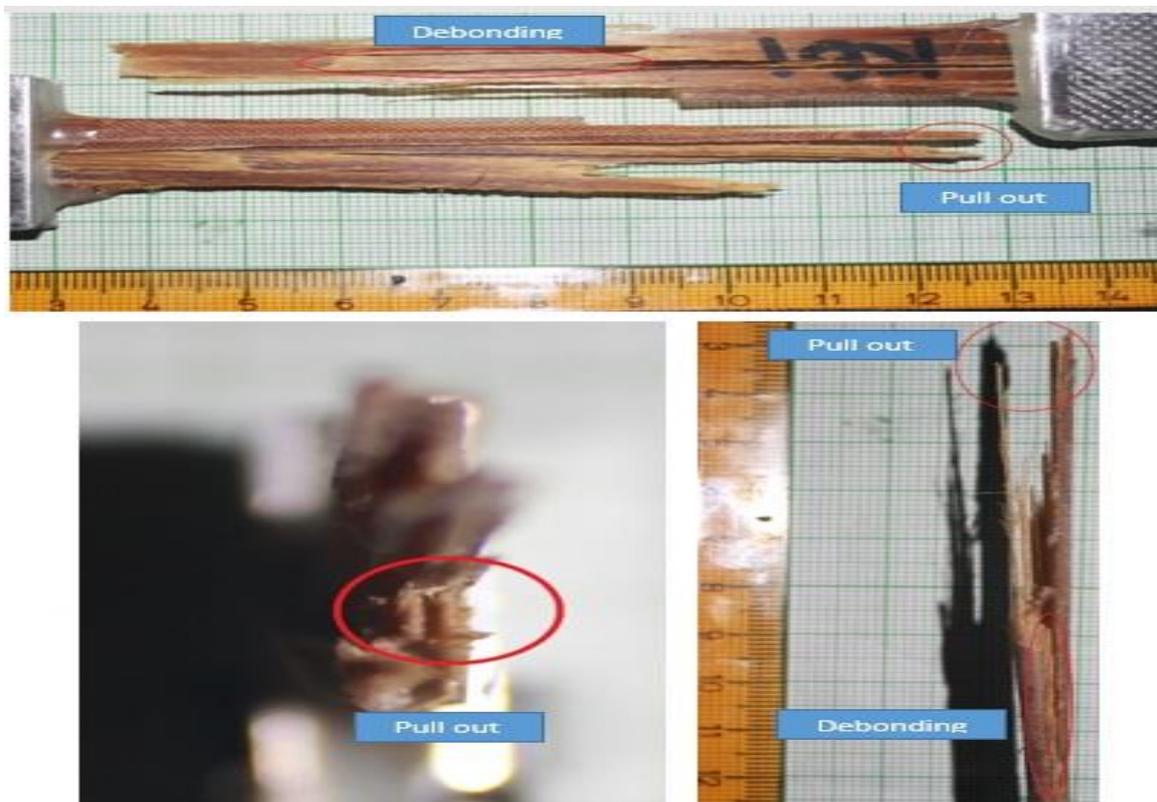


Gambar 4.9 Analisa *debonding* pada spesimen

### 4.3.3 Analisa Patahan Matrik *Bisphenol*



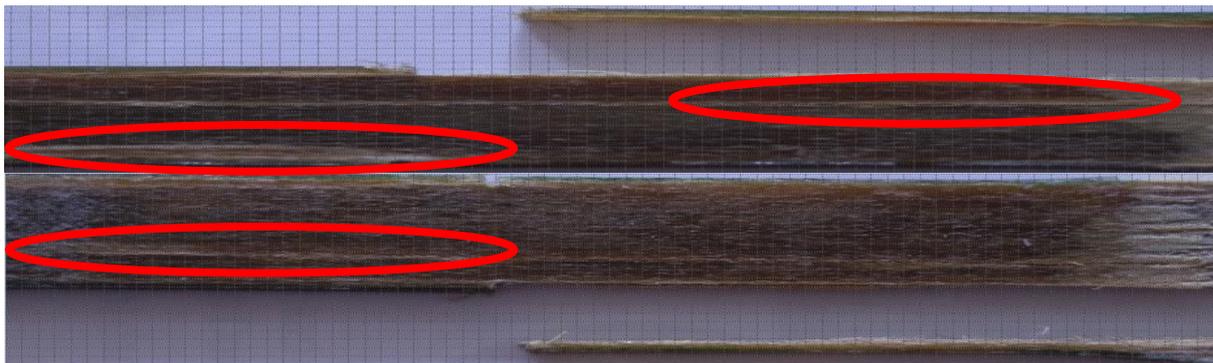
Gambar 4.10 Foto permukaan patah spesimen matrik *bisphenol parallel vacuum*



Gambar 4.11 Foto permukaan patah spesimen matrik *polyester single vacuum*

Dengan melihat bentuk patahan tampak atas, pada tepi spesimen terdapat kelebihan resin dan *void* sehingga menyebabkan penurunan kekuatan tarik dari spesimen. Pada metode *parallel vacuum* spesimen mengalami rata-rata debonding sebesar 11.33%, yang membedakan dari ketiga produk lainnya adalah pada produk komposit dengan matrik *bisphenol* ini mengalami *resin rich*, atau kelebihan resin pada saat proses pembuatan. Hal ini terlihat dari gambar foto makro diatas yang mana terdapat penumpukan resin pada bagian samping produk komposit. *Resin rich* mengakibatkan penurunan kekuatan komposit,

dikarenakan didalam matrik yang berkumpul tersebut tidak terdapat serat sehingga apabila dikenai gaya, matrik tidak dapat mentransfer gaya yang diterima kepada serat.

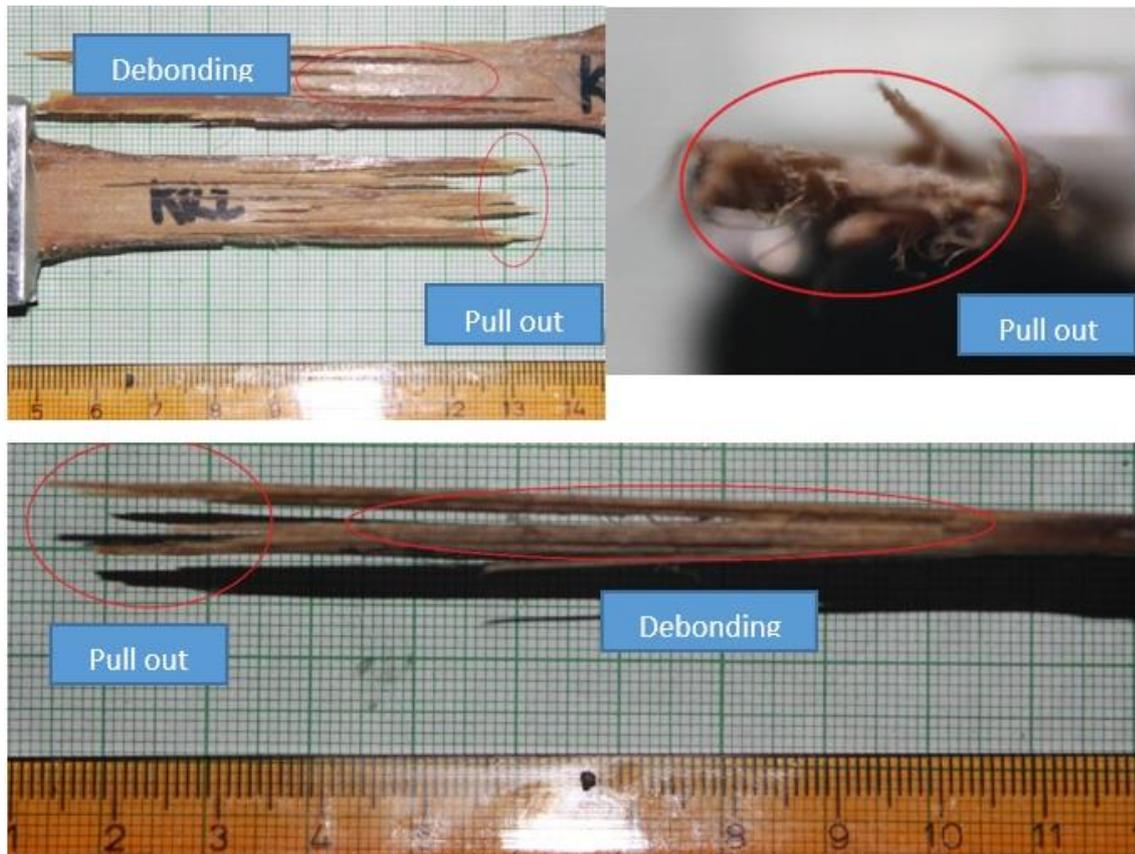


Gambar 4.12 Analisa *debonding* pada spesimen

#### 4.3.4 Analisa Patahan Matrik *Ripoxy*



Gambar 4.13 Foto permukaan patah spesimen matrik *ripoxy parallel vacuum*



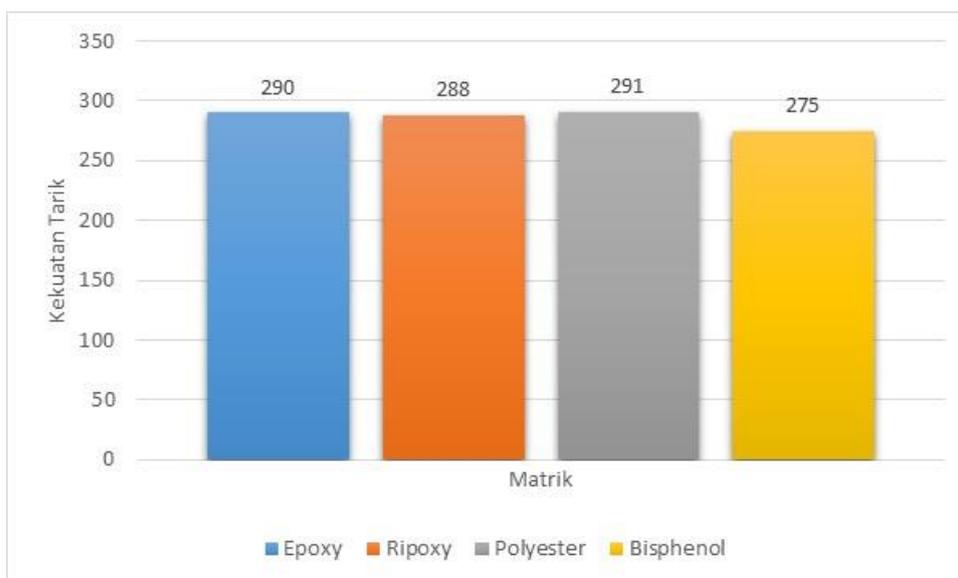
Gambar 4.14 Foto permukaan patah spesimen matrik *ripxoy single vacuum*

Dari Gambar 4.14 dapat terlihat bahwa produk komposit dengan matrik *ripxoy* mengalami kegagalan material diantaranya adalah *debonding* yang terjadi pada permukaan produk komposit. Pada produk komposit ini juga mengalami *void* dan *pull out* pada daerah hasil patahan. Pada metode *parallel vacuum* spesimen mengalami rata-rata *debonding* sebesar 15.33%.



Gambar 4.15 Analisa *debonding* pada spesimen

#### 4.3.5 Data Hasil Pengujian Tarik Komposit dengan Metode *Parallel Vacuum*



Gambar 4.16 Grafik kekuatan tarik komposit dengan metode *parallel vacuum*

Pada Gambar 4.16 menunjukkan perbandingan kekuatan tarik antar variasi matrik yaitu matrik *bisphenol*, *polyester*, *riproxy*, dan *epoxy*. Dari Gambar 4.16 diatas dapat terlihat urutan perbandingan kekuatan tarik komposit dengan metode *parallel vacuum* dari yang paling tinggi ke rendah adalah *polyester* dengan kekuatan tarik sebesar 291 MPa, selanjutnya adalah *epoxy* dengan kekuatan tarik sebesar 290 MPa, pada urutan ketiga adalah *riproxy* dengan kekuatan tarik sebesar 288 MPa, dan pada urutan terakhir adalah komposit dengan matrik *bisphenol* dengan kekuatan tarik sebesar 275 MPa. Perbedaan kekuatan ini disebabkan karena matrik yang digunakan memiliki kekentalan yang berbeda-beda dan *gelling time* yang berbeda pula.

Matrik *epoxy* memiliki kekentalan yang paling besar terhadap matrik lainnya, tetapi memiliki *gelling time* yang paling lama, sehingga matrik *epoxy* memiliki cukup waktu untuk meresap kedalam rongga serat waru sehingga komposit yang dihasilkan pun memiliki kekuatan yang baik. Matrik *epoxy* memiliki komposisi 50 gram resin yang nantinya akan dicampur dengan 50 gram hardener.

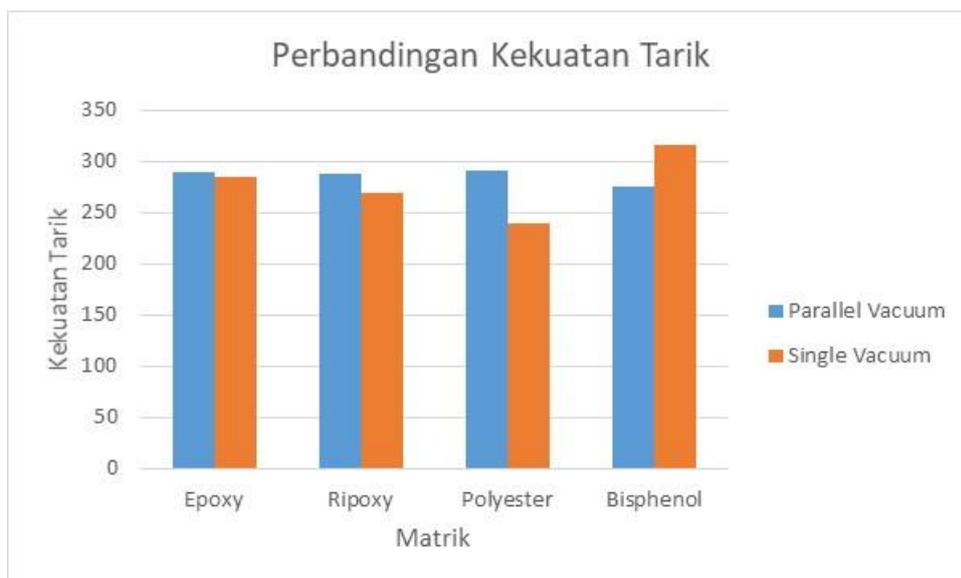
Matrik *Polyester* memiliki campuran yaitu katalis 1 gram per 100 gram resin, campuran ini merupakan komposisi yang dianjurkan oleh penyedia matrik, matrik *polyester* membutuhkan waktu 13 menit sampai 15 menit untuk mulai bereaksi, hal ini mempengaruhi waktu yang di butuhkan matrik untuk mengisi rongga pada serat, dikarenakan apabila matrik sudah bereaksi maka matrik akan berubah menjadi kental lalu mengeras sehingga sulit untuk mengisi rongga pada serat.

Matrik *Bisphenol-A* memiliki campuran yaitu *promoter* 0.8 gram dan katalis 0.4 gram per 100 gram resin. Campuran ini merupakan komposisi yang di anjurkan oleh penyedia matrik. Matrik *bisphenol-A* membutuhkan waktu 7 menit sampai 10 menit untuk bereaksi.

Matrik *ripoxy* memiliki kekentalan yang sangat kecil ketika telah tercampur dengan katalis dan promoter. Matrik *ripoxy* yang digunakan memiliki campuran 3 gram katalis dan 0.6 gram promoter tiap 100 gram resin. Karena kekentalannya yang sangat kecil, matrik *ripoxy* dapat dengan mudah diratakan secara sempurna kedalam serat. Dalam proses pembuatan komposit dengan matrik *ripoxy*, serat menyerap banyak resin *ripoxy* karena kekentalan yang rendah akan memungkinkan penyerapan yang lebih optimal oleh serat.

#### 4.4 Perbandingan Kekuatan Tarik Metode *Parallel Vacuum* dengan *Single Vacuum*

Perbandingan kekuatan tarik dari proses pembuatan komposit dengan metode *parallel vacuum* dan *single vacuum* dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Grafik perbandingan kekuatan tarik antara *parallel vacuum* dan *single vacuum process*

Dari Gambar 4.17 dapat terlihat bahwa nilai kekuatan tarik dari metode *Parallel Vacuum* pada beberapa jenis matrik lebih tinggi dari nilai kekuatan tarik pada proses *Single Vacuum*. Pada matrik *Bisphenol*, kekuatan tariknya menunjukkan lebih rendah dari pada metode *Single Vacuum*, hal ini disebabkan karena pada tepi spesimen *bisphenol* terdapat kelebihan resin serta void yang terbentuk.

Pada matrik *epoxy*, *polyester* dan *ripoxy*, kekuatan tariknya cenderung meningkat apabila dibandingkan dengan metode *single vacuum*, hal ini disebabkan karena debit yang dialirkan pada *parallel vacuum* lebih besar yang memungkinkan untuk matrik memiliki

waktu yang cukup guna mengisi rongga pada serat, sehingga hal ini dapat mengatasi permasalahan mengenai *gelling time* dan penyebaran resin merata lebih cepat.

