

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Sifat Mekanik

4.1.1. Kekuatan Logam

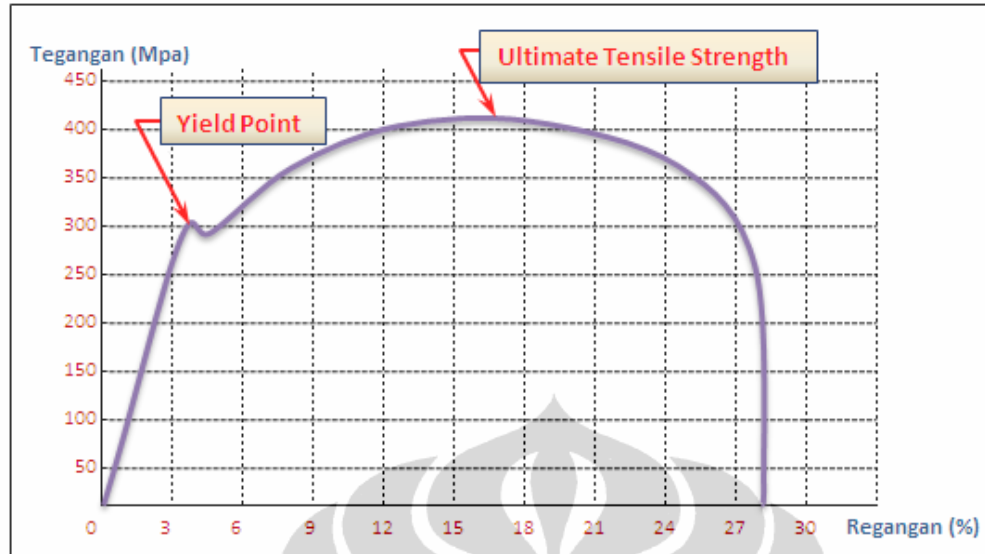
Sampel logam yang diambil dari potongan pipa standar API 5L Grade B yang telah diuji dan dilakukan perbandingan data dengan spesifikasi yang terdapat di standard API 5L (*Specification for line pipe*) dan data yang terdapat di sertifikat material yang dikeluarkan oleh pabrik.

Tabel 4.1. Perbandingan propertis sampel uji tarik logam

Pengujian	Spesifikasi API 5L ^[28]	Data Sertifikat	Hasil Uji Sampel L1
1. <i>Tensile strength</i> , MPa	414	415	415
2. <i>Yield strength</i> , MPa	241	290	301
3. Komposisi kimia			
- Carbon, maks., %	0,28	0,21	
- Manganese, maks., %	1,20	1,15	
- Phosphorus, maks., %	0,030	0,030	
- Sulfur, maks., %	0,030	0,030	
- Titanium, maks., %	0,040	0,040	

Dari data diatas pada Tabel 4.1, hasil pengujian sampel L1 telah sesuai dengan standar API 5L dan sertifikat material dengan nilai-nilai yang sesuai dengan propertis yang ditetapkan secara teoritis. Perbandingan ini juga digunakan untuk melihat apakah mesin uji telah menghasilkan nilai yang sesuai sehingga layak untuk digunakan. Pengujian dilakukan mengacu pada standar ASTM E-8 (*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*) dengan menggunakan mesin uji tarik GOTECH.

Pada Gbr.4.1 menunjukkan sampel baja karbon L1 mencapai titik luluh pada detik ke 9 sebelum perpatahan terjadi pada detik ke 15.



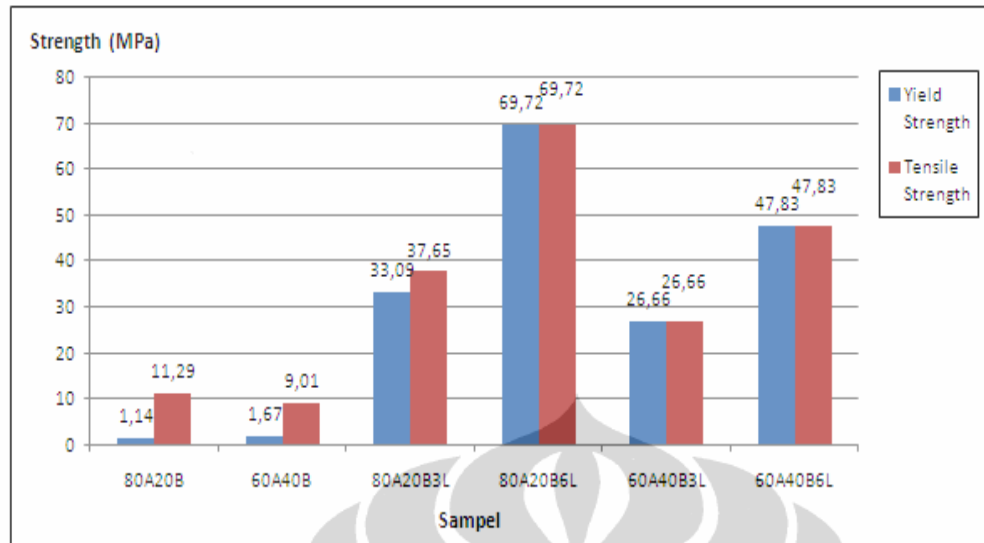
Gambar 4.1. Grafik hasil uji tarik sampel L1

4.1.2. Kekuatan Komposit

Pengujian di lakukan terhadap komposit dengan variasi campuran epoksi dan variasi lapisan fiber glass. Pada pengujian ini arah beban yang diberikan dengan *axial tensile stress* dimana kekuatan yang diberikan akan lebih tinggi di banding dengan arah *transverse tensile strength*. Hasil pengujian kekuatan komposit ini dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan grafik pada Gbr.4.2.

Tabel 4.2. Rangkuman hasil uji tarik komposit

No.	Sampel	Batas Luluh	Kuat Tarik	Elongasi
1	80A20B	1,14 MPa	11,29 MPa	1,56%
2	60A40B	1,67 MPa	9,01 MPa	0,20%
3	80A20B3L	33,09 MPa	37,65 MPa	4,45%
4	80A20B6L	69,72 MPa	69,72 MPa	9,14%
5	60A40B3L	26,66 MPa	26,66 MPa	4,57%
6	60A40B6L	47,83 MPa	47,83 MPa	7,50%



Gambar 4.2. Grafik hasil uji tarik komposit

Hasil yang didapat pada pengujian ini seperti pada Tabel 4.2 dan Gbr.4.2 menjelaskan bahwa nilai kuat tarik epoksi dengan pencampuran 80%GS561 & 20%GS154 (80A20B) sebesar 11,29 MPa memiliki kekuatan lebih tinggi sebesar 25% dari pencampuran 60%GS561 & 40%GS154 (60A40B) yang mempunyai nilai kuat tarik 9,01 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh serat aramid Kevlar yang terdapat pada GS-561 dapat meningkatkan kekuatan matriksnya^[16].

Demikian juga bahwa pengaruh jumlah lapisan fiber glass BSB-330 dapat meningkatkan kekuatan komposit secara signifikan, dimana semakin banyak jumlah lapisan fiber maka kekuatan akan bertambah. Pada sampel 80A20B yang tanpa lapisan fiber BSB-330 nilai kuat tariknya sebesar 11,29 MPa, kemudian 3 layer fiber BSB-330 di berikan pada sampel 80A20B tersebut, maka nilai kuat tariknya menjadi 37,65 MPa (80A20B3L), dimana terdapat kenaikan sebesar 333% dari nilai awalnya. Dan diberikan lagi lapisan fiber menjadi 6 layer dan kenaikan sebesar 671% dari nilai awalnya menjadi 69,72 MPa (80A20B6L).

Umumnya pada material komposit polimer bahwa nilai yang di capai pada *tensile strength* dan *yield strength* berada pada titik yang sama (Gbr.4.2), tidak seperti pada pengujian material logam yang memiliki daerah *yield* seperti Gbr.4.1.



Gambar 4.3. Bentuk patahan pada uji tarik komposit

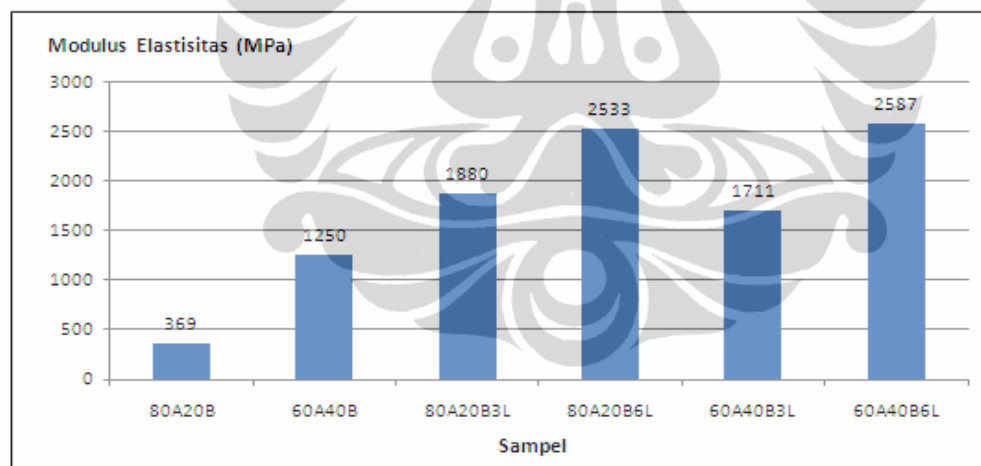
Bentuk patahan pada sampel pada Gbr.4.3 diatas menunjukkan adanya keseragaman pada ujung perpatahannya yang membentuk garis lurus dimana hal ini menunjukkan bahwa beban yang diterima oleh sampel didistribusikan ke semua area. Pada hal ini, perpatahan dapat terjadi pada seluruh daerah matriks, *interface* matriks/fiber atau daerah fiber^[11].

4.1.3. Sifat Lentur Komposit

Pengujian di lakukan dengan metode pembebanan pada tiga titik yang di tahan oleh dua penyangga untuk mendapatkan nilai kuat lentur (*flexural*) dan modulus elastisitas sesuai standar ASTM D-790.

Tabel 4.3. Rangkuman hasil uji flexural komposit

No.	Sampel	Kuat Flexural	Modulus Elastisitas
1	80A20B	11,1 MPa	369 MPa
2	60A40B	30,3 MPa	1250 MPa
3	80A20B3L	30,1 MPa	1880 MPa
4	80A20B6L	28,3 MPa	2533 MPa
5	60A40B3L	46,6 MPa	1711 MPa
6	60A40B6L	40,8 MPa	2587 MPa



Gambar 4.4. Grafik modulus elastisitas pada uji flexural komposit

Pengaruh matrik dalam mendistribusikan beban sangat mempengaruhi kekuatan komposit. Pada grafik Gbr.4.4, modulus elastisitas yang merupakan ratio dalam batasan elastisitas dari nilai pembebanan dan regangan, menunjukkan dan membuktikan bahwa adanya lapisan fiber glass yang lebih banyak (6 layer) dapat memberikan nilai yang lebih tinggi (2533 Mpa dan 2587 Mpa).



Gambar 4.5. Sampel setelah uji flexural komposit

Sampel 60A40B (tidak ada lapisan fiber glass) pada Gbr.4.5 mengalami perpatahan pada saat uji flexural, hal ini membuktikan bahwa lapisan fiber glass sangat di butuhkan pada aplikasi pelapisan sebagai antisipasi jika terjadi pembebanan yang membutuhkan ketahanan terhadap kelenturan.

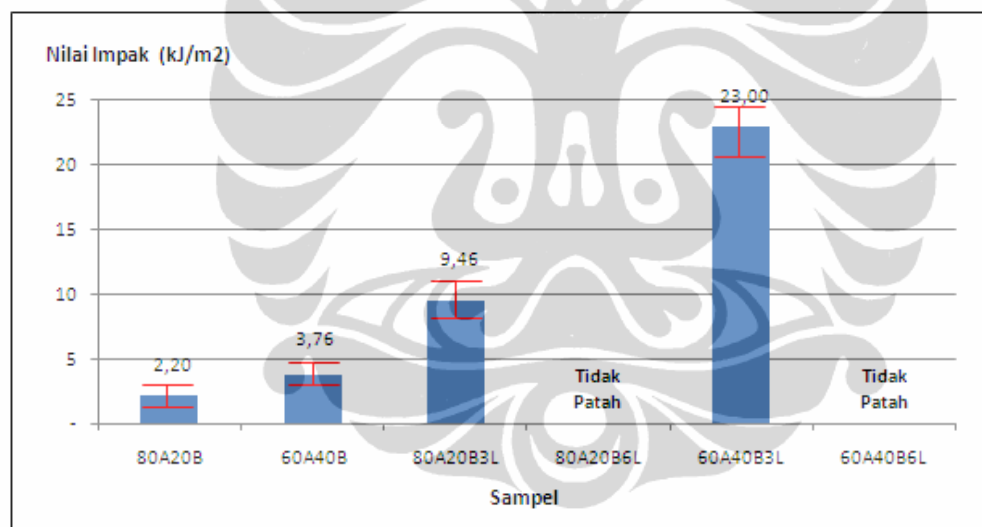
4.1.4. Sifat Ketangguhan Komposit

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai ketangguhan dengan menggunakan mesin impak Charpy berdasarkan standard ISO-179 dan bentuk spesimen tanpa *notch* (*un-notch*) dengan posisi *edgewise*. Nilai impak Charpy di

dapatkan berdasarkan jumlah energy yang di serap oleh spesimen dalam kJ di bagi dengan luasan spesimen dalam m², pengukuran sampel dilakukan dengan menggunakan *micrometer caliper*.

Tabel 4.4. Rangkuman hasil uji impak komposit

No.	Sampel	Impact Charpy	Tipe Kerusakan
1	80A20B	2,20 ± 0,56 kJ/m ²	Patah
2	60A40B	3,76 ± 0,86 kJ/m ²	Patah
3	80A20B3L	9,46 ± 1,05 kJ/m ²	Patah
4	80A20B6L	-	Tidak patah
5	60A40B3L	23,00 ± 5,45 kJ/m ²	Patah
6	60A40B6L	-	Tidak patah



Gambar 4.6. Grafik uji impak komposit

Pada sampel dengan 6 layer fiber BSB-330 (80A20B6L & 60A40B6L) tidak mengalami perpatahan, hal ini menunjukkan bahwa bahan fiber BSB-330 dapat meningkatkan performa komposit tahan terhadap beban impak. Dalam aplikasi pelapisan pipa ketahanan impak sangat dibutuhkan supaya bahan tidak mudah retak akibat benturan dari benda lain yang ada disekitarnya.



Gambar 4.7. Bentuk patahan uji impak komposit

Energi yang diserap oleh sampel dalam pengujian impak dapat mengakibatkan kerusakan, dimana kerusakan itu di bagi dalam berbagai tipe, antara lain *tension*, *compression*, *bucking*, *shear*, *multiple shear* dan *shear followed by tensile fracture*. Dan bentuk kerusakan yang dialami oleh sampel di bagi dalam beberapa tipe, antara lain *complete break (C)*, *hinge break (H)*, *partial break (P)* dan *non-break (N)* ^[11].

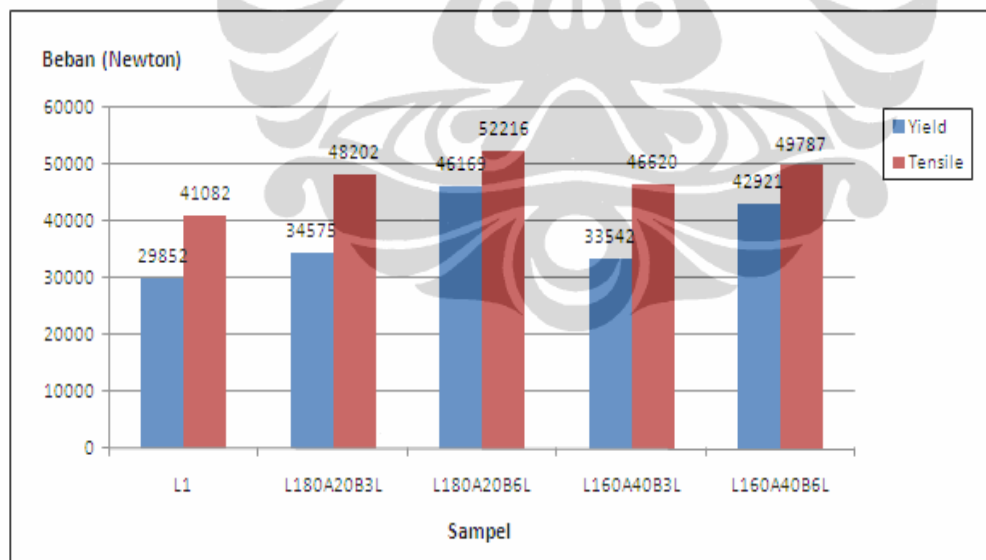
Pada sampel Gbr.4.7 dengan kode 80A20B dan 60A40B (sampel yang tidak diperkuat dengan fiber glass) mengalami *complete break*, sedangkan sampel 80A20B3L dan 60A40B3L (keduanya diperkuat dengan 3 layer fiber glass) hanya mengalami *partial break (P)*. Hal ini membuktikan bahwa lapisan fiber glass mampu memberikan ketangguhan pada material komposit dalam menghadapi beban impak. Dan penambahan 6 layer fiber glass pada sampel 80A20B6L dan 60A40B6L semakin menambah ketangguhan komposit hingga tidak mengalami perpatahan.

4.1.5. Kekuatan Laminat Komposit

Hasil yang di peroleh pada Tabel 4.5 merupakan nilai kekuatan laminat komposit yaitu material logam yang telah dilapisi oleh komposit polimer. Dapat di lihat terdapat kenaikan kekuatan pada laminat komposit di dibandingkan dengan kekuatan logam tanpa lapisan (sampel L1). Nilai pada tabel ditampilkan dalam satuan Newton untuk melihat besar beban yang diterima dalam pengujian.

Tabel 4.5. Rangkuman hasil uji tarik pada laminat komposit

No.	Sampel	Beban <i>Yield</i>	Beban <i>Tensile</i>	Elongasi
1	L1	29852 N	41082 N	28,00%
2	L1+80A20B3L	34575 N	48202 N	33,33%
3	L1+80A20B6L	46169 N	52216 N	35,56%
4	L1+60A40B3L	33542 N	46620 N	28,89%
5	L1+60A40B6L	42921 N	49787 N	37,78%

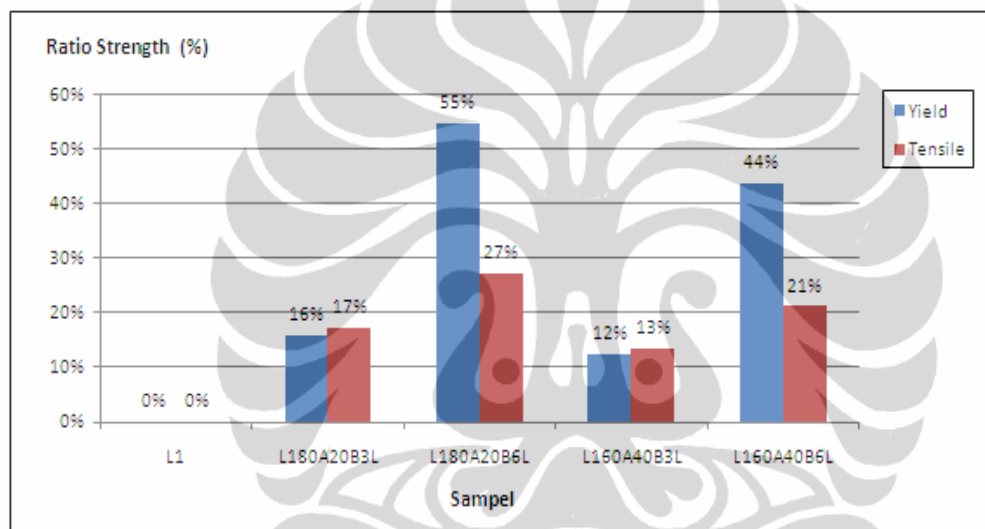


Gambar 4.8. Grafik uji tarik laminat komposit

Persentase kenaikan nilai kekuatan tiap sampel laminat komposit dengan logam tanpa lapisan dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6. Perbandingan uji tarik laminat komposit dengan logam tanpa lapisan

No	Sampel	Beban <i>Yield</i>	% Kenaikan	Beban <i>Tensile</i>	% Kenaikan
1	L1	29852 N	0%	41082 N	0%
2	L1+80A20B3L	34575 N	+ 15%	48202 N	+ 17%
3	L1+80A20B6L	46169 N	+ 54%	52216 N	+ 27%
4	L1+60A40B3L	33542 N	+ 12%	46620 N	+ 13%
5	L1+60A40B6L	42921 N	+ 43%	49787 N	+ 21%



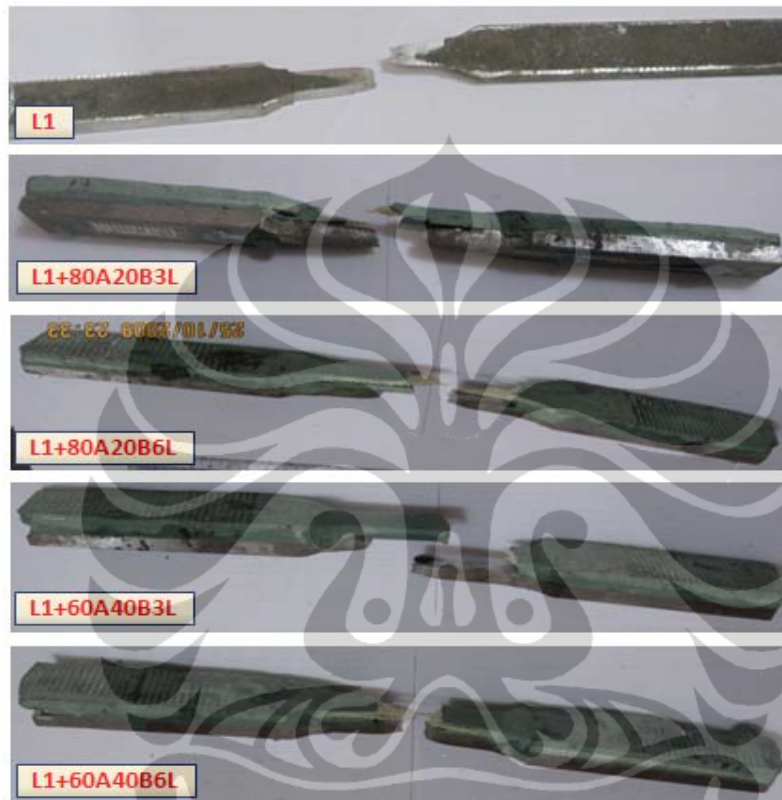
Gambar 4.9. Grafik Perbandingan uji tarik laminat komposit dengan logam tanpa pelapisan

Nilai kekuatan tarik terjadi peningkatan secara signifikan pada sampel L180A20B6L dan L160A40B6L yang mempunyai lapisan fiber glass terbesar, yaitu 6 layer. Secara detail, dimana sampel logam L1 nilai kuat tarik gaya hanya 41082 N, namun ketika diberikan lapisan 80A20B3L (80%GS561 + 20%GS154 + 3 layer BSB330) maka kekuatannya naik sebesar 17% menjadi 48202 N. Dan naik lagi sebesar 27% menjadi 52216 N ketika logam diberi pelapisan 80A20B6L (80%GS561 + 20%GS154 + 6 layer BSB-330).

Namun kekuatan yang di dapat lebih rendah ketika pencampurannya 60A40B3L (60%GS561 + 40%GS154 + 3 layer BSB330) yang kenaikan hanya 13%

menjadi 46620 N. Juga pada sampel 60A40B6L (60%GS561 + 40%GS154 + 6 layer BSB330) yang mengalami kenaikan hanya 21% menjadi 49787 N.

Hal ini di pengaruhi oleh adanya peranan serat Aramid Kevlar pada GS-561 dimana kekuatan komposit akan semakin meningkat jika persentase GS-561 semakin tinggi.



Gambar 4.10. Bentuk patahan uji tarik pada laminat komposit

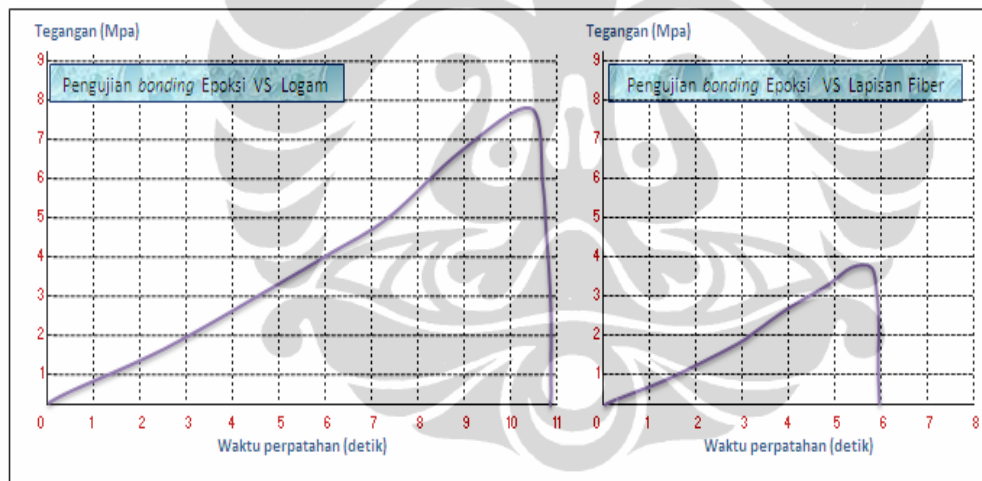
Bentuk patahan yang terjadi pada semua sampel secara umum kelihatan sama, dimana terjadi pada daerah patahan logam dan tidak menyebar pada semua bagian lapisan komposit polimer. Hal ini menunjukkan bahwa *stress concentration* pada satu titik akan menyebabkan patahan pada titik itu saja dan kekuatan pada semua area komposit polimer relatif sama sehingga tidak terjadi kerusakan secara menyeluruh.

4.1.6. Analisa Ikatan (Interface Matriks – Fiber)

Hasil yang di peroleh pada Tabel 4.7 pada uji rekatan/ikatan (*bonding*) menampilkan dua tipe kerusakanyaitu patahan pada daerah rekatan, dan patahan tidak terjadi pada daerah rekatan namun terjadi pada sampel berbahan epoksi. Nilai kekuatan yang didapat saat terjadi patahan pada daerah rekatan lebih tinggi dibanding dengan patahan pada epoksi yaitu 7,88 MPa berbanding 3,81 Mpa, artinya kekuatan rekatan antara epoksi dan fiber sangat baik demikian juga antara epoksi dengan logam.

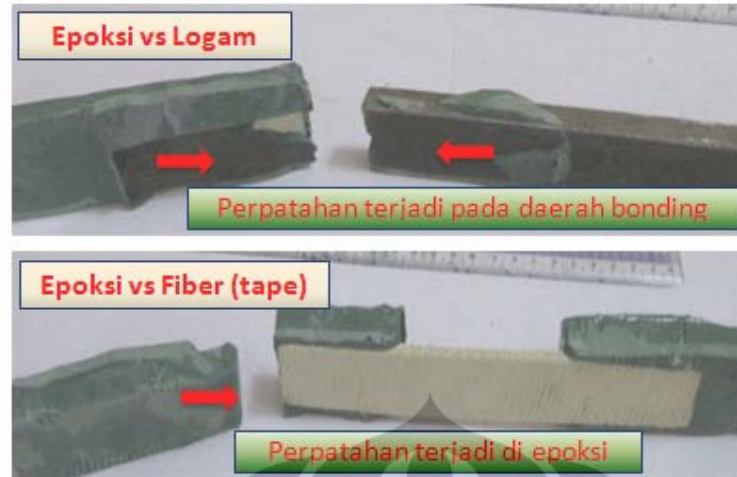
Tabel 4.7 Hasil uji rekatan (*bonding*)

No.	Sampel	<i>Tensile Strength</i>	Elongasi	Keterangan
1	EpVSL1	7,88 MPa	0%	Patah terjadi pada daerah <i>bonding</i>
2	EpVSFb	3,81 MPa	0%	Patah tidak terjadi pada daerah rekatan namun pada epoksi



Gambar 4.11. Grafik uji *bonding* epoksi vs logam dan epoksi vs lapisan fiber

Hasil uji tarik pada epoksi *versus* logam mengalami perpatahan pada daerah rekatan (*bonding*) dan nilai kekuatannya mencapai 7,88 MPa saat terjadi perpatahan. Sedangkan pengujian pada epoksi versus lapisan fiber BSB-330, perpatahan terjadi tidak pada daerah rekatan, namun pada epoksi dan nilai kekuatannya mencapai 3,81 MPa.



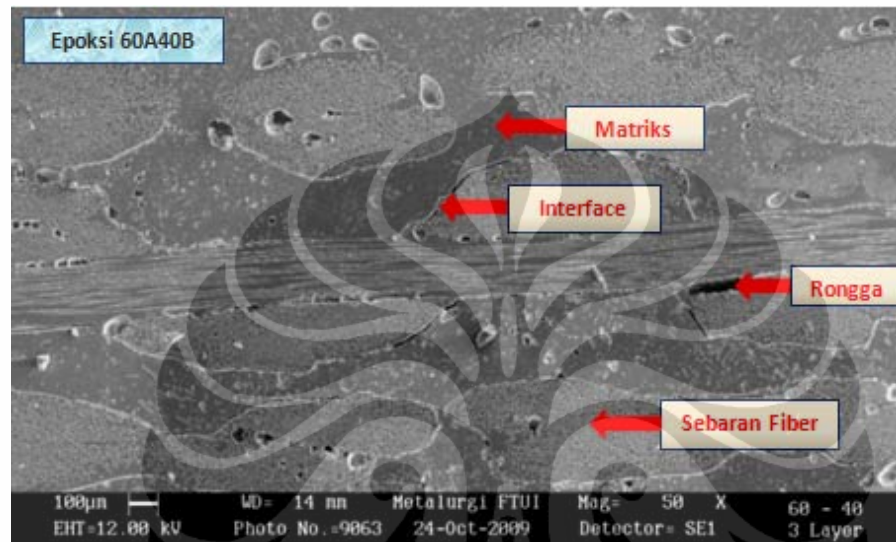
Gambar 4.12. Patahan sampel pada pengujian *bonding*

Dari hasil yang di dapat pada Tabel 4.7 dan bentuk patahan pada Gbr.4.12 mengisyaratkan bahwa rekatan antara epoksi dengan logam dan epoksi dengan fiber sangat baik sehingga bisa dianggap tidak menurunkan performa komposit dalam pembuatan laminat komposit.

4.2. Pengamatan Metalografi

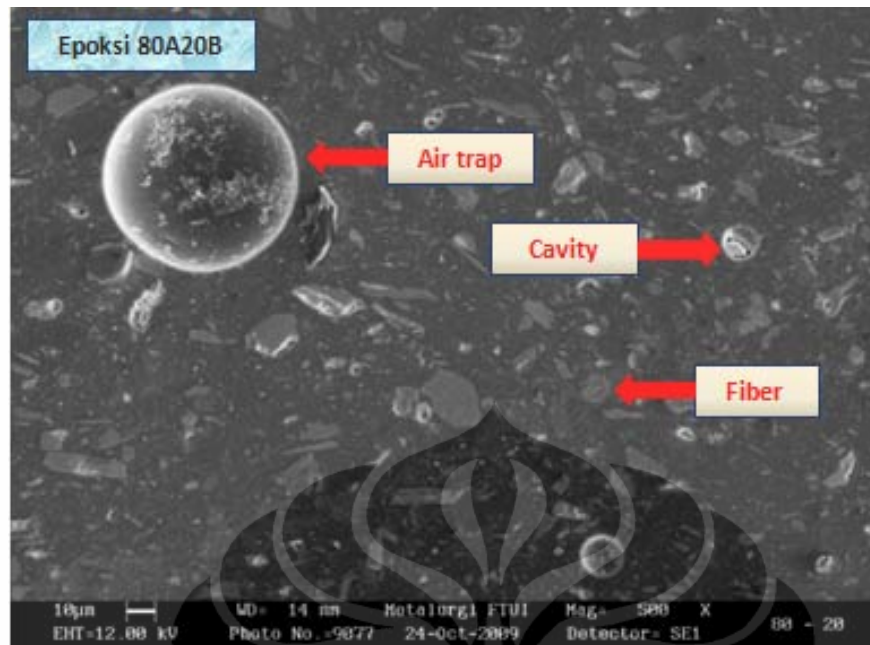
4.2.1. Analisa SEM Pada Campuran Komposit

Struktur mikro komposit hasil fabrikasi di analisa menggunakan mikroskop *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan beberapa perbesaran. Sampel diberikan proses vakum dan di *coating* dengan Pd-Au yang dimaksudkan untuk membantu konduktifitas komposit sehingga seluruh permukaan dapat diamati secara merata.



Gambar 4.13. SEM Epoksi 60A40B pembesaran 50x

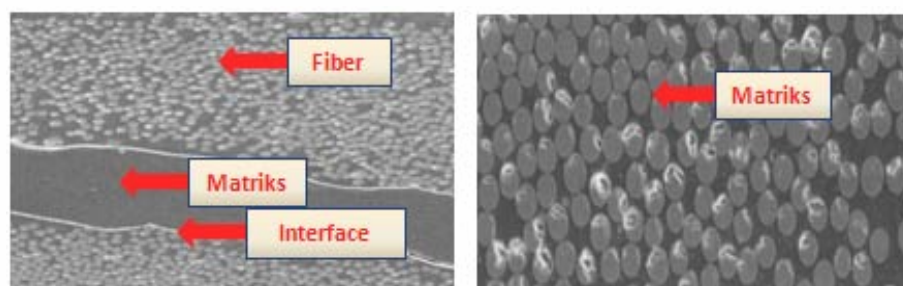
Struktur mikro pada Gbr.4.13 menunjukkan banyak pori atau rongga (*cavity*) di daerah batas butir/*interface*, hal ini mengakibatkan *interface* semakin lemah bila mengalami beban/gaya dan akan mudah patah. Sebaran fiber tidak merata terhadap seluruh area matriks sehingga terdapat kelompok-kelompok fasa. Interface yang tidak sempurna akan memberikan sifat material seperti yang dihasilkan pada Tabel 4.5.



Gambar 4.14. SEM Epoksi 80A20B pembesaran 500x

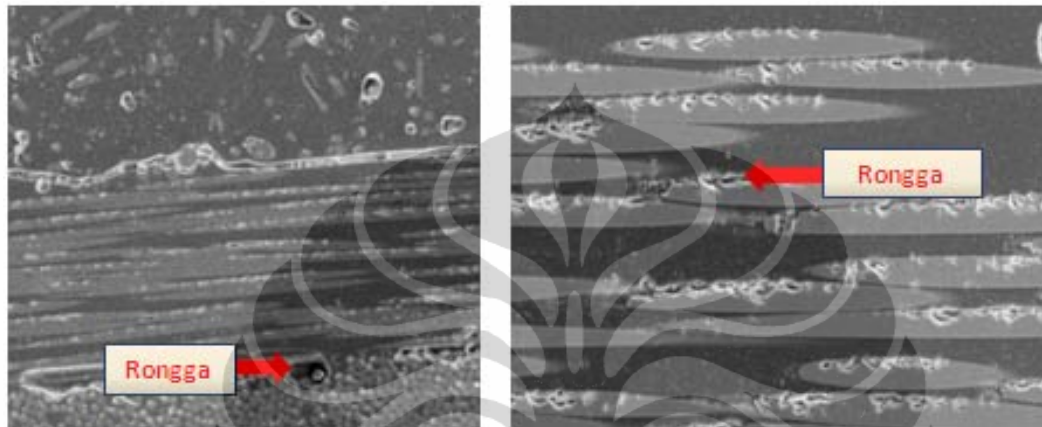
Gambar 4.14 diatas menunjukkan orientasi fiber yang menyebar secara random pada matrik. Pada saat benda menerima beban dari salah satu arah maka fiber yang berlawanan arah akan bergerak bertahan sehingga tidak terjadi perubahan pada benda. Juga terdapat udara yang terperangkap (*air trap*) dan rongga akibat kurang sempurnannya infiltrasi pada saat pencampuran. Semakin besar rongga yang terjadi akan semakin besar potensi untuk terjadinya kegagalan^[11].

Menurut Hull, untuk mengetahui akibat terjadinya defek, merekomendasikan untuk meneliti rongga dengan melakukan pengukuran area defek terlebih dahulu, namun terkadang kurang akurat karena rongga yang sangat kecil dan sulit di deteksi dan dengan mengukur berat jenis (*density*) sampel^[11].



Gambar 4.15. SEM Epoksi 80A20B pembesaran 100x dan 500x

Pada Gbr.4.15 diatas menunjukkan potongan permukaan fiber yang ada secara berkelompok pada satu area dan juga terdapat area yang tidak ditempati oleh fiber pada daerah matriks. Umumnya sering ditemukan pada komposit dengan komposisi fiber yang sedikit akan terdapat area yang tidak seragam dalam distribusi fiber.



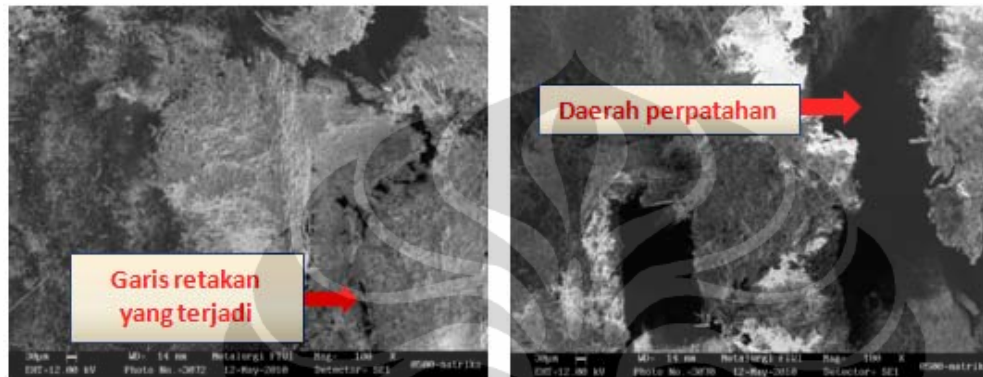
Gambar 4.16. SEM Epoksi 60A40B pembesaran 100x dan 500x

Geometrik fiber pada Gbr.4.16 diatas berbentuk seperti anyaman (*woven*) lamina/lapisan dengan arah paralel. Pengaturan bentuk fiber yang berbentuk kontinyu dan putus-putus akan berpengaruh pada fleksibilitas komposit. Dan terdapat rongga atau pori-pori pada area interface yang dapat menurunkan propertis komposit serta dapat menjadi inisiasi kegagalan pada saat beban di terima. Secara umum terjadinya rongga di akibatkan tidak sempurnanya proses pencampuran antara bahan-bahan pengisi komposit.

Bahan-bahan pengisi komposit polimer pada produk StrongBack memiliki sifat yang berbeda dan harus diberi perlakuan yang special untuk menghindari kerusakan bahan. Misalnya seperti fiber glass StrongBack BSB-330 harus di simpan pada suhu dingin untuk menghindari kekakuan sehingga tidak dapat di pergunakan. Demikian juga epoksi Strongback GS-561 & Strongback GS-154, dimana pada saat pencampuran antara bahan A dan bahan B harus cepat di lakukan serta segera di lakukan pelapisan pada pipa, karena akan mengental dan mengeras jika di biarkan dalam beberapa menit saja.

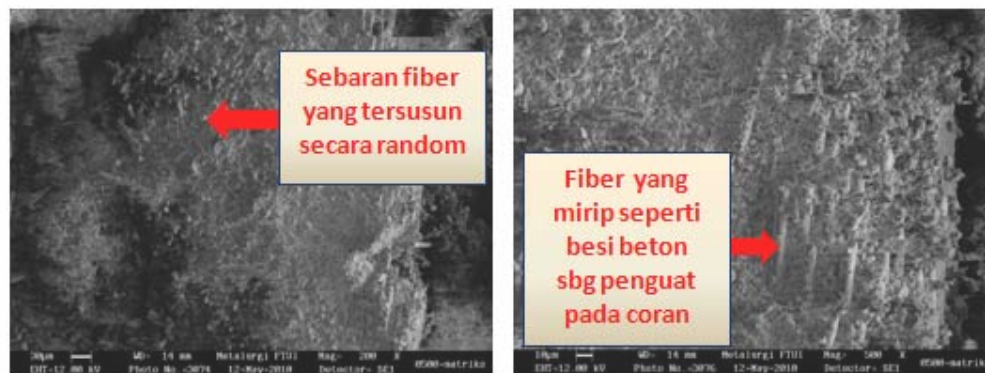
4.2.2. Analisa SEM pada Perpatahan Matriks dan Fiber

Permukaan perpatahan yang terjadi pada saat uji tarik pada daerah epoksi seperti pada Gbr.4.17 di analisa dengan pembesaran 100x. Inisiasi retak akibat beban yang di terima mengakibatkan garis-garis retak hingga terjadi perpatahan. Secara umum terjadinya inisiasi retak di akibatkan adanya rongga, pori atau cacat pada daerah *interface* sehingga terjadi *stress concentration* yang mengakibatkan *interfacial debonding*, *matrix plastic deformation* dan *microcracking*^[11].



Gambar 4.17. SEM permukaan perpatahan epoksi dengan pembesaran 100x

Pada hasil SEM Gbr.4.18 diatas menunjukkan arah fiber yang acak (*random*) dimana patahan-patahan yang terjadi pada fiber mengikuti arah beban di terima. Kehadiran fiber penguat pada matriks menunjukkan bahwa material tersebut mempunyai karakter yang sangat kuat dengan kekasaran yang merata pada semua permukaan. Sebaran fiber ini sangat berperan untuk memberikan perlawanan pada saat beban di terima. Pada pembesaran 500x pada Gbr.4.19 terlihat bahwa fiber sangat mirip seperti besi beton yang berfungsi sebagai penguat konstruksi pada campuran coran.



Gambar 4.18. SEM permukaan perpatahan epoksi pembesaran 200x dan 500x

Permukaan perpatahan pada fiber glass seperti pada Gbr.4.19 menunjukkan ujung-ujung yang tajam yang menyatakan bahwa satuan fiber yang terlihat seperti besi beton masih di dukung oleh fiber-fiber yang yang kecil ukurannya. Perpatahan terjadi akibat kekuatan ikat pada fiber lebih rendah di banding dengan beban yang di terima, serta beban yang di terima menyebar pada seluruh area fiber^[11].



Gambar 4.19. SEM permukaan perpatahan fiber pembesaran 100x dan 250x

4.3. Perbandingan Nilai Ekonomis dan Aplikasi Produk

Untuk melihat nilai ekonomis penggunaan komposit pada penguatan pipa, berikut dilakukan perbandingan antara pekerjaan penggantian pipa dengan metode *cut and reweld* dengan pemakaian komposit. Diasumsikan bahwa pipa yang terkena korosi adalah pipa baja karbon ukuran 8” Sch.40 API 5L Gr.B, lokasi di darat, akses jalan masuk tersedia, jumlah titik pemotongan dan pengelasan masing-masing 2 titik.

Tabel 4.8. Perbandingan biaya antara pekerjaan *cut & reweld* dan pemakaian komposit

No.	Kebutuhan	Waktu dan biaya	<i>Cut & Reweld</i>	Pemakaian Komposit
1	Peralatan			
	a. Mesin las	Sewa per-hari \$ 200	\$ 200	-
	b. Hiab Crane	Sewa per-hari \$ 400	\$ 400	-
	c. Mesin grinda	Sewa per-hari \$ 50	\$ 50	\$ 50
2	Tenaga kerja			
	a. Welder	1 orang, sehari \$ 100	\$ 100	-
	b. Fitter	1 orang, sehari \$ 50	\$ 50	-
	c. Helper	2 orang, sehari \$ 30	\$ 60	\$ 60
	d. Mekanik	1 orang, sehari \$ 50	\$ 50	-
	e. Opr. crane	1 orang, sehari \$ 60	\$ 60	-
	f. NDT team	2 orang, sehari \$ 60	\$ 120	-
	g. Teknisi	2 orang, sehari \$ 50	-	\$ 100
3	Material			
	a. Pipa	Pipa 8”, 6m, Sch.40	\$ 2500	-
	b. Kawat las	Untuk pengelasan	\$ 300	-
	c. Batu gerinda	Penghalusan pipa	\$ 50	\$ 50
	d. Argon	Untuk pemotongan	\$ 100	-
	e. GS-561	Epoksi+curing	-	\$ 1120
	f. GS-154	Epoksi+curing	-	\$ 428
	g. BSB-330	Tape 4”x50’	-	\$ 350
	TOTAL		\$ 4040	\$ 2158

Dari tabel diatas terlihat perbedaan biaya yang dikeluarkan sangat signifikan, dimana pemakaian komposit lebih hemat sekitar 50% di bandingkan dengan metode “*cut and reweld*”. Perbandingan ini diasumsikan jika pipa yang diganti di daerah

darat, jika penggantian didaerah sungai atau rawa, maka biaya yang di keluarkan tentu semakin besar karena akan memasukkan biaya rental crane barge untuk mengangkut peralatan, material dan tenaga kerja.

Selain ongkos pekerjaan yang di hitung, terdapat keuntungan lain dalam pemakaian komposit penguat ini, yaitu bahwa selama pekerjaan tidak memerlukan mematikan aliran pipa sehingga produksi tetap bisa berjalan dan resiko mengenai keselamatan pekerja juga lebih kecil. Harga produk komposit Strongback pada Tabel 4.8 sesuai harga yang dikeluarkan pada tahun 2008^[33].



Gambar 4.20. Tahapan aplikasi pelapisan produk StrongBack yang berfungsi sebagai penguat pada pipa yang mengalami cacat