

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya mengenai campuran material serbuk pada lem *epoxy* terhadap kekuatan mekanik telah dilakukan oleh R. Kilik (1989). Penelitian ini membandingkan kekuatan mekanik dari lem yang dicampur dengan serbuk aluminium, lem yang dicampur dengan serbuk tembaga dan lem tanpa campuran. Pengujian pada sambungan lem yang dilakukan adalah pengujian tarik, *peeling test*, *tearing test*, *fatigue*, dan *impact* dengan menggunakan variasi ukuran butir yang berbeda yaitu 50  $\mu\text{m}$ , 75  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ . Pada penelitian ini menyatakan bahwa sambungan lem dengan campuran serbuk memiliki kekuatan mekanik lebih baik dibanding dengan kekuatan mekanik lem tanpa campuran serbuk. Tetapi ini hanya berlaku pada pengujian *peeling*, *tearing*, dan *fatigue*. Sedangkan pada pengujian tarik dan *impact* campuran material serbuk pada lem membuat kerugian pada kekuatan mekanik jika dibandingkan dengan lem tanpa campuran. Untuk perbandingan antar campuran serbuk, campuran serbuk aluminium memiliki kekuatan mekanik lebih baik dibanding campuran serbuk tembaga pada pengujian *peeling*, *tearing*, dan tarik.

Ramazan Kahraman (2008) melakukan investigasi tentang pengaruh ketebalan lem dan volume material pengisi lem terhadap performa mekanik dari sambungan. Material pengisi yang digunakan adalah serbuk aluminium. Pengujian yang dilakukan pada sambungan adalah pengujian kekuatan geser. Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga. Hasil yang didapatkan, terjadi peningkatan kekuatan seiring dengan penambahan volume dari serbuk aluminium sampai pada volume 50%.

Siswanto dan Kuncoro Diharjo (2011) meneliti tentang pengaruh fraksi volume dan ukuran partikel genting terhadap kekuatan tarik dan kekuatan bending pada komposit. Fraksi volume yang divariasikan yaitu 30%, 40% dan 50%, serta ukuran yang divariasikan yaitu 40-60, 60-80, 80-100. Hasilnya komposit dengan fraksi volume partikel genting 30% memiliki kekuatan tarik dan bending yang lebih tinggi daripada fraksi volume 40% dan 50%. Sementara ukuran 80-100 memiliki kekuatan bending dan tarik yang lebih tinggi dibanding ukuran 40-60 dan 60-80.

Wenyu Qiao (2013) melakukan penelitian tentang konduktivitas elektrik dari lem yang dicampur serbuk perak. Meskipun penelitian ini berfokus pada konduktivitas listrik tapi pada penelitian ini menyebutkan bahwa dilakukan juga pengujian tarik dan

geser, karena kekuatan tarik dan geser mempengaruhi proses *electronic packing*. Volume serbuk silver yang digunakan adalah antara 70% sampai 83%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan terjadi kerugian kekuatan tarik dan geser jika ditambahkan material serbuk di dalam sambungan lem tetapi meningkatkan konduktivitas elektrik dari sambungan. Konduktivitas elektrik juga semakin meningkat seiring penambahan volume antara 70% sampai 83%.

Dharu Feby S (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi serbuk material pada *epoxy adhesive layer*. Pada grafik hubungan *load* dan *displacement* pengujian *tearing* dan *peeling*, menunjukkan bahwa semua jenis *adhesive* baik yang diberi campuran material ataupun tidak, memiliki kecenderungan yang sama yaitu *load* akan mengalami peningkatan seiring bertambahnya *displacement*. Pada pengujian *tearing*, nilai tertinggi yaitu pada *adhesive* dengan campuran serbuk alumunium sebesar 3,654 kN. Kemudian *adhesive* dengan *iron ore powder* sebesar 3,4945 kN. Kemudian *adhesive* dengan campuran pasir silika sebesar 3,2353 kN. Dan yang terakhir adalah *adhesive* tanpa campuran sebesar 2,8465 kN. Sedangkan pada pengujian *peeling* nilai tertinggi pada *adhesive* dengan campuran pasir silika sebesar 1,0319 kN. Kemudian *adhesive* dengan campuran *iron ore powder* sebesar 1 kN. Kemudian *adhesive* dengan campuran alumunium sebesar 0,6979 kN, dan yang terakhir adalah *adhesive* tanpa campuran sebesar 0,4835 kN.

Pada perilaku perambatan retak dalam pengujian *tearing* didapatkan hasil bahwa campuran *adhesive* dengan alumunium dapat menahan beban maksimal paling besar yaitu 3,654 kN. Berikutnya *iron ore powder* dengan besar *load* 3,495 kN dan campuran pasir silika sebesar 3,2353 kN. *Adhesive* tanpa campuran hanya mampu menahan beban maksimum sebesar 2,8465 kN. Sedangkan perilaku perambatan retak dalam pengujian *peeling* hasilnya adalah campuran *adhesive* dengan pasir silika dapat menahan beban maksimum paling besar yaitu 1,0319 kN. Berikutnya *iron ore powder* dengan besar *load* sebesar 1 kN. Campuran serbuk alumunium sebesar 0,6979 kN. Sedangkan *adhesive* tanpa campuran hanya mampu menahan beban maksimum sebesar 0,4833 kN.

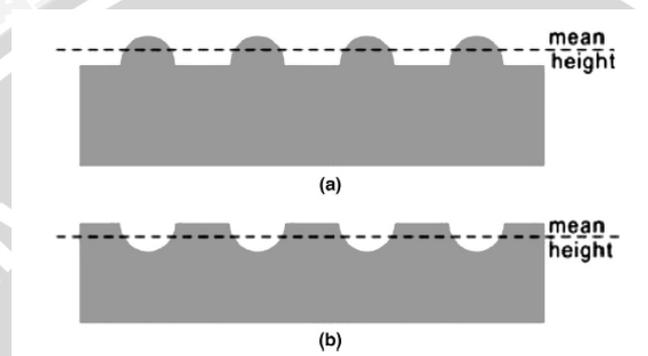
## 2.2 Bonding Material

*Bonding material* adalah suatu metode penyambungan material yang banyak digunakan pada proses manufaktur sekarang ini. Bonding material yang paling sering digunakan adalah *wafer bonding*. *Wafer bonding* biasa digunakan untuk proses kemasan *microelectromechanical systems* (MEMS). Teknik wafer bonding dibagi menjadi enam

metode, yaitu *direct bonding*, *surface activated bonding (SAB)*, *glass frit bonding*, *eutectic bonding*, *thermocompression bonding*, dan *adhesive bonding*.

a. *Direct Bonding*

*Direct Bonding* merupakan jenis penyambungan material secara langsung tanpa menggunakan perantara untuk penyambungan. *Direct bonding* harus memiliki permukaan material yang saling melengkapi untuk melakukan kontak dan penyambungan ini dilakukan secara spontan. Permukaan yang digunakan untuk metode *direct bonding* harus datar, halus dan bersih.



Gambar 2.1 Kekasaran Permukaan Material *Direct bonding*  
Sumber : SM Homayouni : 238

Untuk menghasilkan sambungan yang maksimal pada metode *direct bonding* yang sangat perlu diperhatikan adalah geometrik, sifat mekanik, sifat fisik, sifat kimia, dan konduktivitas termal.

b. *Thermocompression Bonding*

*Thermocompression bonding* biasa digunakan untuk sambungan material berjenis metal dengan metal. *Thermocompression bonding* tidak membutuhkan permukaan yang halus. Tiga jenis fitur yang mempengaruhi kualitas dari *thermocompression bonding* sebagai berikut:

- Sifat dari permukaan.  
Sifat dari permukaan ini meliputi kekasaran permukaan dan sifat kimia permukaan.
- Lingkungan dari sambungan.  
Lingkungan dari sambungan ini meliputi besar tekanan yang diterima sambungan, temperatur, dan lama penyambungan.
- Instrumentasi dan kontrol.

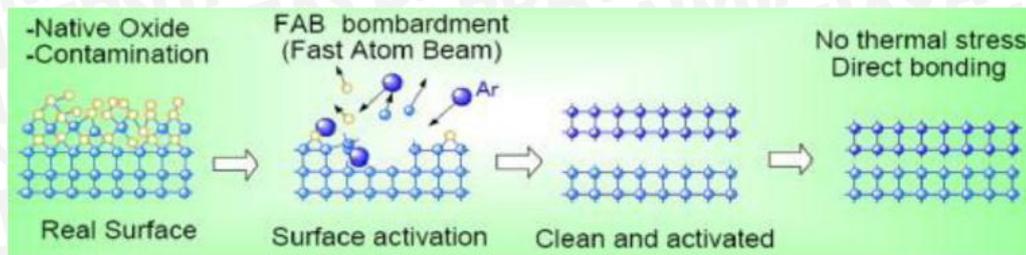
Proses dari *thermocompression bonding* adalah dengan memberikan tekanan pada material yang akan disambungkan ditambah dengan perlakuan panas. Dari banyak investigasi yang ada material yang baik digunakan untuk *thermocompression bonding* adalah Cu. Al menempati urutan kedua untuk material yang digunakan *thermocompression bonding*.

Untuk hasil yang maksimal pada *thermocompression bonding* dari banyak investigasi yang dilakukan didapat semakin besar tekanan yang diberikan pada sambungan akan semakin meningkatkan kekuatan dari sambungan. Yang kedua semakin besar temperatur yang digunakan maka semakin meningkat pula kekuatan dari sambungan. Tapi untuk temperatur memiliki batas temperatur untuk setiap material. Jadi seandainya material itu melewati batas temperatur yang ada malah akan menyebabkan kekuatan sambungan menurun.

c. *Surface Activated Bonding (SAB)*

Berbeda dengan *thermocompression bonding* yang menggunakan temperatur tinggi, SAB merupakan metode penyambungan material yang dapat menggunakan suhu kamar selama prosesnya. SAB mampu untuk menyambungkan berbagai material berbeda tanpa perekat apapun. Dua permukaan yang akan disambungkan harus dalam keadaan bersih secara atomik, dan dibersihkan dengan menggunakan pancaran tumbukan ion. Diantara teknik penyambungan lainnya, SAB menyediakan permukaan aktif yang memiliki energi sambungan tingkat tinggi. Teknik SAB menghasilkan permukaan yang bersih dan sifat kimia sambungan yang tidak sempurna, yang aktif dan dapat bereaksi untuk bereaksi dengan atom lain untuk membentuk sambungan.

Untuk menghapus lapisan yang kotor dan menyerap molekul, dan membawa kedalam suhu kamar, dua permukaan diaktifkan menggunakan argon untuk dilakukan *fast atom beam bombardment*. Setelah permukaan diaktivasi, harus tetap dijaga dan bersih sampai penyambungan. Ruang hampa udara yang tinggi dibutuhkan untuk pengaktifan dan proses penyambungan. Area kontak membuat sambungan kimia diantara permukaan secara spontan pada temperatur kamar dan kondisi bebas tekanan. Teknik SAB ini juga bisa digunakan untuk bermacam material contohnya silikon terhadap silikon, silikon terhadap keramik, metal terhadap metal, serta metal terhadap keramik.



Gambar 2.2 Surface Activated Bonding  
Sumber : SM Homayouni(2014 : 241)

d. *Glass Frit Bonding*

*Glass Frit Bonding* merupakan suatu teknik penyambungan dengan menggunakan lapisan kaca. Metode penyambungan ini diproses dibawah suhu  $450^{\circ}\text{C}$ . Hampir semua material yang digunakan pada MEMS (microelectromechanical systems) dapat disambungkan menggunakan metode ini. Titik leleh kaca yang rendah membuatnya dapat digunakan untuk menyambungkan dua atau lebih material. Dibanding teknik *wafer bonding* lainnya glass frit bonding merupakan teknik yang paling cocok untuk pengemasan MEMS. proses yield yang tinggi, tegangan sisa rendah pada bagian sambungan, dan memungkinkan logam memiliki kekuatan sambungan yang tinggi adalah kelebihan dari *glass frit bonding*.

Metode penyambungan ini mengacu pada titik leleh kaca yang rendah sebagai lapisan *intermediate*. Pada teknik ini, material harus dalam keadaan yang cukup lunak untuk membasahi permukaan untuk proses penyambungan wafer (spesimen yang disambungkan), tapi tidak terlalu lunak untuk dapat mengalir ke permukaan wafer.

e. *Eutectic Bonding*

*Metal eutectic bonding* merupakan suatu teknik penyambungan yang populer dan merupakan teknik andalan dari industri semi konduktor untuk membuat sambungan yang kuat dan segel kedap udara. Komposisi paduan eutektik dihasilkan pada metode penyambungan ini. Paduan eutektik merupakan suatu komposisi logam yang terdiri dari dua atau lebih fase padat yang mengendap pada suhu konstan dan berasal dari fase cair yang sama. Sehingga, dua atau beberapa fase tadi tidak dapat larut seutuhnya pada keadaan solid. Titik eutektik leleh adalah poin dimana komposisi dari komponen mengalami solidifikasi dari cairan secara langsung. Biasanya titik eutektik dari dua material yang berbeda lebih rendah dari titik leburnya, sehingga metode *eutectic bonding* termasuk teknik wafer bonding temperatur rendah.

*Eutectic bonding* tidak membutuhkan ruang yang sangat hampa udara (*vacuum*) atau perlakuan *annealing* setelah penyambungan. Material yang biasa menggunakan

*eutectic bonding* adalah Al-Si (suhu 600°C), Au-Si (pada suhu 380-400°C), Au-Sn (pada suhu 300°C), Au-In (pada suhu 275°C) dan lain-lain.

f. *Adhesive Bonding*

*Adhesive bonding* adalah teknik penyambungan dengan menggunakan temperatur rendah yang mana dibutuhkan perekat polimer yang digunakan untuk menyambungkan bermacam pola. *Adhesive bonding* tidak membutuhkan perlakuan *special* seperti pembersihan yang berlebihan dan *planarization*. Sifat paling penting yang dimiliki *adhesive bonding* terdiri dari sifat elektrik konstan, stabilitas termalnya baik, modulus young rendah, dan baik untuk menyambungkan material berbeda. Keuntungan utama pada *adhesive bonding* adalah :

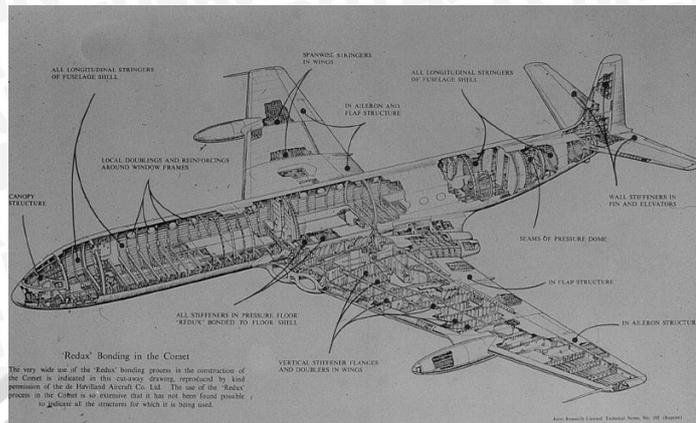
- Dapat menggunakan temperatur rendah ( tergantung pada material polimer antara temperatur kamar dan 350° C).
- Kemampuan untuk membuat sambungan dengan banyak material.
- Baik sebagai pelengkap pada komponen semi konduktor.

Bisa diaplikasikan pada bermacam-macam material dan harganya yang murah merupakan karakteristik penting dari *adhesive bonding* dibanding dengan teknik bonding lainnya. Kestabilan temperatur yang terbatas adalah fokus utama dari *adhesive bonding*. Rendahnya keakuratan dari sambungan karena menurunnya sifat dari perekat membatasi aplikasi dari metode *adhesive bonding*. Dengan demikian, teknik bonding ini biasa diaplikasikan dimana akurasi sambungan yang rendah diperlukan, atau hibrida dari *adhesive bonding* dan metode penyambungan lainnya yang dapat meningkatkan kekuatan dari sambungan.

Polimer perekat digunakan pada permukaan dari material yang akan disambungkan. Material disambungkan satu sama lain dibawah tekanan yang ditentukan untuk menekan permukaan material sehingga terjadi kontak antar material yang disambungkan. Kemudian perekat akan berubah dari cair menjadi padat. Penggunaan *adhesive bonding* ini juga bisa dengan ditambahkan perlakuan panas sampai pada suhu 350°C (SM Homayouni : 242).

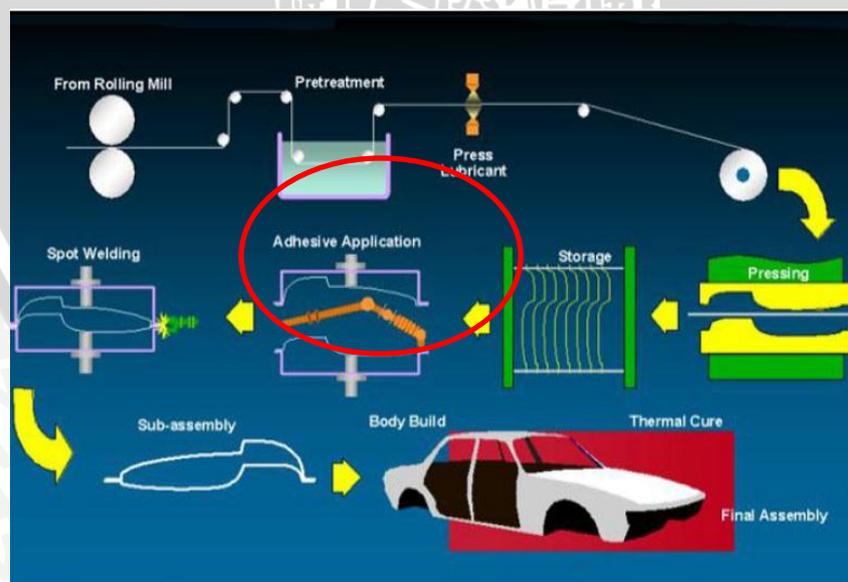
Untuk aplikasinya *adhesive bonding* sudah banyak digunakan pada bidang otomotif dan juga pesawat terbang. Di bidang pesawat terbang *adhesive bonding* sudah lama dipakai sebagai media penyambungan. *Adhesive bonding* digunakan untuk menyambungkan beberapa komponen pada bagian sayap dan badan pesawat. Gambar

2.3 akan menunjukkan bagian pesawat yang disambung menggunakan metode *adhesive bonding*.



Gambar 2.3 Bagian Pesawat yang Disambung Menggunakan Metode *Adhesive Bonding*  
Sumber : A. Higgins (2000)

Pada bidang otomotif *adhesive bonding* memiliki peranan penting. *Adhesive bonding* digunakan untuk melakukan penyambungan di bagian badan mobil. Pada bagian mobil pemilihan *adhesive bonding* sebagai metode penyambungan karena dapat meningkatkan sifat *fatigue* dari material yang disambungkan, mengurangi korosi, tidak mengalami penambahan berat yang signifikan karena berat dari *adhesive* yang sangat kecil dan lain-lain. Gambar 2.4 akan memberikan contoh peranan *adhesive bonding* pada pembuatan badan mobil.



Gambar 2.4 Peranan *Adhesive Bonding* pada Pada Pembuatan Badan Mobil  
Sumber : European Aluminium Association (2002)

### 2.3 Aluminium

Aluminium adalah salah satu unsur yang memiliki warna putih keperakan, dalam tabel periodik aluminium berada di golongan IIIA periode ke-3 dengan nomer atom 13. Aluminium merupakan salah satu unsur kimia terbanyak di kerak bumi, memang jumlah aluminium masih lebih sedikit dibandingkan oksigen dan silikon. Apabila dipresentasikan jumlah aluminium di kerak bumi sekitar 8-9% dari seluruh massa bumi, karena jumlahnya yang banyak maka manusia memanfaatkan aluminium untuk menunjang kehidupan sehari-hari. walaupun tidak termasuk logam berat, aluminium menjadi logam yang paling banyak digunakan setelah baja. Aluminium merupakan unsur yang sangat reaktif, oleh karena itu sulit menemukan aluminium murni 100% di alam karena aluminium merupakan logam yang cukup reaktif.



Gambar 2.5 Aluminium setelah dicetak dari tanur tanpa perlakuan  
Sumber: Anonymous 1 (2014)

Aluminium merupakan logam terpenting dari logam *non ferro*. Penggunaan logam aluminium setiap tahunnya adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia Tata, 1999). Aluminium berasal dari bijih aluminium yang disebut bauksit. Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrolisa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium.

Keutamaan logam aluminium dalam bidang teknik adalah beberapa sifat yang unik dan menarik yaitu mudah untuk pengerjaan lanjutan, beratnya ringan, ketahanan korosi yang baik, konduktifitas listrik dan panas yang baik (De Garmo, 1998). Aluminium tahan terhadap korosi karena fenomena pasivasi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam terhadap komponen udara sehingga lapisan tersebut melindungi lapisan dalam logam dari korosi.

Tabel 2.1 Sifat-sifat Fisik Aluminium

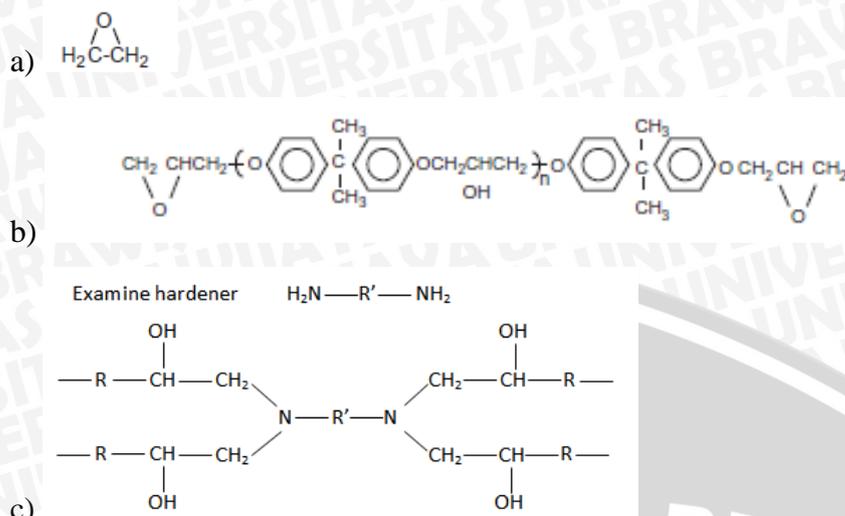
Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,99	>99,99
Massa jenis (Kg / dm <sup>3</sup> ) (20 <sup>0</sup> C)	2,6989	2,71
Titik cair ( <sup>0</sup> C)	660,2	653 – 657
Panas jenis (Cal/g. <sup>0</sup> C) (100 <sup>0</sup> C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,91	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (/ <sup>0</sup> C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaiian (M / <sup>0</sup> C) (20-100 <sup>0</sup> C)	23,86 × 10 <sup>6</sup>	23,5 × 10 <sup>6</sup>
Jenis kristal, Konstanta kisi	<i>Fcc</i> , $\alpha = 4,013 \text{ kX}$	<i>Fcc</i> , $\alpha = 4,04 \text{ Kx}$

Sumber: T. Surdia (1999 : 134)

## 2.4 Epoxy

*Epoxy* adalah jenis polimer yang sangat diperlukan untuk industri modern. Material ini sangat banyak dijumpai, para ilmuwan dan *engineer* dari berbagai disiplin ilmu kemungkinan akan menemui *epoxy* dalam bentuk yang berbeda-beda. *Epoxy* mempunyai kegunaan yang luas dalam industri teknik kimia, listik, mekanik dan sipil sebagai perekat, cat pelapis, pencetakan cor ,dan benda-benda cetakan karena sifatnya lebih unggul dibandingkan dengan resin lainnya, antara lain kekuatan tarik serta kekuatan tekan yang tinggi, tahan terhadap bahan kimia, sedikit *volatiles* (gas-gas pengotor), stabilitas ukuran yang baik, ketahanan termal yang tinggi, dan mudah dibentuk tanpa dipanaskan terlebih dahulu.

*Epoxy* secara umum memiliki gugus fungsional. Gugus fungsional (sturktur kimia) yang paling umum dari *epoxy* adalah etilen oksida. Struktur etilen oksida, struktur *epoxy*, dan struktur *epoxy* setelah dipanas ditunjukkan pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Struktur Kimia *Epoxy* (a) struktur etilen oksida (b) struktur *epoxy* (c) struktur *epoxy* setelah dipanaskan  
Sumber: Sydney H.G (2014:192)

#### 2.4.1 Material Pengisi pada *Epoxy*

Material pengisi memiliki peranan penting dalam formula *epoxy* resin. Memperkuat fiber seperti kaca, grafit, dan polimer dengan meningkatkan sifat mekanik *epoxy* sehingga dapat digunakan dibanyak aplikasi bisa dilakukan dengan cara memberi material pengisi pada *epoxy* tersebut. Contoh untuk material pengisi meliputi serbuk logam, dimana serbuk logam ini bisa meningkatkan sifat elektrik dan konduktivitas termal dari *epoxy*. Contoh lain untuk jenis material pengisi yang sering dipakai adalah silika, alumina, kalsium karbonat, dan serbuk grafit.

Menambahkan pengisi umumnya meningkatkan viskositas dan membuat proses semakin sulit (Sydney H.G. 2014 : 213). Pada tabel 2.2 menunjukkan jenis material pengisi yang sering digunakan dan masih jarang digunakan beserta efeknya jika ditambahkan dengan *epoxy*.

Penambahan material pengisi pada *epoxy* dapat meningkatkan kekuatan mekanik. Hal ini disebabkan karena material pengisi ini dapat menghambat retakan yang terjadi pada *epoxy* saat diberikan beban seperti beban geser, fatigue, dan beban *peel*. Teori ini berdasarkan material pengisi yang ada di dalam *epoxy* dapat menghambat laju retak. Retak ini terjadi karena *epoxy* tidak mampu menahan beban yang diberikan. Namun, dengan adanya material pengisi di dalam *epoxy* laju dari retakan tersebut terhambat karena harus melewati material pengisi, oleh karena itu kekuatan mekanik dari *epoxy* menjadi meningkat.

Tabel 2.2 Jenis Material Pengisi

Filler	Application Effects						Decrease							
	Thermal conductivity	Thermal-shock resistance	Impact resistance	Compressive strength	Arc resistance	Machinability	Electrical conductivity	Cost	Cracking	Exotherm	Coefficient expansion	Density	Setting	Shrinkage
Bulk fillers:														
Sand	X			X				●		X	X			X
Silica	X			X				●		X	X			X
Tabc						●		X						X
Clay		X		X		●		X					X	X
Calcium carbonate						●		X		X				X
Calcium sulfate (anhydrous)	X			X				X		X	X			X
Reinforcing:														
Mica		X						X					X	
Wollastonite	X	X						X						
Chopped glass		X												
Wood flour		X		X		X		X				●		
Sawdust		X		X		X		X				●		
Specialty:														
Quartz	X		X	X					X		●			X
Alumina	X	X		X						X	●			X
Hydrate alumina													X	
Li Al silicate	X			X					X		●			X
Beryl	X			X					X		●			X
Silica aerogel													●	
Bentonite													●	
Graphite						X								
Powder metals	X	X	X	X		X		X	X	X	X			X
Ceramic spheres														

Sumber : Sydney .H. G (2014 : 215)

## 2.5 Iron Ore Powder

Besi merupakan logam kedua yang paling banyak di bumi ini, persentase besi sekitar 5% dari komponen kerak bumi. Besi atau ferrum tergolong unsur logam dengan symbol Fe. Bentuk murninya berwarna gelap, abu-abu keperakan dengan kilap logam. Logam ini sangat mudah bereaksi dan mudah teroksidasi membentuk karat. Sifat magnetik besi sangat kuat, dan sifat *malleable* atau dapat ditempa. Tingkat kekerasan 4-5 dengan berat jenis 7.3-7.8. Besi oksida pada tanah dan batuan menunjukkan warna merah, jingga, hingga kekuningan. Karakter dari endapan besi ini bisa berupa endapan logam yang berdiri sendiri namun seringkali ditemukan berasosiasi dengan mineral logam lainnya. Kadang besi terdapat sebagai kandungan logam tanah (*residual*), namun jarang yang memiliki nilai ekonomis tinggi.

Bijih besi adalah batuan yang mengandung mineral besi dan sejumlah mineral pengotor seperti silika, alumina, magnesia dan nikel. Besi yang terkandung dalam batuan tersebut dapat diekstraksi dengan teknologi yang sudah ada pada saat ini dan mempunyai nilai ekonomis. Umumnya bijih besi lebih mudah berikatan dengan unsur oksigen sehingga di alam besi lebih banyak berbentuk oksida seperti *magnetit* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), *hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), *limonit* ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), *siderite* ( $\text{FeCO}_3$ ), dan *ilmonite* ( $\text{FeTiO}_3$ ). [Wahyudi Utomo, 2005].

### a. Magnetite

*Magnetite* memiliki rumus kimia  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan komposisi 72,36% Fe, 27,64% O. Warna abu-abu tua sampai hitam, bersifat magnetik kuat. Beberapa *magnetite* mengandung titanium dalam bentuk inklusi *ilmenite*. Jika kandungan Ti mencapai 2-15%, *magnetite* disebut *titaniferous magnetite*. Sampel dari bijih besi *magnetite* dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut:



Gambar 2.7 Bijih *Magnetite*  
Sumber: Wahyudi Utomo, 2005

### b. Hematite

*Hematite* memiliki rumus kimia  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan komposisi 69,94% Fe, 30,06% O. warna abu-abu sampai merah, bersifat magnet dan merupakan jenis bijih besi yang paling penting dalam industri baja.



Gambar 2.8 Bijih *Hematite*  
Sumber: Wahyudi Utomo, 2005

c. *Limonite*

*Limonite* memiliki rumus kimia  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  dengan komposisi 62,85% Fe, 27,01% O, dan 10,14% air. *Limonite* merupakan *hydrrous oxide* (oksida besi yang mengandung air) yang secara mineralogis terdiri dari beberapa macam campuran mineral *goethite*. *Goethite* adalah mineral yang mempunyai komposisi kimia  $\text{HFeO}_2$ , berwarna kuning atau coklat mendekati hitam.



Gambar 2.9 Bijih *Limonite*  
Sumber: Wahyudi Utomo, 2005

d. *Siderite*

*Siderite* memiliki rumus kimia  $\text{FeCO}_3$  dengan komposisi 48,20% Fe, 37,99%  $\text{CO}_2$ , dan 13,81% O. *Siderite* Merupakan mineral besi karbonat, berwarna putih sampai abu-abu kehijauan dan coklat. Umumnya mengandung sejumlah kalsium, magnesium, dan mangan. Bijih besi karbonat biasanya di kalsinasi terlebih dahulu sebelumnya dimasukkan kedalam tanur tinggi (*blast furnace*). Karena mengandung Ca dan Mg dalam jumlah yang cukup, unsur-unsur tersebut bertindak sebagai *flux* yang berasal dari bijih sendiri.



Gambar 2.10 Bijih *Siderite*  
Sumber: Wahyudi Utomo, 2005

- e. Ilmenite komposisi kimia  $\text{FeTiO}_3$  (36,80% Fe, 31,57% Ti, dan 31,63% O)

*Ilmenite* mempunyai rumus kimia  $\text{FeTiO}_3$  36,80% Fe, 31,57% Ti, dan 31,63% O. *Ilmenite* sering dapat bersama-sama dengan *magnetite*, *ilmenite* juga dikenal sebagai besi titanat. Umumnya, *ilmenite* ditambang untuk mendapatkan unsur titaniumnya, sedangkan Fe hanya sebagai produk samping.



Gambar 2.11 Bijih *Ilmenite*  
Sumber: Wahyudi Utomo, 2005

Tabel 2.3 Tabel Klasifikasi *Iron Powder*

No.	Mineral	Susunan Kimia	Kandungan Fe (%)	Klasifikasi Komersil
1.	<i>Magnetite</i>	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	72.36	Warna bijih abu-abu tua sampai hitam
2.	<i>Hematite</i>	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	69.94	Warna bijih abu-abu sampai merah
3.	<i>Limonite</i>	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	62.85	Warna bijih kuning atau coklat mendekati hitam
4.	<i>Siderite</i>	$\text{FeCO}_3$	48.20	<i>Spathic, black band, clay ironstone</i> Warna bijih putih sampai abu-abu kehijauan dan coklat
5.	<i>Ilmenite</i>	$\text{FeTiO}_3$	36.80	Warna bijih abu-abu tua sampai hitam

Sebelum digunakan sebagai bahan baku pembuatan besi baja, besi yang terkandung dalam bijih besi harus dipisahkan dari oksigen dan pengotor yang mengikatnya kadang kala dapat berupa mineral: *Pyrite, Pyrrhotite, Marcasite*, dan *Chamosite*.. Proses penghilangan oksigen dan pengotor bijih besi disebut proses reduksi bijih besi. Proses reduksi bijih besi secara umum terbagi atas dua metode yaitu reduksi langsung (*direct reduction*) dan reduksi tidak langsung (*indirect reduction*).

Proses reduksi bijih besi secara tidak langsung dilakukan dalam *blast furnace* dengan reduktor berupa kokas batubara atau *char* dengan temperatur di atas titik lebur besi dengan produk berupa lelehan logam Fe yang selanjutnya diumpankan ke dalam BOF (*Basic Oxygen Furnace*) dan sebagian kecil akan dicetak menjadi *pig iron*.

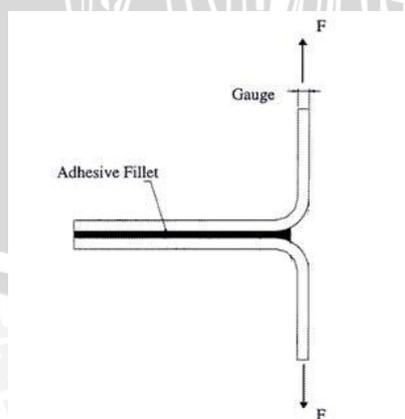
Proses reduksi langsung merupakan proses pemisahan Fe dari oksigen dengan reduktor berupa padatan seperti batubara atau gas alam ( $\text{CH}_4$ ). Proses reduksi langsung dilakukan di bawah titik lebur sehingga produk yang dihasilkan dalam bentuk padatan (*besi spons*). [Sun. S., 1997].

## 2.6 Metode *Peeling* dan *Tearing*

Kekuatan *adhesive* dapat diuji dengan banyak pengujian. Yang biasa digunakan untuk mengukur kekuatan adalah pengujian dengan metode *tearing* dan *peeling*. Pengujian ini bersifat merusak *adhesive* yang sudah digunakan sebagai penyambungan.

### 2.6.1 *Peeling*

*Peeling* merupakan suatu metode untuk menguji fleksibilitas dari *adhesive*. Bentuk spesimen yang digunakan pada *peeling* ini beda dengan pengujian tarik meskipun caranya hampir sama. *Universal tester* dapat digunakan untuk berbagai jenis metode *peeling* ini yang nantinya didapatkan grafik kekuatan dari *adhesive*. *Peeling* memiliki banyak jenis tergantung dengan bentuk spesiman dan arah pengujian dari spesimen. Metode *peeling* yang paling terkenal adalah T-peel. Gambar 2.12 menunjukkan pengujian *peeling* yang disebut T-peel.



Gambar 2.12 Spesimen T-peel

Sumber : Edward. M. Patrie (2007 : 152)

Dari bermacam *peeling test* yang sering digunakan adalah T-peel karena cara pengujiannya dan spesimen yang digunakan lebih mudah. T-peel sangat cocok digunakan untuk menguji sambungan dari aluminium. Cara pembuatan spesimen dan pengujiannya, spesimen T-peel harus dibentuk menjadi 90 derajat, kemudian dibutuhkan dua spesimen untuk dilakukan penyambungan seperti pada gambar diatas. Kemudian untuk pengujiannya dapat menggunakan *universal tester*, bagian yang ditarik adalah bagian yang horisontal seperti terlihat pada gambar diatas. Kekuatan sambungan *peeling test* dapat diperoleh dari rumus :

$$\sigma_t = \frac{P}{A} \quad \text{George Dieter (1988:7)} \quad (2-1)$$

Keterangan :

$\sigma_t$  = Kekuatan sambungan (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = Luas penampang *adhesive* (mm<sup>2</sup>)

### 2.6.2 Tearing Test ( Shear test)

Pengujian lain untuk mengetahui kekuatan dari *adhesive* adalah dengan menggunakan pengujian geser pada sambungan tersebut. Pengujian geser ini biasa disebut dengan metode *tearing*. Metode *tearing* ini sangat cocok untuk menguji material berjenis logam, plastik, dan PMC. Dari pengujian ini nantinya didapat kekuatan geser dari *adhesive*. Gambar berikut akan menunjukkan spesimen yang digunakan untuk metode *tearing*.



Gambar 2.13 Spesimen *Tearing Test*

Sumber : Edward. M. Patrie (2007 : 150)

Gambar diatas menunjukkan pengujian *tearing* yang disebut *single-lap*. Cara pembuatan spesimen dengan cara memotong dua spesimen yang dibutuhkan. Dua spesimen ini kemudian disambungkan dengan *adhesive*. Pada gambar *adhesive* pada terlihat bagian hitam yang terletak diantara dua spesimen. Kemudian dilakukan pengujian dengan cara menarik bagian ujung spesimen yang sudah disambungkan sesuai arah pada gambar diatas. Pengujian dilakukan dengan *universal tester*. Setelah

dilakukan pengujian nantinya akan keluar hasil kekuatan geser dari *adhesive* untuk dikonversikan menjadi kurva. Kekuatan sambungan *tearing test* dapat diperoleh dari rumus

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \text{George Dieter (1988:7)} \quad (2-2)$$

Keterangan :

$\tau$  = Kekuatan sambungan (MPa)

F = beban maksimum (N)

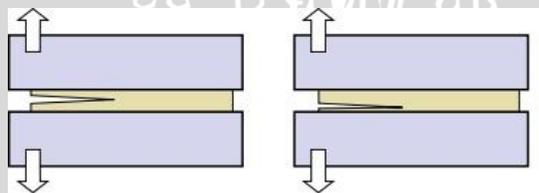
A = Luas penampang *adhesive* (mm<sup>2</sup>)

## 2.7 Perekat

Perekat merupakan suatu zat yang mengikat satu sama lain sehingga dapat menolak pemisahan. Istilah perekat ini lebih dikenal untuk zat seperti lem, semen, getah, dan pasta. Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan kegagalan dua permukaan yang melekat. Sinar matahari dan panas dapat melemahkan perekat. Adanya pelarut juga dapat mengurangi kekuatan perekat, serta adanya tekanan fisik dapat menyebabkan pemisahan permukaan. Ketika mengalami pemuatan, debonding dapat terjadi di lokasi yang berbeda di dalam sendi perekat. Jenis fraktur utama adalah sebagai berikut:

### 2.7.1 Cohesive Fracture

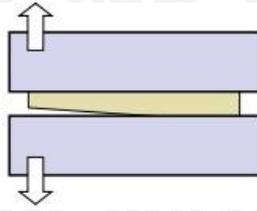
Patah kohesif terjadi jika retak memmerambat pada perekat. Retak dapat merambat di pusat lapisan atau di dekat antarmuka. Patah kohesif terjadi akibat gaya tarik menarik antara lem dengan *adherent* lebih kuat daripada gaya tarik menarik pada lem itu sendiri. Pada gambar 2.14 Menunjukkan permodelan *Cohesive Fracture*.



Gambar 2.14 *Cohesive Fracture*  
Sumber: Edward. M. Patrie (2007 : 40)

### 2.7.2 Adhesive Fracture

Patah adesif terjadi pada *interface*, patah adesif disebabkan karena gaya tarik-menarik antar partikel adesif lebih kuat dibandingkan dengan gaya yang bekerja pada *interface*. Berikut gambar 2.15 Menunjukkan terjadinya patah adesif.

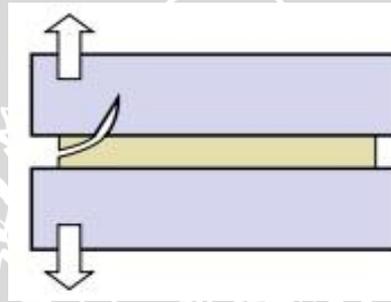


Gambar 2.15 *Adhesive Fracture*

Sumber : Edward. M. Patrie (2007 : 40)

### 2.7.3 *Adherent Fracture*

*Adherent fracture* terjadi pada material yang disambung. Terjadinya patah ini adalah karena ikatan partikel material tidak lebih kuat daripada ikatan adesif. Sehingga ketika diberikan beban tarik maka material mengalami retak. Gambar 2.16 Menunjukkan terjadinya patah *adherent*.

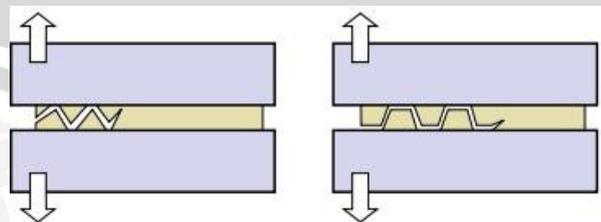


Gambar 2.16 *Adherent Fracture*

Sumber : Edward. M. Patrie (2007 : 40)

### 2.7.4 Kegagalan yang Lain

Patahan yang lain yaitu perambatan retaknya berbentuk zig-zag atau melewati *interface* satu dan yang lain. Terjadinya patahan ini adalah akibat ikatan antar partikel adesif dan antar *interface* sama-sama kuat. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.17



Gambar 2.17 Kemungkinan Kegagalan Lain pada Adhesive

Sumber: Edward. M. Patrie (2007 : 40)

## 2.8 SEM

Mikroskop elektron scanning (SEM) menggunakan sinar terfokus elektron energi tinggi untuk menghasilkan berbagai sinyal pada permukaan spesimen padat. Sinyal yang berasal dari interaksi elektron-sampel mengungkapkan informasi tentang sampel termasuk morfologi eksternal (tekstur), komposisi kimia, dan struktur kristal dan orientasi bahan yang membentuk sampel. Pada kebanyakan aplikasi, data dikumpulkan melalui area tertentu dari permukaan sampel, dan gambar 2 dimensi yang dihasilkan yang menampilkan variasi spasial dalam sifat ini. Daerah mulai dari sekitar 1 cm sampai 5 mikron lebar dapat dicitrakan dalam modus pemindaian menggunakan teknik SEM konvensional (perbesaran mulai dari 20X menjadi sekitar 30.000 X, resolusi spasial dari 50 sampai 100 nm). SEM juga mampu melakukan analisis terpilih lokasi titik pada sampel, pendekatan ini sangat berguna dalam kualitatif atau semi-kuantitatif menentukan komposisi kimia (menggunakan EDS), struktur kristal, dan orientasi kristal (menggunakan EBSD). (Carleton, 2011)



Gambar 2.18 *Scanning Electron Microscope*

Sumber: Laboratorium Kelelahan Logam Teknik Mesin Universitas Brawijaya

## 2.9 Kekuatan Tarik dan Kekuatan Geser

*Adhesive* memiliki bermacam kekuatan mekanik yang terdapat dalam suatu sambungan. Kekuatan yang dapat diukur diantaranya adalah kekuatan tarik dan geser. Pengertian dari kedua kekuatan ini hampir sama yang membedakan adalah arah dan posisi dari *adhesive*.

### a. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik merupakan kemampuan maksimal suatu material untuk menahan beban tarik dari luar. Kekuatan tarik dapat ditentukan dengan persamaan 2.1.

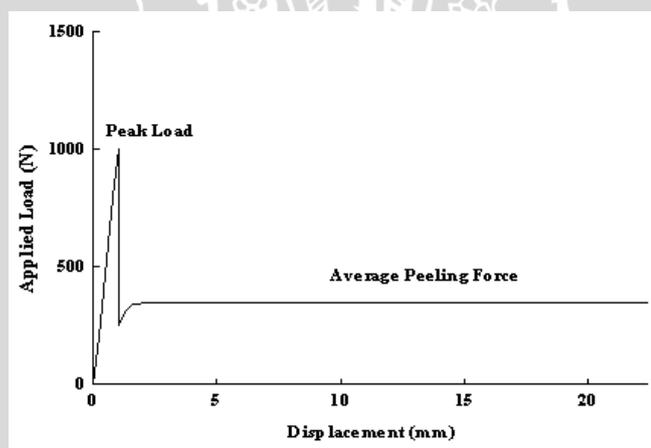
### b. Kekuatan Geser

Kekuatan geser adalah kemampuan suatu material untuk menerima gaya geser maksimum yang bekerja pada material sebelum material mengalami patah. Contoh dari

kekuatan geser ini adalah *single shear*. *Single shear* adalah suatu beban yang diberikan pada satu bagian saja yang menyebabkan material yang menerimanya menjadi terbagi dua. Kekuatan geser dapat ditentukan pada persamaan 2.2.

### 2.10 Kurva Hubungan antara *Load* dan *Displacement*

Apabila spesimen *peeling* atau *tearing* diberi beban, spesimen akan menunjukkan suatu hubungan antara *load* dan *displacement*. Hubungan ini direpresentasikan menjadi grafik hubungan antara *load* dan *displacement* (gambar 2.19). Dari grafik dapat diketahui bahwa grafik memiliki kecenderungan meningkat kemudian turun dan konstan. Ketika grafik mengalami perpindahan (*displacement*), spesimen mengalami tarikan hingga pada suatu titik *displacement* lapisan *adhesive epoxy* mengalami retak, dan setelah itu terjadi distribusi retak yang kemudian menyebabkan spesimen *adhesive epoxy* mengelupas. Besarnya gaya rata-rata selama pengelupasan disebut *Average Peeling Force* atau *Average Tearing Force*.



Gambar 2.19 Kurva Hubungan antara *Load* dan *Displacement*  
Sumber : Edward M. Petrie (2007 : 108)

Gaya pengelupasan rata-rata yang bekerja pada sambungan *adhesive epoxy* per luas penampang *adhesive epoxy* merupakan kekuatan dari *adhesive epoxy*, dan gaya maksimal yang menyebabkan *adhesive epoxy* retak per luas penampang *adhesive epoxy* merupakan kekuatan *peel* atau kekuatan *shear* dari *adhesive epoxy*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada persamaan 2.1 untuk *peeling* dan 2.2 untuk *tearing*.

### 2.11 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini penambahan material serbuk *iron ore* pada lem *epoxy* berpengaruh pada kekuatan *peel* dan *shear* dari lem *epoxy*. Kekuatan tersebut dipengaruhi oleh ukuran material serbuk *iron ore* yang digunakan untuk penambahan, dimana setiap material serbuk *iron ore* yang ditambahkan memiliki kekuatan sambungan yang berbeda.

