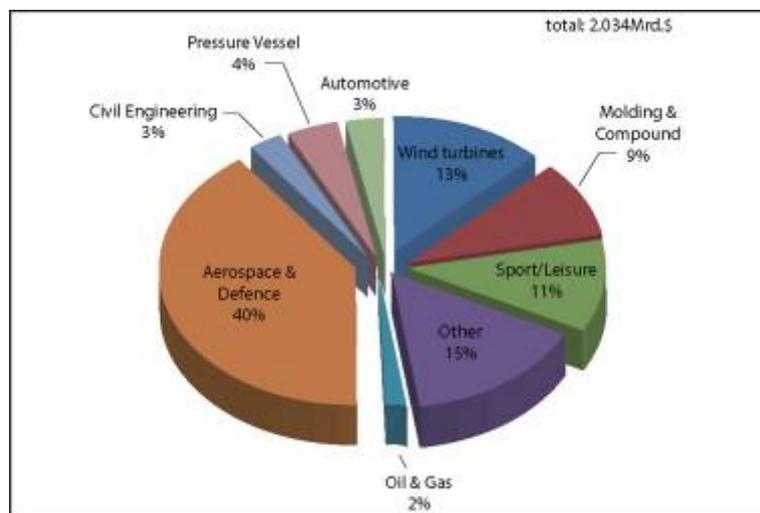


## BAB I PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

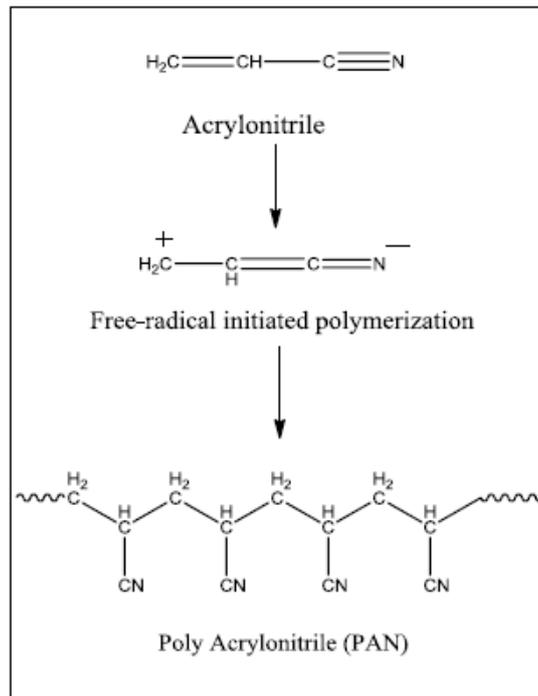
Perkembangan zaman yang semakin maju mendorong berbagai macam industri besar dunia untuk memenuhi permintaan konsumen. Dalam hal ini, industri *carbon fiber* semakin berkembang untuk memenuhi permintaan dari beberapa sektor yang berbeda di antaranya yaitu pada konstruksi pesawat terbang, industri alat olahraga, industri alat musik, industri otomotif serta pada konstruksi jalan dan jembatan. Dari Gambar I.1 dapat dilihat Konsumsi *Carbon fiber* dunia pada beberapa sektor industri (www.reinforcedplastics.com).



**Gambar I.1 Konsumsi *Carbon Fiber* Dunia Pada Berbagai Sektor Industri**

*Carbon Fiber* merupakan serat yang terdiri dari sekurang-kurangnya 92% atom karbon. Sifatnya yang kuat tetapi ringan merupakan salah satu keunggulan yang dimiliki oleh *carbon fiber* dibandingkan dengan besi maupun baja. Berbagai inovasi telah dilakukan untuk membuat *carbon fiber* yang memiliki *tensile strength* serta *tensile modulus* yang tinggi. Bahan baku yang digunakan dalam Pabrik *Carbon Fiber* ini adalah *Polyacrylonitrile* (OUSD Industrial Policy. 2005).

*Polyacrylonitrile* merupakan polimer organik, hasil sintesis secara kimia oleh monomer – monomer *acrylonitrile*. Polimerisasi dari *acrylonitrile* dapat dilihat pada Gambar I.2.



**Gambar I. 2 Polimerisasi Acrylonitrile**

*Polyacrylonitrile* (PAN) merupakan prekursor yang paling banyak digunakan dalam pembuatan *Carbon Fiber*. Pada pabrik ini, PAN digunakan karena memiliki stabilitas termal dan sifat mekanik yang baik (Saufi, dkk. 2002). Selain itu, keunggulan dari PAN adalah dapat menghasilkan *carbon fiber* yang memiliki nilai *tensile modulus* sekitar 240 – 310 GPa dan *tensile strength* 3515 – 6380 MPa. Keunggulan-keunggulan yang dimiliki oleh PAN menjadikan PAN sebagai polimer dalam pembuatan *carbon fiber* berdasarkan sifat resistan pelarutnya yang baik (Kim, dkk. 2002). Ada beberapa tahapan dalam pembuatan *carbon fiber* dari PAN yaitu:

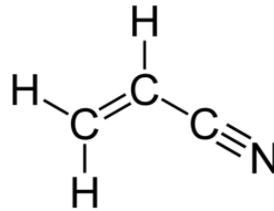
1. Polimerisasi monomer *acrylonitrile* dengan bantuan pelarut dan katalis.
2. Pembentukan *fiber gel* (*spinning*)
3. Oxidation yaitu proses menstabilkan ikatan antara atom-atom yang terdapat pada *carbon fiber*.
4. *Carbonization* dengan suhu yang sangat tinggi
5. *Surface Treatment* dengan menggunakan larutan epoksi
6. *Sizing* merupakan tahap terakhir setelah dihasilkan *Carbon Fiber*.

Proses-proses tersebut dilakukan agar dapat dihasilkan *carbon fiber* dengan nilai *tensile modulus* dan *tensile strength* yang tinggi (Ramasubramanian. 2013).

## I.2 Sifat-Sifat Bahan Baku dan Produk

### I.2.1. Acrylonitrile

*Acrylonitrile* merupakan cairan tidak berwarna dan mudah menguap (*volatile*) yang mudah larut dalam air dan pelarut organik seperti aseton, benzene, karbon tetraklorida, etil asetat dan toluene. Struktur *acrylonitrile* dapat dilihat pada Gambar I.3 berikut



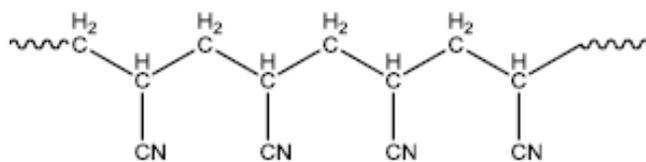
**Gambar I. 3 Struktur *Acrylonitrile***

Monomer ini merupakan salah satu senyawa kimia yang penting digunakan dalam industri plastik. Beberapa karakteristik fisika dari *Acrylonitrile* tercantum pada Tabel I.1 ([www.sciencelab.com](http://www.sciencelab.com). 2014).

**Tabel I. 1 Karakteristik fisika dari *Acrylonitrile***

Rumus Molekul	Karakteristik	Keterangan
C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N	Berat molekul (g/mol)	52,945
	Titik didih (°C)	77,3
	Titik lebur (°C)	-83,5
	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	0,81
	Kelarutan	Larut dalam air, etanol, eter, aseton, dan benzena

### I.2.2. Polyacrylonitrile



Poly Acrylonitrile (PAN)

**Gambar I. 4 Struktur *Polyacrylonitrile* (PAN)**

*Polyacrylonitrile* merupakan polimer yang memiliki densitas rendah, kekuatan yang tinggi serta elastisitas yang besar. Karena sifat-sifatnya tersebut PAN berpotensi dalam menghasilkan *carbon fiber* yang bermutu tinggi. PAN terdiri atas dua jenis yaitu homopolimer dan kopolimer. Homopolimer dari PAN telah banyak digunakan sebagai serat dalam sistem filtrasi gas panas, layar untuk kapal pesiar serta beton yang diperkuat dengan serat. Sedangkan Kopolimer-nya sering digunakan sebagai serat untuk membuat pakaian rajut seperti kaus kaki dan sweater tenda, dll (<http://www.prsc.usm.edu/macrog/pan.html>). *Polyacrylonitrile* terbentuk dari polimerisasi antara *acrylonitrile* kopolimer dengan inisiator. Pelarut seperti N-N, *dimethylformamide* dibutuhkan dalam polimerisasi ini agar cepat terbentuk ikatan silang antara monomer dan inisiator ([www.epc.com](http://www.epc.com)). Derajat polimerisasi rata-rata meningkat karena suhu reaksi menurun. Polimer dengan derajat polimerisasi rata-rata 3.000-4.000 dapat ditandai dengan tingkat tinggi elastisitas seperti karet, sedangkan polimer dengan derajat polimerisasi kira-kira 1.000, menunjukkan sifat yang lebih plastik. Sedangkan, polimer dengan derajat polimerisasi rata-rata 50-100 memiliki sifat seperti minyak kental. Beberapa karakteristik fisika dari *polyacrylonitrile* tercantum pada Tabel I.2 (Kalashnik,dkk. 2010)

**Tabel I. 2 Karakteristik fisika dari *Polyacrylonitrile***

<b>Rumus Molekul</b>	<b>Karakteristik</b>	<b>Keterangan</b>
(C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N) <sub>1000</sub>	Berat molekul (g/mol)	52.945
	Titik didih (°C)	85
	Titik lebur (°C)	317
	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	1,184
	Derajat polimerisasi	1.000
	Kelarutan	Larut dalam <i>dimethyl formamide</i> , larutan <i>thiocyanate</i> , dan tidak larut dalam etanol, aseton, benzene, dan carbon tetrachloride

### I.2.3. Dimethylformamide

*Dimethylformamide* merupakan senyawa organik dengan rumus kimia C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>NO. DMF berbentuk cairan tak berwarna, tak berbau yang larut dalam pelarut air dan sebagian besar pelarut organik. DMF merupakan pelarut yang sering digunakan dalam reaksi kimia. Senyawa organik ini merupakan pelarut polar dengan

titik didih yang tinggi (<http://www.sciencelab/dimethylformamide.html>). Sifat – sifat dari DMF adalah sebagai berikut :

**Tabel I. 3 Sifat Fisika dari *Dimethylformamide***

Rumus Molekul	Karakteristik	Keterangan
C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO	Berat molekul (g/mol)	73,09
	Titik didih (°C)	154
	Titik leleh (°C)	-60,5
	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	0,948
	Viskositas (mPa.s)	0,92

Pada pabrik serat karbon ini, *Dimethylformamide* merupakan pelarut polar yang digunakan untuk melarutkan *polyacrylonitrile* (PAN) hingga homogen.

#### ***I.2.4. Benzoyl Peroxide***

*Benzoyl Peroxide* merupakan senyawa organik dengan rumus senyawa kimia C<sub>14</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub>. BP berbentuk cairan tak berwarna yang merupakan salah satu senyawa organik peroksida yang sangat penting dan sering digunakan. Kegunaan benzoyl peroxide sangat bermacam-macam di antaranya adalah untuk memutihkan gigi serta untuk menghilangkan jerawat. Selain itu, kegunaan penting lainnya adalah sebagai inisiator pada proses polimerisasi. Sifat-sifat dari BP adalah sebagai berikut:

**Tabel I. 4 Sifat Fisika dari *Benzoyl Peroxide***

Rumus Molekul	Karakteristik	Keterangan
C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	Berat molekul (g/mol)	242,23
	Titik leleh (°C)	103
	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	1,334

#### ***I.2.5. Carbon Fiber***

*Carbon fiber* terbuat dari polimer organik yang terdiri atas untaian tipis dan panjang atom-atom karbon. Sifat – sifat fisika dari *carbon fiber* diberikan pada Tabel I.4 ([http://www.zoltek.com/carbon\\_fibers/html](http://www.zoltek.com/carbon_fibers/html)).

**Tabel I. 5 Sifat fisika dari *Carbon Fiber***

<b>Sifat fisik</b>	<b>Keterangan</b>
Derajat polimerisasi	1000
Massa jenis (g/mL)	1,75
Titik leleh (°C)	3600
Titik didih (°C)	4200
Panas Pembakaran (kJ/mol)	-393,51
Panas Peleburan (kJ/mol)	46

*Carbon Fiber* memiliki *Tensile Strength* yang lebih baik dibandingkan material lainnya. Dari Tabel I.5 dapat dilihat *Tensile Strength* dari beberapa material termasuk *Carbon fiber* (Udupi. 2010).

**Tabel I. 6 Tensile Strength beberapa material**

<b>Material</b>	<b><i>Tensile Strength</i> (MPa)</b>
<i>Carbon steel</i> 1090	3600
<i>High Density Polyethylene</i> (HDPE)	37
<i>Stainless steel</i> AISI 302	860
Aluminium 2014-T6	483
<b><i>Carbon Fiber</i></b>	4127
Kevlar	2757

Selain *Tensile Strength*, *carbon fiber* juga memiliki *Tensile Modulus* yang tinggi yaitu sekitar 230 GPa bergantung pada bahan baku yang digunakan pada proses pembuatan. *Carbon fiber* juga bersifat tahan terhadap api (*Non Flammable*) dan tidak beracun serta tahan terhadap sebagian besar bahan kimia. Selain itu, *carbon fiber* bersifat stabil terhadap pengaruh udara, panas, dan air. Oleh karena sifat-sifat tersebut *carbon fiber* yang sangat menguntungkan tersebut, harga *carbon fiber* relatif mahal.

### **I.3 Kegunaan dan Keunggulan Produk**

*Carbon Fiber* dapat digunakan pada beberapa sektor industri di antaranya industri otomotif, industri pesawat terbang, industri alat musik, dan industri alat olahraga. Pada industri otomotif, *carbon fiber* menggantikan fungsi besi yang merupakan komponen utama dalam pembuatan *body* mobil. Dengan penggantian tersebut, *carbon fiber* mengurangi sekitar 60% berat mobil tanpa mengubah mesin mobil. Dengan adanya penurunan berat tersebut maka konsumsi bahan bakar yang

dihabiskan juga akan berkurang sehingga menjadi lebih efisien. Keunggulan tersebut yang juga dipraktikkan dalam industri pesawat terbang (Kawai, 2012).

Pada industri alat musik, *carbon fiber* digunakan pada senar dalam berbagai jenis alat musik seperti biola, gitar dan alat musik lainnya. Penggunaan *carbon fiber* tersebut dikarenakan sifatnya yang kuat, tahan lama namun ringan. Penggunaan dalam industri alat olahraga yaitu sebagai pelapis alat olahraga seperti raket tenis, *stick* golf dan hockey atupun pelapis dari pendukung alat olahraga yaitu helm. Penggunaan tersebut dikarenakan lapisan *carbon fiber* membuat alat menjadi kuat dan tidak mudah rusak (Naskar, 2013).

*Carbon fiber* tidak hanya digunakan pada industri-industri di atas namun juga digunakan pada konstruksi jembatan dan benda-benda di rumah. Pada konstruksi jembatan, *carbon fiber* memberikan kekuatan dan kekakuan yang baik sedangkan pada rumah tangga *carbon fiber* dapat dijumpai pada *bathup* maupun penutup *Handphone*.

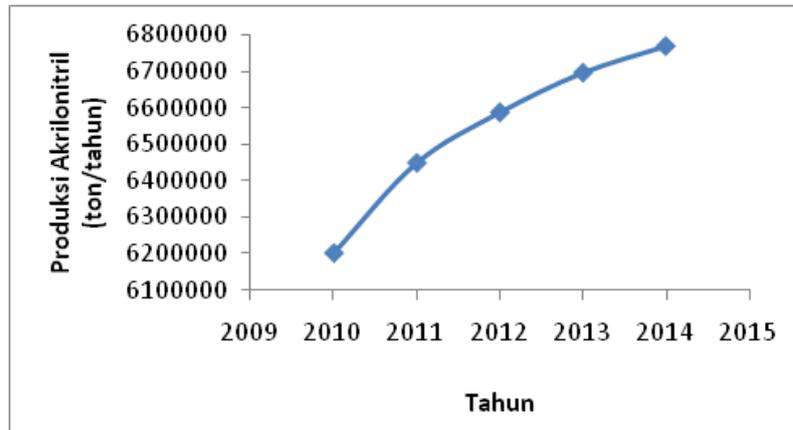
#### I.4 Ketersediaan Bahan Baku dan Analisis Pasar

##### I.4.1 Ketersediaan bahan baku

Berdasarkan data dari *Technon Orbicham* (British) produksi *Acrylonitrile* di dunia secara global terus meningkat sepanjang tahun. Pada tabel I.6 berikut ini dilampirkan data mengenai produksi *Acrylonitrile* secara global.

**Tabel I.7 Kapasitas produksi *Acrylonitrile* tahun 2010 – 2013 (Technon Orbicham British, 2013)**

No.	Tahun	Kapasitas produksi <i>Acrylonitrile</i> global (ton/tahun)
1	2010	6.200.000
2	2011	6.448.000
3	2012	6.586.880
4	2013	6.696.000
5	2014	6.769.160



**Gambar I. 5 Produksi *Acrylonitrile* Secara Global Tahun 2010-2014**

Dengan penggunaannya dalam *Carbon Fiber*, maka produksi senyawa *Acrylonitrile* ini akan terus meningkat sepanjang tahunnya. Dari hasil regresi gambar I.5, diperkirakan kapasitas produksi *Acrylonitrile* pada tahun 2019 akan meningkat sampai angka 7.510.432 ton/tahun, angka ini didapat dari persamaan,  $y = 138632.x + 6124112$ , dimana  $y$  merupakan data produksi *Acrylonitrile* (ton/tahun) dan  $x$  merupakan tahun ke-, dengan nilai  $r^2=0,9462$ . Kebutuhan *acrylonitrile* yang cukup tinggi ini menyebabkan bahan baku *acrylonitrile* ini harus diimpor dari negara lain salah satunya adalah negara korea.

#### **I.4.2. Analisa Pasar**

Produk *Carbon Fiber* dapat digunakan dalam berbagai sektor industri seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar I.1 di atas. Karena penggunaannya yang semakin besar pada berbagai industri khususnya pada industri otomotif maupun industri pesawat terbang, konsumsi *carbon fiber* lebih besar dibandingkan produksinya sehingga untuk menanggulangnya produksi *carbon fiber* lebih ditingkatkan.

Dapat dilihat pada Tabel I.7 bahwa konsumsi *carbon fiber* di dunia terus mengalami peningkatan sedangkan produksi *carbon fiber* memberikan pertumbuhan angka yang tidak terlalu signifikan tiap tahunnya.

**Tabel I.8 Konsumsi *Carbon Fiber* di Dunia (www.composites world.com)**

<b>Tahun</b>	<b>Konsumsi (ton)</b>
2009	33430
2010	39280
2011	44290
2015	89260
2019	134280

Dari Tabel I.7, diketahui bahwa konsumsi *Carbon Fiber* di dunia pada tahun 2019 yaitu 134280 ton. Dengan adanya pabrik ini diharapkan dapat memenuhi konsumsi *carbon fiber* yang semakin meningkat. Produksi *Carbon fiber* dari prarencana pabrik ini dibatasi oleh keterbatasan bahan baku *acrylonitrile* yang jumlahnya secara global pada tahun 2019 sebesar 7.510.432 ton/tahun. Oleh karena itu, penggunaan bahan baku *Acrylonitrile* pada pabrik ini adalah 1% dari ketersediaan bahan baku yang ada yaitu sebesar 75.104,32 ton. Diharapkan dengan adanya pabrik ini dapat memenuhi kebutuhan carbon fiber yang digunakan pada berbagai macam bidang industri misalnya digunakan pada industri otomotif pada mobil BMW, Tucuxi, Mitsubishi maupun VolksWagen, serta pada industri pesawat terbang dan pada industri musik pada perusahaan Kawai