

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Energi Terbarukan

Berdasarkan Permen ESDM No.12 Th.2017 terdapat pengertian mengenai Sumber Energi Energi terbarukan yaitu sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin bioenergi, sinar matahari, aliran dan tgerjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut, dan masih ada peraturan-peraturan yang berkaitan dengan pemanfaatan/pengelolaan energi diantaranya PP No.79 Thn. 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional, PP No.14 Thn. 2012 tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik, dan UU No. 30 Thn. 2007 tentang energi.

Angin merupakan sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik dan tidak dapat habis untuk diperbaruhi kembali (terbarukan).Dalam kasus ini rancang bangun turbin angin merupakan solusi yang tepat. Pada rancang bangun turbin angin kali ini kami diberikan tugas untuk pembuatan rotor dari turbin angin tersebut dengan cara pengecoran menggunakan material komposit *fiberglass reinforced plastic*.

Disini saya mendapatkan bagian mengenai hasil pengecoran, balancing serta perhitungan kekuatan yang bertujuan untuk mengetahui panjang sudu, dimensi sudu, keseimbangan sudu dan simulasi uji kekuatan. Dari hasil proses balancing, dan pengecoran tersebut dapat kita dapatkan hasil rotor turbin angin yang lebih baik

2.1.1. Definisi Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Apabila dipanaskan, udara memuai. Udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun karena udaranya berkurang. Udara dingin disekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tadi. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Diatas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dikarenakan konveksi.

Tenaga angin menunjuk kepada pengumpulan energi yang berguna dari angin. Pada tahun 2005, kapasitas energi generator tenaga angin adalah 58.982 MW, hasil tersebut kurang dari 1% pengguna listrik dunia. Meskipun masih berupa sumber energi listrik minor dikebanyakan Negara, penghasil tenaga angin lebih dari empat kali lipat antara 1999 dan 2005.



Gambar 2.1. Panas Bumi di Indonesia

Kebanyakan tenaga angin modern dihasilkan dalam bentuk listrik dengan mengubah rotasi dari pisau turbin menjadi arus listrik dengan menggunakan

generator listrik. Pada kincir angin energi angin digunakan untuk memutar peralatan mekanik untuk melakukan kerja fisik, seperti menggiling atau memompa air. Tenaga angin banyak jumlahnya, jumlahnya tidak terbatas (dapat diperbaharui), tersebar luas dan bersih.

2.1.2. Pengukuran Energi Angin

Semua energi yang dapat diperbaharui dan bahkan energi pada bahan bakar fosil, kecuali energi pasang surut dan panas bumi berasal dari matahari. Matahari meradiasi $1,74 \times 1.014$ kW jam energi ke Bumi setiap jam. dengan kata lain, bumi ini menerima daya $1,74 \times 1.017$ Watt. Sekitar 1-2% dari energi tersebut diubah menjadi energi angin. Jadi, energi angin berjumlah 50-100 kali lebih banyak daripada energi yang diubah menjadi biomassa oleh seluruh tumbuhan yang ada di muka bumi. Sebagaimana diketahui, pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan temperatur antara udara panas dan udara dingin. Daerah sekitar khatulistiwa, yaitu pada busur 0° , adalah daerah yang mengalami pemanasan lebih banyak dari matahari dibanding daerah lainnya di Bumi. Daerah panas ditunjukkan dengan warna merah, oranye, dan kuning pada gambar inframerah dari temperatur permukaan laut yang diambil dari satelit NOAA-7 pada juli 1984. Udara panas lebih ringan daripada udara dingin dan akan naik ke atas sampai mencapai ketinggian sekitar 10 kilometer dan akan tersebar ke arah utara dan selatan. Jika bumi tidak berotasi pada sumbunya, maka udara akan tiba dikutub utara dan kutub selatan, turun ke permukaan lalu kembali ke khatulistiwa. Udara yang bergerak inilah yang merupakan energi yang dapat diperbaharui, yang dapat digunakan untuk memutar turbin dan akhirnya menghasilkan listrik. (www.eprints.undip.ac.id/41638/16/BAB_II.pdf)

Tabel 2.1. Energi Angin yang tersedia pada berbagai wilayah di Indonesia

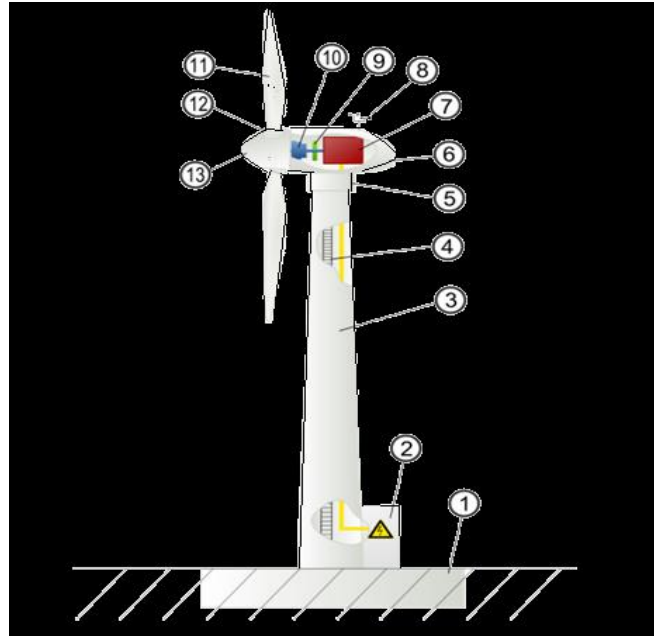
No	S I T E	YEAR	ANNUAL SPECIFIC ENERGI/ (E_{SP})
1	TERNATE	1978	227.1
2	SUMBAWA BESAR	1977	190.2
3	DENPASAR	1977	320.6
4	KALIANGET	1977	247.5
5	BAWEAN	1977	140.5
6	KUPANG	1977	1126.3
7	CILACAP	1978	306.8
8	RANAI	1978	785.7
9	CILAUT EUREUN	1977	841.9
10	ISWAHYUDI	1973-1979	493.2
11	MAUMERE	1977	389.9
12	JAKARTA	1978	228.3
13	REMBIGA	1978	255.1
14	SURABAYA	1978	149.0
15	KAIMANA	1977-1979	389.8
16	KIJANG	1976-1979	181.7
17	TAREMPA	1977	407.1

(Harijono Djojodiharjo & Darwin Sebayang, 1981)

Berdasarkan tabel 2.1, pemilihan energi angin tersedia dalam satu tahun yang paling tepat adalah kota Jakarta dikarenakan pantai Jakarta dan pantai Semarang berhadapan langsung dengan Laut Jawa. energi angin yang tersedia di kota Jakarta sebesar 228,3 kWh/m².

2.1.3. Deskripsi Turbin Angin Poros Horizontal

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak digunakan di Denmark, Belanda, dan Negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan windmill. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dengan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini penggunaan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (contoh: PLTD, PLTU, dll), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbarui (contoh: batubara dan minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik. Angin adalah salah satu bentuk energi yang tersedia di alam, pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibelakang bagian turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Secara sederhana sketsa kincir angin adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2.Sketsa Sederhaana Turbin

Angin(www.commonswiki.org/wiki/File:Wind_turbine_int.svg#filehistory)

Keterangan pada gambar 2.2 adalah sebagai berikut:

1. Foundation
2. Connection to electric grid
3. Tower
4. Access ladder
5. Wind orientation control
6. Nacelle
7. Generator
8. Anemometer
9. Brake
10. Gearbox
11. Rotor blade
12. Blade pitch control
13. Rotor hub

Turbin angin pada prinsipnya dapat dibedakan atas dua jenis turbin berdasarkan arah putarannya. Turbin angin yang berputar pada poros horisontal disebut dengan turbin angin poros horisontal atau *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT), sementara yang berputar pada poros vertikal disebut dengan turbin angin poros vertikal atau *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT).

Turbin angin horisontal adalah model umum yang sering kita lihat pada turbin angin. Desainnya mirip dengan kincir angin, memiliki blade yang mirip propeller dan berputar pada sumbu vertikal.



Gambar 2.3. Turbin Horisontal(www.poweredbymothernature.com)

Turbin angin horisontal memiliki shaft rotor dan generator pada puncak tower dan harus diarahkan ke arah angin bertiup. Turbin-turbin kecil mengarah ke angin dengan menggunakan wind plane yang diletakkan di rotor, sementara untuk turbin yang lebih besar dilengkapi dengan sensor yang terhubung dengan motor servo yang mengarahkan blade sesuai dengan arah angin. Sebagian besar turbin

yang besar memiliki gearbox yang merubah kecepatan putar rotor yang ditransfer ke generator menjadi lebih cepat. Karena tower menghasilkan turbulensi di belakangnya maka turbin biasanya mengarah ke arah angin dari depan. Blade turbin dibuat kaku untuk mencegah terdorong ke tower oleh angin yang kencang. Disamping itu, blade di tempatkan pada jarak yang mencukupi didepan tower dan kadang melengkung kedepan.

Downwind turbine atau turbin dengan arah angin dari belakang juga dibuat, meskipun adanya masalah turbulensi, karena turbin ini tidak membutuhkan mekanisme yang mengharuskan searah dengan dengan angin. Disamping itu dalam keadaan angin kencang blade dibolehkan untuk melengkung yang mnurunkan area sapuan dan resistansi angin. Namun dikarenakan turbulensi dapat menyebabkan fatigue, dan keandalan sangat dibutuhkan maka sebagian besar turbin angin horisonal menggunakan jenis upwind.

▪ **Kelebihan Turbin Angin Horisontal**

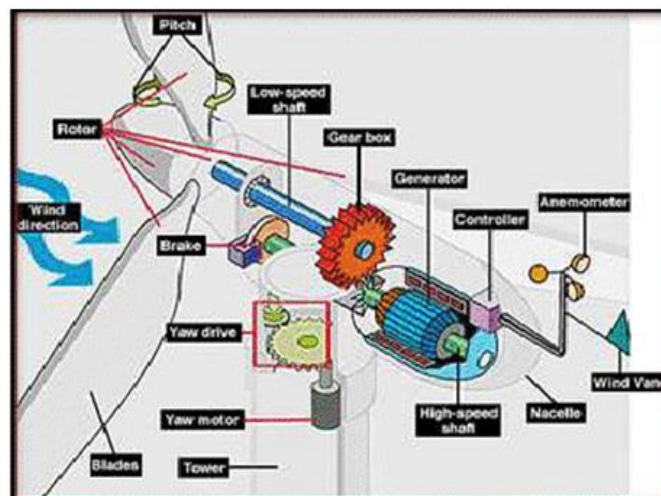
1. Towernya yang tinggi memunkikan untuk mendapatkan angin dengan kekuatan yang lebih besar. Pada beberapa area, setiap 10 meter ada kenaikan tambahan kekuatan angin 20% dan peningkatan daya 34%.
2. Efisiensi lebih tinggi, karena blades selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, menerima daya sepanjang putaran. Sebaliknya pada turbin vertikal, melibatkan gaya timbal balik yang membutuhkan permukaan airfoil untuk mundur melawan angin sebagian bagian dari siklus. Backtracking melawan angin menyebabkan efisiensi lebih rendah.

- **Kekurangan Turbin Angin Horisontal**

1. Dibutuhkan konstruksi tower yang besar untuk mensupport beban blade, gear box dan generator.
2. Komponen-komponen dari turbin angin horisontal (blade, gear box dan generator) harus diangkat ke posisinya pada saat pemasangan.
3. Karena tinggi, maka turbin ini bisa terlihat pada jarak yang jauh, banyak penduduk lokal yang menolak adanya pemandangan ini.
4. Membutuhkan kontrol yang sebagai mekanisme untuk mengarahkan blade ke arah angin.
5. Pada umumnya membutuhkan sistem pengereman atau peralatan yang pada angin yang kencang untuk mencegah turbin mengalami kerusakan. (www.satuenergi.com/2015/10/jenis-jenis-turbin-angin-serta.html)

- **Komponen-komponen turbin angin**

Berikut dibawah ini akan dijelaskan mengenai bagian – bagian penyusun dari turbin angin :



Gambar 2.4. Komponen Turbin

Pada gambar 2.4 menunjukkan beberapa parameter diantaranya adalah sebagai berikut:

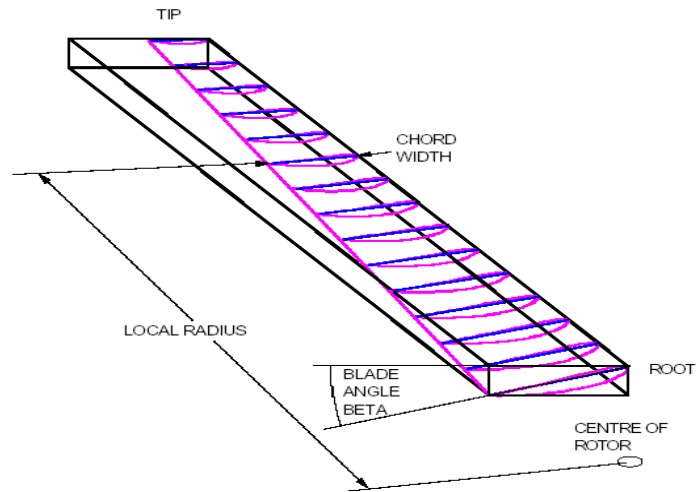
1. *Anemometer*: Mengukur kecepatan angin dan mengirim data angin ke Alat Pengontrol.
2. *Blades*(Bilah Kipas): Kebanyakan turbin angin mempunyai 2 atau 3 bilah kipas. Angin yang menghembus menyebabkan turbin tersebut berputar.
3. *Brake* (Rem): Suatu rem cakram yang dapat digerakkan secara mekanis dengan bantuan tenaga listrik atau hidrolik untuk menghentikan rotor atau saat keadaan darurat.
4. *Controller* (Alat Pengontrol): Alat Pengontrol ini men-start turbin pada kecepatan angin kira-kira 12-25 km/jam, dan kemudian mematikannya pada kecepatan 90 km/jam. Turbin tidak beroperasi di atas 90 km/jam. Hal ini dikarenakan tiupan angin yang terlalu kencang dapat merusakkannya.
5. *Gear box* (Roda Gigi): Roda gigi menaikkan putaran dari 30-60 rpm menjadi sekitar 1000-1800 rpm. Ini merupakan tingkat putaran standar yang disyaratkan untuk memutar generator listrik.
6. *Generator*: Generator pembangkit listrik, biasanya sekarang disebut alternator arus bolak-balik.
7. *High-speed shaft* (Poros Putaran Tinggi): Berfungsi untuk menggerakkan generator.
8. *Low-speed shaft* (Poros Puutaran Rendah): Poros turbin yang berputar kira-kira 30-60 rpm.

9. *Nacelle* (Rumah Mesin): Rumah mesin ini terletak di atas menara . Di dalamnya berisi gearbox, poros putaran tinggi / rendah, generator, alat pengontrol, dan alat pengereman.
10. *Pitch* (Sudut Bilah Kipas): Bilah kipas dapat diatur sudutnya sesuai dengan kecepatan rotor yang dikehendaki. Tergantung kondisi angin yang terlalu rendah atau terlalu kencang.
11. Rotor: Bilah kipas bersama porosnya dinamakan rotor.
12. *Tower* (Menara): Menara bisa dibuat dari pipa baja, beton, ataupun rangka besi. Karena kencangnya angin bertambah dengan seiring dengan bertambahnya ketinggian, maka makin tinggi menara makin besar tenaga angin yang didapat.
13. *Wind direction*(Arah Angin): Adalah turbin yang menghadap angin. Desain turbin lain ada yang mendapat hembusan angin dari belakang.
14. *Wind vane* (Tebeng Angin): Mengukur arah angin, berhubungan dengan penggerak arah yang memutar arah turbin disesuaikan dengan arah angin.
15. *Yaw drive*(Penggerak Arah): Penggerak arah memutar turbin ke arah angin untuk desain turbin yang menghadap angin. Untuk desain turbin yang mendapat hembusan angin dari belakang tak memerlukan alat ini.
16. *Yaw motor* (Motor Penggerak Arah): Motor listrik yang menggerakkan *yawdrive*.(Sumber<http://catatankecilanaknegeri.blogspot.co.id/2015/02/turbin-anginhorizontal-horizontal-axis.html>)

2.1.4. Propeler *Airfoil*

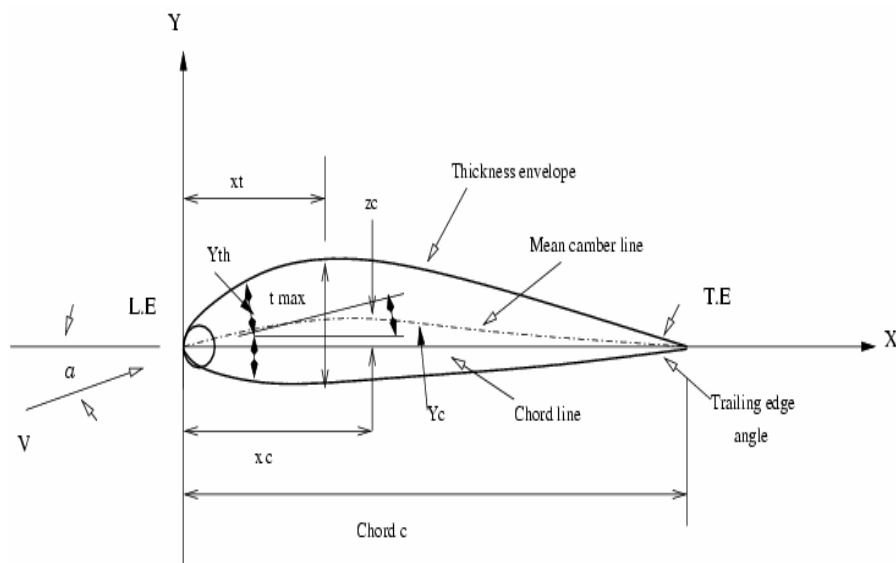
Bentuk propeler yang ideal adalah bentuk *airfoil*, karena bentuk tersebut dapat menyerap energi kinetik angin menjadi energi gerak putar dengan maksimal.

Bentuk penampang *airfoil* telah distandarkan oleh NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*).



Gambar 2.2. Desain penampang *propeler Airfoil NACA 4415* (Sudarsono, 2013)

Airfoil merupakan bentuk penampang dari sayap yang dapat menghasilkan gaya angkat (*lift*) atau efek aerodinamika ketika melwati suatu aliran udara. Airfoil merupakan bentuk dari potongan melintang sayap yang dihasilkan oleh potongan tegak lurus sayap terhadap pesawat, dengan kata lain airfoil merupakan bentuk sayap secara dua dimensi (Raharjo, 2010).



Gambar 2.2. Penampang air foil (sumber : Sudarsono, 2013)

Bagian-bagian dari sebuah *airfoil* adalah :

- *Mean chamber line* adalah garis tengah antara permukaan atas dan bawah dari *airfoil*.
- *Leading edge* adalah titik paling depan pada *mean chamber line*.
- *Trailing edge* adalah titik paling belakang pada *mean chamber line*.
- *Chord line* adalah garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dan *trailing edge*.
- *Chord (c)* adalah jarak antara *leading edge* dan *trailing edge* sepanjang *chord line*.
- *Chamber* (permukaan yang benjol) adalah jarak antara *mean chamber line*, tegak lurus terhadap *chord line*.
- *Thickness* adalah jarak antara permukaan atas dan bawah, juga tegak lurus terhadap *chordline*.
- *Angle of attack* adalah sudut antara angin relatif dengan *chord line*.

2.1.5. Gaya – Gaya Pada Propeler

Saat *propeler* dikenai energi kinetik angin, maka *propeler* mengalami gaya-gaya antara lain:

1. Gaya angkat (*lift forces*), dimana arah gaya angkat tegak lurus terhadap arah datangnya aliran udara (C_l).
2. Gaya geser (*drag forces*), dimana arah gaya geser paralel dengan arah datangnya aliran udara (C_d).
3. Momen puntir (*pitching moment*), dimana arah momen puntir tegak lurus terhadap poros *airfoil* (C_m).

2.2.1. Airfoil NACA 4415

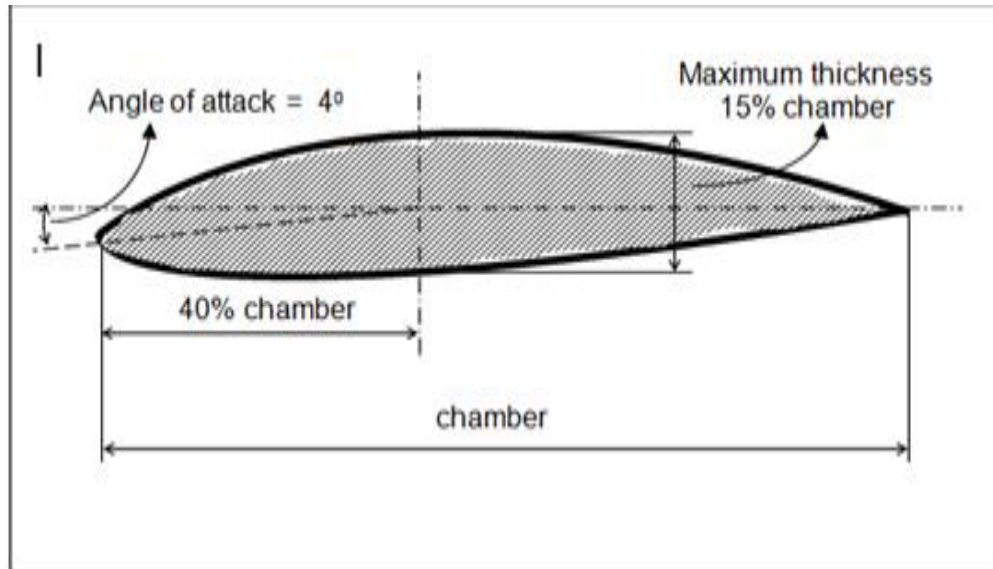
National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) adalah sebuah badan yang membidangi kedirgantaraan di negara Amerika. Unit ini merupakan agen federal yang dimiliki pemerintah Amerika, dimana didirikan pada 3 Maret 1915. *NACA* mempunyai beberapa produk diantaranya adalah (Frank Bertagnolio, dkk, 2001) :

1. *NACA duct*, berupa produk riset dan pengembangan.
2. *NACA Cowling*, yaitu product intake manifold yang digunakan untuk kebutuhan otomotif.
3. *NACA airfoil*, yaitu produk kedirgantaraan dalam bidang airfoil dan dikembangkan lebih lanjut untuk turbin angin.

Salah satu produk airfoil yang dihasilkan adalah *NACA 4415* yaitu airfoil empat digit yang lazim digunakan dalam pengembangan sudu turbin angin. *NACA 4415* ini memuat kode terhadap airfoil yaitu bahwa airfoil dengan berpedoman pada seri ini akan :

- a. Mempunyai sumbu memanjang dengan jarak terhadap *leading edge* sebesar 40% dari panjang chamber.
- b. Mempunyai maximum thickness sebesar 15% dari panjang chamber.
- c. Mempunyai angle of attack sebesar 4° .

Untuk memperjelas uraian di atas berikut ini dicantumkan gambar airfoil NACA 4415, airfoil NACA 4415 dapat dijelaskan pada gambar 2.5 diantaranya sebagai berikut :



Gambar 2.5. Ketentuan Dimensi Airfoil NACA 4415 (www.accessscience.com)

2.2.2. Dasar perhitungan sudu turbin

Penentuan diameter rotor dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa parameter diantaranya besar daya yang ingin dihasilkan, rated wind speed, cut-in speed, dan pertimbangan lain yang berkaitan dengan keindahan, ketersediaan lahan, dan lainnya:

2.2.2.1. Kebutuhan Energi Listrik KWH dalam 1 tahun.

kebutuhan energy per tahun dari masing – masing rumah berbeda, Untuk itu dicari kebutuhan energy rumah rata-rata dengan melakukan estimasi kebutuhan tiap rumah. Estimasi kebutuhan tiap rumah dapat dihitung pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.2. Estimasi Ke2.butuhan Energi Tiap Rumah

No	Barang	Power (Watt)	Jumlah	Pemakaian (Hours)	Total Energi (kWH)
1	Lampu	33,9	2	10	0,678
2	Rice Cooker	77	1	12	0,924
3	Lampu	20	4	12	0,96
4	Pompa Air	100	2	6	1
5	Strika	300	1	4	1,2
6	Dispenser	108	1	24	1,296
7	Tv	150	1	12	1,8
8	Kulkas	120	1	24	2,88
Total					10,738

Pada tabel 2.2 , diperoleh 0,370 kWH dalam 1 hari untuk setiap satu rumah. Penentuan kebutuhan energi tiap rumah akan mempengaruhi perhitungan diameter turbin angin.

2.2.2.2.Perhitungan Kebutuhan Energi dalam 1 tahun tahun

Turbin angin ini dapat menghasilkan energi untuk beberapa rumah. Maka total kebutuhan energy yang diperoleh adalah:

Kebutuhan energi tiap rumah kW dalam 1 hari x jumlah rumah (rumah)

Jika dibutuhkan total kebutuhan energy untuk 1 tahun. Maka dapat dihitung :

Kebutuhan Energi keseluruhan x 365 (1 Tahun)

Sedangkan energy yang tersedia dalam 1 tahun dapat diperoleh :

$$P = \frac{1}{2} \times C_p \times A \times \rho \times v^3 \dots \dots \dots 1$$

Keterangan :

P = Energi yang tersedia (Watt)

¹Djoyodihardjo,H,Wind Energy System,Alumni,hal 488

- C_p = Koefisien daya rotor (Coefficient of Power)
- A = Daya luasan tiap m² (m²)
- ρ = Massa jenis udara (kg/m³)
- v = Kecepatan angin yang dihitung selama 1 tahun berdasarkan survei (m/s)

Jika energi yang tersedia masih dalam satuan Watt/m², untuk menjadi kW/m².year maka :

$$P \times 24 \times 365 = \dots \text{ kW/m}^2.\text{year}$$

2.2.2.3. Energi yang Tersedia KW/m²

Kecepatan angin rata-rata di Indonesia relatif lebih kecil dibandingkan di Amerika maupun Eropa. Oleh karena itu kecepatan angin rancangan rotor turbin angin diharapkan lebih kecil dari 12 m/s. Penentuan kecepatan angin rancangan untuk rotor turbin angin Indonesia juga masih dipengaruhi oleh tempat atau daerah dimana turbin angin akan dipasang. Secara umum daerah pemasangan turbin angin dapat dibagi menjadi 2, yaitu daerah daratan dan daerah pantai. Pada umumnya daerah pantai mempunyai kecepatan angin rata-rata lebih tinggi dibandingkan daerah daratan. Rotor turbin angin yang akan dipasang di daerah pantai Indonesia dapat dirancang pada kecepatan angin rancangan 3 m/s s.d. 6 m/s. Data kecepatan angin wilayah ditunjukkan pada gambar di bawah ini (Harijono Djodjodhardjo & Darwin Sebayang, 1981):

Tabel 2.3. Values Of $k, c, \tilde{v}_{weibull}$ and \tilde{v}_{calc} .

NO.	SITE	METHOD*	k	C (m/sec)	$\tilde{v}_{weibull}$ (m/sec)	\tilde{v}_{calc} (m/sec)
1	SUMBAWA BARAT	1	2.85	3.40	3.77	3.42
		2	1.55	3.80		
		3	1.75	3.1		
2	CILAUT-EUREUN	1	2.1	4.34	5.82	3.82
		2	1.92	4.32		
		3	1.7	6.1		
3	PENFUI	1	1.44	5.72	5.06	5.19
		2	1.49	5.7		
		3	1.49	5.6		
4	DENPASAR	1	1.6	4.46	3.42	3.99
		2	1.7	4.48		
		3	1.57	3.8		
5	MADIUN	1	1.7	4.83	5.47	4.30
		2	1.7	4.82		
		3	1.6	4.5		
6	KALIANGET	1	1.8	3.69	3.07	3.28
		2	1.35	3.57		
		3	1.7	3.4		

Berdasarkan gambar diatas, kecepatan angin rancangan dipilih pada kota madiun dikarenakan lebih dekat dari kota semarang. Kecepatan rancangan angin di madiun 4,30 m/s akan membutuhkan diameter rotor yang jauh lebih besar. Dengan demikian, pemilihan rancangan 4,30 m/s untuk daerah daratan Indonesia dianggap cukup masuk akal. Ketersediaan per tahun juga diperlukan dalam pembuatan rotor turbin angin.

2.2.2.4. Perhitungan Diameter

Dari persamaan diatas, maka luas rotor dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$A = \frac{\text{kebutuhanenergi per kW.year}}{\text{energi yang tersedia per kW.year/m}^2} \dots\dots\dots 2$$

Dalam kasus rotor sumbu horizontal, diameter rotor menjadi:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi}} A$$

1. 2.3. Pembuatan Rotor

Pembuatan rotor dimulai dari menentukan diameter rotor blade. Perhitungan diameter rotor blade akan dicantumkan pada bab III. Setelah diameter rotor sudu, tahap selanjutnya adalah pembuatan desain airfoil. Setelah desain terbentuk, dilakukan rencana pembuatan cetakan dan melakukan pengecoran. Tahap pembuatan cetakan dibahas pada pembahasan dibawah:

2.3.1. Pembuatan Cetakan sampai Pembersihan Cetakan Setelah

Pengecoran

Proses pembuatan cetakan dimulai dari proses pembuatan cetakan awal sampai dengan pencucian blade. Semua proses pembuatan cetakan akan dibahas lebih lanjut dibawah ini:

1. Pembuatan dari bahan mentah

Pembuatan cetakan blade pertama membuat susunan triplek yang di bentuk persegi panjang sebagai dasar dari pembuatan seluruh cetakan baik upper maupun lower. setelah triplek persegi panjang tersebut terpotong kemudian di ukur sesuai dengan desain cetakan luar yang ada pada desain yaitu untuk upper dan lower nya. setelah triplek di potong sesuai ukuran kemudian diberi tanda

per 450 mm atau 45 cm untuk tanda pemberian sekat airfoil seperti pada desain. kemudian proses selanjutnya akan diteruskan pada proses pembuatan sekat airfoil. Pembuatan cetakan airfoil yaitu dengan cara membuat papan triplek menjadi persegi panjang kemudian dari papan tersebut airfoil yang telah dibuat dimalkan pada papan tersebut. Setelah mal terbentuk bagian airfoil yang terbentuk di papan itu dilubangi sesuai dengan bentuknya. Setelah itu papan persegi panjang tersebut di belah menjadi dua agar mendapatkan sekat airfoil upper dan lower yang akan disatukan pada papan panjang yang sebelumnya agar menjadi cetakan upper dan lower.

2. Proses pengecoran

Langkah awal yaitu pelapisan pertama dengan menggunakan *Wax*. *Wax* yang digunakan merupakan *Wax* khusus untuk cetakan komposit yaitu *mirror glaze* buatan Amerika. *Wax* berfungsi agar pada saat pelepasan cetakan lebih mudah dan tidak lengket. Selanjutnya pelapisan menggunakan resin Resin BQTN 157 yang dicampur dengan pewarna kuning yang fungsinya agar dapat dibedakan antara cetakan dengan blade yang akan dibuat. Selanjutnya pelapisan menggunakan 10 lapisan fiberglass ditambah dengan menggunakan resin Resin BQTN 157 yang dicampur dengan katalis, katalis berfungsi sebagai pengeras lapisan yang akan dicampur dengan resin BQTN 157. Setelah cetakan *upper lower* disatukan dan diklem selanjutnya didiamkan sampai kering hingga cetakan terbentuk sempurna kemudian setelah kering sempurna pembongkaran cetakan bagian atas dengan bawah

3. Selanjutnya, proses pembongkaran cetakan atas dan bawah

Kedua cetakan tersebut dijemur terlebih dahulu agar mudah dilepas antar keduanya. Setelah dijemur kemudian cetakan di pisahkan yang kemudian akan dicuci dengan sabun agar PVA (Polyvinyl Alcohol) yang melekat pada cetakan mudah hilang. Selanjutnya proses perataan sisi pada cetakan agar tidak berbahaya pada saat pembuatan blade karena komposit tersebut sangat tajam. Selanjutnya adalah pengeboran pada sisi cetakan yang digunakan untuk penyatuan cetakan atas dan bawah pada saat pembuatan blade.

3. Pencucian Cetakan Blade

Pencucian dilakukan dengan cara membersihkan bagian cetakan atas dan cetakan bawah, pencucian menggunakan air dengan sabun cuci hingga bersih agar saat pembuatan rotor blade lebih mudah dilakukan.

2.3.2. Rencana Pengecoran

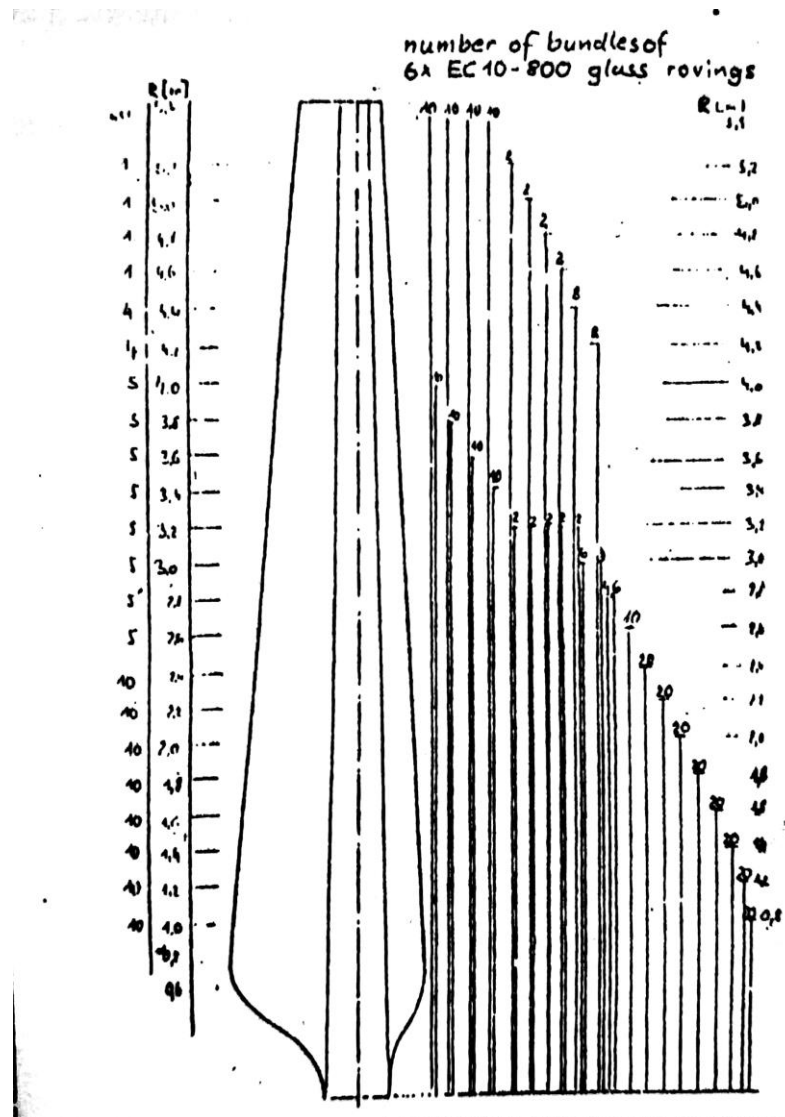
Setelah cetakan blade terbentuk, langkah selanjutnya adalah melakukan rencana pengecoran. Beberapa langkah dalam melakukan rencana pengecoran adalah :

1. Pemilihan Bahan

Bentuk rotor yang akan dibuat menggunakan bahan serat fiber meliputi : woven roving, mat, Dept OZ fiber. Bahan matriks(pengisi) meliputi : resin BQTN,, katalis, talk. Dari pemilihan bahan tersebut serat fiber disusun menjadi single layer atau satu lapis dan diberi matriks, kemudian dari single layer tersebut disusun menjadi *unidirectional lay up* (lapisan searah) dan *multidirectional lay up* (lapisan berbagai arah) yang nantinya diberikan tekanan atau *pressure* sesuai dengan urutan rencana

3. Rencana Pemasangan Serat pada Rotor Blade

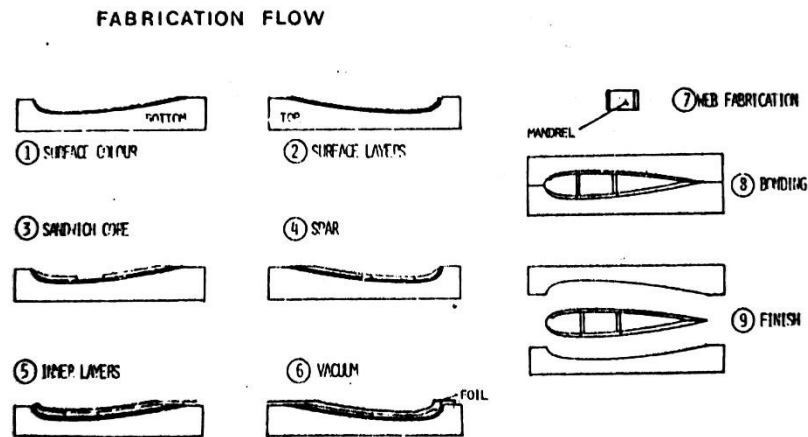
Perencanaan serat pada rotor blade berfungsi untuk mengetahui jarak dan berapa lapis serat yang akan dipasang. Rencana pemasangan serat pada rotor blade dijelaskan pada gambar 2.8:



Gambar 2.8. Rencana Pemasangan serat

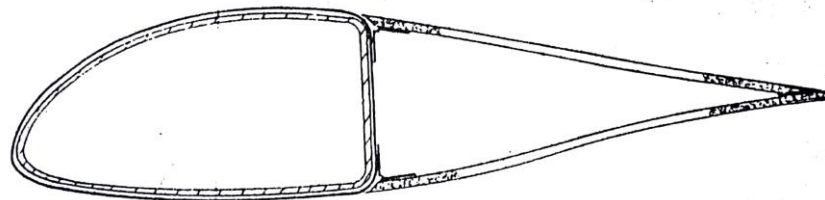
2.3.3. Pengecoran Rotor Blade

Proses pengecoran rotor blade dimulai dari proses pemberian wax pada cetakan sampai proses finishing. Urutan proses pengecoran rotor blade berdasarkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.9. Urutan Proses Pengecoran

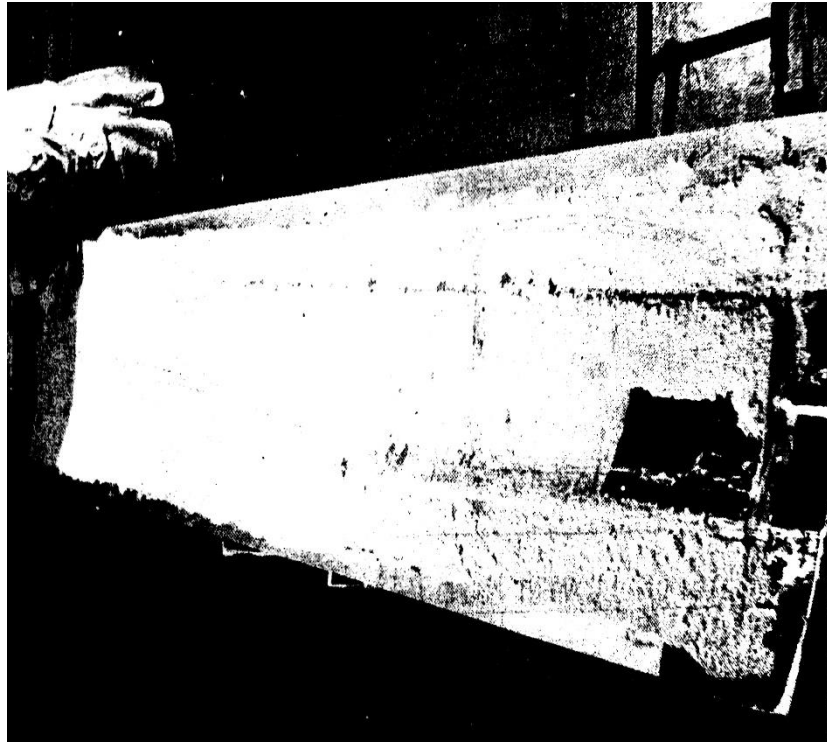
Sudu yang digunakan adalah airfoil NACA 4415. Adapun bentuk airfoil NACA 4415 adalah sebagai berikut:



Gambar 2.10. Bentuk Airfoil NACA 4415

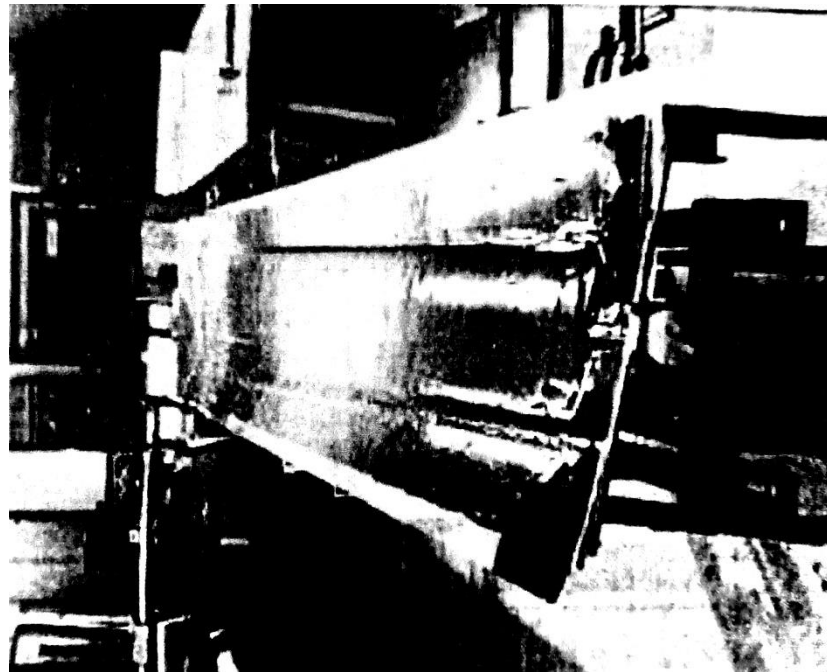
Setelah langkah pemberian *wax*, langkah selanjutnya adalah pelapisan serat pengecoran. Serat yang digunakan adalah *Dept OZ*, *woven roving*, dan *mat*. Sedangkan sebagai bahan pengikatnya adalah dengan menggunakan resin dan katalis dengan perbandingan 1000 ml : 25 ml. langkah pengecoran adalah sebagai berikut :

1. Pemasangan Serat Cetakan Atas Bawah



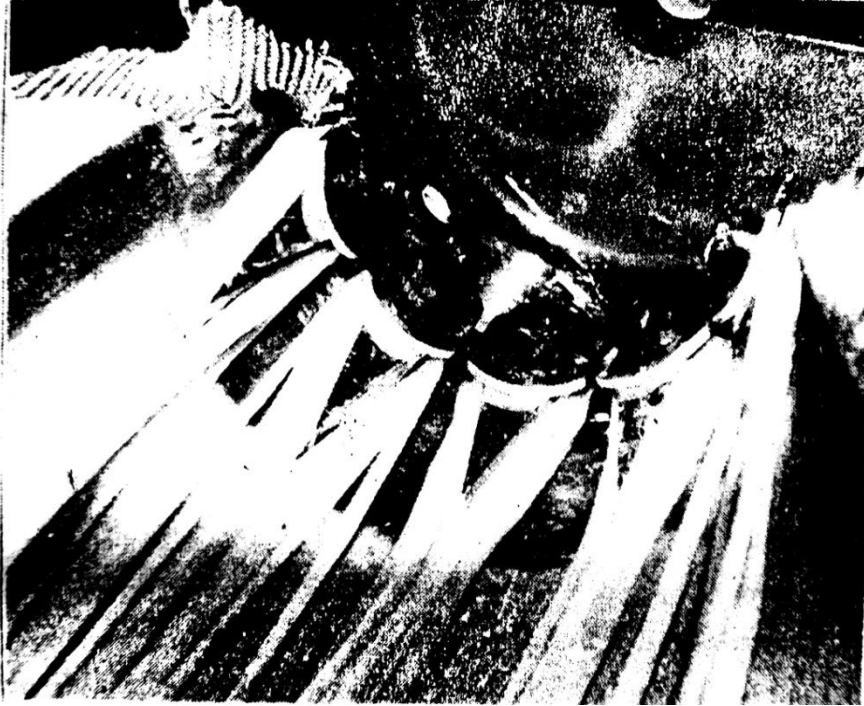
Gambar 2.11. Pemasangan Serat Pada Cetakan

2. Pemberian Resin dan Katalis



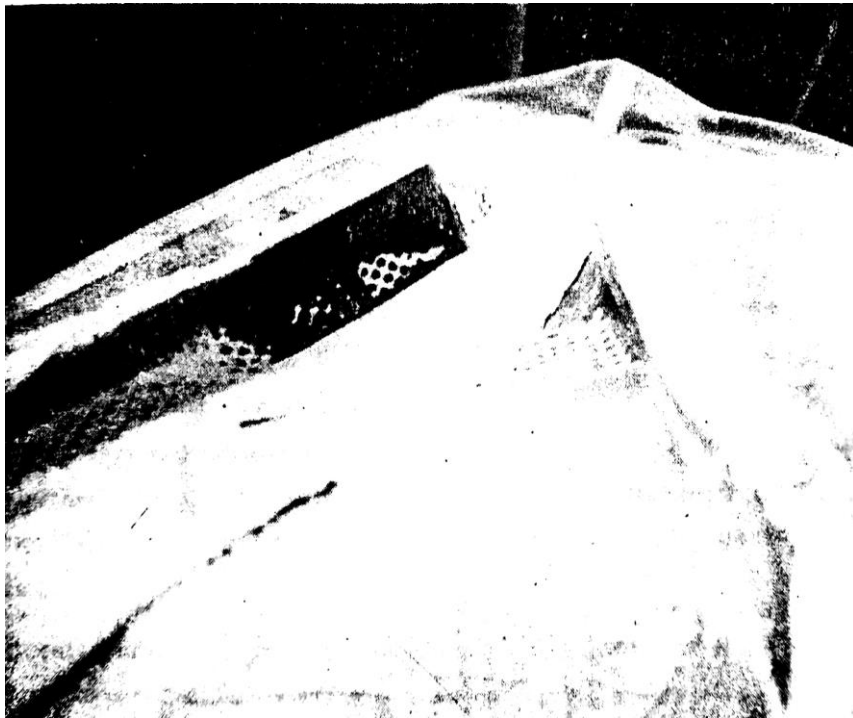
Gambar 2.12. Pemberian Resin dan Katalis

3. Pemasangan Flanges Hub



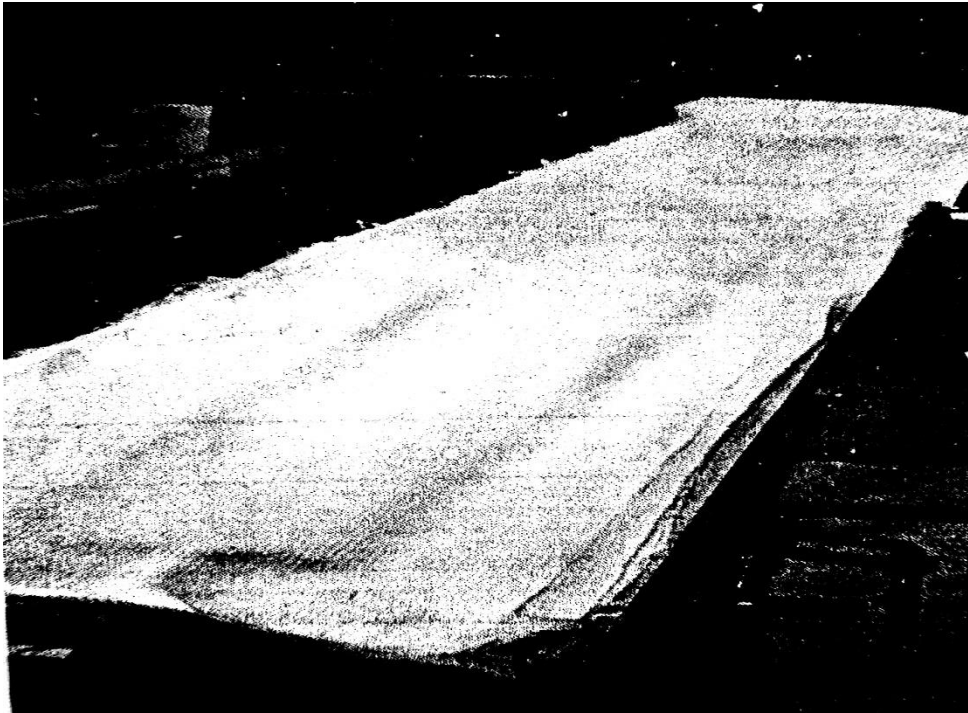
Gambar 2.13. Pemasangan Flanges Hub

4. Penyeratan Kembali



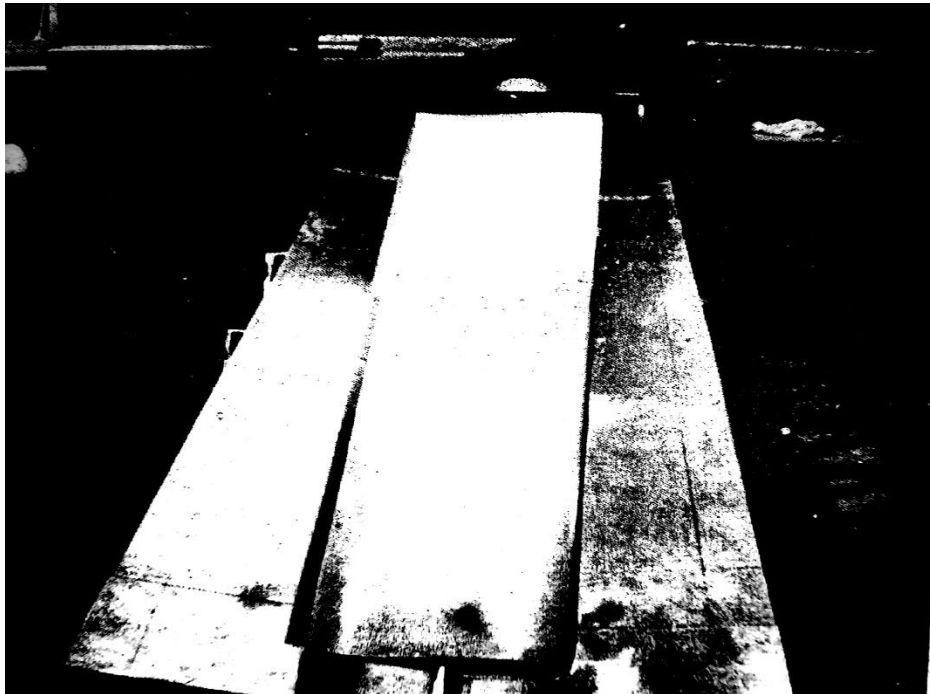
Gambar 2.14. Penyeratan Kembali

5. Penggabungan cetakan



Gambar 2.15. Penggabungan Cetakan

6. Pelepasan Cetakan dan Finishing



Gambar 2.16. Pelepasan Cetakan dan Finishing