

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Angin adalah salah satu bentuk energi yang tersedia di alam, Pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin kincir angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator di belakang bagian turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan (Saputra, 2016).

Dahlan (2016), menjelaskan *Blade* (Bilah) turbin angin merupakan perangkat keras utama yang terpenting pada turbin angin dan berfungsi untuk mengkonversikan sebagian tenaga angin menjadi tenaga mekanik. Bahan *blade* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu memakai jenis bahan kayu. Kayu sebagai hasil hutan sekaligus hasil sumber kekayaan alam, merupakan bahan mentah yang mudah diproses untuk dijadikan barang sesuai dengan kemajuan teknologi. Kayu dapat didefinisikan sebagai suatu bahan yang diperoleh dari hasil pemungutan pohon-pohon di hutan, sebagai bagian dari suatu pohon.

Arisandi, dkk (2019), menjelaskan bahwa *Blade* turbin angin memakai jenis *airfoil* NACA 4412 berbahan kayu *taperless* yang dalam perancangan dikatakan jenis bentuk yang ideal untuk digunakan sebagai kincir angin. Menggunakan jumlah *blade* sebanyak 3 buah, dengan lebar *blade* 7 cm, panjang *blade* 40 cm dan tebal *blade* 1,3 cm. Kecepatan angin sangat mempengaruhi energi yang dihasilkan oleh turbin, makin kencang kecepatan angin yang dimiliki angin alam dan buatan akan memberikan besarnya tegangan, arus yang dihasilkan. Pada *blade* bahan kayu saat pengujian angin alami *blade* bisa berputar sendiri saat kecepatan angin 6 m/s, sedangkan pada angin buatan pada jarak 80 cm dengan kecepatan angin sebesar 5,3 m/s.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Turbin Angin

Turbin angin dalam bahasa sederhana kincir angin yang merupakan turbin yang digerakkan oleh angin, yaitu udara yang bergerak di atas permukaan bumi. Turbin angin pada awalnya juga dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, memompa air dan menggiling jagung. Penggunaan turbin angin terus mengalami perkembangan guna memanfaatkan energi angin secara efektif, terutama pada daerah-daerah dengan aliran angin yang relatif tinggi sepanjang tahun. Seperti Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan *Windmill*. Dapat dikelompokkan menjadi dua berdasarkan sumbu turbin terhadap arah angin yaitu: Turbin Angin Sumbu Horizontal (HAWT) dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT).

Turbin angin mengambil energi angin dengan menurunkan kecepatannya. Untuk bisa mencapai daya yang efisien, maka sebuah turbin angin harus menahan angin 100%.

Secara teoritis daya yang dapat di ekstrak oleh turbin angina adalah:

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.1)$$

Dimana P_t adalah daya teoritis, v kecepatan angin, ρ kerapatan udara, dan A luas permukaan.

Sebuah turbin angin yang optimal adalah sebuah turbin angin yang memiliki koefisien daya yang mendekati dengan batas Betz ($C_p \text{ maks} = 16/17 = 0,593$). Semakin besar daya analitik yang didapatkan maka semakin besar pula koefisien dayanya. Koefisien daya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_a}{P_t} \quad (2.2)$$

Untuk mengetahui nilai C_p maksimal yang mampu dihasilkan oleh sebuah turbin angin, maka perlu diketahui nilai *Tip Speed Ratio* yang dihasilkan. *Tip Speed Ratio* (λ) adalah perbandingan antara kecepatan pada ujung/*tip* turbin dengan kecepatan angin, ditulis secara matematik, yaitu:

$$\lambda = \frac{mr}{v} \quad (2.3)$$

Dimana λ adalah *Tip Speed Ratio* (TSR), adalah kecepatan putar sudu (rad/s), R adalah jari – jari turbin (m), dan v adalah kecepatan angin (m/s). Energi kinetik untuk suatu massa angin yang bergerak dengan kecepatan yang nantinya akan diubah menjadi poros dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2} \rho \cdot v \quad (2.4)$$

Dimana:

- E : Energi Kinetik (watt)
- ρ : Masa Jenis Udara (kg/m^3) (ketepatan $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$)
- v : Kecepatan Angin (m/s)

Untuk menentukan nilai daya, arus dan tegangan yang diperoleh menggunakan generator, menggunakan rumus persamaan berikut:

$$P = V \times I \quad (2.5)$$

Dimana:

- P : Daya (Watt)
- V : Tegangan (Volt)
- I : Arus (Ampere)

Efisiensi turbin, daya generator dibagi daya angin, dapat diperoleh persamaan:

$$\eta = \frac{P_g}{P_A} \times 100\% \quad (2.6)$$

Dimana:

- η : Efisiensi Turbin (%)
- P_g : Daya Generator (Watt)
- P_A : Daya Angin (Watt)

2.2.2 Turbin Angin Poros Vertikal (VAWT)

Turbin angin poros vertikal (VAWT) merupakan turbin yang baling-balingnya tersusun secara vertikal. Turbin angin vertikal merupakan angin yang pertama selalu dikembangkan dan juga telah dibangun dan dioperasikan pada skala pencocokan sebagian dari turbin angin terbesar yang pernah dibuat. Turbin angin

poros vertikal pada prinsipnya yaitu dapat mencapai koefisien dari kinerja, C_p maksimum yang sama dengan turbin angin poros horizontal.

Kelebihan dari turbin angina poros vertikal adalah cross aliran karena menerima angina dari segala arah. Dengan demikian, pada prinsipnya turbin angina poros vertikal tidak memerlukan mekanisme yaw untuk penyesuaian datangnya arah angina seperti turbin angin poros horizontal. Keuntungan lain dari turbin angina poros vertikal adalah bahwa beban mekanis dapat terhubung langsung ke poros rotor VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*) dan terletak di lantai dasar. Turbin angin poros vertikal juga tidak memerlukan menara yang besar untuk mendukung berat peralatan seperti *gearbox*, generator yang bisa ditempatkan di dekat tanah sehingga memudahkan dalam perawatan.

2.2.3 Turbin Angin Poros Horizontal (HAWT)

Turbin angin poros horizontal merupakan turbin angin yang terdiri dari sebuah menara dimana puncaknya terdapat generator listrik dan baling-baling yang berfungsi sebagai rotor serta menghadap arah angin. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah *gearbox* yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan.

2.2.4 Blade

Blade merupakan bagian penting dalam suatu sistem turbin angin sebagai komponen yang berinteraksi langsung dengan angin. Secara umum terdiri dari dua tipe yaitu *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). *Blade* terdiri dari beberapa bagian, yaitu seperti berikut:

- a. Radius (jari-jari *blade*)

$$r = 0.25 \left[\left(\frac{R-0.25}{n} \right) (\text{elemen}) \right] \quad (2.7)$$

b. *Chord* (lebar *blade*)

$$Cr = \frac{16\pi.R\left(\frac{R}{r}\right)}{9x^2.\beta.Cl} \quad (2.8)$$

Berdasarkan desain *blade* mempunyai tiga jenis bentuk yaitu:

- a. *Taper* (mengecil keujungnya)
- b. *Tapperless* (pangkal dan ujungnya memiliki lebar yang sama)
- c. *Inverse-taper* (membesar keujungnya)

Ketiga *blade* ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, diantaranya sebagai berikut.

Tabel 2.1 Kekurangan dan kelebihan jenis *blade*

Jenis <i>Blade</i>		
<i>Taper</i>	<i>Taperless</i>	<i>Inverse-taper</i>
Kelebihan		
1. Jenis yang paling baik untuk profil NACA 4412. 2. Cocok untuk kecepatan angin yang tinggi. 3. Mempunyai kemampuan menangkap putaran tinggi di awal.	1. Memiliki bentuk yang mudah dalam pembuatannya. 2. Memiliki nilai efisiensi yang ideal. 3. Cocok untuk kondisi angin berkecepatan 5-10 m/s.	1. Dapat berputar pada kecepatan angin yang rendah. 2. Dapat menghasilkan nilai C_p yang lebih baik.

Tabel 2.1 Kekurangan dan kelebihan jenis *blade* (Lanjutan)

Jenis <i>Blade</i>		
<i>Taper</i>	<i>Taperless</i>	<i>Inverse-taper</i>
Kekurangan		
1. Memiliki bentuk yang cukup sulit untuk dibuat. 2. Kurangnya kemampuan blade dalam menghasilkan daya.	1. Efisiensi bilah lebih kecil dari bilah <i>taper</i> .	1. Memiliki nilai efisiensi paling kecil.

Setelah mengetahui jenis-jenis *blade* dapat dilakukan perancangan sesuai dengan bentuk yang kita inginkan. Dalam merancang suatu *blade* ada beberapa aspek yang perlu di pahami. Yaitu:

- a. Mekanika fluida
- b. Aerodinamika
- c. Material

Dengan memahami mekanika fluida dan aerodinamika maka terdapat beberapa parameter dalam perancangan suatu *blade*, seperti:

- a. *Tip Speed Ratio* (TSR), adalah perbandingan antara kecepatan linier putaran ujung bilah dengan kecepatan angin. Semakin besar nilai TSR maka semakin cepat juga putaran ujung blade.

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v} \quad (2.9)$$

Dengan λ merupakan *tip speed ratio*, D adalah diameter rotor, n adalah putaran rotor dan v adalah kecepatan angin.

- b. *Airfoil*, bentuk desain ujung *blade* berdasarkan gaya angkat dan dorong (*lift and drag forces*) *blade* terhadap aliran udara yang melewatinya. Saat ini ada beraneka ragam desai *airfoil*
- c. *Twist*, sudut puntir (β) pada *blade* antara *Chord line* dengan bidang rotasi rotor $\beta = \phi - \alpha$ (2.140) (2.10)

- d. *Angel of attack* (α), sudut antara gerakan alir udara dengan *chord line*. Rasio α yang paling baik dan umumnya di gunakan adalah 4°
- e. *Power Coefficient* (C_p), adalah kemampuan bilah untuk menyerap energi angin yang diterimanya. Semakin besar nilai C_p maka semakin besar juga kemampuan suatu turbin untuk mengonversikan energi angin yang diperolehnya menjadi energi mekanik. Berdasarkan teori Betz nilai maksimum power coefficient sebesar 59,3%.

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{\frac{1}{4}\rho A(v_1^2 - v_2^2)(v_1 - v_2)}{\frac{1}{2}\rho v_1^3 A} \quad (2.11)$$

Dengan c_p merupakan koefisien daya (*power coefficient*), dan P adalah daya mekanik yang dihasilkan rotor dan P_0 merupakan daya mekanik total yang terkandung dalam angin melalui A .

- f. Panjang *blade*, untuk menentukan seberapa banyak energi angin yang dapat diperoleh berdasarkan luas area sapuan *blade*.

2.2.5 Generator

Generator adalah salah satu mesin listrik yang bekerja berdasarkan energi gerak/mekanik dan mengubahnya menjadi energi listrik yang dapat di manfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Generator menggunakan prinsip eksperimen *Faraday* yang memutar medan magnet secara relatif terhadap kumparan atau sebaliknya. Ketika medan magnet digerakkan perbedaan potensial antara ujung kumparan. Perubahan fluksi magnetin dapat di akibatkan oleh gerakan yang memanfaatkan sumber energi eksternal, seperti angin atau air yang memutar bilah turbine yang terkopel dengan generator.

Generator induksi merupakan salah satu jenis generator AC yang menerapkan kebalikan prinsip motor induksi untuk menghasilkan tenaga. Generator induksi dioperasikan dengan menggerakkan rotor lebih cepat dari pada kecepatan sinkronnya yang mengakibatkan slip negatif. Generator induksi menerapkan prinsip induksi elektromagnetik dalam operasinya. Meskipun demikian dengan modifikasi tertentu, generator ini dapat juga bekerja dengan kecepatan rendah dan kecepatan tidak tetap. Sehingga generator induksi banyak digunakan pada pembangkit listrik tenaga angin.

Adapun prinsip pembangkitan tegangan pada generator adalah jika sebuah konduktor diputar memotong medan magnet, maka pada penghantar tersebut akan dibangkitkan tegangan sebesar.

$$e = B \cdot I \cdot v \quad (2.12)$$

Dengan:

e = Induksi tegangan yang dibangkitkan (*volt*)

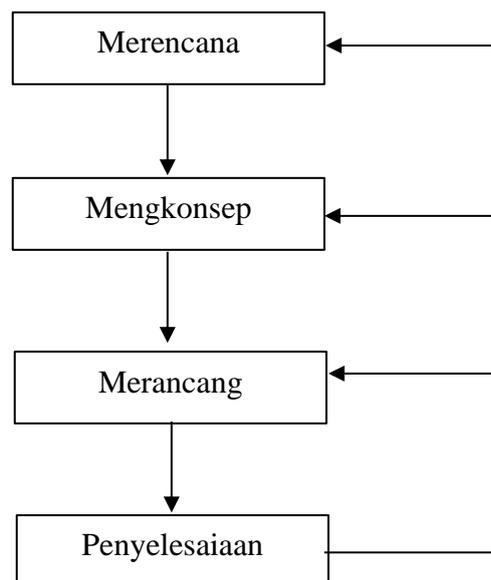
B = Fluksi magnetik (*wb*)

I = Panjang penghantar (*m*)

v = Kecepatan putaran rotor (*m/s*)

2.2.6 Metode Perancangan VDI 2222

Dalam proses perancangan ini penulis menggunakan metode menurut VDI 2222. Perancangan dengan menggunakan metode VDI 2222 (Verein Deutcher Ingenieure) menurut Gerhard Pahl dan Wolfgang Beitz dalam bukunya *Engineering Design: A Systematic Approach* merupakan salah satu metode dengan pendekatan sistematis untuk menyelesaikan permasalahan serta mengoptimalkan penggunaan material dan teknologi (Harsoekoesoemo, 2004). Tahap perancangan menurut VDI 2222 ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Perancangan menurut VDI 2222 (Pahl, G., dkk. 2007)

Uraian tahapan perancangan menurut VDI 2222 adalah sebagai berikut:

a. Merencana

Sebuah proses merencanakan desain yang akan dibuat. Tahap ini berisi tentang masukan desain dan rencana realisasi desain tersebut. Tahap ini sama dengan tahap input desain dan rencana desain.

b. Mengkonsep

Memberikan sketsa dan spesifikasi teknis terhadap ide desain yang sudah ditetapkan. Spesifikasi perancangan berisi syarat-syarat teknis produk yang disusun dari daftar keinginan pengguna yang dapat di ukur.

c. Merancang

Memberikan desain wujud dan desain rincian terhadap ide desain. Ide ini sudah melewati analisa, pemilihan dan penentuan ide desain.

d. Penyelesaian

Melakukan *finishing* terhadap rancangan desain, dengan melakukan verifikasi terhadap konsumen/*marketing* dan menyiapkan dokumen untuk disampaikan kepada lini produksi.

2.2.7 Gambar Teknik

Gambar merupakan sebuah alat untuk menyatakan maksud dari seorang perancang. Fungsi gambar adalah Bahasa teknik dan pola informasi, tugas gambar digolongkan dalam tiga golongan berikut:

- a. Penyampai Informasi
- b. Pengawet, penyimpanan dan penggunaan keterangan
- c. Cara-cara pemikiran dalam penyajian informasi

Gambar Teknik juga mempunyai tujuan-tujuan gambar sebagai berikut:

1. Internasional gambar
2. Mempopulerkan gambar
3. Perumusan gambar
4. Sistematika gambar
5. Penyederhanaan gambar
6. Modernisasi gambar

2.2.8 *Balancing*

Sebuah komponen yang berputar mempunyai gaya sentrifugal, dan gaya sentry fugal inilah yang menimbulkan adanya getaran pada sebuah komponen. Dan untuk itu perlu dilakukan penyeimbangan (*balancing*). *Balancing* adalah proses yang dilakukan untuk membuat sebuah komponen yang berputar tersebut seimbang (*balance*), sehingga tidak mengalami getaran yang berlebihan dan sesuai dengan standar yang telah ditentukan (Khoiron, Syaiful. 2018)

2.2.9 *SolidWorks*

Solidworks adalah salah satu *Computer Aided Design (CAD) software* yang dibuat oleh *Dassault Systems* digunakan untuk merancang *part* permesinan atau susunan *part* permesinan yang berupa *assembling* dengan tampilan 3D untuk mempresentsikan *part* sebelum *real part* nya dibuat atau tampilan 2D (*drawing*) untuk gambar proses pemesinan. *Solidworks* mempunyai tiga *mode* untuk merancang, yaitu:

1. *Part*

Mode part berfungsi untuk menggambar *sketch* 2D dan 3D komponen-komponen yang akan dibuat.

2. *Assembly*

Mode assembly berfungsi untuk merakit atau menggabungkan komponen yang sudah digambar pada *mode part*.

3. *Drawing*

Mode drawing berfungsi untuk membuat gambar *detail* dari komponen yang sudah digambar pada *mode part* dan *mode assembly*.

2.2.10 *Elemen Mesin*

Elemen mesin merupakan ilmu yang mempelajari bagian-bagian mesin, sisi bentuk komponen, cara kerja, cara perancangan dan perhitungan kekuatan dari komponen tersebut (Sularso dan Suga, 2008).

1. Poros

Elemen poros merupakan elemen utama pada sistem transmisi putar yang dapat berfungsi sebagai pembawa, pendukung putaran dan beban, pengatur gerak

putar menjadi gerak lurus (Firdaus, 2013). Berikut perhitungan yang di gunakan dalam perancangan poros yaitu:

- a. Menghitung momen gaya pada poros (M).

$$M = F \times S \quad (2.13)$$

Dimana:

M = Momen (N.mm)

F = Gaya (N)

s = Jarak dari titik ke titik (mm)

- b. Menghitung diameter poros (d_s)

$$d_s \geq \left[\frac{5,1}{\tau_a} \sqrt{(K_m \times m)^2 + (K_t \times T)^2} \right]^{1/3} \quad (2.14)$$

Dimana:

d_2 = Diameter poros (mm)

K_t = Faktor koreksi momen puntir

K_m = Faktor koreksi momen lentur

T = Momen puntir rencana (kg.mm)

C_b = Faktor koreksi lentur

M = Momen (kg.mm)

τ_a = Tegangan geser (kg/mm^2)

2. Bantalan

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan panjang umur. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. (Sularso, 2004)

2.2.11 Software Q-Blade

Qblade adalah perangkat lunak perhitungan turbin angin open source. Integrasi fungsi XFOIL/XFLR5 memungkinkan pengguna untuk dengan cepat mendesain airfoil custom dan menghitung polar kinerja airfoil dan langsung mengintegrasikannya ke dalam desain dan simulasi rotor turbin angin. Perangkat lunak ini memadai karena ia menyediakan desain dan kemampuan simulasi untuk desain rotor HAWT dan VAWT. Menunjukkan semua hubungan mendasar konsep

desain, kinerja turbin dengan cara yang mudah dan intuitif. *Q-blade* juga mencakup fungsi

pemrosesan pasca luas untuk simulasi rotor dan turbin, dan memberikan wawasan mendalam ke semua variabel *blade* dan rotor yang relevan. Dalam sub-modul desain dan optimisasi *blade*, pengguna dapat membuat rotorblade. *Blade* terdiri dari sejumlah bagian yang berubah-ubah. Setiap Bagian didefinisikan oleh posisi, *chord*, *twist*, *airfoil* dan 360° polar terkait. *Blade* baru hanya dapat dibuat ketika ada setidaknya satu objek 360° polar hadir dalam database runtime dan hanya bisa disimpan ketika *airfoil* dan kutub dipilih di setiap elemen. Jumlah bilah rotor harus ditentukan untuk setiap bilah rotor. Jari-jari hub harus ditentukan, yaitu posisi di mana pangkal bilah terhubung ke hub turbin. Radial posisi sudu dapat didefinisikan dalam koordinat sudu tempat kedudukan adalah jarak dari rotor *blade*, atau dalam koordinat absolut tempat posisi adalah jarak total dari pusat hub turbin. Bilah nada opsi menambahkan diimbangi dengan putaran rotor *blades* di setiap bagian *blade*. Ketika desain pisau selesai pengguna dapat mengeksport geometri *blade* baik sebagai *cloud of points* atau dalam format file. (David, dkk 2013)

2.2.12 Proses Produksi

Definisi produksi adalah suatu proses yang terdapat kegiatan pengolahan bahan mentah (input), dengan serangkaian tahapan-tahapan untuk menghasilkan produk (output), yang lebih bernilai maknanya. Sedang pengertian dari produk itu sendiri adalah hasil akhir dari proses pengolahan. Sedangkan menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia: “Produk adalah barang atau jasa yang dibuat dan ditambahkan gunanya atau nilainya dalam proses produksi dan menjadi hasil akhir dari proses produksi itu (Noviyasari, C, 2013)

1. Proses Bubut

Proses bubut merupakan salah satu dari berbagai macam proses permesinan, proses permesinan sendiri adalah proses pemotongan logam yang bertujuan untuk mengubah bentuk suatu benda kerja dengan pahat potong yang dipasang pada mesin perkakas. Jadi proses bubut dapat didefinisikan sebagai proses permesinan yang biasa dilakukan pada mesin bubut karena pahat bermata potong tunggal pada mesin

bubut bergerak memakan benda kerja yang berputar, dalam hal ini pahat bermata potong tunggal adalah gerak potong dan gerak translasi pahat adalah gerak makan (Rochim dan Taufiq, 1993)

Peralatan yang digunakan untuk proses antara lain jangka sorong, high gauge, mesin bubut dan perlengkapannya, pahat bubut, kunci L, kaca mata.

- a. Kecepatan potong (Rochim dan Taufiq, 1993)

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000}$$

Keterangan:

V_c = kecepatan potong (m/menit)

n = putaran 17 angka 17 (rpm)

d = diameter benda kerja (mm) = $(d_o + d_m) / 2$

d_o = diameter awal (mm)

d_m = diameter akhir (mm)

- b. Kecepatan makan (Rochim dan Taufiq, 1993)

$$V_f = f \times n$$

Keterangan:

V_f = kecepatan makan (mm/menit)

f = gerak makan (mm/putaran)

n = putaran spindel (rpm)

2. Proses Pengelasan

Las adalah cara penyambungan dua benda padat melalui pencairan dan perpaduan dengan menggunakan panas. Berdasarkan terminology di atas, maka berlaku dua syarat yang menentukan dalam pengelasan, yakni:

- a. Bahan yang disambung harus dapat mencair oleh panas dan bahan yang disambung harus cocok (compatible) satu dengan yang lainnya.
- b. Penyambungan dua buah bahan yang tidak cocok harus menggunakan bahan antara yang cocok bagi kedua bahan yang akan disambung.

3. Proses perakitan

Alfadhilani (2009), proses perakitan adalah proses penggabungan dari beberapa bagian komponen untuk membebtuk suatu konstruksi yang diinginkan.

Proses perakitan untuk komponen-komponen dominan terbuat dari pelat-pelat tipis dan pelat tebal ini membutuhkan teknik-teknik perakitan tertentu yang biasanya dipengaruhi oleh beberapa faktor. Diantaranya faktor-faktor yang paling berpengaruh adalah:

- a. Jenis bahan yang akan dirakit
- b. Pemilihan metode penyambungan yang tepat.
- c. Pemilihan metode penguatan pelat yang tepat.
- d. Penggunaan alat-alat bantu perakitan.
- e. Toleransi yang diinginkan.
- f. Keindahan bentuk
- g. Ergonomis konstruksi.

4. Proses finishing

Maran Zevy (2007) *finishing* adalah proses terakhir dalam pembuatan suatu produk dengan cara merapihkan dan melapisi hasil produk dengan cat yang bertujuan agar produk terlihat lebih menarik. Adapun alat-alat yang di gunakan pada proses *finishing* sebagai berikut:

a. *Spray gun*

Spray gun adalah alat yang berfungsi untuk mencampur bahan cat dengan udara dan kemudian menyemprotkan cairan cat pada permukaan benda kerja.

b. Kompresor

Kompresor dalam pengecatan berfungsi sebagai penyedia udara bertekanan, cara kerjanya dengan menekan udara kedalam tangki tekan yang telah dilengkapi dengan katup pengaman. Katup pengaman berfungsi untuk menjaga tekanan udara dalam tanki. Katup akan membuka jika tekanan udara dalam tanki telah melampaui batas maksimal. Kompresor di lengkapi dengan *manometer*, kran gas, baut untuk mengeluarkan air regulator dan selang karet.