

**PERBANDINGAN HASIL PROSES MANUFAKTUR BILAH  
MICRO WIND TURBINE SECARA MANUAL DAN MESIN  
CNC MENGGUNAKAN METODE QCD**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



**Disusun Oleh:**

**Nama : Ahmad Sulton**  
**No. Mahasiswa : 16525020**  
**NIRM : 2016060866**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2020/2021**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**PERBANDINGAN HASIL PROSES MANUFAKTUR BILAH  
*MICRO WIND TURBINE* SECARA MANUAL DAN MESIN  
CNC MENGGUNAKAN METODE QCD**

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh:**

**Nama : Ahmad Sulton**

**No. Mahasiswa : 16525020**

**NIRM : 2016060866**

Yogyakarta, 20 Agustus 2021

Pembimbing I,



Rahmat Riza, S.T., M.Sc. ME.

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari karya tulis yang dibuat oleh orang lain. Semua referensi dan kutipan yang saya tulis pada karya tulis ini saya cantumkan sitasi dan sumber pustakanya. Apabila dikemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual dan yang saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman yang berlaku.

Yogyakarta, 8 September 2021



Ahmad Sulton

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

### PERBANDINGAN HASIL PROSES MANUFAKTUR BILAH *MICRO WIND TURBINE* SECARA MANUAL DAN MESIN CNC MENGGUNAKAN METODE QCD

#### TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Ahmad Sulton

No. Mahasiswa : 16525020

NIRM : 2016060866

Tim Penguji

Rahmat Riza, ST, MSc. ME

Ketua



Tanggal: 08/09/2021

Faisal Arif Nurgesang, ST., M.Sc.

Anggota I

Tanggal: 04/09/2021

Dr. Muhammad Khafidh, S.T., M.T.


Anggota II

Tanggal: 06/09/2021

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



  
Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng.

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*"Dan Tuhanmu telah memerintahkan supaya kamu jangan menyembah selain Dia dan hendaklah kamu berbuat baik pada ibubapakmu dengan sebaik-baiknya. Jika salah seorang di antara keduanya atau kedua-duanya sampai berumur lanjut dalam pemeliharaanmu, maka sekali-kali janganlah kamu mengatakan ke pada keduanya perkataan 'ah' dan janganlah kamu membentak mereka dan ucapkanlah kepada mereka perkataan yang mulia."*

(QS al-Isra: 23).

Saya ucapkan terimakasih kepada:

Bapak dan ibu tercinta

**Imam Nur Fakeh dan Diastuti Kartika Sari**

Sebagai bukti sebagai seorang anak dalam menjalankan amanahmu di jenjang pendidikan. Terimakasih telah memberikan dukungan dan membantu saya untuk menyelesaikan gelar sarjana ini.

## HALAMAN MOTTO

“Orang yang bahagia sebenarnya adalah orang yang telah berhenti nafasnya, namun tidak berhenti pahalanya.”

Ibnu Qudamah

“Dan janganlah engkau berjalan di muka bumi ini dengan sombong, karena sesungguhnya engkau tidak akan dapat menembus bumi dan tidak akan mampu menjulang setinggi gunung.”

(QS. Al-Isra: 37)

“Mereka mengetahui yang lahir (tampak) dari kehidupan dunia; sedangkan terhadap (kehidupan) akhirat mereka lalai.”

(QS. Ar-Ruum: 7)

## KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

*Assalamu 'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, rahmat serta karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Perbandingan Hasil Proses Manufaktur Bilah *Micro Wind Turbine* Secara Manual Dan Mesin CNC Menggunakan Metode QCD”**. Skripsi ini disusun dalam rangka mendapatkan gelar Sarjana Teknik Strata Satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Selama pelaksanaan kegiatan skripsi, penulis mendapatkan banyak dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan ketulusan hati mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, karena atas izin-Nya penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian kegiatan skripsi dengan baik dan lancar.
2. Bapak dan ibu tercinta yang selalu mendoakan dan memberi dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian skripsi.
3. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M. Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Rahmat Riza, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan nasihat selama tugas akhir.
5. Kontrakan Ucup yang selalu memberikan kritik dan saran selama penelitian.
6. Teman-teman seperjuangan jurusan Teknik Mesin UII yang telah memberikan bantuan dan dukungannya dalam penyusunan laporan skripsi.
7. PT. Lentera Bumi Nusantara yang telah mengizinkan dan membimbing dalam pelaksanaan tugas akhir
8. Lalu Aria Dharman yang telah membantu dalam proses manufaktur bilah manual
9. Afifa Intan Eka P. sebagai istri yang selalu mendoakan dan memberi dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian skripsi.

Sebagai penulis saya menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam skripsi ini karena keterbatasan pengetahuan yang dimiliki. Oleh karena itu, segala saran dan kritik yang bersifat membangun dari pembaca sangat penulis harapkan untuk

perbaikan maupun penyempurnaan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

*Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh*

Yogyakarta, 19 Maret 2021

Penulis,



Ahmad Sul-ton

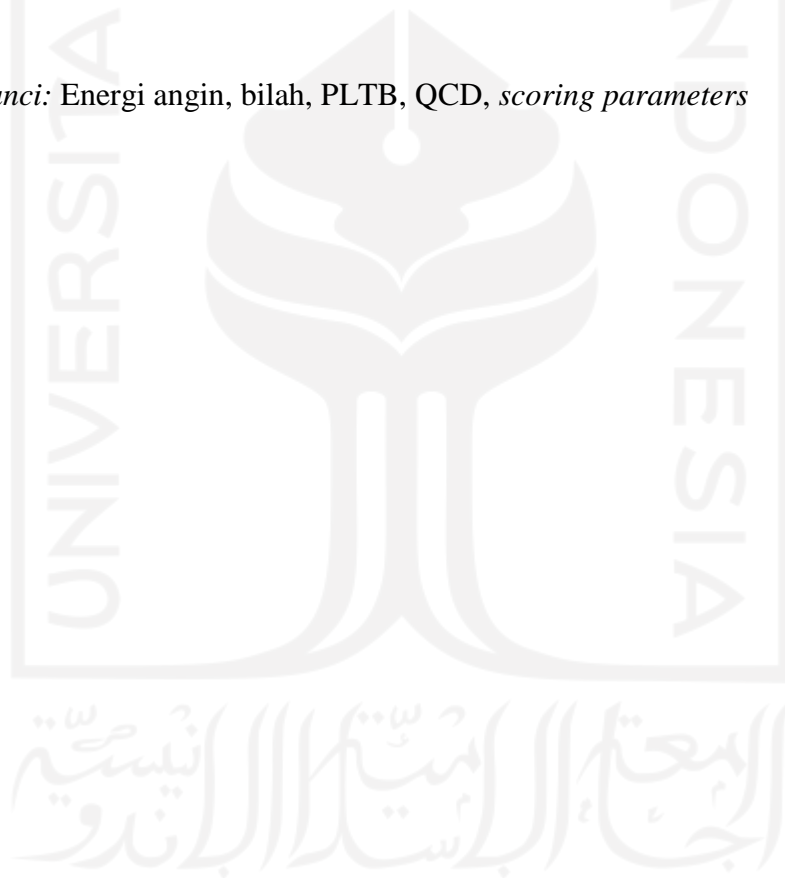




## ABSTRAK

Bilah adalah komponen paling krusial pada sebuah turbin angin. Komponen yang pertama berinteraksi dengan angin sebelum dikonversi menjadi energi mekanik atau komponen yang pertama kali menerima energi angin yaitu bilah. Jika bilah patah (yang banyak terjadi pada turbin angin yang ada), maka turbin angin tidak dapat menangkap energi angin yang artinya turbin angin tidak dapat digunakan untuk menghasilkan daya listrik. Kemudian model bilah diwujudkan dengan menggunakan material kayu mahoni. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil proses manufaktur bilah yang efisien dengan menggunakan metode QCD. Hasil dari penelitian ini berupa perbandingan *scoring parameter* dari proses manual dan mesin CNC. Hasil dari perbandingan *scoring parameter* tersebut didapatkan bahwa proses manual lebih efisien dari proses mesin CNC dengan nilai skor 6.

*Kata kunci:* Energi angin, bilah, PLTB, QCD, *scoring parameters*



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
HALAMAN MOTTO .....	vi
KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH .....	vii
ABSTRAK .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR NOTASI .....	xiv
BAB 1 Pendahuluan .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan .....	4
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan .....	4
BAB 2 Tinjauan Pustaka.....	5
2.1 Kajian Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 Turbin Angin Skala Mikro .....	7
2.2.2 HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine).....	9
2.2.3 <i>Airfoil</i> .....	9
2.2.4 Bilah .....	10
2.2.4.1 Taper .....	11
2.2.4.2 Taperless .....	11
2.2.4.3 Inverse Taper.....	11
2.2.5 Proses Manufaktur .....	12
2.2.6 Mesin Perkakas CNC .....	13
2.2.7 <i>Quality, Cost, dan Delivery (QCD)</i> .....	14

2.2.7.1 <i>Quality of Product</i> .....	15
2.2.7.2 <i>Cost of Product</i> .....	16
2.2.7.3 <i>Delivery of Product</i> .....	17
BAB 3 Metode Penelitian .....	19
3.1 Alur Penelitian .....	19
3.2 Studi Literatur .....	20
3.2.1 Pembuatan Bilah Manual .....	21
3.2.1.1 Alur Proses Pembuatan .....	21
3.2.1.2 Alat dan Bahan .....	22
3.2.1.3 Persiapan Desain Bilah .....	22
3.2.1.4 Persiapan Material Kayu .....	23
3.2.1.5 Pembuatan Mal <i>Airfoil</i> .....	25
3.2.1.6 Pengetaman Kayu.....	25
3.2.1.7 Pembentukan <i>airfoil</i> bilah.....	26
3.2.1.8 Pembentukan Pangkal Bilah .....	27
3.2.1.9 Finishing.....	29
3.2.2 Pembuatan Bilah dengan Mesin CNC.....	30
3.2.2.1 Alur Proses Pembuatan .....	30
3.2.2.2 Alat dan Bahan .....	30
3.2.2.3 Persiapan Desain .....	31
3.2.2.4 Persiapan Material Kayu .....	31
3.2.2.5 Membuat Program NC .....	32
3.2.2.6 Pembuatan Bilah .....	33
3.2.2.7 Finishing.....	35
3.3 Pengambilan Data Proses Manufaktur .....	35
3.3.1 Tabel Parameter .....	35
3.3.2 Alat dan Bahan .....	36
3.3.3 Data <i>Quality</i> Bilah.....	36
3.3.3.1 Kerataan Produk.....	37
3.3.3.2 Ketelitian Produk .....	37
3.3.4 Data <i>Cost</i> Bilah .....	37
3.3.4.1 Biaya Material.....	37

3.3.4.2 Biaya Tenaga Kerja/Jasa.....	37
3.3.4.3 Biaya <i>Overhead</i> .....	37
3.3.5 Data Delivery Bilah.....	37
3.3.5.1 Pra Pembuatan.....	38
3.3.5.2 Proses Pembuatan .....	38
3.3.5.3 Pasca Pembuatan.....	38
BAB 4 Hasil dan Pembahasan .....	39
4.1 Parameter <i>Quality, Cost, dan Delivery</i> (QCD).....	39
4.1.1 Parameter <i>Quality</i> Bilah.....	39
4.1.1.1 Kerataan .....	39
4.1.1.2 Ketelitian .....	43
4.1.1.3 Panjang Bilah .....	43
4.1.1.4 Lebar Bilah.....	44
4.1.1.5 Dimensi <i>Airfoil</i> .....	45
4.1.2 Parameter <i>Cost</i> Bilah.....	50
4.1.2.1 Biaya Material.....	50
4.1.2.2 Biaya Tenaga Kerja/Jasa.....	51
4.1.2.3 Biaya <i>Overhead</i> .....	51
4.1.3 Parameter <i>Delivery</i> Bilah.....	52
4.1.3.1 Pra Pembuatan.....	52
4.1.3.2 Proses Pembuatan .....	54
4.1.3.3 Pasca Pembuatan.....	56
4.2 Scoring Parameter .....	57
BAB 5 Penutup .....	59
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya .....	60
DAFTAR PUSTAKA .....	61
LAMPIRAN 1.....	65

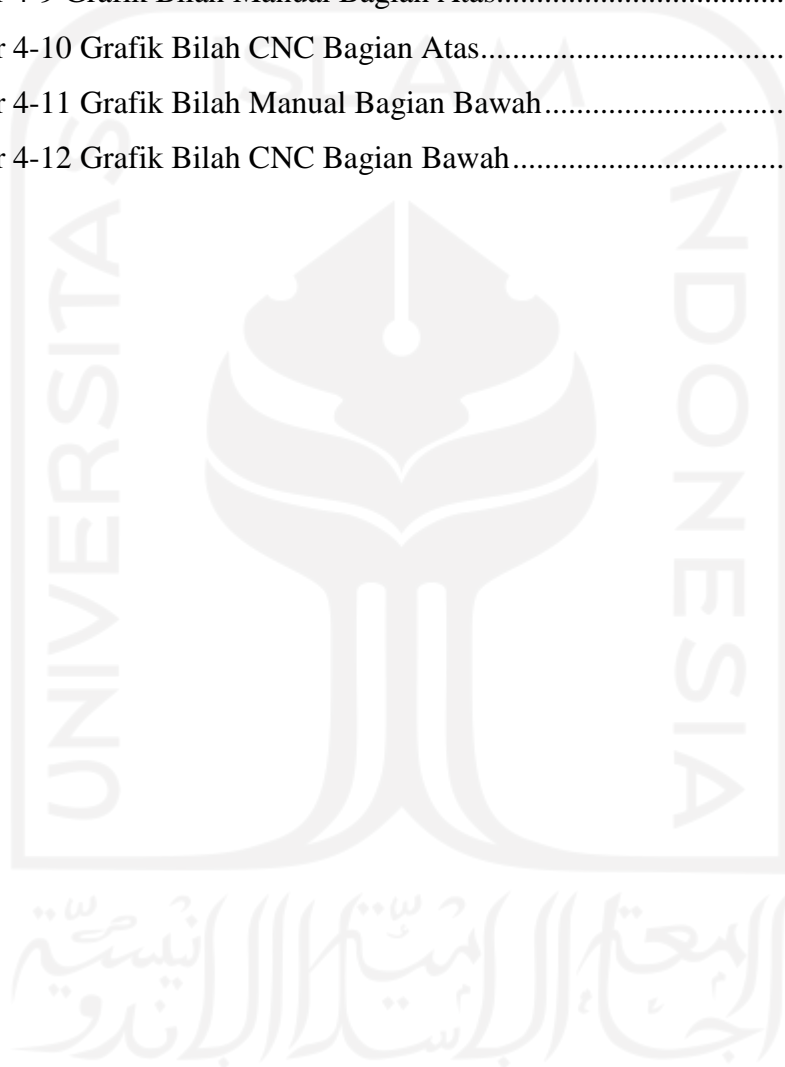
## DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Tabel Parameter QCD.....	36
Tabel 4-1 Data Pengukuran Kerataan Bilah Manual 1 dan 2.....	41
Tabel 4-2 Data Pengukuran Kerataan Bilah Manual dan CNC .....	42
Tabel 4-3 Data Pengukuran Panjang Bilah .....	44
Tabel 4-4 Data Pengukuran Lebar Bilah.....	44
Tabel 4-5 Data Pengukuran Dimensi <i>Airfoil</i> Bilah Manual 1 .....	47
Tabel 4-6 Data Pengukuran Dimensi <i>Airfoil</i> Bilah Manual 2.....	47
Tabel 4-7 Data Pengukuran Dimensi <i>Airfoil</i> Bilah CNC.....	47
Tabel 4-8 Data Pengukuran Dimensi <i>Airfoil</i> Bilah Manual dan Mesin CNC.....	48
Tabel 4-9 Material Kayu .....	50
Tabel 4-10 Biaya Jasa .....	51
Tabel 4-11 Biaya <i>Overhead</i> .....	52
Tabel 4-12 Tabel Pra Pembuatan .....	53
Tabel 4-13 Tabel Proses Pembuatan.....	55
Tabel 4-14 Tabel Pasca Pembuatan .....	56
Tabel 4-15 Tabel Scoring Parameter.....	58

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Contoh Pengaplikasian Konsentrasi Bilah.....	8
Gambar 2-2 Karakteristik Airfoil.....	10
Gambar 2-3 Jenis-Jenis Bilah .....	11
Gambar 3-1 Alur Penelitian .....	19
Gambar 3-2 Alur Proses Pembuatan Bilah Manual .....	21
Gambar 3-3 Desain 2d Bilah Tipe Taperless Bagian Samping.....	22
Gambar 3-4 Desain 2d Bilah Tipe Taperless Bagian Atas .....	23
Gambar 3-5 Proses Pengeringan Kayu .....	24
Gambar 3-6 Proses Pengukuran Kayu .....	24
Gambar 3-7 Bentuk Mal <i>Airfoil</i> .....	25
Gambar 3-8 Proses Pengetaman Kayu.....	25
Gambar 3-9 Pelekatan Mal <i>Airfoil</i> pada Ujung Bilah.....	26
Gambar 3-10 Proses Penggerindaan .....	27
Gambar 3-11 Penggunaan Mal <i>Airfoil</i> .....	27
Gambar 3-12 Proses Pelekatan Mal Pangkal .....	28
Gambar 3-13 Proses Pembuatan Pangkal .....	28
Gambar 3-14 Proses Pelubangan Pangkal.....	29
Gambar 3-15 Proses Pemberian Warna Pada Bilah.....	29
Gambar 3-16 Alur Proses Pembuatan Bilah dengan Mesin CNC .....	30
Gambar 3-17 Desain 3D Bilah Tipe Taperless .....	31
Gambar 3-18 Proses Penjemuran Kayu .....	32
Gambar 3-19 Proses Pemilihan Mata Pahat.....	32
Gambar 3-20 Proses Pemilihan Strategi Pemakanan 1 .....	33
Gambar 3-21 Proses Pemilihan Strategi Pemakanan 2 .....	33
Gambar 3-22 Proses Pemasangan Klem pada Material .....	34
Gambar 3-23 Proses Pemakanan.....	34
Gambar 3-24 Hasil Proses Permesinan Mesin CNC.....	34
Gambar 3-25 Proses Pemberian Warna Pada Bilah.....	35
Gambar 4-1 Proses Pemberian Garis Tengah dan Titik.....	40
Gambar 4-2 Proses Pengukuran Kerataan dengan Alat Dial Indikator.....	40

Gambar 4-3 Grafik Kerataan Bilah Manual dan Bilah CNC .....	43
Gambar 4-4 Proses Pengukuran Panjang Bilah .....	44
Gambar 4-5 Proses Pengukuran Lebar Bilah .....	45
Gambar 4-6 Asumsi 5 Titik Mal Airfoil pada Bilah Bagian Atas .....	46
Gambar 4-7 Asumsi 5 Titik Mal <i>Airfoil</i> pada Bilah Bagian Bawah .....	46
Gambar 4-8 Proses Pengambilan Data dengan Jangka Sorong .....	46
Gambar 4-9 Grafik Bilah Manual Bagian Atas.....	49
Gambar 4-10 Grafik Bilah CNC Bagian Atas.....	49
Gambar 4-11 Grafik Bilah Manual Bagian Bawah.....	49
Gambar 4-12 Grafik Bilah CNC Bagian Bawah.....	50



## DAFTAR NOTASI

Cp : *Coefficient Performance (%)*

CE : *Conformité Européenne*





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik yang semakin banyak digunakan membuat energi fosil menjadi terbatas. Maka diperlukan adanya suatu pemanfaatan sumber daya lain sebagai alternatif energi untuk menunjang pasokan listrik. Energi angin memiliki potensi yang cukup besar untuk dimanfaatkan untuk menjadi energi listrik di Indonesia (Akbar Rachman, 2012). Beberapa alasan energi angin menjadi energi terbarukan yang banyak dipilih adalah karena sifatnya yang ramah lingkungan, tidak terpengaruh oleh kenaikan harga bahan bakar, tersedia di alam bebas, dan terus menerus tidak akan habis (Jarass, 1980)

Salah satu pembangkit listrik energi terbarukan yang memiliki efisiensi kerja yang baik dan ramah lingkungan jika dibandingkan dengan pembangkit listrik energi terbarukan lainnya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) atau sering juga disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) (Prasetyo, Notosudjono, & Soebagja, 2019). Fungsi dari kecepatan angin dan luas bidang sapuan udara pada sudu-sudu angin (*turbine blade*) menghasilkan energi listrik pada pembangkit listrik tenaga angin. Pada kecepatan angin minimal 4,0 – 4,5 m/s umumnya menggunakan pembangkit listrik tenaga angin berskala kecil (*small wind turbine*) dengan daya 20-500 watt. (Edwards, Nyholm, & Chapman, 1982)

Turbin angin mampu mengubah energi kinetik angin menjadi gerak mekanik yang digunakan untuk menggerakkan generator yang merubah gerak mekanik menjadi energi listrik (Sudarsono, 2013). *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) atau dikenal dengan turbin angin sumbu horizontal dan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) atau turbin angin sumbu vertikal merupakan jenis turbin angin yang dikelompokkan berdasarkan arah sumbu. Setiap jenis turbin angin memiliki ukuran dan efisiensi yang berbeda. (Ahmed, 2013) melaporkan bahwa turbin angin sumbu horizontal dianggap lebih efisien dibandingkan dengan turbin angin sumbu vertikal.

Turbin angin jenis ini memiliki sudu bilah berbentuk *airfoil* seperti bentuk sayap pada pesawat terbang. *Airfoil* merupakan bentuk dari bilah pada turbin angin yang dapat menghasilkan gaya angkat dan gaya hambat ketika melewati suatu aliran

udara (Suryadi, 2017). Turbin angin memiliki beberapa komponen yaitu *inverter*, *generator*, *controller*, *data logger*, baterai, dan bilah.

PT. Lentera Bumi Nusantara atau disingkat dengan sebutan LBN merupakan perusahaan yang bergerak pada bidang riset dan pengembangan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) skala mikro. Salah satu teknologi yang sedang dikembangkan adalah bilah.

Bilah adalah komponen paling krusial pada sebuah turbin angin. Komponen yang pertama berinteraksi dengan angin sebelum dikonversi menjadi energi mekanik atau komponen yang pertama kali menerima energi angin yaitu bilah (Piggott, 1997). Jika bilah patah (yang banyak terjadi pada turbin angin yang ada), maka turbin angin tidak dapat menangkap energi angin yang artinya turbin angin tidak dapat digunakan untuk menghasilkan daya listrik.

Pada penelitian (Sudarsono, 2013), kayu tidak hanya dimanfaatkan untuk properti bangunan maupun sebagai bahan *furniture*. Akan tetapi, kayu juga dapat dimanfaatkan untuk keperluan teknologi seperti material dari barang aktif. Dahulu kala kayu sering digunakan sebagai bilah kincir angin untuk mengairi persawahan, namun saat ini kayu telah dikembangkan sebagai bahan dasar untuk pembuatan bilah turbin angin pada kecepatan angin yang rendah.

Dalam membuat bilah turbin angin, material kayu merupakan pilihan yang tepat karena kayu merupakan material yang kuat, ringan, mudah dibentuk, dan getas (Piggott, 1997). Kayu juga merupakan hasil hutan sekaligus sumber kekayaan alam yang mudah didapatkan di daerah perkotaan maupun di daerah terpencil seperti di kawasan pesisir pantai pulau jawa bagian selatan.

Selain material kayu, material lain yang cocok digunakan untuk membuat bilah adalah *resin polyester* (Piggott, 1997). Akan tetapi selain harganya yang mahal, bahan baku untuk membuat bilah *resin polyester* juga cukup sulit didapatkan di daerah terpencil. Bilah juga merupakan komponen pertama yang berinteraksi langsung dengan angin. Pada musim penghujan, kekuatan angin di LBN cenderung kencang, sehingga menyebabkan beberapa bilah turbin angin mengalami kerusakan yang mengharuskan bilah tersebut harus segera diganti dengan bilah yang baru.

Proses pembuatan bilah di LBN masih menggunakan proses pembuatan bilah secara manual, yaitu dengan alat dan mesin perkakas seadanya. Akan tetapi, di LBN

belum ada proses pembuatan bilah dengan menggunakan Mesin CNC, sehingga belum dapat diketahui perbandingan *quality*, *cost*, dan *delivery* bilah pada kedua proses pembuatan bilah agar dapat mengetahui proses pembuatan mana yang lebih efisien untuk mengganti bilah pada *wind turbine* ketika terjadi kerusakan. Sementara itu, desain bilah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah desain bilah model Taperless dengan *airfoil* NACA 5415. Desain bilah model Taperless dengan *airfoil* NACA 5415 merupakan penelitian yang sudah dilakukan peneliti ketika melaksanakan kerja praktek di LBN. (Sulton, 2020)

Dengan permasalahan tersebut, maka diperlukan penelitian dari proses pembuatan bilah dengan menggunakan proses manual dan mesin CNC untuk membandingkan proses manufaktur bilah mana yang efisien dari segi *quality* dengan nilai pengukuran yang mendekati desain ideal, *cost* dengan harga yang paling murah, dan *delivery* dengan waktu yang lebih singkat.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka dapat dirumuskan masalah-masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana mengetahui proses pembuatan bilah yang lebih efisien untuk mengganti bilah pada *wind turbine* ketika terjadi kerusakan?
2. Apa parameter yang digunakan untuk menentukan *quality*, *cost*, dan *delivery* pada hasil proses pembuatan bilah manual dan mesin CNC?
3. Bagaimana cara menentukan proses pembuatan bilah yang efisien pada bilah *airfoil* NACA 5415 model Taperless?

## **1.3 Batasan Masalah**

Penelitian ini menggunakan hasil desain bilah penelitian kerja praktik sebelumnya yaitu turbin angin tipe *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dengan bilah model Taperless NACA 5415 dan menggunakan material kayu mahoni. Proses pengerjaan bilah manual dikerjakan langsung oleh peneliti sedangkan proses pengerjaan bilah dengan menggunakan mesin CNC dilakukan oleh jasa mesin CNC di daerah Kota Semarang. Penelitian ini hanya mengkaji proses manufaktur 1 dari 3 bagian bilah model Taperless yang sudah dirancang. Batas akhir dari penelitian

ini adalah membandingkan parameter dari kedua proses pembuatan bilah dengan menggunakan metode QCD untuk mendapatkan proses pembuatan yang lebih efisien.

#### **1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses manufaktur bilah yang efisien dengan menggunakan metode QCD. Hasil dari penelitian ini berupa perbandingan *scoring parameters* dari proses manual dan mesin CNC.

#### **1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan**

Manfaat dari penelitian ini adalah prototipe yang telah dirancang dapat digunakan sebagai referensi untuk menunjang pertumbuhan energi terbarukan khususnya energi angin dengan pemanfaatan kayu sebagai bilah pada turbin angin. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi perusahaan khususnya di bidang turbin angin skala mikro. Selain itu, dengan penelitian ini dapat diketahui proses pembuatan bilah mana yang lebih efisien menggunakan metode QCD (*Quality, Cost, dan Delivery*). Dapat menjadi referensi pada penelitian selanjutnya khususnya pada bidang proses manufaktur pada bilah.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Tenaga angin diterima dengan baik sebagai sumber energi terbarukan. Turbin angin besar telah menduduki bagian terhormat di pasar energi terbarukan. Padahal, turbin angin kecil terus mengalami kemajuan dalam berbagai aspek. Pengembangan bagian turbin angin kecil merupakan salah satu fokus penting dari beberapa peneliti. (Brown, 2011)

Desain turbin angin dan dimensinya merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi tegangan keluaran yang dihasilkan oleh turbin angin. Desain bilah turbin angin meliputi sudut pitch, panjang bilah, lebar bilah, bobot dan pemodelan aerodinamis bilah. Oleh karena itu perlu dipelajari pengaruh semua parameter tersebut terhadap tegangan keluaran yang dibangkitkan oleh turbin angin sumbu horizontal tipe konvensional. (Raj, Gurav, Sankpal, Chavan, & Karandikar, 2017)

Untuk hasil penelitian praktis di NMMU (Nelson Mandela Metropolitan University) tentang desain bilah turbin angin kecil, diperlukan metode manufaktur untuk membuat prototipe cepat berbagai iterasi desain bilah. Persyaratan metode pembuatannya adalah teknik yang cepat (beberapa hari), hemat biaya, dan akurat untuk menghasilkan bilah turbin angin kecil ukuran penuh (panjang hingga 1,4 m) yang dapat bertahan dalam pengujian jangka pendek. (Poole & Phillips, 2015)

Bilah adalah komponen pertama yang berinteraksi langsung dengan angin atau komponen yang pertama kali menerima energi angin sebelum dikonversi menjadi energi mekanik yang kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator pada turbin angin. Ada 2 jenis bilah sudu turbin angin yang diterapkan oleh PT. Lentera Bumi Nusantara (PT LBN) pada rotor turbin anginnya yaitu jenis Taper dan Taperless. Maka diperlukan analisis jenis bilah yang cocok untuk aplikasi turbin angin di PT LBN. Bilah jenis Taper dan Taperless diuji pada turbin angin dalam waktu yang bersamaan pada kecepatan angin 12 m/s. Berdasarkan penelitian ini maka didapatkan hasil jenis Taperless lebih baik dibandingkan jenis Taper dengan nilai *Coefficient Performance* atau  $C_p$  53% dan daya yang dihasilkan adalah 2161

Watt. Sedangkan pada jenis Taper didapatkan nilai Cp 48% dengan daya yang dihasilkan yaitu 791 Watt. (Nuraini & Abadi, 2019)

*Airfoil* NACA mempunyai beberapa keunggulan, yaitu dikenal sebagai *airfoil* yang ramping dan kekuatan koefisien rata-ratanya lebih tinggi dari pada sudu lainnya. Jenis seri *airfoil* yang diterapkan oleh PT. Lentera Bumi Nusantara (LBN) yaitu jenis *Airfoil* NACA 4412. Maka diperlukan penelitian *airfoil* dengan seri jenis lain untuk mendapatkan hasil daya yang melebihi dari jenis *airfoil* NACA 4412. Berdasarkan penelitian ini maka didapatkan daya yang dihasilkan oleh bilah NACA dengan seri 5415 yaitu 48.01 Wh sedangkan daya yang dihasilkan oleh bilah NACA dengan seri 4412 yaitu 47.93 Wh yang artinya bilah NACA dengan seri 5415 lebih unggul 0.08 Wh dibandingkan dengan bilah NACA dengan seri 4412. (Sulton, 2020)

Kayu mahoni (*Swietenya Macrophylla Jack*) memiliki warna merah kekuningan pada bagian pusat batang pohon apabila masih segar dan lama kelamaan warnanya berubah menjadi merah kecoklatan. Sedangkan bagian luar pada batang berwarna putih kekuningan. Kayu mahoni memiliki beberapa spesifikasi umum yaitu memiliki tekstur yang halus sampai agak kasar, memiliki corak polos tetapi kadang-kadang bergaris agak gelap, memiliki corak yang terkadang unik pada papan *quarter sawn* karena arah seratnya *interlocked grain*, permukaannya licin, dan mengkilap. Pola penyebaran sel pembuluh semi tatalingkar terdiri dari pori soliter dan bergabung secara radial yang terdiri dari 2 pori, diameter tangensialnya 130-230 mikro, frekuensinya 5-12 pori per mm<sup>2</sup>. Jaringan parenkim aksial pada kayu mahoni terdiri dari paratrakeal *vasicentric* dan sering juga ditemukan dengan bentuk *paratracheal* terminal. Jari-jari parenkim pada batang kayu mahoni umumnya agak lebar yang terdiri dari 3-4 seri. Kayu mahoni memiliki saluran getah tarumatik aksial yang umumnya berisi endapan berwarna merah kehitaman. Kayu mahoni yang berdiameter kecil rata-rata memiliki berat jenis 0.60 N/m<sup>3</sup>. (Ketut, Pandit, Nandika, & Darmawan, 2011)

(Endo, Tsuruta, Saitoh, Nakajima, & Hata, 2011) mengusulkan sebuah metode yang bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi tanpa mengurangi QCD (*Quality, Cost, dan Delivery*) dengan memantau konsumsi energi yang tepat untuk peralatan manufaktur. Metode yang diusulkan yaitu dengan mengukur konsumsi

energi pada kondisi saat peralatan manufaktur beroperasi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa konsumsi energi yang terbuang dari peralatan yang menjadi objek penelitian telah dipisahkan melalui pemantauan kondisinya dan konsumsi energi.

Proses pengerjaan yang baik, benar, dan tepat menuntut suatu mesin perkakas dapat memproduksi benda kerja (produk) yang bermutu tinggi. Perencanaan langkah pengerjaan yang logis merupakan sebuah awal proses produksi benda kerja, seperti memilih material yang akan digunakan serta menetapkan jenis proses mesin perkakasnya. Proses pembuatan tidak hanya berkaitan dengan faktor biaya dan kecepatan produksi untuk memenuhi target yang diinginkan dan mencapai keuntungan yang optimal, melainkan faktor teknologi juga penting dalam proses pembuatan. (Mosey, Poeng, & C.Neyland, 2013)

Kualitas pada produk yang diproduksi dipengaruhi oleh penyebaran parameter proses produksi, karena produk dapat menyimpang dari desain nominal. Menyesuaikan toleransi pada individu dengan sedemikian rupa dapat mengurangi tingkat penolakan pada produk jika persyaratan kualitas yang diinginkan tidak terpenuhi. (Heling, Schleich, & Wartzack, 2020)

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Turbin Angin Skala Mikro**

Kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik adalah turbin angin. Untuk mengakomodasi listrik masyarakat, turbin angin banyak digunakan dengan menggunakan prinsip penggunaan sumberdaya alam yang dapat diperbaharui yaitu energi angin yang dikonversi menjadi energi listrik. Meskipun pembangkit listrik konvensional (PLTD, PLTU, dan lain-lain) masih belum dapat bersaing oleh turbin angin, namun saat ini turbin angin dalam tahap pengembangan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat masalah kekurangan sumber daya alam akan dihadapkan pada manusia karena tak lagi dapat diperbaharui (batu bara dan minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik



Gambar 2-1 Contoh Pengaplikasian Konsentrasi Bilah  
(Sumber: Site Lentera Bumi Nusantara)

Dalam literatur energi angin, definisi turbin angin skala kecil dan turbin angin skala besar masih samar-samar. Definisi turbin angin skala kecil awalnya berdasarkan kemampuan turbin angin untuk menghasilkan daya listrik yang cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga. Namun terdapat masalah bahwa listrik yang dikonsumsi oleh rumah tangga bervariasi tergantung waktu dan tempatnya. Contohnya, kebutuhan listrik rata-rata keluarga di negara Amerika adalah 10 kW turbin, sementara rata-rata kebutuhan listrik yang dikonsumsi oleh rumah tangga di negara Eropa adalah 4 kW, dan rata-rata kebutuhan listrik oleh rumah tangga di negara China adalah 1 kW. Kisaran kapasitas daya yang dihasilkan oleh turbin angin skala kecil bervariasi dari yang hanya beberapa Watt hingga beberapa ratus kW tanpa definisi yang tepat.

Koefisien pada turbin angin skala besar yang efisien adalah 40-45%. Akan tetapi, untuk menjalankan turbin angin skala besar membutuhkan rata-rata kecepatan angin yang tinggi sekitar 12-14 m/s. Selain itu, turbin angin skala besar memiliki kendala pada instalasi-instalasi yang terbatas pada daerah-daerah yang jauh dari pusat kota. Sedangkan apabila instalasi-instalasi turbin angin skala besar dilakukan di daerah perkotaan dapat menjadi pusat kekhawatiran karena mempertimbangkan bahaya keselamatan dan emisi kebisingan yang dihasilkan oleh turbin angin skala besar. Berbeda dengan turbin angin skala kecil, turbin angin skala kecil dapat beroperasi pada kecepatan angin yang rendah, menghasilkan emisi kebisingan yang minim, dan tidak membahayakan keselamatan. Terlepas dari



beberapa kelebihanannya, pengembangan model turbin angin skala kecil masih sangat sedikit dan sebagian turbin angin skala kecil cenderung ke turbin angin skala menengah karena beroperasi pada kecepatan angin 10 m/s. Turbin angin mikro mampu beroperasi secara efisien pada kecepatan angin kisaran 2-7 m/s dan memiliki koefisien daya optimal yang cukup rendah yaitu 18%. (Shashank Priya, Ravi Anant Kishore, 2018)

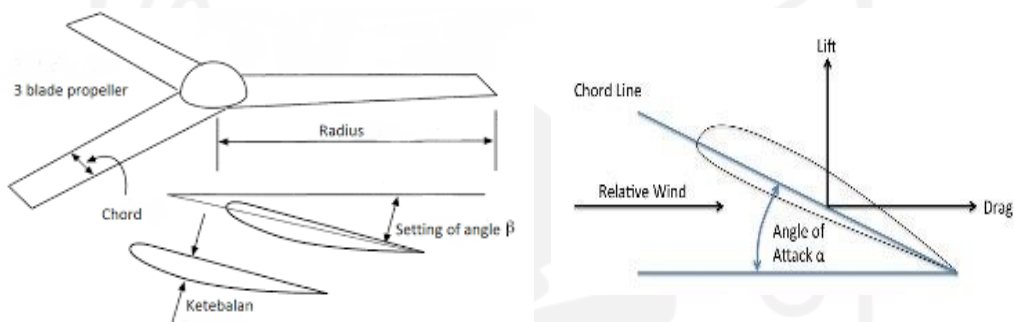
### **2.2.2 HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine)**

HAWT adalah tipe turbin angin yang memerlukan daya angkat dari angin. Oleh karena itu, turbin angin tipe HAWT sangat sensitif terhadap perubahan bentuk profil, desain, dan kekerasan permukaan pada bilah. Turbin angin HAWT tidak dapat menangkap angin dari segala arah, turbin angin HAWT membutuhkan mekanisme khusus untuk memutar rotor agar selalu menghadap angin. Turbin angin amerika adalah HAWT pertama yang memiliki mekanisme tersebut yang diberi nama sistem yaw, sistem tersebut dapat dikontrol secara otomatis. Sistem yaw merupakan komponen penting dari HAWT karena sistem tersebut bertanggung jawab atas orientasi rotor turbin angin dalam menangkap angin. Sistem yaw yang digunakan pada turbin angin skala kecil disebut dengan sistem yaw pasif karena terdiri dari ekor dengan bentuk sirip yang dipasang pada bagian belakang generator dan *rolling bearing* sederhana yang dihubungkan diantara tiang menara dan generator. Sedangkan sistem yaw pada turbin angin skala besar disebut dengan sistem yaw aktif karena sistem yaw pada turbin angin skala besar dilengkapi dengan sensor yang mendeteksi arah angin dan motor servo yang menghasilkan torsi yang diperlukan untuk memutar generator pada tiang menara yang stasioner. (Shashank Priya, Ravi Anant Kishore, 2018)

### **2.2.3 Airfoil**

Airfoil adalah suatu bentuk tubuh yang berhubungan dengan mengangkat suatu struktur yang lebih berat dari pada udara. Bentuk tubuh pada *airfoil* dapat menciptakan gaya aerodinamis saat bergerak melalui segala jenis fluida. Tekanan dan distribusi tegangan geser pada bagian atas permukaan tubuh *airfoil* merupakan sumber dasar gaya dan momen aerodinamis. (Bernoulli & Mikhailov, 2005)

mengatakan bahwa penurunan tekanan atau potensial fluida dapat meningkatkan kecepatan fluida begitupun sebaliknya, peningkatan tekanan dapat menurunkan kecepatan fluida. Fenomena ini dapat dikaitkan dengan *airfoil* dan akibatnya tekanan pada permukaan atas lebih rendah dibandingkan dengan tekanan pada permukaan bawah dari suatu *airfoil*. Gaya resultan yang diciptakan oleh airfoil dibagi menjadi 2 bagian, yaitu gaya angkat dan gaya hambat. Gambar 2-2 menunjukkan gaya yang bekerja pada sebuah airfoil. (Kabir, Mallik, Mohammad Kabir, & Hafiz, 2019)



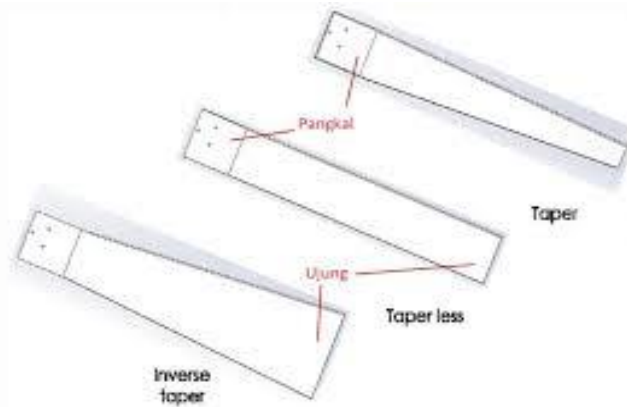
Gambar 2-2 Karakteristik Airfoil

(Sumber: Windpower Workshop – Hugh Piggot)

*Airfoil* sangat penting, karena bilah-bilah turbin angin beroperasi pada sudut aliran udara yang besar; ketika pergerakan yang menguap dari turbin angin yang bergerak membuat sudut angin yang mengalir ke setiap bagian dari bilah itu berubah secara berulang. Karakteristik landasan udara yang dinamis pada *airfoil* harus dipertimbangkan, jika turbin angin bekerja dalam atmosfer yang dekat dengan tanah, debu, kerikil, hujan, dan minyak akan meningkatkan kekasaran permukaan *airfoil* yang akan mempengaruhi kinerja aerodinamis turbin angin.

#### 2.2.4 Bilah

Bilah merupakan bagian terpenting dalam sistem turbin angin dikarenakan bilah ini merupakan bagian utama yang berinteraksi langsung dengan angin. Bilah ini terbagi menjadi tiga jenis yaitu:



Gambar 2-3 Jenis-Jenis Bilah

(Sumber: Modul Pengenalan Lentera Bumi Nusantara)

#### 2.2.4.1 Taper

Bilah jenis Taper memiliki ukuran sudu yang mengecil dari pangkal bilah. Bilah jenis ini membutuhkan kecepatan angin yang sedikit tinggi untuk putaran awal pada rotor turbin angin. Bilah jenis ini juga tahan terhadap kondisi angin dengan kecepatan relatif tinggi.

#### 2.2.4.2 Taperless

Bilah jenis Taperless memiliki bentuk penampang yang sama dari ujung pangkal ke ujung *airfoil* bilah sehingga torsi pada bilah jenis ini sedikit lebih besar dari bilah jenis Taper. Bilah jenis ini tidak cocok digunakan pada kondisi angin dengan kecepatan relatif tinggi karena bentuk penampang dari bilah yang seakan-akan menghadang angin yang mengenainya pada saat putaran turbin angin sedang tinggi.

#### 2.2.4.3 Inverse Taper

Bilah jenis Inverse Taper memiliki bentuk sudu yang membesar dari pangkal bilah atau kebalikan dari bilah jenis Taper. Bilah jenis ini memiliki putaran yang cenderung lambat tetapi menghasilkan torsi yang paling besar dari kedua jenis bilah lainnya. (Arfidian Rachman, Pratiwi, & Ashari, 2019)

### 2.2.5 Proses Manufaktur

Proses manufaktur adalah pengolahan bahan mentah dengan mengubah bentuk, sifat, dan tampilan melalui proses kimia dan fisika untuk membuat suatu komponen atau produk. Proses perakitan berbagai komponen hingga menjadi produk juga masuk dalam proses manufaktur. Proses manufaktur secara umum mempunyai beberapa tahapan dalam operasi, mengolah bahan mentah mendekati bentuk akhir pada suatu benda hingga benda tersebut memiliki nilai guna yang lebih dari sebelumnya merupakan proses pada setiap operasi. Pada tahun 1800 sejak mesin frais ditemukan merupakan tahun dimana proses manufaktur modern bermula. Setelah ditemukan dan dikembangkan mesin pengubah daya yang dapat membantu kinerja manusia seperti motor bakar, motor listrik, dan mesin uap, ilmu manufakturing mengalami kemajuan yang pesat. Penemuan terhadap material logam dan non logam juga mendukung majunya ilmu manufaktur.

Untuk proses manufaktur pada material kayu, pengolahan dan pembentukan pada produk dapat dilakukan dengan proses pemotongan, penyerutan, dan pengikisan. Proses penggabungan pada proses manufaktur dilakukan dengan sistem pengeleman, pemberian pasak, dan sistem pengunci dari kedua yang disatukan menggunakan desain khusus. Berikut ini merupakan metode proses manufaktur pada material kayu yang bersifat pengurangan dimensi:

1. Pengetaman (*Planning*)

Pengetaman adalah proses pemakanan permukaan material dengan arah segaris dengan bidang potong pada kedalaman potong tertentu hingga menghasilkan permukaan material yang halus dan datar. Pada alat ketam listrik, sumber tenaga pemakanan berasal dari motor listrik yang menggerakkan mata pisau secara sirkular sehingga dapat melakukan pemakanan pada bagian benda yang kecil dengan kecepatan tinggi secara berulang hingga menghasilkan bidang yang rata.

2. Pengeboran (*Drilling*)

Pengeboran adalah proses pemesinan yang digunakan untuk membuat lubang silindris pada material logam maupun non-logam yang masih pejal. Pengeboran dilakukan dengan menggunakan pahat silindris atau mata bor,

sehingga menghasilkan lubang yang memiliki diameter yang sama dengan diameter pahat/mata bor.

### 3. Penggergajian (*Sawing*)

Penggergajian adalah suatu proses manufaktur yang digunakan untuk memotong benda kerja dengan cara menggerakkan daun gergaji ke arah mundur-maju pada permukaan benda kerja. Benda kerja dipotong dengan kecepatan dan penekanan tertentu, menyesuaikan dari tingkat kekerasan benda kerja dan bahan daun gergaji. Penggergajian dapat dilakukan dengan gergaji manual (*hacksaw*) untuk benda ukuran kecil dengan menggunakan alat bantu ragam agar benda kerja tidak mudah bergeser saat dilakukan penggergajian, tetapi jika ukuran dan jumlah benda kerja besar dan banyak, maka penggergajian dilakukan menggunakan gergaji mesin agar menghemat waktu dan tenaga.

### 4. Penggerindaan (*Grinding*)

Penggerindaan adalah proses permesinan yang digunakan untuk menyingkirkan bahan yang berlebihan dari benda kerja dengan cara memutar alat pengikis multisisi yang disebut roda penggiling. Penggerindaan dapat dilakukan pada bentuk permukaan benda yang melengkung maupun permukaan benda yang rata.

### 5. Pengamplasan

Amplas adalah salah satu alat yang dibutuhkan untuk menghaluskan permukaan benda dalam proses *finishing*, baik kayu, besi, maupun jenis material lainnya. Proses pengamplasan dapat dilakukan dengan cara manual, *hand tool*, dan menggunakan mesin. Pemilihan jenis amplas menyesuaikan pada tingkat kehalusan permukaan benda yang ingin dicapai.

## 2.2.6 Mesin Perkakas CNC

Mesin CNC (Computer Numerically Controlled) adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik. Sistem ini digunakan untuk mengoperasikan suatu mesin pada jumlah produksi produk masal dengan kecepatan yang tinggi dan menghasilkan ketelitian produk yang tinggi. Mesin frais, mesin (*Milling*), dan mesin bubut merupakan contoh mesin yang dapat

dikendalikan oleh CNC. Mesin CNC yang digunakan dalam pendidikan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu mesin bubut atau Mesin CNC Two Axis dan mesin frais atau Mesin CNC Three Axis. Sedangkan penggunaan Mesin CNC pada industri-industri pemesinan atau manufaktur jumlah axis yang digunakan terdiri dari 2 axis, 3 axis, 4 axis, 5 axis, hingga multi axis. (Mustofa, 2021)

Mesin perkakas CNC (CNC Machine Tool) secara umum tidak banyak berbeda dengan mesin perkakas konvensional. CNC berfungsi sebagai sebagai pengendali otomatis yang berguna untuk menggantikan pekerjaan-pekerjaan operator saat mengoperasikan mesin perkakas konvensional. Berikut merupakan contoh pekerjaan operator mesin perkakas konvensional yang digantikan oleh CNC:

1. Memulai (ON) dan menghentikan (OFF) mesin, serta mengatur arah dan jumlah putaran spindel utama.
2. Menggerakkan dan menempatkan alat pada posisi siap memotong
3. Mengatur jarak dan arah gerak pemakanan
4. Menggerakkan alat potong kembali ke posisi semula
5. Mengatur kondisi pemotongan, seperti kedalaman pemakanan (*depth of cut*), kecepatan pemotongan (*cutting speed*), dan kecepatan pemakanan (*feeding*)
6. Fungsi pengaturan lain seperti pergantian alat potong (*tool change*), pengekleman, penggunaan cairan pendingin, dan sebagainya.

Menempatkan alat potong pada posisi awal jalan (*setting tool*) dan melakukan pengecekan kebenaran kompensasi alat (*tool compensation*) adalah pekerjaan paling penting dari operator mesin CNC. Selibuhnya operator hanya memperhatikan dan mengawasi jalannya proses permesinan pada alat yang berlangsung secara otomatis sesuai dengan program NC yang telah dibuat khusus untuk proses pengerjaan itu. Mesin perkakas mempunyai beberapa kelebihan dari mesin perkakas konvensional yaitu dari segi ketelitian, ketepatan, produktivitas, serta kompleksitas pekerjaan yang dapat ditanganinya. (Bambang Setiyo Hari Purwoko, 2020)

### **2.2.7 Quality, Cost, dan Delivery (QCD)**

Quality, Cost and Delivery (QCD) dipolakan setelah sistem konvensional Toyota (atau lean) dalam *quality*, *cost*, dan *delivery* di mana QCD adalah kerangka

kerja dalam mengevaluasi proses sistem perakitan (Manalo & Manalo, 2010). *Quality* umumnya diklasifikasikan ke dalam persyaratan pelanggan, persyaratan fungsional, dan persyaratan bebas kesalahan terlepas dari produk, proses dan organisasi. *Cost* di bidang manufaktur dibagi menjadi biaya bahan, biaya tenaga kerja dan overhead. Tenaga kerja dan biaya overhead berasal dari proses dan sumber daya. Dalam proses pengembangan produk, biaya yang dikeluarkan terutama adalah biaya proses. Namun, biaya material terkadang dikeluarkan dengan membuat prototipe, yang umumnya lebih mahal dibandingkan dengan biaya produksi umum untuk satu bagian. *Delivery* adalah penjumlahan periode waktu unit proses yang dirantai untuk membuat produk (Suh & Sohn, 1997).

### **2.2.7.1 *Quality of Product***

Kualitas produk merupakan tujuan akhir yang ingin dicapai diantara kualitas produk, proses dan organisasi. Kualitas produk diklasifikasikan ke dalam persyaratan pelanggan, spesifikasi dalam persyaratan, dan spesifikasi dari sebuah produk untuk proses akhir dalam pengembangan produk. Dalam CE (satuan standar eropa), penerapan persyaratan pelanggan selama proses pengembangan produk dan evaluasi keefektifan spesifikasi produk melalui proses akhir diperlukan untuk meningkatkan kualitas produk (Suh & Sohn, 1997). menurut (Kotler, Amstrong, & Sindoro, 2003), kualitas produk dikonsepsikan sebagai kemampuan suatu produk untuk melakukan fungsi-fungsinya. Kemampuan tersebut meliputi daya tahan, kemudahan dalam proses pembuatan dan diperbaiki, ketelitian yang dihasilkan, dan atribut lain yang berharga pada suatu produk secara keseluruhan. Salah satu geometri parameter yang mencirikan kualitas permukaan kritis sebagian besar produk hasil permesinan merupakan penyimpangan dari kerataan suatu produk (Diakov, Nikolova, & Vassilev, 2018). Berikut ini merupakan beberapa parameter dalam menentukan kualitas dari produk:

#### **1. Kerataan Produk**

Kerataan adalah keadaan bentuk yang sama antara satu titik dengan titik yang lain tanpa adanya perbedaan tinggi pada permukaan suatu benda. Pembuatan suatu bidang rata teoritik yaitu dengan cara menggeserkan suatu garis lurus di atas dua buah garis lain yang sejajar (dua garis tepi). Garis lurus tersebut

dinamakan sebagai "garis pembentuk" (*generator line*). Garis-garis pembentuk yang sejajar tersebut merupakan suatu gambaran pada suatu bidang yang rata.

## 2. Ketelitian Produk

Ketelitian produk adalah kemampuan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang persis atau mendekati sama dengan ukuran yang sudah ditentukan

### **2.2.7.2 Cost of Product**

Biaya produk adalah total biaya yang dikeluarkan untuk material dan kegiatan dalam pembuatan produk. Biaya produk dapat diklasifikasikan ke dalam biaya penjualan produk, biaya produk jadi, dan biaya untuk pengembangan produk. Biaya produk merupakan nilai kunci manajemen dalam suatu perusahaan dan biaya produk juga mencakup semua biaya yang dikeluarkan dari permasalahan kualitas, permasalahan penundaan, dan permasalahan lainnya. Untuk meningkatkan biaya produksi

Biaya Proses adalah biaya yang dapat mengacu pada akumulasi biaya dari kesatuan proses termasuk bahan, biaya operasi dan organisasi. Namun, biaya proses yang sesungguhnya adalah biaya operasional kecuali biaya terkait sumber daya yang digunakan. Biaya yang terkait sumber daya biasanya disebut biaya tidak langsung atau *overhead* dalam proses pembuatan. Biaya-biaya ini sulit ditemukan sehingga penetapan berdasarkan aktivitas sangat disarankan (Horngren, Foster, & Srikant M. Datar, 1997). Mengalokasikan sumber daya ke fungsi yang dibutuhkan adalah penting, karena hubungan antara pekerjaan dan keahlian sumber daya sangat penting dalam mengelola biaya proses. Contoh dari alokasi biaya adalah membedakan biaya insinyur berdasarkan posisi, pengalaman, atau teknologi yang mereka miliki karena memberi tugas kepada insinyur yang tepat pada fungsi yang benar diperlukan untuk menghasilkan nilai tinggi dan menghindari waktu yang terbuang percuma dalam pembuatan produk. (Suh & Sohn, 1997)

Faktor-faktor produksi diperlukan dalam kegiatan produksi seperti tenaga kerja, tanah, listrik, bahan baku, dan lain-lain. Perusahaan akan mengganti penggunaan faktor produksi tersebut dalam bentuk gaji, uang sewa, harga listrik, harga bahan baku, dan lain-lain. Keseluruhan pengorbanan yang dikeluarkan oleh produsen untuk kegiatan produksi inilah yang biasa disebut dengan biaya produksi



(Ramdhani, Merida, Hendrani, & Suheri, 2020). Badan usaha diharuskan untuk memisahkan pengeluaran-pengeluaran yang telah dilakukan dalam memproduksi produk atau jasa. Mengelompokkan pengeluaran akan biaya-biaya tersebut ke dalam 3 jenis biaya adalah hal yang paling umum dilakukan (Halim, 2006), yaitu :

1. Biaya Material

Biaya material merupakan biaya yang dikeluarkan untuk bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan produk jadi. Bahan baku berkaitan dengan semua jenis bahan yang digunakan dalam pembuatan produk jadi. Biaya ini merupakan pengeluaran paling awal yang dilakukan badan usaha sebelum memulai proses operasionalnya. Pembelian yang baik akan berpengaruh pada harga pokok produk secara keseluruhan.

2. Biaya Tenaga Kerja

Tenaga kerja terbagi menjadi 2 yaitu tenaga kerja langsung dan tenaga kerja tidak langsung. Tenaga kerja langsung merupakan tenaga kerja yang langsung berinteraksi dengan proses operasional. Biaya tenaga kerja langsung adalah tenaga kerja yang melakukan konversi bahan baku menjadi produk jadi dan dapat dibebankan secara layak ke produk tertentu.

3. Biaya *Overhead*

Biaya *overhead* adalah semua biaya selain bahan baku langsung dan tenaga kerja langsung. Contohnya adalah suatu badan usaha melakukan pembelian komponen mesin, sarung tangan untuk pekerja, solar untuk kendaraan, maka biaya itulah yang disebut biaya *overhead*. Hal tersebut juga berlaku untuk biaya tenaga kerja, gaji karyawan pemotongan kayu, pengecatan, maka biaya tersebut adalah biaya tenaga kerja langsung. Berbeda dengan admin produksi ataupun bagian *security*, mereka tidak terlibat produksi maka dari itu gaji mereka termasuk biaya *overhead*.

### **2.2.7.3 Delivery of Product**

*Delivery* adalah penjumlahan jangka waktu proses yang dirangkai menjadi satu kesatuan untuk membuat produk. Siklus kesatuan waktu proses terdiri dari *acquisition process*, *pure process*, *supplementary process*, dan sumber daya yang menganggur. Diantara siklus kesatuan waktu proses, semua proses perlu

disingkirkan kecuali *pure process*. Sebagai tambahan, *pure process* dirangkai secara berurutan dalam teknik sebelumnya. Namun, siklus tersebut dapat dirangkai secara bersamaan dengan berbagi informasi yang membantu atau mengatur ulang proses tersebut. Dengan melakukan cara tersebut, *delivery* secara keseluruhan dapat diminimalkan. Berikut merupakan total waktu selama proses pembuatan yang dibagi menjadi beberapa bagian (Suh & Sohn, 1997), yaitu:

1. Pra Pembuatan

Pra pembuatan merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung jumlah waktu proses yang dibutuhkan sebelum dilakukannya proses manufaktur.

2. Proses Pembuatan

Proses pembuatan merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung jumlah waktu proses yang dibutuhkan saat dilakukannya proses manufaktur.

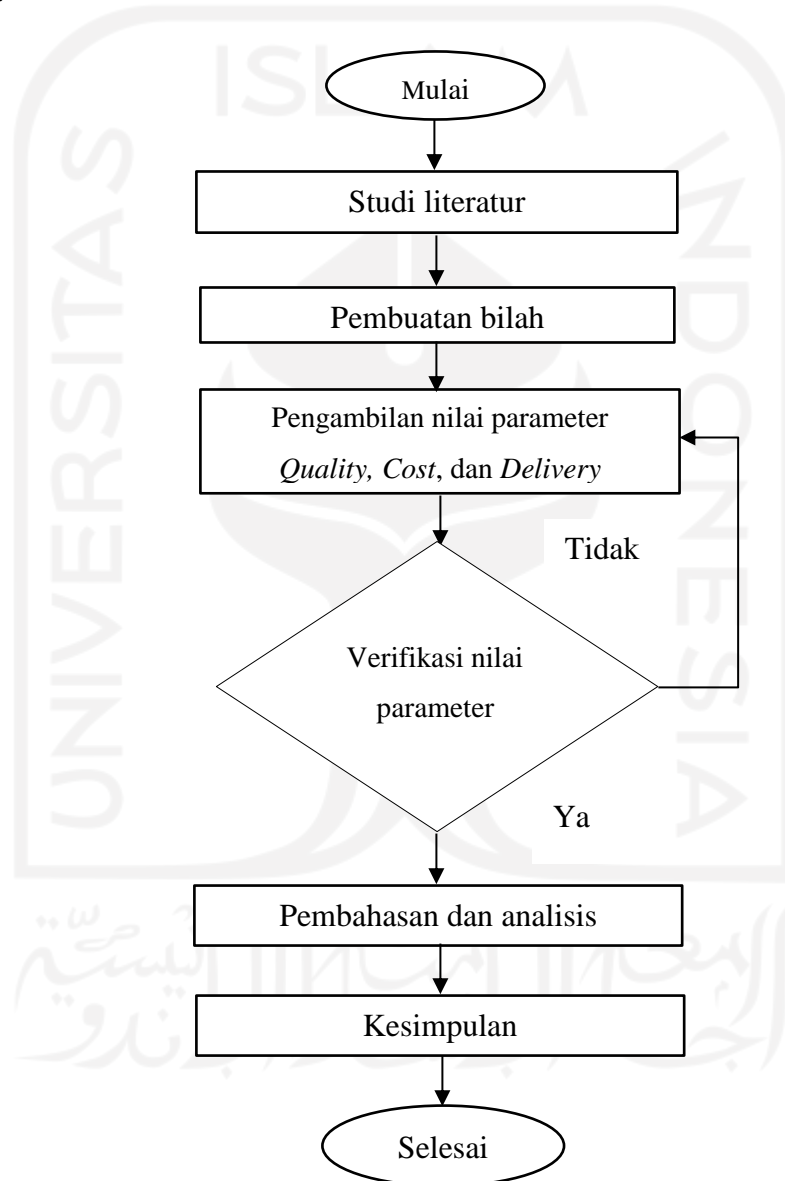
3. Pasca Pembuatan

Pasca pembuatan merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung jumlah waktu proses yang dibutuhkan saat dilakukannya proses manufaktur.

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian

Alur dari proses penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti adalah sebagai berikut:



Gambar 3-1 Alur Penelitian

### 3.2 Studi Literatur

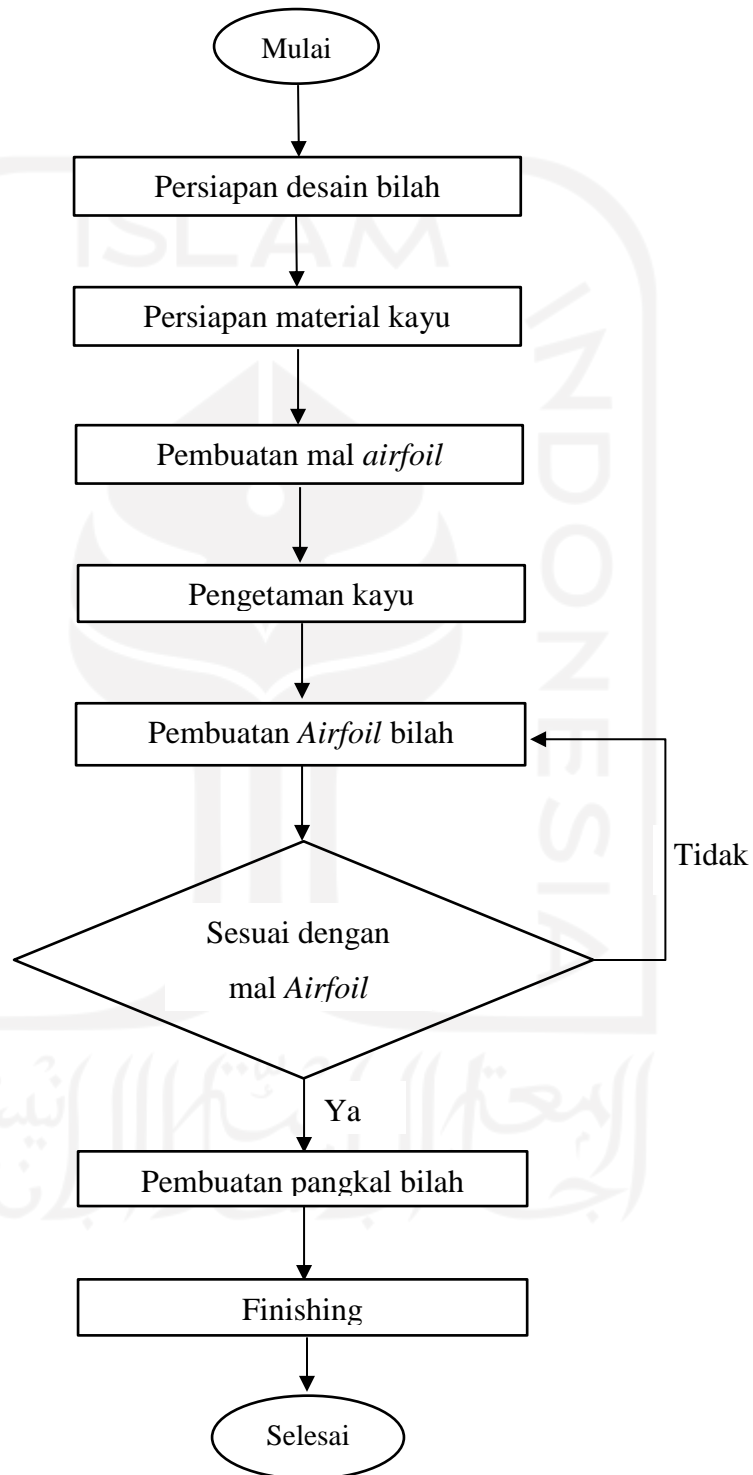
Studi literatur digunakan peneliti untuk mencari informasi terkait penelitian yang akan dilakukan. Hal-hal yang dilakukan peneliti yaitu:

1. Mencari landasan teori dan jurnal-jurnal pendukung tentang turbin angin skala mikro.
2. Mencari landasan teori dan jurnal-jurnal pendukung tentang bilah turbin angin.
3. Mencari landasan teori dan jurnal-jurnal pendukung penelitian tentang manufaktur bilah.
4. Mencari landasan teori dan jurnal-jurnal pendukung tentang proses manufaktur.
5. Mencari landasan teori dan jurnal-jurnal pendukung penelitian tentang *Quality*, *Cost*, dan *Delivery*.

### 3.2.1 Pembuatan Bilah Manual

#### 3.2.1.1 Alur Proses Pembuatan

Alur dari proses pembuatan bilah secara manual adalah sebagai berikut:



Gambar 3-2 Alur Proses Pembuatan Bilah Manual

### 3.2.1.2 Alat dan Bahan

Peralatan tukang digunakan untuk mempermudah proses pembuatan bilah secara manual. Adapun macam-macam alat yang digunakan oleh penulis yaitu:

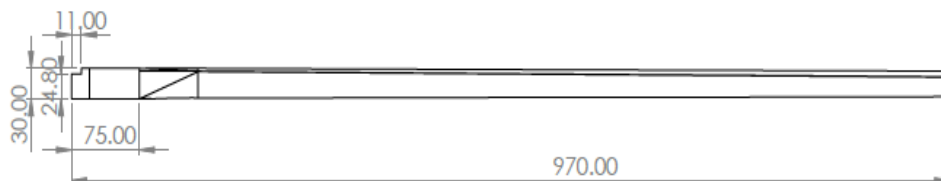
1. Gerinda Tangan
2. Meteran
3. Golok/Parang
4. Gergaji Potong
5. Mesin Ketam Kayu
6. Mistar
7. Kunci Shok
8. Mistar Sorong
9. Timbangan
10. Mesin Bor Duduk

Bahan yang digunakan dalam proses pembuatan bilah adalah sebagai berikut:

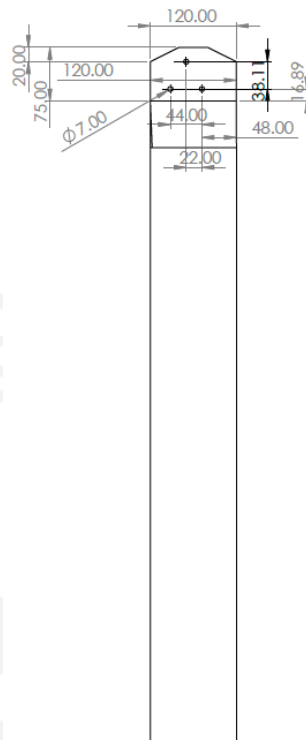
1. Balok Kayu Mahoni 100cm x 15cm x 3cm
2. Lem Kayu
3. Amplas 80, 120, 240, 1000
4. Triplek Kayu
5. Cat Warna

### 3.2.1.3 Persiapan Desain Bilah

Langkah awal sebelum proses pembuatan bilah secara manual yaitu mempersiapkan desain yang telah dibuat. Desain ini akan digunakan sebagai acuan dalam pembuatan manufaktur bilah dan juga sebagai acuan parameter ideal. Desain yang masih dalam bentuk *soft file* dicetak atau di print menjadi *hard file*.



Gambar 3-3 Desain 2d Bilah Tipe Taperless Bagian Samping



Gambar 3-4 Desain 2d Bilah Tipe Taperless Bagian Atas

#### 3.2.1.4 Persiapan Material Kayu

Material yang digunakan pada proses manufaktur bilah adalah kayu mahoni. Karena kayu mahoni memiliki tingkat kekerasan dan kelenturan yang baik. Akan tetapi, alasan utama dipilihnya kayu mahoni adalah karena ketersediaan kayu mahoni yang melimpah di kawasan pesisir pantai pulau jawa bagian selatan. Persiapan material dalam proses pembuatan manufaktur bilah adalah proses pengeringan dan pengukuran kayu. Tujuan pengeringan adalah untuk mengurangi kadar air pada kayu agar massa kayu tidak terlalu berat dan juga untuk memudahkan proses pemotongan dan penggerindaan.

Proses pengeringan kayu dilakukan dengan cara menjemur kayu dibawah sinar matahari pada rentang waktu jam 7 pagi hingga 3 sore. Selain pada waktu pengeringan tersebut kayu disimpan di tempat yang teduh dan terhindar dari air hujan karena kayu yang basah berpengaruh saat proses manufaktur. Kayu yang basah dapat mempengaruhi proses manufaktur karena serat pada kayu yang masih basah dapat menghambat proses pemakanan alat terhadap material dan serat kayu

yang basah juga dapat membuat pahat Mesin CNC patah. Proses pengukuran kayu dilakukan sesuai ukuran panjang, lebar, dan tebal dari desain yang telah dibuat sebelumnya.



Gambar 3-5 Proses Pengeringan Kayu



Gambar 3-6 Proses Pengukuran Kayu



### 3.2.1.5 Pembuatan Mal *Airfoil*

Langkah berikutnya adalah pembuatan mal atau cetakan *airfoil* bilah. Mal *airfoil* digunakan sebagai patokan dasar dalam pengikisan bilah untuk membentuk *airfoil* pada kayu agar bentuk *airfoil* dapat sama merata pada panjangnya kayu.



Gambar 3-7 Bentuk Mal *Airfoil*

### 3.2.1.6 Pengetaman Kayu

Proses ini dilakukan untuk menyesuaikan ukuran bilah sesuai dengan perancangan bilah yang sudah ditentukan dengan menggunakan mesin ketam kayu *portable*. Kedalaman pemakanan yang digunakan pada mesin kayu *portable* yaitu 1mm. Proses pengetaman kayu dapat memudahkan proses penggerindaan sesuai bentuk bilah yang dibutuhkan.



Gambar 3-8 Proses Pengetaman Kayu

### 3.2.1.7 Pembentukan *airfoil* bilah

Pembentukan bilah bertujuan untuk membentuk kayu sesuai dengan desain *airfoil* yang telah di rancang. Pembentukan bilah dilakukan dengan mengikuti mal *airfoil* yang telah dibuat agar bentuk *airfoil* pada bilah sama dari pangkal ke ujung *airfoil*.

Kayu dikikis menggunakan gerinda mengikuti garis bantu dan bentuk *airfoil* yang telah dibuat. Pemakanan yang digunakan pada mesin gerinda tangan yaitu dengan batu gerinda potong dan amplas ukuran 80, 120, 240, dan 1000. Penggunaan gerinda amplas dimulai dari amplas dengan nomor yang lebih kecil atau amplas yang lebih kasar sehingga proses pengikisan tidak memakan waktu yang lama. Sedangkan amplas dengan nomor yang semakin besar atau semakin halus, proses pemakanan terhadap material lebih sedikit sehingga meminimalisir terjadinya kelebihan pemakanan material atau kecacatan produk.



Gambar 3-9 Pelekatan Mal *Airfoil* pada Ujung Bilah



Gambar 3-10 Proses Penggerindaan



Gambar 3-11 Penggunaan Mal Airfoil

### 3.2.1.8 Pembentukan Pangkal Bilah

Untuk memasang bilah ke generator, maka diperlukan pangkal bilah. Seperti halnya pembentukan *airfoil*, bagian pangkal bilah juga memerlukan mal sebagai patokan agar pangkal dapat dipasang pada generator.



Gambar 3-12 Proses Pelekatan Mal Pangkal



Gambar 3-13 Proses Pembuatan Pangkal



Gambar 3-14 Proses Pelubangan Pangkal

### 3.2.1.9 Finishing

Proses finishing meliputi menghaluskan hasil manufaktur bilah dengan amplas dan pemberian warna pada bilah menggunakan spray paint. Bilah diberikan warna menggunakan spray paint atau pylox yang bertujuan untuk mempercantik bilah dari segi visual agar bilah terlihat lebih menarik.

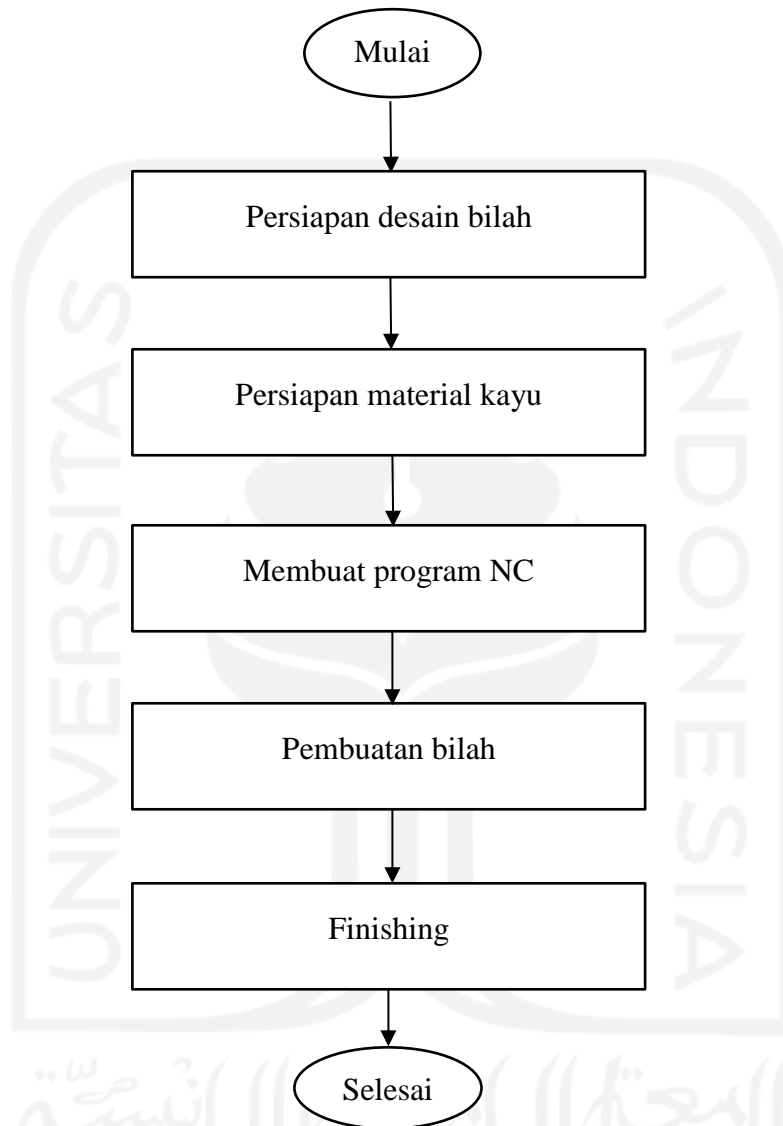


Gambar 3-15 Proses Pemberian Warna Pada Bilah

## 3.2.2 Pembuatan Bilah dengan Mesin CNC

### 3.2.2.1 Alur Proses Pembuatan

Alur dari proses pembuatan bilah dengan mesin CNC adalah sebagai berikut:



Gambar 3-16 Alur Proses Pembuatan Bilah dengan Mesin CNC

### 3.2.2.2 Alat dan Bahan

Pada proses pembuatan bilah dengan mesin CNC, dibutuhkan perangkat elektronik sebagai alat pembantu proses manufaktur bilah. Adapun macam-macam alat yang digunakan oleh penulis yaitu:

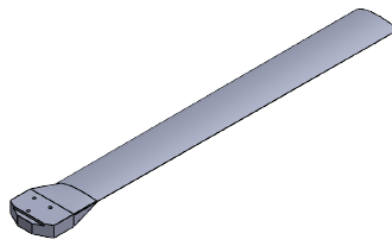
1. Laptop
2. Mesin CNC *Milling*

Bahan yang digunakan dalam proses pembuatan bilah CNC adalah sebagai berikut:

1. Balok Kayu Mahoni 120cm x 20cm x 7cm
2. Cat Warna
3. Mata Bor

### 3.2.2.3 Persiapan Desain

Langkah awal sebelum proses manufaktur bilah dengan Mesin CNC adalah mempersiapkan desain yang telah dibuat. Desain bilah digunakan sebagai acuan Mesin CNC dalam proses permesinan. File desain kemudian di upload kedalam *software* CNC yaitu Mastercam X5.



Gambar 3-17 Desain 3D Bilah Tipe Taperless

### 3.2.2.4 Persiapan Material Kayu

Langkah awal dalam proses pembuatan bilah adalah pengeringan kayu. Tujuan pengeringan kayu adalah untuk mengurangi kadar air pada kayu agar massa kayu tidak terlalu berat dan juga untuk memudahkan proses pemakanan pada saat proses permesinan.

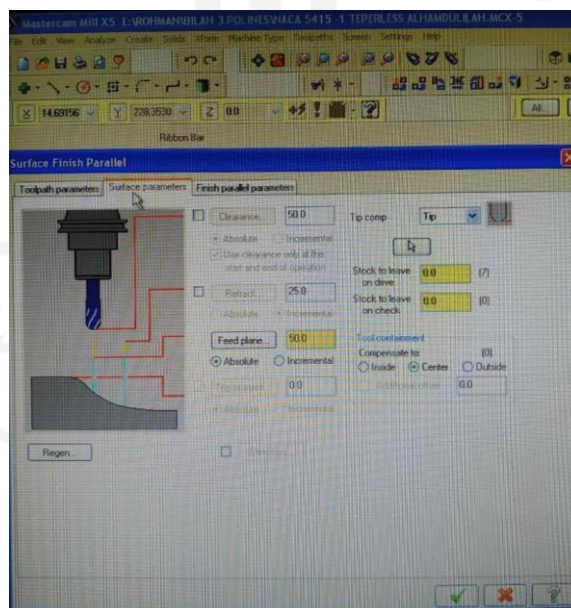
Proses pengeringan kayu dilakukan dengan cara menjemur kayu dibawah sinar matahari pada rentang waktu jam 7 pagi hingga 3 sore. Selain pada waktu pengeringan tersebut kayu disimpan di tempat yang teduh dan terhindar dari air hujan karena kayu yang basah berpengaruh saat proses manufaktur. Kayu yang basah dapat mempengaruhi proses manufaktur karena serat pada kayu yang masih basah dapat menghambat proses pemakanan alat terhadap material dan serat kayu yang basah juga dapat membuat pahat Mesin CNC patah



Gambar 3-18 Proses Penjemuran Kayu

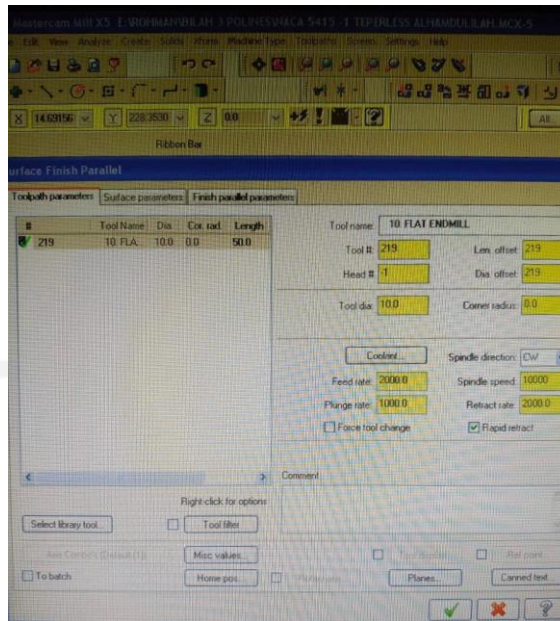
### 3.2.2.5 Membuat Program NC

Pada proses pembuatan program NC dengan menggunakan software Mastercam X5, Strategi pemakanan yang digunakan adalah parallel. Parameter lain yang ditentukan dalam pembuatan bilah menggunakan Mesin CNC yaitu menggunakan pergeseran mata pahat sejauh 1mm dan kecepatan pemakanan pada Mesin CNC sebesar 2000 mm/min. Adapun jenis mata pahat yang digunakan pada proses ini yaitu EndMill Flat dengan radius 10 mm.

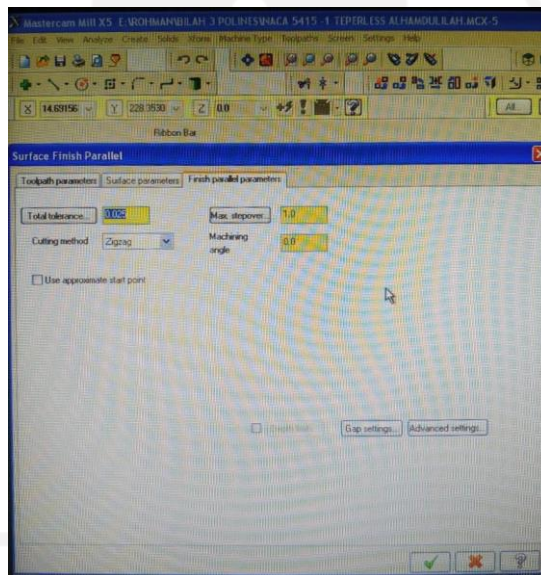


Gambar 3-19 Proses Pemilihan Mata Pahat





Gambar 3-20 Proses Pemilihan Strategi Pemakanan 1



Gambar 3-21 Proses Pemilihan Strategi Pemakanan 2

### 3.2.2.6 Pembuatan Bilah

Pembentukan bilah bertujuan untuk membentuk kayu sesuai dengan desain *airfoil* yang telah di rancang. Pembentukan bilah dilakukan dengan menggunakan mesin CNC *milling* mengikuti desain 3D bilah yang telah dibuat menggunakan *software*.



Gambar 3-22 Proses Pemasangan Klem pada Material



Gambar 3-23 Proses Pemakanan



Gambar 3-24 Hasil Proses Permesinan Mesin CNC

### 3.2.2.7 Finishing

Proses finishing meliputi menghaluskan hasil manufaktur bilah dengan amplas dan pemberian warna pada bilah menggunakan spray paint. Bilah diberikan warna menggunakan spray paint atau pylox yang bertujuan untuk mempercantik bilah dari segi visual agar bilah terlihat lebih menarik.



Gambar 3-25 Proses Pemberian Warna Pada Bilah

## 3.3 Pengambilan Data Proses Manufaktur

### 3.3.1 Tabel Parameter

Berikut merupakan tabel yang berisi parameter yang akan digunakan dalam proses pengambilan data proses manufaktur.

Tabel 3-1 Tabel Parameter QCD

No.	Metode	Parameter
1	Quality	Kerataan produk
		Ketelitian produk
2	Cost	Biaya material
		Biaya tenaga kerja/jasa
		Biaya <i>overhead</i>
3	Delivery	Pra pembuatan
		Proses pembuatan
		Pasca pembuatan

### 3.3.2 Alat dan Bahan

Berikut ini merupakan alat yang digunakan dalam proses pengambilan data hasil proses manufaktur bilah secara manual maupun dengan mesin CNC:

1. Mal Airfoil
2. Dial Indikator
3. Stopwatch
4. Mistar

Bahan yang digunakan dalam proses pengambilan data manufaktur adalah sebagai berikut:

1. Bilah hasil proses manufaktur secara manual.
2. Bilah hasil proses manufaktur dengan mesin CNC.

### 3.3.3 Data *Quality* Bilah

Data *quality* bilah adalah data yang diambil dari hasil proses manufaktur bilah. Pengambilan data dilakukan dengan cara melakukan pengukuran pada bilah hasil proses manufaktur. Berikut merupakan beberapa parameter pengukuran yang digunakan oleh peneliti untuk mengetahui *quality* dari hasil proses manufaktur bilah:

### **3.3.3.1 Kerataan Produk**

Pada pengukuran kerataan hasil proses manufaktur dari bilah, peneliti menggunakan alat ukur dial indikator dengan cara mengambil data pada setiap titik yang berjarak 4 cm antar titik sebanyak 20 titik pada bilah.

### **3.3.3.2 Ketelitian Produk**

Pada pengukuran ketelitian dimensi hasil proses manufaktur dari bilah terhadap desain yang telah dibuat, peneliti menggunakan mal *airfoil* dan alat ukur meteran dengan cara menyesuaikan ukuran hasil proses manufaktur bilah dengan ukuran desain yang telah dibuat.

### **3.3.4 Data Cost Bilah**

Data *cost* bilah adalah data jumlah biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan bilah mulai dari material yang digunakan sehingga bilah itu jadi. Berikut merupakan parameter biaya yang digunakan untuk mengetahui jumlah *cost* yang dibutuhkan masing-masing proses manufaktur dari bilah:

#### **3.3.4.1 Biaya Material**

Biaya material adalah jumlah biaya yang dikeluarkan untuk pembelian material yang digunakan dalam proses manufaktur bilah.

#### **3.3.4.2 Biaya Tenaga Kerja/Jasa**

Biaya tenaga kerja/jasa adalah jumlah biaya yang dikeluarkan untuk membayar/menyewa penyedia tenaga kerja/jasa yang mengerjakan pembuatan bilah.

#### **3.3.4.3 Biaya Overhead**

Biaya *overhead* adalah jumlah biaya yang dikeluarkan untuk biaya diluar bahan baku langsung dan tenaga kerja/jasa langsung.

### **3.3.5 Data Delivery Bilah**

Data *delivery* bilah adalah jumlah waktu yang dibutuhkan untuk proses manufaktur dari bilah, mulai dari persiapan sebelum proses manufaktur hingga

proses *finishing*. Berikut merupakan parameter *delivery* yang digunakan untuk mengetahui jumlah waktu yang dibutuhkan masing-masing proses manufaktur dari bilah:

### **3.3.5.1 Pra Pembuatan**

Parameter pra pembuatan digunakan untuk menghitung jumlah waktu yang dibutuhkan untuk mempersiapkan material sebelum masuk ke dalam proses manufaktur dari bilah.

### **3.3.5.2 Proses Pembuatan**

Parameter proses pembuatan digunakan untuk menghitung jumlah waktu yang dibutuhkan selama proses manufaktur dari bilah berlangsung.

### **3.3.5.3 Pasca Pembuatan**

Parameter pasca pembuatan digunakan untuk menghitung jumlah waktu yang dibutuhkan setelah proses manufaktur dari bilah, yaitu proses *finishing*. Proses *finishing* meliputi menghaluskan hasil manufaktur bilah dengan amplas dan pemberian warna pada bilah agar bilah terlihat lebih menarik secara visual.

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi tentang proses pengambilan data menggunakan metode QCD dan hasil perbandingan proses manufaktur bilah *micro wind turbine* secara manual dan mesin CNC berupa nilai *scoring* parameter.

#### **4.1 Parameter *Quality, Cost, dan Delivery* (QCD)**

##### **4.1.1 Parameter *Quality* Bilah**

Parameter ini digunakan untuk menentukan kesesuaian hasil proses manufaktur bilah dengan desain ideal bilah yang telah dirancang sebelumnya. Parameter yang digunakan untuk mengetahui *quality* dari hasil proses manufaktur bilah yaitu pengukuran kerataan permukaan dan ketelitian pada *airfoil* bilah. Kerataan dan ketelitian pada bilah dapat mempengaruhi kesetimbangan pada pengujian bilah. Jika suatu bilah tidak dalam keadaan setimbang saat beroperasi, hal tersebut dapat mengakibatkan getaran yang dapat mengurangi efisiensi dan dapat merusak kincir. (Dahlan, 2016)

##### **4.1.1.1 Kerataan**

Untuk mengukur kerataan permukaan hasil proses manufaktur dari bilah, Proses pertama yang dilakukan pada pengukuran kerataan adalah membuat garis lurus pada bagian tengah bilah agar mempermudah proses pemberian titik pada bilah. Karena bentuk bagian *airfoil* pada bilah yang memuntir, maka proses pemberian titik pada bilah dilakukan pada bagian tengah bilah. Langkah selanjutnya yaitu memastikan titik awal dan akhir bernilai 0 menggunakan alat dial indikator.



Gambar 4-1 Proses Pemberian Garis Tengah dan Titik

Setelah titik awal dan akhir bernilai 0, proses selanjutnya adalah memulai proses pengukuran kerataan setiap titik yang berjarak 4 cm antar titik pada permukaan bilah sebanyak 20 titik menggunakan alat dial indikator. Berikut ini merupakan gambar proses pengukuran kerataan dengan menggunakan alat dial indikator:



Gambar 4-2 Proses Pengukuran Kerataan dengan Alat Dial Indikator

Setelah dilakukan proses pengukuran kerataan pada masing-masing titik bilah, maka didapatkan hasil berupa data pengukuran seperti pada Tabel 4-1 berikut:



Tabel 4-1 Data Pengukuran Kerataan Bilah Manual 1 dan 2

No.	Bilah Proses Manual 1(mm)	Bilah Proses Manual 2(mm)
0	0	0
1	0,71	0,73
2	0,21	0,14
3	0,32	0,21
4	0,17	0,08
5	1,12	0,26
6	0,07	0,71
7	0,01	1,13
8	0,33	0,83
9	0,65	0,47
10	1,19	0,17
11	1,02	0,44
12	1,00	0,66
13	0,99	0,88
14	0,92	1,13
15	0,39	1,84
16	0,13	1,42
17	0,09	1,90
18	0,05	1,94
19	0	0

Tabel 4-2 Data Pengukuran Kerataan Bilah Manual dan CNC

No.	Bilah Proses Manual(mm)	Bilah Proses Mesin CNC(mm)
0	0	0
1	0,72	0,33
2	0,18	0,79
3	0,27	0,96
4	0,13	1,13
5	0,69	1,14
6	0,39	1,07
7	0,57	1,01
8	0,58	0,84
9	0,56	0,67
10	0,68	0,48
11	0,73	0
12	0,83	0
13	0,94	0,06
14	1,03	0,02
15	1,12	0,01
16	0,78	0,15
17	1,00	0,15
18	1,00	0,13
19	0	0

Proses pengambilan data bilah proses manual dilakukan dua kali pada bilah yang berbeda untuk mengetahui tingkat kekonsistenan proses pembuatan yang dikerjakan oleh manusia. Data-data yang didapatkan dari kedua proses manual kemudian di rata-rata, lalu hasil rata-rata tersebut dibandingkan dengan data-data proses Mesin CNC.



Gambar 4-3 Grafik Kerataan Bilah Manual dan Bilah CNC

Gambar 4-3 merupakan grafik data hasil pengukuran kerataan dari masing-masing bilah hasil proses manufaktur. Hasil grafik diatas menunjukkan bahwa nilai kerataan pada bilah dengan proses manual lebih rendah dibandingkan dengan nilai kerataan bilah dengan proses mesin CNC. Pada grafik warna biru menunjukkan bahwa bilah hasil proses manufaktur secara manual terjadi fluktuasi yang lebih banyak dibandingkan dengan grafik warna oranye yang artinya bahwa pada grafik warna oranye memiliki tingkat keakuratan dengan desain ideal yang lebih tinggi dibandingkan dengan grafik warna biru.

#### 4.1.1.2 Ketelitian

Pada pengukuran ketelitian dimensi hasil proses manufaktur dari bilah terhadap desain yang telah dibuat, peneliti menggunakan mal *airfoil* dan meteran dengan cara menyesuaikan ukuran hasil proses manufaktur bilah dengan ukuran desain yang telah dibuat. Berikut merupakan beberapa parameter yang digunakan peneliti untuk mengukur ketelitian dari hasil proses manufaktur bilah.

#### 4.1.1.3 Panjang Bilah

Pengukuran panjang bilah dilakukan dengan menggunakan alat ukur meteran. Proses pengukuran dilakukan dengan cara mengukur panjang keseluruhan pada bilah. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui ukuran panjang bilah setelah dilakukan proses manufaktur.

Tabel 4-3 Data Pengukuran Panjang Bilah

No.	Jenis Bilah	Panjang Bilah
1	Desain Bilah Ideal	97 cm
2	Bilah Proses Manual	97,1 cm
3	Bilah Proses Mesin CNC	97 cm

Pada Tabel 4-3 Merupakan hasil dari pengukuran panjang bilah. pada tabel tersebut menunjukkan bahwa bilah hasil proses CNC lebih presisi dengan desain ideal bilah dibandingkan dengan bilah hasil proses manual yang melebihi desain ideal bilah sebanyak 1 mm.



Gambar 4-4 Proses Pengukuran Panjang Bilah

#### 4.1.1.4 Lebar Bilah

Pengukuran panjang bilah dilakukan menggunakan alat ukur meteran. Proses pengukuran dilakukan dengan cara mengukur lebar keseluruhan pada bilah. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui ukuran lebar bilah setelah dilakukan proses manufaktur.

Tabel 4-4 Data Pengukuran Lebar Bilah

No.	Jenis Bilah	Lebar Bilah
1	Desain Bilah Ideal	12 cm
2	Bilah Proses Manual	12,2cm
3	Bilah Proses Mesin CNC	11,9 cm

Pada Tabel 4-4 Merupakan hasil dari pengukuran lebar bilah. Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa bilah hasil proses CNC lebih presisi dengan desain

ideal bilah dibandingkan dengan bilah hasil proses manual yang melebihi desain ideal sebanyak 3 mm.



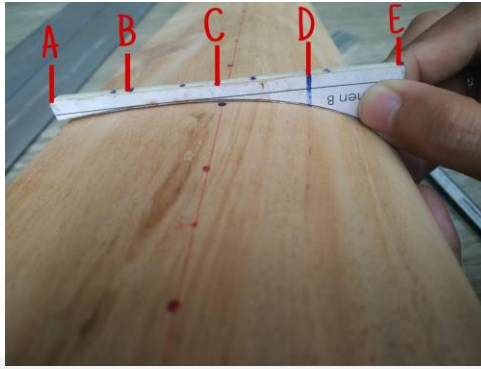
Gambar 4-5 Proses Pengukuran Lebar Bilah

#### 4.1.1.5 Dimensi *Airfoil*

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui dimensi *airfoil* dari pangkal ke ujung bilah pada hasil proses manufaktur bilah. Pengukuran dimensi *airfoil* dilakukan menggunakan alat ukur kedalaman jangka sorong dan alat bantu mal *airfoil*. Mal *airfoil* digunakan untuk mengetahui kesesuaian dimensi *airfoil* pada hasil proses manufaktur bilah terhadap mal *airfoil* sedangkan jangka sorong digunakan untuk mengetahui jarak antara permukaan *airfoil* dengan mal *airfoil*.

Proses pengambilan data pengukuran dimensi *airfoil* dengan cara mengasumsikan bilah menjadi 5 bagian dengan jarak antar bagian yaitu 12 cm. Setiap bagian memiliki 5 titik yang diasumsikan menjadi ABCDE untuk mempermudah dalam proses pengambilan data dimensi *airfoil*. Untuk mengetahui kesesuaian dimensi *airfoil* terhadap mal *airfoil*, maka dilakukan pengukuran untuk mengetahui jarak antara permukaan *airfoil* dengan mal *airfoil* dengan menggunakan rumus:

*Nilai total kedalaman – nilai kedalaman mal airfoil*



Gambar 4-6 Asumsi 5 Titik Mal Airfoil pada Bilah Bagian Atas



Gambar 4-7 Asumsi 5 Titik Mal *Airfoil* pada Bilah Bagian Bawah



Gambar 4-8 Proses Pengambilan Data dengan Jangka Sorong

Berikut ini merupakan tabel yang berisi data bilah dengan proses manual dan proses Mesin CNC:

1. Data Bilah dengan Proses Manual 1

Tabel 4-5 Data Pengukuran Dimensi *Airfoil* Bilah Manual 1

No	Dimensi <i>Airfoil</i> Proses Manual 1									
	Bagian Atas (mm)					Bagian Bawah (mm)				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	0.2	0.6	1.7	1.8	0	0	0.3	0.9	1.5	0.9
2	0.1	0.7	1.3	2.3	0	0	0.5	0.5	0.7	1
3	0.1	1.3	2.1	2.3	0	0	0.4	0	0.4	1.1
4	0.6	0.4	0.2	0.9	0	0	0.9	0.2	0.4	1.9
5	0.4	0.8	0.5	0.5	0	0	1.4	0	0.8	4

2. Data Bilah dengan Proses Manual 2

Tabel 4-6 Data Pengukuran Dimensi *Airfoil* Bilah Manual 2

No	Dimensi <i>Airfoil</i> Proses Manual 2									
	Bagian Atas (mm)					Bagian Bawah (mm)				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	0.2	0.1	1.4	1.3	0	0	0.8	0.1	0.2	0.4
2	0.3	0.3	1.3	1.4	0	0	0.4	0.7	0.5	0.6
3	0	0.6	1.2	2.7	0	0	0.3	1.3	0.1	0.6
4	0	1,1	1,9	2,7	0	0	0.6	0.3	0.4	1.1
5	0.2	0.1	0.6	1.1	0	0	0.9	0.2	0	1.5

3. Data Bilah dengan Proses Mesin CNC

Tabel 4-7 Data Pengukuran Dimensi *Airfoil* Bilah CNC

No	Dimensi <i>Airfoil</i> Proses Mesin CNC									
	Bagian Atas (mm)					Bagian Bawah (mm)				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	1.9	1.3	0.6	0.3	0	0	0.3	0.8	0	0.1
2	0.2	1.4	0.7	0.4	0	0	0.1	0.6	0	0
3	1.4	0.9	0.5	0.2	0	0	0.3	0.2	0	0
4	1.4	0.8	0.3	0.2	0	0	0.3	0	0.1	0.1
5	1.9	1.1	0.6	0.1	0	0	0.4	0.8	0.1	0.2

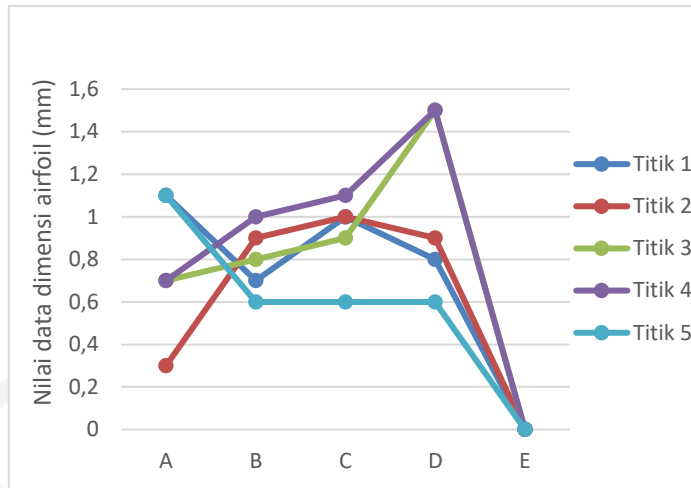
4. Data Bilah yang digunakan dalam proses perbandingan

Tabel 4-8 Data Pengukuran Dimensi *Airfoil* Bilah Manual dan Mesin CNC

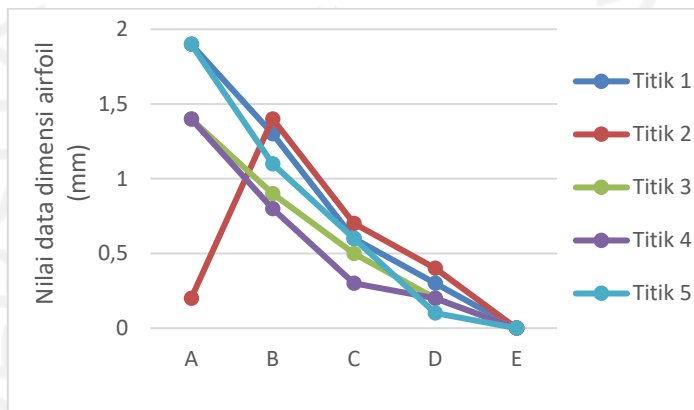
No	Dimensi <i>Airfoil</i> Proses Manual									
	Bagian Atas (mm)					Bagian Bawah (mm)				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	1,1	0,7	1,0	0,8	0	0	0,6	0,5	0,1	0,3
2	0,3	0,9	1,0	0,9	0	0	0,3	0,7	0,3	0,3
3	0,7	0,8	0,9	1,5	0	0	0,3	0,8	0,1	0,3
4	0,7	1,0	1,1	1,5	0	0	0,5	0,2	0,3	0,6
5	1,1	0,6	0,6	0,6	0	0	0,7	0,5	0,1	0,9
No	Dimensi <i>Airfoil</i> Proses Mesin CNC									
	Bagian Atas (mm)					Bagian Atas (mm)				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	1,9	1,3	0,6	0,3	0	0	0,3	0,8	0	0,1
2	0,2	1,4	0,7	0,4	0	0	0,1	0,6	0	0
3	1,4	0,9	0,5	0,2	0	0	0,3	0,2	0	0
4	1,4	0,8	0,3	0,2	0	0	0,3	0	0,1	0,1
5	1,9	1,1	0,6	0,1	0	0	0,4	0,8	0,1	0,2

Tabel 4-5 sampai Tabel 4-7 merupakan data hasil pengukuran dimensi *airfoil* menggunakan alat ukur kedalaman jangka sorong dan mal *airfoil*. Pada pengukuran dimensi *airfoil* titik E bagian atas bilah dan titik A bagian bawah bilah menjadi titik acuan penggunaan mal *airfoil* dalam proses pengambilan data sehingga pada kedua titik tersebut bernilai 0.

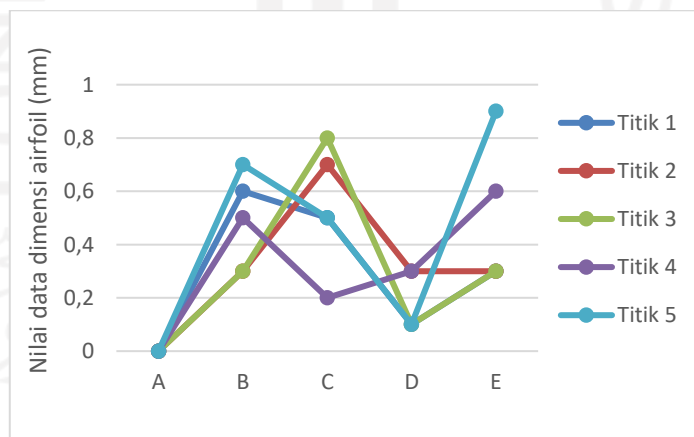




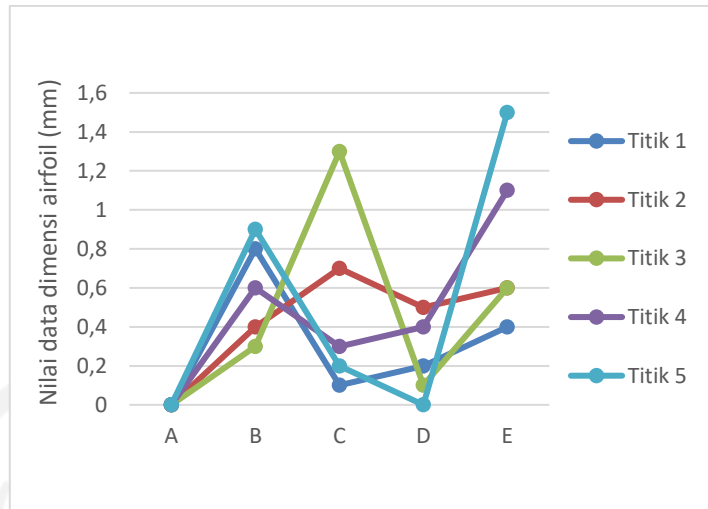
Gambar 4-9 Grafik Bilah Manual Bagian Atas



Gambar 4-10 Grafik Bilah CNC Bagian Atas



Gambar 4-11 Grafik Bilah Manual Bagian Bawah



Gambar 4-12 Grafik Bilah CNC Bagian Bawah

Gambar 4-9 dan Gambar 4-10 merupakan grafik dari data hasil pengukuran dimensi *airfoil* bilah bagian atas terhadap mal *airfoil*. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa bilah hasil proses manual lebih baik dengan nilai rata-rata 0,752 mm dibandingkan dengan bilah hasil proses CNC dengan nilai rata-rata 0,792 mm.

Gambar 4-11 dan Gambar 4-12 merupakan grafik dari data hasil pengukuran dimensi *airfoil* bilah bagian bawah terhadap mal *airfoil* pada kedua hasil proses manufaktur bilah. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa bilah hasil proses CNC lebih baik dengan nilai rata-rata 0,176 mm dibandingkan dengan bilah hasil proses manual dengan nilai rata-rata 0,712 mm.

#### 4.1.2 Parameter *Cost* Bilah

##### 4.1.2.1 Biaya Material

Biaya material adalah jumlah biaya yang dikeluarkan untuk pembelian material yang digunakan dalam proses manufaktur bilah.

Tabel 4-9 Material Kayu

No.	Material	Dimensi material(cm)	Harga
1	Kayu Bilah Proses Manual	100x15x3	Rp. 20.000,-
2	Kayu Bilah Proses Mesin CNC	120x20x7	Rp. 170.000,-

Pada Tabel 4-9 merupakan total biaya yang dikeluarkan untuk pembelian material. Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa biaya material pada CNC lebih mahal dikarenakan dimensi kayu yang cukup besar dibandingkan dengan proses manual.

#### 4.1.2.2 Biaya Tenaga Kerja/Jasa

Biaya tenaga kerja/jasa adalah jumlah biaya yang dikeluarkan untuk membayar/menyewa penyedia tenaga kerja/jasa yang mengerjakan pembuatan bilah.

Tabel 4-10 Biaya Jasa

No.	Jenis Proses	Harga
1	Bilah Proses Manual	Rp. 1.435.000,-
2	Bilah Proses Mesin CNC	Rp. 2.450.500,-

Pada Tabel 4-10 merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan bilah dengan proses Mesin CNC dan manual. Biaya pada pembuatan bilah dengan proses Mesin CNC lebih mahal dibandingkan bilah dengan proses manual karena pembuatan bilah dengan proses Mesin CNC menggunakan jasa yang menyediakan pembuatan bilah dengan Mesin CNC.

Biaya pembuatan bilah dengan proses Mesin CNC pada tabel diatas sudah menjadi satu paket hingga produk jadi, termasuk pembuatan program NC untuk mengoprasikan mesin CNC. Peneliti hanya memberikan desain 3d *solidworks* dan material kayu mahoni kepada jasa pembuatan bilah dengan Mesin CNC.

#### 4.1.2.3 Biaya *Overhead*

Biaya *overhead* adalah jumlah biaya yang dikeluarkan untuk biaya diluar bahan baku langsung dan tenaga kerja/jasa langsung.

Tabel 4-11 Biaya *Overhead*

Proses	No	Alat dan Bahan	Harga
Manual	1	Amplas ukuran 80x2pcs,120x2pcs,240x2pcs,1000	Rp. 20.000
	2	Listrik	Rp. 1.264
	3	Print desain <i>airfoil</i>	Rp. 1.000
	4	<i>Spray paint</i> warna silver	Rp. 14.500
Mesin CNC	1	Amplas A100 lembar	Rp. 2000
	2	<i>Spray paint</i> warna putih	Rp. 14.500

Pada Tabel 4-11 merupakan jumlah biaya *overhead* pada proses pembuatan bilah dengan Mesin CNC dan Manual. Jumlah biaya *overhead* pada proses pembuatan bilah manual lebih mahal dibandingkan dengan proses CNC karena jumlah biaya *overhead* pada proses CNC sudah menjadi satu paket dengan biaya proses pembuatan.

### 4.1.3 Parameter *Delivery* Bilah

#### 4.1.3.1 Pra Pembuatan

Parameter pra pembuatan digunakan untuk menghitung jumlah waktu proses yang dibutuhkan sebelum dilakukannya proses manufaktur bilah.

Tabel 4-12 Tabel Pra Pembuatan

Proses	No	Jenis Proses	Waktu
Manual	1	Pengeringan kayu ukuran 3cm x 15cm x 100cm	4 Hari
	2	Pengukuran garis toleransi	10 menit
	3	Pembuatan Mal <i>Airfoil</i>	5 menit
	Total waktu =		96 jam 15 menit
Mesin CNC	1	Pengeringan kayu ukuran 7cm x 20cm x 120cm	7 hari
	2	Membuat program NC	1 jam
	Total waktu =		169 jam

Tabel 4-12 merupakan jumlah waktu proses yang dibutuhkan sebelum dilakukannya proses manufaktur pada bilah. Jumlah waktu yang dibutuhkan pada proses CNC lebih lama dibandingkan dengan proses manual. Hal tersebut dikarenakan dimensi material pada proses CNC lebih besar sehingga membutuhkan waktu lebih lama dalam proses pengeringan dibandingkan dengan material pada proses manual.

#### **4.1.3.2 Proses Pembuatan**

Parameter pra pembuatan digunakan untuk menghitung jumlah waktu proses yang dibutuhkan saat dilakukannya proses manufaktur bilah.



Tabel 4-13 Tabel Proses Pembuatan

Proses	No	Jenis Proses	Waktu
Manual	1	Pengetaman kayu	43 menit 52 detik
	2	Pengetaman <i>airfoil</i>	10 menit 50 detik
	3	Pembentukan <i>airfoil</i> dengan gerinda tangan	50 menit 55 detik
	4	Pembuatan pangkal	17 menit 26 detik
			Total Waktu =
Mesin CNC	1	Pembuatan lubang klem	4 menit 21 detik
	2	Pemakanan atas	1 jam 58 menit 53 detik
	3	Pemakanan bawah	2 jam 30 menit
			Total Waktu =

Parameter pra pembuatan digunakan untuk menghitung jumlah waktu proses yang dibutuhkan saat dilakukannya proses manufaktur bilah.

Tabel 4-13 merupakan jumlah waktu yang dibutuhkan pada masing-masing proses manufaktur bilah. Pada proses manufaktur bilah menggunakan Mesin CNC menghasilkan waktu lebih lama dibandingkan dengan proses manufaktur bilah dengan cara manual dikarenakan gerak dan jumlah pemakanan pada Mesin CNC terbatas sehingga memakan waktu lebih lama dibandingkan proses manual, karena gerak dan jumlah pemakanan pada proses manual lebih fleksibel.

#### 4.1.3.3 Pasca Pembuatan

Parameter pasca pembuatan digunakan untuk menghitung jumlah waktu yang dibutuhkan setelah proses manufaktur dari bilah.

Tabel 4-14 Tabel Pasca Pembuatan

Proses	No	Jenis Proses	Waktu
Manual	1	Pengamplasan menggunakan ukuran 1000	3 menit 57 detik
	2	Pemberian warna bilah	15 menit
Mesin CNC	1	Pengamplasan menggunakan A100	10 menit
	2	Pemberian warna bilah	15 menit

Tabel 4-14 merupakan jumlah waktu proses yang dibutuhkan setelah dilakukannya proses manufaktur pada bilah. Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan pada proses manual lebih singkat dibandingkan dengan proses CNC khususnya pada waktu pengamplasan bilah. Hal tersebut



dikarenakan pada bilah hasil proses mesin CNC terdapat sisa-sisa kayu hasil proses permesinan yang menempel pada bilah sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan proses manual.

## 4.2 Scoring Parameter

Scoring Parameter adalah pemberian skor pada masing-masing parameter. Pemberian skor didasarkan atas pertimbangan, seberapa kecil nilai yang dihasilkan oleh parameter tersebut maka semakin tinggi nilai skornya (Anas Sudijono, 2007). Untuk mendapatkan skor/nilai total, perlu adanya pemberian nilai pada setiap parameter. Pemberian nilai pada setiap parameter adalah sama yaitu 0-10. Rumus yang akan digunakan ini memiliki catatan bahwa nilai dengan skala terendah mempunyai nilai skor 10 (Matondang, Kahar, & Sasmito, 2013). Nilai pada setiap parameter didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{nilai skala} = \frac{\text{nilai parameter}}{\text{nilai parameter tertinggi}} \times 10$$

Tabel 4-15 Tabel Scoring Parameter

No	Parameter	Proses	Nilai	Nilai Skala	Skor	Kesimpulan
1	Kerataan	Manual	0,4685mm	10	0	CNC Lebih Baik
		CNC	0,4471mm	9,5	1	
2	Ketelitian Panjang	Manual	97,1cm	10	0	CNC Lebih Baik
		CNC	97cm	0	1	
3	Ketelitian Lebar	Manual	12,3cm	2,5	0	CNC Lebih Baik
		CNC	11,9cm	0,1	1	
4	Ketelitian Dimensi <i>Airfoil</i> Bagian Atas	Manual	0,752mm	9,5	1	Manual Lebih Baik
		CNC	0,792mm	10	0	
5	Ketelitian Dimensi <i>Airfoil</i> Bagian Bawah	Manual	0,712mm	10	0	CNC Lebih Baik
		CNC	0,176mm	2,4	1	
6	Biaya Material	Manual	Rp. 20.000	1,2	1	Manual Lebih Baik
		CNC	Rp. 170.000	10	0	
7	Biaya Tenaga Kerja/Jasa	Manual	Rp. 1.435.000,-	0	1	Manual Lebih Baik
		CNC	Rp. 2.450.500,-	10	0	
8	Biaya <i>Overhead</i>	Manual	Rp. 36.764	10	0	CNC Lebih Baik
		CNC	Rp. 16.500	0	1	
9	Pra Pembuatan	Manual	5775 Menit	5,7	1	Manual Lebih Baik
		CNC	10140 Menit	10	0	
10	Proses Pembuatan	Manual	2 Jam 3 Menit 3 Detik	4,5	1	Manual Lebih Baik
		CNC	4 Jam 32 Menit 20 Detik	10	0	
11	Pasca Pembuatan	Manual	18 Menit 57 Detik	7	1	Manual Lebih Baik
		CNC	25 Menit	10	0	

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Pada penelitian ini, proses pembuatan bilah menggunakan proses manual dan CNC. Hasil dari kedua proses tersebut dievaluasi menggunakan metode Quality, Cost, dan Delivery (QCD).
2. Parameter yang digunakan pada hasil proses pembuatan model bilah Taperless adalah sebagai berikut:
  1. Quality
    - a) Kerataan
    - b) Ketelitian
  2. Cost
    - a) Biaya Material
    - b) Biaya Tenaga Kerja
    - c) Biaya *Overhead*
  3. Delivery
    - a) Pra Pembuatan
    - b) Proses Pembuatan
    - c) Pasca Pembuatan
3. Hasil perbandingan parameter metode Manual dan metode Mesin CNC dapat disimpulkan bahwa pada proses pembuatan manual didapatkan bahwa parameter ketelitian lebar, ketelitian dimensi airfoil bagian atas, biaya material, biaya tenaga kerja/jasa, pra pembuatan, proses pembuatan, dan pasca pembuatan lebih baik dari proses mesin CNC. Sedangkan pada proses mesin CNC didapatkan bahwa parameter Kerataan, Ketelitian panjang, Ketelitian lebar, Ketelitian dimensi airfoil bagian bawah, dan Biaya overhead lebih baik dari proses manual.
4. Berdasarkan hasil scoring parameters, proses manual memiliki nilai skor yang lebih tinggi yaitu 6 dibandingkan dengan Mesin CNC yaitu 5.

## 5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Pada penelitian ini masih terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki. Oleh karena itu, dengan adanya saran diharapkan dapat meminimalkan kekurangan pada penelitian “Analisis Perbandingan hasil Proses manufaktur Bilah Micro Wind Turbine Secara Manual dan Mesin CNC dengan Menggunakan Metode QCD” selanjutnya, diantaranya yaitu:

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan pengujian tarik dan tekan pada hasil proses manufaktur bilah
2. Memperbanyak variabel parameter dan pengambilan data agar mendapatkan hasil yang maksimal
3. Melakukan penelitian yang menggunakan jenis material kayu yang berbeda sebagai pembanding dengan penelitian yang telah dibuat untuk mendapatkan tingkat efisien yang maksimal
4. Melakukan penelitian dengan tipe bilah yang berbeda sebagai pembanding dengan penelitian yang telah dibuat untuk mendapatkan tingkat efisien yang maksimal
5. Melakukan penelitian dengan jenis *airfoil* berbeda sebagai pembanding dengan penelitian yang telah dibuat untuk mendapatkan tingkat efisien yang maksimal

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, J. Y. and N. A. (2013). Enhancing vertical axis wind turbine by dynamic stall control using synthetic jets. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 144, 12–17.
- Anas Sudijono. (2007). *Pengantar Statistik Pendidikan*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Bambang Setiyo Hari Purwoko. (2020). *Dasar-dasar Memogram CNC*. UNY Press.
- Bernoulli, D., & Mikhailov, G. K. (2005). Landmark Writings in Western Mathematics 1640-1940. In I. Grattan-Guinness (Ed.), *Hydrodynamica* (Vol. 4, pp. 131–142). Elsevier.
- Brown, N. (2011). *A Tougher and Lighter Wind Turbine Blade Design / CleanTechnica*. 1089–1092. Retrieved from <https://cleantechnica.com/2011/12/09/a-tougher-and-lighter-wind-turbine-blade-design/>
- Dahlan, B. (2016). *RANCANG BANGUN BALING-BALING KINCIR ANGIN KAYU MAHONI ( Swietenia macrophylla ) DAN PINUS DESIGN OF WIND TURBINE BASED ON THE NACA 4412 AND 4415 USING MAHOGANY ( Swietenia macrophylla ) DAN PINES WOOD ( Pinus merkusii )*.
- Diakov, D. I., Nikolova, H. N., & Vassilev, V. A. (2018). Large-Scaled Details Flatness Measurement Method. *2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2018.8602859>
- Edwards, C. W., Nyholm, E., & Chapman, J. (1982). Lymphomatoid granulomatosis: Report of a case. *Thorax*, 37(4), 311–312. <https://doi.org/10.1136/thx.37.4.311>
- Endo, M., Tsuruta, K., Saitoh, Y., Nakajima, H., & Hata, Y. (2011). Toward an Optimal QCDE in Manufacturing by Health Monitoring of Equipment Energy Consumption. *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 327–332. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.2011.6083686>
- Halim, C. (2006). *Costing Akurat Dengan Microsoft Excel*. Elex Media

Komputindo.

- Heling, B., Schleich, B., & Wartzack, S. (2020). An approach for determining the influence of manufacturing process parameters on product quality characteristics. *Procedia CIRP*, 92, 212–217. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.179>
- Hornigren, C. T., Foster, G., & Srikant M. Datar. (1997). *Cost accounting: a managerial emphasis*. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, ©1997.
- Jarass, L. (1980). *Windenergie: E. systemanalyt. Bewertung d. techn. u. wirtschaftl. Potentials für die Stromerzeugung d. Bundesrepublik Deutschland*.
- Kabir, A., Mallik, A., Mohammad Kabir, Y., & Hafiz, A. (2019). A Computational Design Approach on Kfm Based Modified NACA 4415 for Better Aerodynamic Efficiency. *Proceedings of the 2019 5th International Conference Advances in Electrical Engineering (ICAEE)*.
- Ketut, I., Pandit, N., Nandika, D., & Darmawan, W. (2011). Analisis Sifat Dasar Kayu Hasil Hutan Tanaman Rakyat (Analysis of Wood Character of Social Plantation Forests). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 16(2), 119–124. Retrieved from <https://jurnal.ipb.ac.id/index.php/JIPI/article/view/6609>
- Kotler, P., Amstrong, G., & Sindoro, A. (2003). *Dasar-dasar pemasaran*. Jakarta : Indeks.
- Manalo, R. G., & Manalo, M. V. (2010). Quality, Cost, and Delivery Performance Indicators and Activity-Based Costing. *5th IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology, ICMIT2010*, 869–874. <https://doi.org/10.1109/ICMIT.2010.5492805>
- Matondang, J., Kahar, S., & Sasmito, B. (2013). Analisis Zonasi Daerah Rentan Banjir Dengan Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus : Kota Kendal Dan Sekitarnya). *Jurnal Geodesi Undip*, 2(2), 84658.
- Mosey, C. A., Poeng, R., & C.Neyland, J. (2013). Perhitungan waktu dan biaya pada proses pemesinan benda uji tarik. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, 4(1), 1–12. Retrieved from <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/poros/article/view/6783/6307>
- Mustofa, H. (2021). *Teknik Pemesinan NC/CNC dan CAM SMK/MAK Kelas XII*. Gramedia Widiasarana indonesia.

- Nuraini, A., & Abadi, C. S. (2019). Analisis Perbandingan Bilah Turbin Angin Jenis Taper dengan Taperless pada Turbin Angin Skala Mikro di PT . Lentera Bumi Nusantara. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, 138–146.
- Piggot, H. (1997). *Windpower Workshop*.
- Piggott, H. (1997). *Windpower Workshop*. Centre for Alternative Technology.
- Poole, S., & Phillips, R. (2015). Rapid prototyping of small wind turbine blades using additive manufacturing. *Proceedings of the 2015 Pattern Recognition Association of South Africa and Robotics and Mechatronics International Conference, PRASA-RobMech 2015*, 189–194. <https://doi.org/10.1109/RoboMech.2015.7359521>
- Prasetyo, A., Notosudjono, D., & Soebagja, H. (2019). Studi Potensi Penerapan Dan Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Indonesia. *Program Studi Teknik Elektro*, 1–12.
- Rachman, Akbar. (2012). Potensi Angin Sebagai Pembangkit Listrik Energi Terbarukan. *Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Jember, 68121 Indonesia*.
- Rachman, Arfidian, Pratiwi, P., & Ashari, L. (2019). *Rancang Bangun dan Uji Prestasi Horizontal Axis Wind Turbine Jenis Taper Design and Performance Horizontal Axis Wind Turbine Taper Type*. 9(2).
- Raj, A., Gurav, R. B., Sankpal, J. B., Chavan, D. S., & Karandikar, P. B. (2017). Study of output parameters of horizontal axis wind turbines using experimental test setup. *1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems, ICPEICES 2016*, 363–368. <https://doi.org/10.1109/ICPEICES.2016.7853120>
- Ramdhani, D., Merida, Hendrani, A., & Suheri. (2020). *Akuntansi Biaya (Konsep dan Implementasi di Industri Manufaktur)*. CV MARKUMI.
- Shashank Priya, Ravi Anant Kishore, C. S. (2018). *Wind Energy Harvesting: Micro-to-Small Scale Turbines* (1st ed.). Blacksburg, USA: De Gruyter.
- Sudarsono. (2013). *Optimasi Rancangan Kincir Angin Modifikasi Standar NACA 4415 Menggunakan Serat Rami (Boehmeria Nivea) dengan Core Kayu Sengon Laut (Albizia Falcata) yang Berkelanjutan*. Disertasi Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang.

- Suh, H., & Sohn, H. (1997). Qualitative Analysis of QCD and PPO Properties for Realization of Concurrent Engineering. *IFAC Proceedings Volumes*, 30(14), 97–101. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)42704-2](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)42704-2)
- Sulton, A. (2020). *MANUFAKTUR BILAH HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE ( HAWT ) MODEL TAPERLESS MENGGUNAKAN AIRFOIL NACA 5415 DENGAN DAYA 500W DI PT . LENTERA BUMI NUSANTARA.*
- Suryadi, R. A. (2017). *Analisis Pengaruh Variasi Chord dan Twist pada Bilah Jenis Taperless Airfoil NACA 4415 Terhadap Daya Turbin Angin Horizontal dengan Software QBLADE.* Universitas Teknologi Sumbawa.





## LAMPIRAN

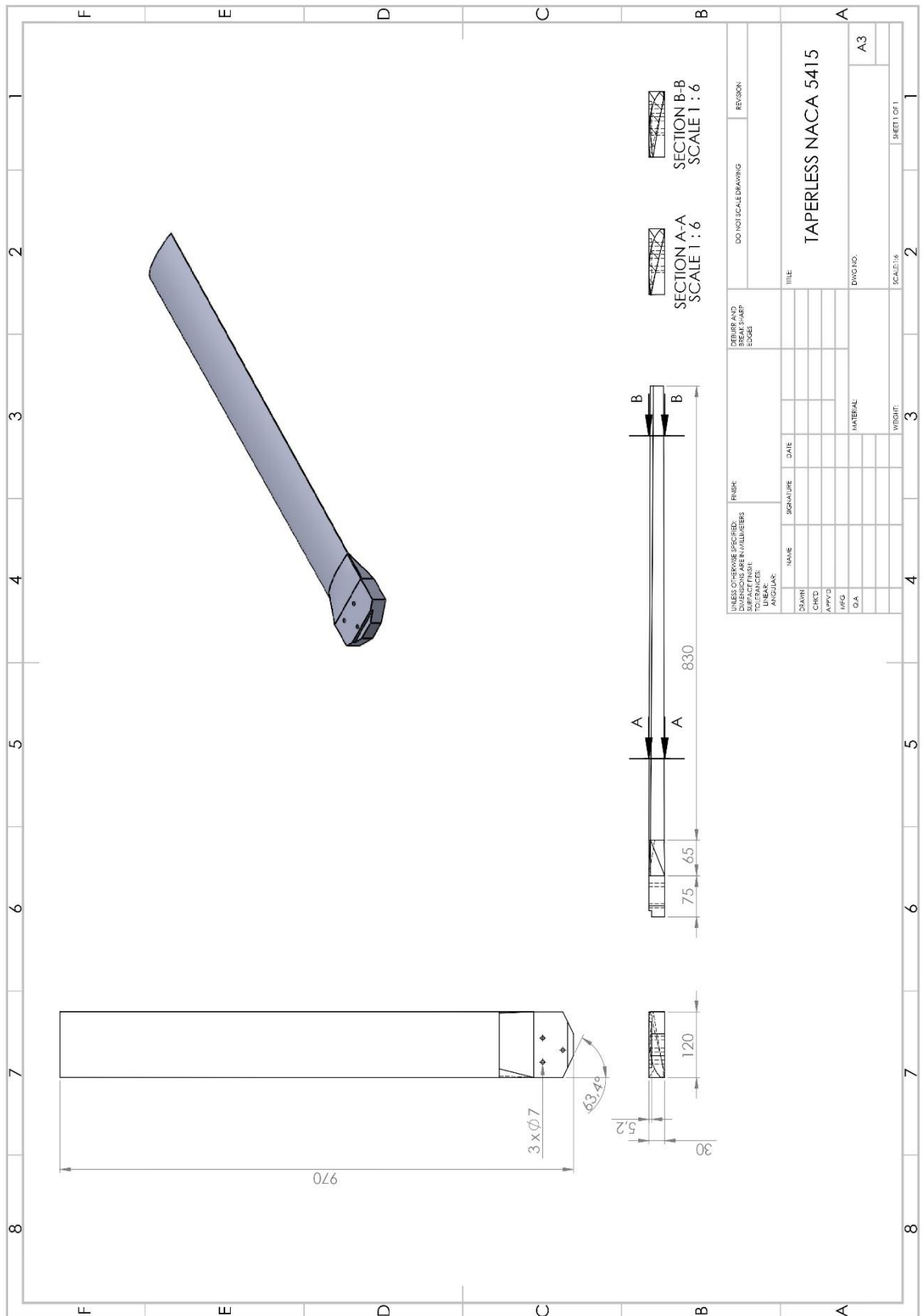
### 1. Data excel untuk geometri bilah

TSR	Airfoil	d/cd	Cr	Jumlah Bilah				
7	NACA 5415	135	0.17	3				
Geometri Bilah			$\text{PHI} = 2/3 * \text{Tan}^{-1}(1/\text{Lamda})$	$\text{Cl} = (16 * \pi * R^2 / r) (9 * \text{TSR}^2)$				
Elemen	Jari-jari Parsial	TSR Parsial	Flow Angul(deg)	Cl	Alpha	Twist(Beta) (Deg)	Twist Linier 75%	Twist Optimum
0	0.17	1.2	26.694	1.86	15	11.694		11.06
1	0.25	1.8	19.634	1.25	6.24	13.394		10.72
2	0.34	2.4	15.356	0.94	3.25	12.106		10.38
3	0.42	2.9	12.551	0.76	1.65	10.901		10.04
4	0.50	3.5	10.590	0.63	0.44	10.150		9.70
5	0.59	4.1	9.149	0.54	-0.4	9.549		9.36
6	0.67	4.7	8.048	0.47	-1.04	9.088		9.02
7	0.75	5.3	7.180	0.42	-1.5	8.680	8.680	8.68
8	0.83	5.8	6.480	0.38	-1.86	8.340	8.340	8.34
9	0.92	6.4	5.903	0.35	-2.14	8.043		8.00
10	1	7.0	5.420	0.32	-2.4	7.820		7.66

### 2. Data excel untuk *airfoil* bilah

x/cosβ	Chord (mm)	Scale
0,1223	122,27	1,2227
0,1221	122,13	1,2213
0,1220	122,00	1,2200
0,1219	121,87	1,2187
0,1217	121,74	1,2174
0,1216	121,62	1,2162
0,1215	121,50	1,2150
0,1214	121,39	1,2139
0,1213	121,28	1,2128
0,1212	121,18	1,2118
0,1211	121,08	1,2108

### 3. Desain Bilah Taperless NACA 5415



4. Daya yang dihasilkan bilah airfoil NACA dengan seri 4412

<b>KAPASITAS DAYA PER PV</b>		<b>500</b>	W (PEAK)	<b>TYPE BILAH</b>	
<b>PANJANG BILAH</b>				<b>DATA LOGGER</b>	56K - 5.6K / 6NP
<b>Charging Measurement</b>	<b>Maximum Battery Voltage</b>	<b>26.99</b>	<b>Volt</b>		
	<b>Minimum Battery Voltage</b>	<b>0.00</b>	<b>Volt</b>		
	<b>Maximum Charging Current</b>	<b>3.44</b>	<b>Ampere</b>		
<b>Charging Power</b>	<b>Average Charging Wattage</b>	<b>2.00</b>	<b>Watt</b>		
	<b>Maximum Charging Wattage</b>	<b>92.78</b>	<b>Watt</b>		
	<b>Obtained Power</b>	<b>47.93</b>	<b>Wh</b>		
Hari, Tanggal		02 March 2020		<b>DAYA</b>	
Kapasitas Daya WT		500	Watt (Peak)	47,93	Wh

5. Daya yang dihasilkan bilah airfoil NACA dengan seri 4412

<b>KAPASITAS DAYA PER PV</b>		<b>500</b>	W (PEAK)	<b>TYPE BILAH</b>	
<b>PANJANG BILAH</b>				<b>DATA LOGGER</b>	56K - 5.6K / 6NP
<b>Charging Measurement</b>	<b>Maximum Battery Voltage</b>	<b>26.99</b>	<b>Volt</b>		
	<b>Minimum Battery Voltage</b>	<b>0.00</b>	<b>Volt</b>		
	<b>Maximum Charging Current</b>	<b>3.44</b>	<b>Ampere</b>		
<b>Charging Power</b>	<b>Average Charging Wattage</b>	<b>2.00</b>	<b>Watt</b>		
	<b>Maximum Charging Wattage</b>	<b>92.78</b>	<b>Watt</b>		
	<b>Obtained Power</b>	<b>48.01</b>	<b>Wh</b>		
Hari, Tanggal		Senin, 02 Maret 2020		<b>DAYA</b>	
Kapasitas Daya WT		500	Watt (Peak)	48,01	Wh