

SKRIPSI  
**OPTIMASI DESAIN KETEBALAN PROFIL PIRINGAN *RUNNER***  
**TURBIN BANKI**



*Mencerdaskan &  
Memartabatkan Bangsa*

**MUHAMMAD QAIS**  
**5315160882**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**  
**2021**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI I

Judul : Optimasi Desain Ketebalan Profil Piringan *Runner* Turbin Banki  
Penyusun : Muhammad Qais  
NIM : 5315160882  
Pembimbing I : Ragil Sukarno, M.T.  
Pembimbing II: Drs. H. Sirojuddin, M.T.  
Tanggal Ujian : 3 Februari 2021

Disetujui oleh:

Pembimbing I,



Ragil Sukarno, M.T.

NIP. 19601027990031003

Pembimbing II,

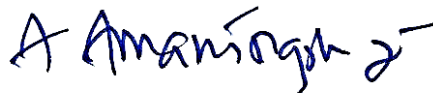


Drs. H. Sirojuddin, M.T.

NIP. 19601027990031003

Mengetahui

Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin





Aam Amaningsih Jumhur, Ph.D.

NIP. 197110162008122001

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI II

Judul : Optimasi Desain Ketebalan Profil Piringan *Runner* Turbin Banki

Nama : Muhammad Qais  
NIM : 5315160882  
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

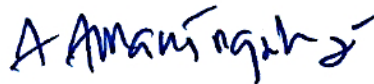
| NAMA DOSEN   | TANDA TANGAN   | TANGGAL          |
|--|--|------------------|
| <u>Ragil Sukarno, S.T., M.T.</u><br>NIP. 19601027990031003<br>(Dosen Pembimbing I) |  | 18 Februari 2021 |
| <u>Drs. H. Sirojuddin, M.T.</u><br>NIP. 19601027990031003<br>(Dosen Pembimbing II) |  | 18/2/2021        |

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

|   |  |             |
|---|--|-------------|
| <u>Aam Amaningsih Jumhur, Ph.D.</u><br>NIP. 197110162008122001<br>(Ketua Penguji)         |  | 18 Feb 2021 |
| <u>Dra. Ratu Amilia Avianti, M.Pd.</u><br>NIP. 196506161990032001<br>(Sekertaris Penguji) |  | 7 Feb 2021  |
| <u>Ir. Drs. H. Sorimuda Harahan, MT</u><br>NIP. 195805251990031007<br>(Dosen Ahli)        |  | 7 Feb 2021  |

Tanggal Lulus : 26 Februari 2021

Mengetahui  
Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin



Aam Amaningsih Jumhur, Ph.D.  
NIP. 197110162008122001

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini merupakan Karya asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di Perguruan Tinggi lain.
2. Skripsi ini belum dipublikasikan, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 18 Februari 2021  
Yang membuat pernyataan



Muhammad Qais  
No. Reg. 5315160882



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA  
UPT PERPUSTAKAAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220  
Telepon/Faksimili: 021-4894221  
Laman: [lib.unj.ac.id](http://lib.unj.ac.id)

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Muhammad Qais  
NIM : 5315160882  
Fakultas/Prodi : FT/Pendidikan Teknik Mesin  
Alamat email : muhammadqais0882@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

Skripsi     Tesis     Disertasi     Lain-lain (.....)

yang berjudul :

**Optimasi Desain Ketebalan Profil Piringan *Runner* Turbin Banki**

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 23 Februari 2021

Penulis

**(Muhammad Qais)**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas limpahan berkah, dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “Optimasi Desain Ketebalan Profil Piringan *Runner* Turbin Banki”, sebagai salah satu syarat dalam mendapatkan gelar sarjana pendidikan. Selama proses penulisan penelitian ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ragil Sukarno, M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang selalu membimbing, dan meluangkan waktu hingga selesainya penulisan skripsi ini.
2. Bapak Drs. Sirojuddin, M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang selalu membimbing, dan meluangkan waktu hingga selesainya penulisan skripsi ini.
3. Ibu Aam Amaningsih Jumhur, Ph.D., selaku Ketua Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
4. Ibu Aam Amaningsih Jumhur, Ph.D., selaku Pembimbing Akademik.
5. Seluruh Dosen, Staf Tata Usaha, dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta yang telah memberikan perkuliahan, dan bimbingan serta bantuan secara langsung maupun tidak langsung.
6. Ibu Dr. Uswatun Hasanah, M.Si., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta
7. Kedua orang tua serta anggota keluarga penulis yang selalu memberikan doa, dorongan moral, materiel, dan spiritual setiap waktu.
8. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta melalui Dinas P4OP yang telah memfasilitasi dan memberikan bantuan biaya pendidikan Kartu Jakarta Mahasiswa Unggul (KJMU) kepada penulis sehingga dapat menjalankan masa perkuliahan lebih baik.
9. Tim turbin banki yaitu Husni dan Aji yang telah menjadi teman pendamping semasa perkuliahan khususnya selama penyusunan skripsi ini.

10. Seluruh teman-teman mahasiswa konsentrasi Konstruksi Perancangan Angkatan 2016 Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta khususnya Nissa, Indra, Haris, Haryo, Ilham, Izaz, Ichi, dan lainnya yang telah berbagi semasa perkuliahan.
11. Seluruh teman-teman mahasiswa kelas A Angkatan 2016 Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta khususnya Erick, Endang, Dini, Pedja, Panji, Arif, Zalda, dan lainnya yang telah berbagi semasa perkuliahan.
12. Seluruh teman-teman mahasiswa Angkatan 2016 Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta yang telah berbagi semasa perkuliahan.
13. Kakak-kakak terbaik yaitu Aa Arip, Aa Aziz, Tete Lisa, Aa Ilham, dan Tete Lila yang senantiasa berbagi dan menemani.
14. Adik-adik terbaik yaitu Lia, Izul, dan Pasha yang senantiasa berbagi dan menemani.
15. Sahabat-sahabat terbaik yaitu Dwi, Cintya, Monic, Dimas, dan Alfiandi yang senantiasa berbagi dan menemani.
16. Keluarga Paskibra DAK Angkatan 2013, khususnya Adhit, Putri, Yuli, Indri, Susi, Maul, Kiki dan lainnya yang senantiasa berbagi dan menemani.
17. Seluruh kolega Forum KJMU UNJ khususnya Azzah, Julia, Mifthahul, Galih, Harum, dan Isfi yang senantiasa berbagi dan menemani.
18. Seluruh teman-teman TKR-B khususnya Farras, Alby, Fahmi, Dayat, Johandi, dan lainnya yang senantiasa berbagi kisah semasa SMK.
19. Seluruh petinggi dan kolega semasa PKL SMK di PT Astra International, Tbk. Daihatsu *Sales Operation* Cabang Pangeran Jayakarta, khususnya Leo, Bang Soleh, Bang Paul, Pak Nurhadi, Pak Eko, dan lainnya yang menemani semasa mencari pengalaman PKL.
20. Seluruh petinggi dan kolega semasa PKL masa perkuliahan di PT Mesin Isuzu Indonesia, khususnya Pak Rochmad, Pak Rudi, Pak Wing, Pak Galih, Mba Dian, Mba Bonita, Mas Reza dan lainnya yang menemani semasa mencari pengalaman PKL.

21. Seluruh petinggi dan kolega semasa PKM di SMK Negeri 39 Jakarta, khususnya Pak Gunawan, Pak Sarman, Aldo, Brenden dan lainnya yang menemani semasa mencari pengalaman PKM.
22. Seluruh teman karib 84 yaitu Ma'ruf, Rifqi, Firmansyah, Robi, Adelian, Maudy, Yolanda, Dimas, Kelvin, Lukman, Yusron, Vera, Fatma, Agnes, Febri, dan lainnya yang senantiasa berbagi kisah semasa SMP.
23. Seluruh Guru atau Pendidik semasa TK, TPAQ, SD, SMP & SMK khususnya Pak Salman, Pak Tomi, Bu Endang, Mom Daswani, Pak Riyanto, dan lainnya yang telah memberikan pembelajaran, dan bimbingan pada masanya.
24. Pak Dicky, Bu Annisa, dan Bu Nur Elli yang telah membantu proses administrasi bantuan pendidikan KJMU selama perkuliahan.
25. Seluruh petinggi dan kolega semasa *internship* di PT Tekno Medicalogy Indonesia yaitu Bu Ani, Pak Alex, Kak Ika, Kak Ari, Kak Dela, Kak Iki, Kak Agus, Claudia, Hasna, Hanna, dan Fatimah yang menemani semasa mencari pengalaman *internship*.
26. Serta seluruh pihak yang membantu penulis dalam menyusun proposal skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebut satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, dan masih memiliki kekurangan dalam sistematika penulisan maupun isi materinya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran, dan kritik yang membangun agar lebih baik lagi untuk penyempurnaan dalam penulisan di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap kepada Allah subhanahu wa ta'ala membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat memberi manfaat kepada penulis maupun kepada pembaca lainnya sehingga terciptanya kemajuan pengetahuan bagi semua orang.

Jakarta, 18 Februari 2021

Penyusun,



Muhammad Qais



## MOTO DAN PERSEMBAHAN

**“Telah pasti datangnya ketetapan Allah maka janganlah kamu meminta agar disegerakan (datang)-nya. Maha Suci Allah dan Maha Tinggi dari apa yang mereka persekutukan.” – Qs. An-Nahl Ayat 1**

*AL-GHURABA*

**“yang baik semakin apik”**

**“yang sabar semakin akbar”**

**“yang jujur semakin manjur”**

*“or yet in wise old Ravenclaw,  
if you've a ready mind,  
where those of wit and learning,  
will always find their kind.”*

— J.K. Rowling

Karya ilmiah ini, saya persembahkan untuk:  
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin  
- Fakultas Teknik - Universitas Negeri Jakarta,  
Seluruh dosen dan karyawan prodi khususnya kedua  
dosen pembimbing yang telah membantu dan membimbing saya,  
Kedua orang tua yang senantiasa berdoa tiada henti dan  
telah memberikan dukungan moril serta materiel,  
Keluarga besar yang senantiasa memberikan semangat kepada saya,  
Sahabat-sahabat yang senantiasa ada selama proses pembuatan karya ilmiah ini,  
Teman-teman dari prodi pendidikan teknik mesin khususnya  
tim turbin banki yang telah banyak membantu.

## ABSTRAK

Turbin banki merupakan salah satu jenis turbin untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Desain turbin banki memerlukan optimasi agar diperoleh desain yang optimum. Ada beberapa bagian yang perlu dioptimasi, salah satunya bagian piringan *runner*. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis ketebalan piringan *runner*, membandingkan kekuatan profil ketebalan piringan *runner* antar variasi yang dibuat untuk mendapatkan ketebalan piringan *runner* yang optimum. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan *software* Autodesk Inventor melalui simulasi uji *stress analysis*. Optimasi berlandaskan pada nilai faktor keamanan dari sudut *runner* yang tertimpa beban pada *runner assembly*. Analisis tegangan dilakukan dengan beberapa varian ketebalan piringan *runner* yaitu varian piringan *runner* RD-1 dengan ketebalan 6 mm, varian piringan *runner* RD-2 dengan ketebalan 5 mm, varian piringan *runner* RD-3 dengan ketebalan 4 mm, varian piringan *runner* RD-4 dengan ketebalan 3 mm, dan varian piringan *runner* RD-5 dengan ketebalan 2,5 mm. Nilai optimasi tegangan *yield* dibandingkan dengan tegangan yang terjadi  $\geq 3,00$  ul (*unitless*). Dari hasil uji analisis tegangan diperoleh bahwa ketebalan piringan *runner* yang divariasikan dapat memengaruhi nilai tegangan *von mises* dan nilai *safety factor* yang menunjukkan bahwa faktor keamanan dengan bentuk yang paling optimum adalah varian RD-5 dengan faktor keamanan sebesar 3,89 ul cukup memenuhi untuk turbin banki dengan ketebalan *runner disk* yang diaplikasikan sebesar 4 mm.

Kata kunci: Analisis Tegangan, Faktor Keamanan, Optimasi Desain, Piringan *Runner*, Turbin Banki

## ABSTRACT

*The banki turbine is one type of turbine for micro hydropower plants. Banki turbine design requires optimization to obtain an optimum design. Several parts need to be optimized, one of which is the runner disk. The purpose of this research is to analyze the thickness of the runner's disk, to compare the strength of the plate thickness profile between the variations made to obtain the optimal runner plate thickness. The research was conducted with an experimental method using Autodesk Inventor software through a simulation of stress analysis tests. Optimization is based on the value of the safety factor of the runner blades that are under load on the runner assembly. Stress analysis was carried out with several variants of the runner disk thickness, namely the RD-1 runner disk variant with a thickness of 6 mm, the RD-2 runner disk variant with a thickness of 5 mm, the RD-3 runner disk variant with a thickness of 4 mm, the RD-4 runner dish variant with a thickness of 4 mm. 3 mm thickness, and the RD-5 runner dish variant with a thickness of 2.5 mm. The optimization value of yield stress is compared to the stress that occurs  $\geq 3.00$  ul (unitless). From the results of the stress analysis test, it is found that the varied thickness of the runner disk can affect the value of the adverse stress and the value of the safety factor which indicates that the safety factor with the most optimal form is the RD-5 variant with a safety factor of 3.89 ul which is sufficient for banki turbine with an applied runner disk thickness of 4 mm.*

*Keywords: Banki Turbine, Design Optimization, Runner Disk, Safety Factor, Stress Analysis*

## DAFTAR ISI

|  | Halaman      |
|--|--------------|
| <b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI I</b> .....                 | <b>i</b>     |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI II</b> .....                | <b>ii</b>    |
| <b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....                           | <b>iii</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                              | <b>iv</b>    |
| <b>MOTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....                        | <b>vii</b>   |
| <b>ABSTRAK</b> .....                                     | <b>viii</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                    | <b>ix</b>    |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                  | <b>x</b>     |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                | <b>xiii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                               | <b>xv</b>    |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....                             | <b>xviii</b> |
| <br><b>BAB I PENDAHULUAN</b>                             |              |
| 1.1 Latar Belakang Masalah .....                         | 1            |
| 1.2 Identifikasi Masalah .....                           | 4            |
| 1.3 Pembatasan Masalah.....                              | 4            |
| 1.4 Rumusan Masalah.....                                 | 5            |
| 1.5 Tujuan Penelitian .....                              | 6            |
| 1.6 Manfaat Penelitian .....                             | 6            |
| <br><b>BAB II KAJIAN TEORETIK</b>                        |              |
| 2.1 Energi Baru, dan Terbarukan .....                    | 7            |
| 2.2 Energi Air .....                                     | 9            |
| 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) .....  | 10           |
| 2.4 Turbin Air <i>Cross-flow</i> /Turbin Air Banki ..... | 12           |
| 2.4.1 Perencanaan <i>Runner</i> Turbin Air Banki .....   | 15           |
| 2.4.2 Pembebanan pada Sudu <i>Runner</i> .....           | 16           |
| 2.4.2.1 Teori Tekanan Hidrostatik .....                  | 17           |
| 2.4.2.2 Teori Faktor <i>Water Hammer</i> .....           | 18           |
| 2.4.2.3 Pemberian Beban pada <i>Runner</i> .....         | 19           |
| 2.4.3 Pengelasan pada <i>Runner</i> .....                | 19           |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 2.5  | Optimasi Desain.....   | 21 |
| 2.6  | Desain Berbasis Komputer ( <i>Computer Aided Design</i> ).....   | 21 |
| 2.7  | Konsep Tegangan dan Regangan.....                                | 21 |
|      | 2.7.1 Tegangan .....   | 22 |
|      | 2.7.2 Regangan .....   | 25 |
| 2.8  | Faktor Keamanan ( <i>Safety Factor</i> ) .....                   | 27 |
| 2.9  | Teori Kegagalan Beban Statis.....                                | 29 |
|      | 2.9.1 Teori Tegangan Normal Maksimum (Rankine's).....            | 30 |
|      | 2.9.2 Teori Tegangan Geser Maksimum (Guest's atau Tresca's)..... | 30 |
|      | 2.9.3 Teori Energi Distorsi Maksimum (Hecky dan Von Mises) ..... | 31 |
| 2.10 | Metode Elemen Hingga ( <i>Finite Element Method</i> ).....       | 32 |
| 2.11 | Analisis Tegangan ( <i>Stress Analysis</i> ).....                | 35 |
| 2.12 | Perangkat Lunak yang Digunakan.....                              | 36 |
|      | 2.12.1 Perangkat Lunak Autodesk AUTOCAD .....                    | 36 |
|      | 2.12.2 Perangkat Lunak Autodesk INVENTOR .....                   | 38 |

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | Tempat dan Waktu Penelitian .....                    | 43 |
| 3.2 | Alat dan Bahan Penelitian .....                      | 43 |
|     | 3.2.1 Perangkat Lunak .....                          | 43 |
|     | 3.2.2 Alat Penelitian.....                           | 43 |
| 3.3 | Diagram Alir Penelitian.....                         | 44 |
|     | 3.3.1 Uraian Prosedur Penelitian.....                | 45 |
|     | 3.3.1.1 Studi Literatur.....                         | 45 |
|     | 3.3.1.2 <i>Preliminary Design</i> .....              | 45 |
|     | 3.3.1.3 <i>Input Dimensi</i> .....                   | 45 |
|     | 3.3.1.4 Pembuatan Model 2D.....                      | 45 |
|     | 3.3.1.5 Pembuatan Model 3D.....                      | 46 |
|     | 3.3.1.6 <i>Meshing</i> .....                         | 46 |
|     | 3.3.1.7 Kondisi Batas, dan Pembebanan Material ..... | 46 |
|     | 3.3.1.8 Simulasi.....                                | 49 |
|     | 3.3.1.9 Hasil .....                                  | 49 |
| 3.4 | Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data .....           | 49 |

|                                   |  |           |
|-----------------------------------|--|-----------|
| 3.5                               | Teknik Analisis Data .....             | 50        |
| <b>BAB IV HASIL PENELITIAN</b>    |  |           |
| 4.1                               | Deskripsi Hasil Penelitian .....       | 51        |
| 4.1.1                             | Model Desain .....                     | 51        |
| 4.1.2                             | Tahapan Analisis <i>Software</i> ..... | 55        |
| 4.1.2.1                           | <i>Input</i> Dimensi .....             | 55        |
| 4.1.2.2                           | <i>Input</i> Kondisi Batas .....       | 56        |
| 4.1.2.3                           | Menentukan Letak Tumpuan .....         | 57        |
| 4.1.2.4                           | Pemberian Beban .....                  | 57        |
| 4.1.2.5                           | Meshing .....                          | 58        |
| 4.2                               | Analisis Data Penelitian .....         | 59        |
| 4.2.2                             | Hasil Analisis .....                   | 59        |
| 4.2.2.3                           | Hasil Analisis pada Varian RD-1 .....  | 59        |
| 4.2.2.4                           | Hasil Analisis pada Varian RD-2 .....  | 64        |
| 4.2.2.5                           | Hasil Analisis pada Varian RD-3 .....  | 68        |
| 4.2.2.6                           | Hasil Analisis pada Varian RD-4 .....  | 72        |
| 4.2.2.7                           | Hasil Analisis pada Varian RD-5 .....  | 76        |
| 4.3                               | Pembahasan .....                       | 79        |
| 4.4                               | Aplikasi Hasil Penelitian .....        | 85        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> |  |           |
| 5.1                               | Kesimpulan .....                       | 86        |
| 5.2                               | Saran .....                            | 86        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>       |  | <b>88</b> |
| <b>LAMPIRAN .....</b>             |  | <b>95</b> |

## DAFTAR TABEL

| Nomor | Judul Tabel  | Halaman |
|-------|--|---------|
| 2.1   | Daftar Perusahaan Pembangkit Listrik Dunia Teratas Berdasarkan Kapasitas Terpasang | 8       |
| 2.2   | Potensi Energi Terbarukan Indonesia Tahun 2015                                     | 8       |
| 2.3   | Parameter Desain Pembebanan <i>Runner</i>  | 17      |
| 2.4   | Proses Simulasi <i>Analysis Stress</i> menggunakan Autodesk Inventor               | 40      |
| 3.1   | Spesifikasi Material JIS G3101 Grade SS500   | 47      |
| 3.2   | Spesifikasi Material JIS G3101 Grade SS400   | 47      |
| 3.3   | Ketebalan Material JIS G3101 Grade SS400 yang Tersedia dalam Industri              | 48      |
| 3.4   | Tabel Data Hasil Pengujian <i>Software</i>   | 49      |
| 4.1   | Parameter Desain <i>Runner</i>   | 51      |
| 4.2   | Spesifikasi Bahan Sudu dan Piringan <i>Runner</i>                                  | 52      |
| 4.3   | Variasi Ukuran Ketebalan Piringan <i>Runner</i>                                    | 54      |
| 4.4   | Kondisi Batas untuk Analisis <i>Software</i>                                       | 56      |
| 4.5   | Hasil <i>Stress Analysis Software</i> pada Variasi RD-1 <i>Runner Assembly</i>     | 59      |
| 4.6   | Hasil <i>Stress Analysis Software</i> pada Variasi RD-1 Piringan <i>Runner</i>     | 62      |
| 4.7   | Hasil <i>Stress Analysis Software</i> pada Variasi RD-2 <i>Runner Assembly</i>     | 64      |
| 4.8   | Hasil <i>Stress Analysis Software</i> pada Variasi RD-2 Piringan <i>Runner</i>     | 66      |
| 4.9   | Hasil <i>Stress Analysis Software</i> pada Variasi RD-3 <i>Runner Assembly</i>     | 68      |
| 4.10  | Hasil <i>Stress Analysis Software</i> pada Variasi RD-3 Piringan <i>Runner</i>     | 70      |
| 4.11  | Hasil <i>Stress Analysis Software</i> pada Variasi RD-4 <i>Runner Assembly</i>     | 72      |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 4.12 | Hasil <i>Stress Analysis Software</i> pada Variasi RD-4<br>Piringan <i>Runner</i> | 74 |
| 4.13 | Hasil <i>Stress Analysis Software</i> pada Variasi RD-5<br><i>Runner Assembly</i> | 76 |
| 4.14 | Hasil <i>Stress Analysis Software</i> pada Variasi RD-5                           | 78 |



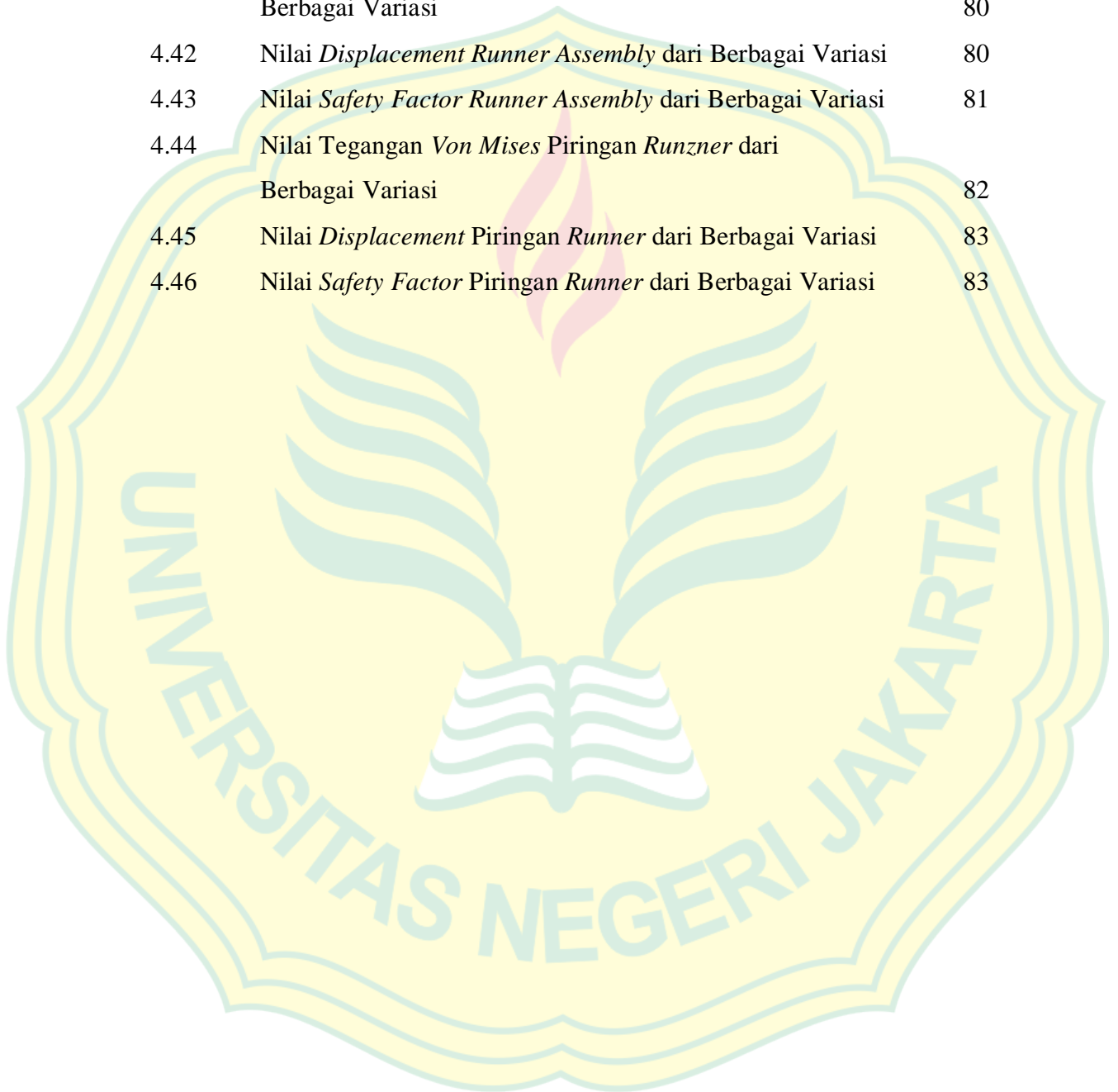


## DAFTAR GAMBAR

| Nomor | Judul Gambar   | Halaman |
|-------|--|---------|
| 2.1   | Diagram Skematik PLTMH   | 11      |
| 2.2   | Komponen-Komponen Turbin <i>Cross-Flow</i> atau Turbin Banki       | 12      |
| 2.3   | <i>Runner</i> Turbin Banki atau Turbin <i>Cross-Flow</i>           | 13      |
| 2.4   | Konstruksi Turbin <i>Cross-Flow</i> Ossberger                      | 14      |
| 2.5   | Distribusi Aliran dalam Turbin <i>Cross-Flow</i> atau Turbin Banki | 15      |
| 2.6   | Jalur Air Melalui <i>Runner</i>                                    | 15      |
| 2.7   | Segitiga Kecepatan untuk <i>Runner</i> Turbin Banki                | 16      |
| 2.8   | Karakteristik Kemampuan Las  | 20      |
| 2.9   | Proses Simulasi Pengelasan pada <i>Runner</i>                      | 20      |
| 2.10  | Tegangan Normal pada Batang  | 23      |
| 2.11  | Tegangan Geser   | 24      |
| 2.12  | Komponen Tegangan dalam Sistem Koordinat Kartesius                 | 24      |
| 2.13  | Tegangan pada Suatu Bidang   | 25      |
| 2.14  | Diagram Tegangan dan Regangan                                      | 26      |
| 2.15  | Beberapa Bentuk Elemen Hingga Dasar                                | 33      |
| 2.16  | Model Tetrahedron Elemen Hingga                                    | 33      |
| 2.17  | Empat Langkah Inti dalam Proses Simulasi <i>Stress Analysis</i>    | 35      |
| 2.18  | Halaman Awal AutoCAD   | 37      |
| 2.19  | Halaman Kerja Penggambaran AutoCAD                                 | 37      |
| 2.20  | Tampilan Inventor untuk <i>Sketch Tab</i>                          | 39      |
| 2.21  | Tampilan Inventor untuk <i>3D Model Tab</i>                        | 39      |
| 2.22  | Tampilan Inventor untuk <i>Assembly Tab</i>                        | 39      |
| 2.23  | Tampilan Inventor untuk <i>Stress Analysis Tab</i>                 | 40      |
| 3.1   | Diagram Alir Penelitian  | 44      |
| 4.1   | Model Sudu <i>Runner</i>   | 52      |
| 4.2   | Model 2D Varian Ketebalan Piringan <i>Runner</i>                   | 53      |
| 4.3   | Model 2D <i>Runner</i>   | 53      |
| 4.4   | Model 3D Piringan <i>Runner</i>                                    | 54      |
| 4.5   | Model 3D <i>Runner Assembly</i>                                    | 55      |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 4.6  | <i>Input Dimensi</i>  | 56 |
| 4.7  | Letak Tumpuan atau <i>Fixed</i>                                   | 57 |
| 4.8  | Pembebanan Tekanan pada Sudu Tingkat 1 <i>Runner</i>              | 58 |
| 4.9  | Pembebanan Tekanan pada Sudu Tingkat 2 <i>Runner</i>              | 58 |
| 4.10 | <i>Mesh View Runner Assembly Model</i>                            | 59 |
| 4.11 | Nilai Von Mises <i>Stress</i> Variasi RD-1 <i>Runner Assembly</i> | 60 |
| 4.12 | Nilai <i>Displacement</i> Variasi RD-1 <i>Runner Assembly</i>     | 61 |
| 4.13 | Nilai <i>Safety Factor</i> Variasi RD-1 <i>Runner Assembly</i>    | 61 |
| 4.14 | Nilai Von Mises <i>Stress</i> Variasi RD-1 Piringan <i>Runner</i> | 62 |
| 4.15 | Nilai <i>Displacement</i> Variasi RD-1 Piringan <i>Runner</i>     | 63 |
| 4.16 | Nilai <i>Safety Factor</i> Variasi RD-1 Piringan <i>Runner</i>    | 63 |
| 4.17 | Nilai Von Mises <i>Stress</i> Variasi RD-2 <i>Runner Assembly</i> | 64 |
| 4.18 | Nilai <i>Displacement</i> Variasi RD-2 <i>Runner Assembly</i>     | 65 |
| 4.19 | Nilai <i>Safety Factor</i> Variasi RD-2 <i>Runner Assembly</i>    | 65 |
| 4.20 | Nilai Von Mises <i>Stress</i> Variasi RD-2 Piringan <i>Runner</i> | 66 |
| 4.21 | Nilai <i>Displacement</i> Variasi RD-2 Piringan <i>Runner</i>     | 67 |
| 4.22 | Nilai <i>Safety Factor</i> Variasi RD-2 Piringan <i>Runner</i>    | 67 |
| 4.23 | Nilai Von Mises <i>Stress</i> Variasi RD-3 <i>Runner Assembly</i> | 68 |
| 4.24 | Nilai <i>Displacement</i> Variasi RD-3 <i>Runner Assembly</i>     | 69 |
| 4.25 | Nilai <i>Safety Factor</i> Variasi RD-3 <i>Runner Assembly</i>    | 69 |
| 4.26 | Nilai Von Mises <i>Stress</i> Variasi RD-3 Piringan <i>Runner</i> | 70 |
| 4.27 | Nilai <i>Displacement</i> Variasi RD-3 Piringan <i>Runner</i>     | 71 |
| 4.28 | Nilai <i>Safety Factor</i> Variasi RD-3 Piringan <i>Runner</i>    | 71 |
| 4.29 | Nilai Von Mises <i>Stress</i> Variasi RD-4 <i>Runner Assembly</i> | 72 |
| 4.30 | Nilai <i>Displacement</i> Variasi RD-4 <i>Runner Assembly</i>     | 73 |
| 4.31 | Nilai <i>Safety Factor</i> Variasi RD-4 <i>Runner Assembly</i>    | 73 |
| 4.32 | Nilai Von Mises <i>Stress</i> Variasi RD-4 Piringan <i>Runner</i> | 74 |
| 4.33 | Nilai <i>Displacement</i> Variasi RD-4 Piringan <i>Runner</i>     | 75 |
| 4.34 | Nilai <i>Safety Factor</i> Variasi RD-4 Piringan <i>Runner</i>    | 75 |
| 4.35 | Nilai Von Mises <i>Stress</i> Variasi RD-5 <i>Runner Assembly</i> | 76 |
| 4.36 | Nilai <i>Displacement</i> Variasi RD-5 <i>Runner Assembly</i>     | 77 |
| 4.37 | Nilai <i>Safety Factor</i> Variasi RD-5 <i>Runner Assembly</i>    | 77 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.38 | Nilai <i>Von Mises Stress</i> Variasi RD-5 Piringan <i>Runner</i>      | 78 |
| 4.39 | Nilai <i>Displacement</i> Variasi RD-5 Piringan <i>Runner</i>          | 79 |
| 4.40 | Nilai <i>Safety Factor</i> Variasi RD-5 Piringan <i>Runner</i>         | 79 |
| 4.41 | Nilai Tegangan <i>Von Mises Runner Assembly</i> dari Berbagai Variasi  | 80 |
| 4.42 | Nilai <i>Displacement Runner Assembly</i> dari Berbagai Variasi        | 80 |
| 4.43 | Nilai <i>Safety Factor Runner Assembly</i> dari Berbagai Variasi       | 81 |
| 4.44 | Nilai Tegangan <i>Von Mises Piringan Runzner</i> dari Berbagai Variasi | 82 |
| 4.45 | Nilai <i>Displacement Piringan Runner</i> dari Berbagai Variasi        | 83 |
| 4.46 | Nilai <i>Safety Factor Piringan Runner</i> dari Berbagai Variasi       | 83 |



## DAFTAR LAMPIRAN

| Nomor      | Judul Lampiran                             |
|------------|--|
| Lampiran 1 | <i>Stress Analysis Report</i> Variasi RD-1 |
| Lampiran 2 | <i>Stress Analysis Report</i> Variasi RD-2 |
| Lampiran 3 | <i>Stress Analysis Report</i> Variasi RD-3 |
| Lampiran 4 | <i>Stress Analysis Report</i> Variasi RD-4 |
| Lampiran 5 | <i>Stress Analysis Report</i> Variasi RD-5 |

