

**ANALISIS KEKUATAN *RUNNER BLADE* TURBIN KAPLAN
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

SKRIPSI



Oleh

DIMAS HANI SAPUTRA

NIM. 20212011006

**UNIVERSITAS ISLAM
RADEN RAHMAT**

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM RADEN RAHMAT MALANG

2024

**ANALISIS KEKUATAN *RUNNER BLADE* TURBIN KAPLAN
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

SKRIPSI

Diajukan kepada

**Universitas Islam Raden Rahmat Malang
untuk memenuhi salah satu persyaratan
dalam menyelesaikan program sarjana**



DIMAS HANI SAPUTRA

NIM. 20212011006

**UNIVERSITAS ISLAM
RADEN RAHMAT**

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM RADEN RAHMAT MALANG

2024

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Analisis Kekuatan *Runner Blade* Turbin Kaplan
Menggunakan Metode Elemen Hingga

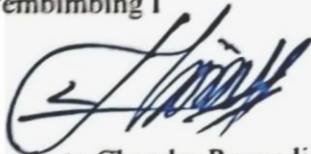
Penyusun : Dimas Hani Saputra

NIM : 20212011006

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji pada tanggal 21 Mei 2024.

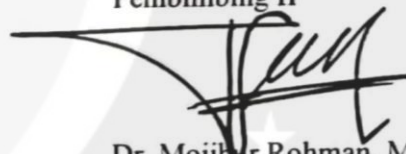
Disetujui oleh:

Pembimbing I



Luchyto Chandra Permadi, S.Pd., M.Pd
NIDN. 0706019201

Pembimbing II



Dr. Mojibur Rohman, M.Pd
NIDN. 0706088805



UNIVERSITAS ISLAM
RADEN RAHMAT

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : Analisis Kekuatan *Runner Blade* Turbin Kaplan
Menggunakan Metode Elemen Hingga

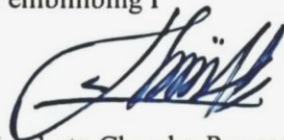
Penyusun : Dimas Hani Saputra

NIM : 20212011006

Skrripsi oleh Dimas Hani Saputra ini telah dipertahankan di depan dewan penguji
pada tanggal 21 Mei 2024.

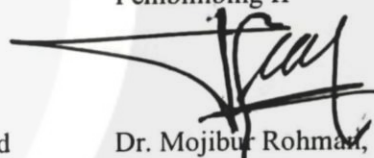
Disetujui oleh:

Pembimbing I



Luchyto Chandra Permadi, S.Pd., M.Pd
NIDN. 0706019201

Pembimbing II



Dr. Mojibur Rohmat, M.Pd
NIDN. 0706088805

Penguji I



Bella Cornelia Djiptady, S.Pd., M.Pd
NIDN. 0706029601

Penguji II



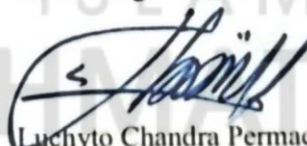
Ratna Fajarwati Meditama, M.Pd
NIDN. 0718038704

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi



Dr. Zaini Abidin, S.Si., M.Si
NIDN. 0704018804

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Mesin



Luchyto Chandra Permadi, S.Pd., M.Pd
NIDN. 0706019201

PERNYATAAN KEASLIAN PENULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dimas Hani Saputra

NIM : 20212011006

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Raden
Rahmat Malang

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar tulisan saya, dan bukan merupakan plagiasi baik sebagian atau seluruhnya.

Apabila dikemudian hari terbukti skripsi ini hasil plagiasi, baik sebagian atau seluruhnya, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan saya tersebut dengan ketentuan yang berlaku.

Malang, 21 Mei 2024

Yang membuat pernyataan,



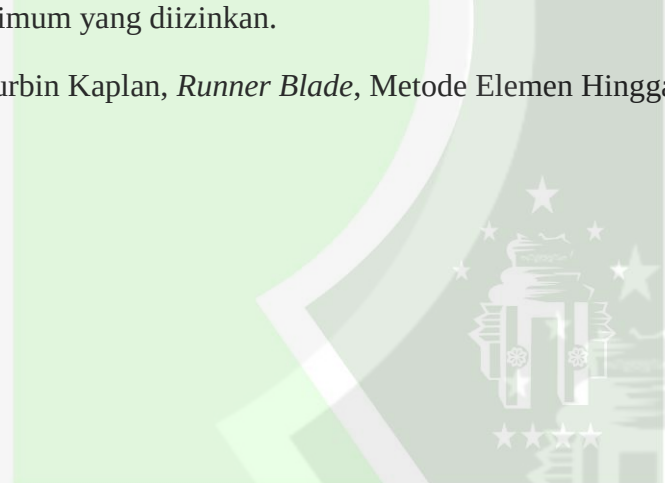

Dimas Hani Saputra

NIM. 20212011006

ABSTRAK

Sudu turbin kaplan mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik, mengalami berbagai gaya dan tekanan selama beroperasi. Bagian yang terus menerus bersentuhan dengan air menimbulkan permasalahan korosi dan erosi sudu yang mengakibatkan patahnya sudu turbin. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan *runner blade* turbin kaplan berupa nilai tegangan (*stress von mises*), deformasi (*displacement*), regangan (*strain*), dan faktor keamanan (*safety factor*). Pembebanan menggunakan gaya (*force*) resultan sebesar 167 Newton sebagai acuan beban yang diizinkan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode elemen hingga sebagai pendekatan numerik untuk menganalisa kekuatan desain *runner blade* turbin kaplan berupa nilai tegangan, deformasi, regangan, dan faktor keamanan menggunakan *software* Ansys untuk hasil *output* analisis statis. Berdasarkan dari hasil analisis elemen hingga dinyatakan bahwa desain *runner blade* turbin kaplan menggunakan bahan material AISI 321 *Austenitic Stainless Steel* dengan pembebanan yang diizinkan sesuai dan signifikan. Nilai faktor keamanan yang mendominasi lebih tinggi dari nilai faktor keamanan minimum yang diizinkan.

Kata Kunci: Turbin Kaplan, *Runner Blade*, Metode Elemen Hingga



UNIVERSITAS ISLAM
RADEN RAHMAT

UNIVERSITAS ISLAM
RADEN RAHMAT

ABSTRACT

Kaplan turbine blades convert the potential energy of water into mechanical energy, experiencing various forces and pressures during operation. Parts that are continuously in contact with water cause problems with corrosion and blade erosion which results in broken turbine blades. This research aims to analyze strengths runner blade kaplan turbine in the form of a voltage value (stress von misses), deformation (displacement), stretches (strain), and safety factors (safety factor). Loading using force (force) resultant of 167 Newtons as a reference for the permitted load. The research method used is the finite element method as a numerical approach to analyze design strength runner blade Kaplan turbine in the form of stress values, deformation, strain, and safety factors for use software Ansys for results output static analysis. Based on the results of the finite element analysis, it is stated that the design runner blade Kaplan turbines use AISI 321 materials Austenitic Stainless Steel with appropriate and significant permitted loads. The dominating safety factor value is higher than the minimum permitted safety factor value.

Keywords: Kaplan turbine, Runner Blade, Finite Element Methods



UNIVERSITAS ISLAM
RADEN RAHMAT

UNIVERSITAS ISLAM
RADEN RAHMAT

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat-Nya, karena itu penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah memperjuangkan agama islam dan seluruh umat islam sampai pada waktu yang berbahagia saat ini. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi pendidikan Strata Satu (S1) di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Raden Rahmat (UNIRA) Malang.

Penulis berusaha untuk menggali pemahaman yang lebih mendalam mengenai sudu turbin kaplan yang beroperasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan tidak lepas dari bantuan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kemampuan, nikmat, karunia, dan hidayah kepada pribadi penulis.
2. Bapak Aliat Adi Wijaya dan Ibu Darmiati, selaku kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan penuh lahir dan batin serta doa pada setiap waktu.
3. Bapak Drs. Imron Rosyadi Hamid, S.E., M.Si., selaku Rektor Universitas Islam Raden Rahmat (UNIRA) Malang.
4. Bapak Luchyto Chandra Permadi, S.Pd., M.Pd., selaku Dosen Pembimbing Pertama sekaligus Ketua Program Studi Teknik Mesin yang telah banyak membantu dan sabar selama bimbingan skripsi maupun proses perkuliahan.
5. Bapak Dr. Mojibur Rohman, M.Pd., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah banyak membantu dan sabar selama bimbingan skripsi maupun proses perkuliahan.

6. Bapak Dr. Zainal Abidin, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, telah mendukung dan memotivasi selama proses perkuliahan.
7. Rekan seangkatan dari program studi teknik mesin yang telah memberikan bantuan dan dukungan.
8. Semua pihak yang telah memberikan dukungan, semangat, dan doa yang terbaik atas penyelesaian penyusunan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan seluruhnya.

Penulis menyadari bahwa masih sangat jauh dari sempurna dikarenakan keterbatasan dalam pemahaman dan pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, peneliti mengharapkan semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi peneliti sendiri maupun semua pihak khususnya Mahasiswa Teknik Mesin, Universitas Islam Raden Rahmat Malang.

Malang, 21 Mei 2024

Dimas Hani Saputra

UNIVERSITAS ISLAM
RADEN RAHMAT

UNIVERSITAS ISLAM
RADEN RAHMAT

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN PENULISAN	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Turbin Kaplan	5
2.1.1 Prinsip Kerja	6
2.2 <i>Runner Blade</i>	9

2.2.1 Jenis <i>Runner Blade</i>	10
2.2.2 Keunggulan <i>Runner Blade</i>	12
2.2.3 Kekurangan <i>Runner Blade</i>	13
2.3 Material Baja AISI 321	13
2.3.1 Keunggulan Baja AISI 321	15
2.3.2 Penggunaan dan Pengaplikasian	16
2.4 Ansys	17
2.5 Kekuatan Struktur	21
2.5.1 Tegangan (<i>Stress Von misses</i>)	21
2.5.2 Deformasi (<i>Displacement</i>)	22
2.5.3 Regangan (<i>Strain</i>)	22
2.5.4 Faktor Keamanan (<i>Factor Of Safety</i>)	22
2.6 Metode Elemen Hingga (MEH)	24
2.7 Penelitian Terdahulu	25
2.8 Kerangka Berfikir	28
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	29
3.2.1 Alat Penelitian	29
3.2.2 Bahan Penelitian	29
3.3 Variabel Penelitian	29
3.4 Rancangan Penelitian	30
3.5 Pengumpulan Data	31
3.6 Diagram Proses Simulasi	31

3.7 Analisa Data	35
3.8 Diagram Alir Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Deskripsi Data.....	37
4.2. Dimensi dan Desain 3D	38
4.3. Menginput Material	39
4.4. Penguncian Geometri (<i>Fixed Geometry</i>)	40
4.5. Menginput Beban.....	41
4.6. <i>Meshing</i>	42
4.7. Hasil Simulasi Metode Elemen Hingga.....	43
4.8. Simulasi Statis.....	43
4.8.1 Tegangan (<i>Stress Von Misses</i>)	43
4.8.2 Deformasi (<i>Displacement</i>)	45
4.8.3 Regangan (<i>Strain</i>)	46
4.8.4 Faktor Keamanan (<i>Safety Factor</i>)	48
4.9 Pembahasan	50
BAB V PENUTUP	52
5.1. Kesimpulan	52
5.2. Saran	53
DAFTAR PUSTAKA.....	54
LAMPIRAN	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Keamanan yang disarankan	23
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	26
Tabel 3.1 <i>Mechanical Properties</i> Baja AISI 321.....	33
Tabel 3.2 <i>Chemical Compositions Stainless Steels</i> AISI 321	34
Tabel 3.3 Kondisi Batas dan Pembebanan <i>Runner Blade</i>	34
Tabel 3.4 Rencana Tabel Hasil Pengujian	35
Tabel 4.1 Dimensi <i>Runner Blade</i>	39
Tabel 4.2 <i>Mechanical Properties</i> Baja AISI 321.....	40
Tabel 4.3 Input Beban Gaya (<i>Force</i>)	41
Tabel 4.4 Hasil Simulasi Tegangan (<i>Stress Von Misses</i>).....	44
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Deformasi	45
Tabel 4.6 Hasil Simulasi Regangan	47
Tabel 4.7 Rekapitulasi Hasil MEH	51

UNIVERSITAS ISLAM
RADEN RAHMAT

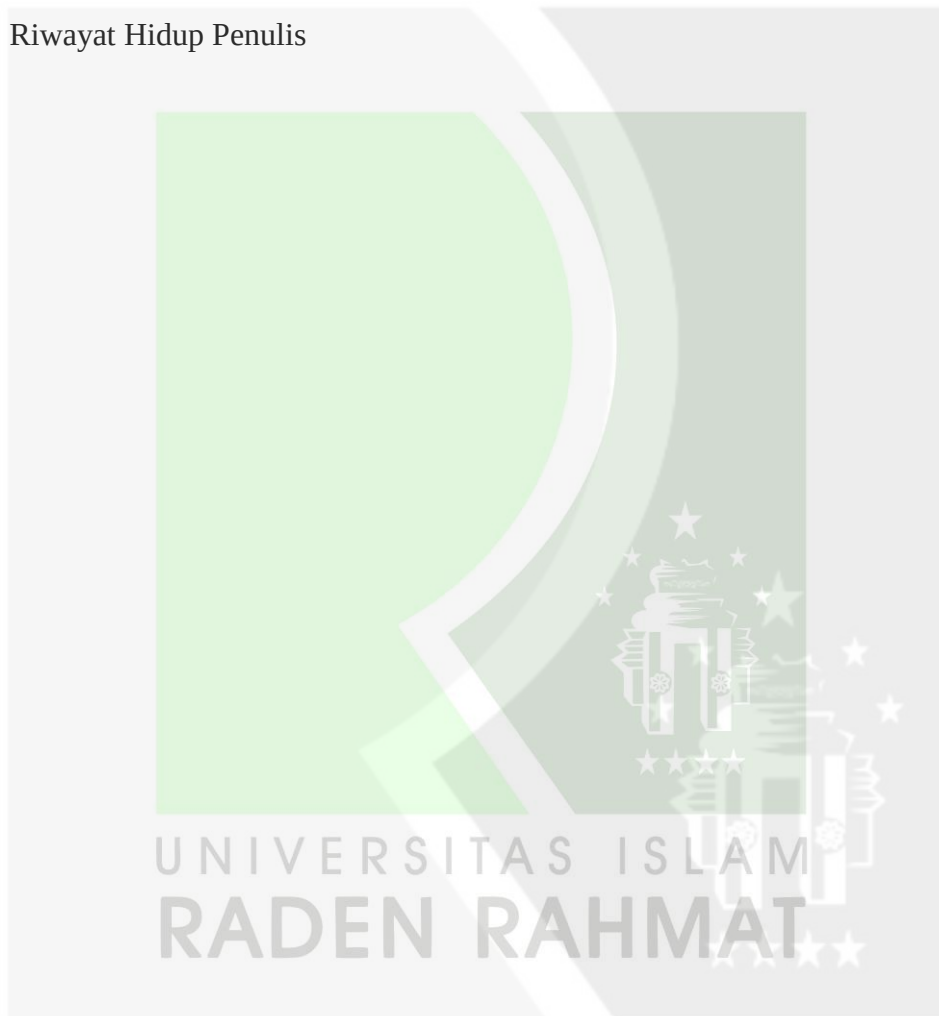
UNIVERSITAS ISLAM
RADEN RAHMAT

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin Kaplan	5
Gambar 2.2 <i>Runner blade</i> turbin kaplan	9
Gambar 2.3 <i>Fixed-pitch runner blade kaplan turbine</i>	10
Gambar 2.4 <i>Adjustable-Pitch Runner Blade Kaplan Turbine</i>	11
Gambar 2.5 <i>Contra-Rotating Runner Blade Kaplan Turbine</i>	12
Gambar 2.6 Bahan Material Baja AISI 321	14
Gambar 2.7 Baja AISI 321.....	17
Gambar 2.8 Alur Kerangka Berfikir	28
Gambar 3.1 Proses Simulasi	32
Gambar 3.2 Diagram Alir	36
Gambar 4.1 Diameter desain <i>runner blade</i>	37
Gambar 4.2 Tumpuan Gaya (<i>Force</i>).....	38
Gambar 4.3 Desain 3D Autodesk Inventor	39
Gambar 4.4 Penguncian Geometri	41
Gambar 4.5 <i>Meshing Design runner blade</i>	42
Gambar 4.6 Tampak Bawah Hasil Simulasi Tegangan (<i>Stress Von Misses</i>).....	44
Gambar 4.7 Tampak Atas Hasil Simulasi Tegangan (<i>Stress Von Misses</i>).....	45
Gambar 4.8 Hasil Simulasi Deformasi Total	46
Gambar 4.9 Tampak Bawah Hasil Simulasi Regangan (<i>Strain</i>).....	47
Gambar 4.10 Tampak Atas Hasil Simulasi Regangan (<i>Strain</i>)	48
Gambar 4.11 Tampak Bawah Hasil Simulasi Faktor Keamanan (<i>Safety Factor</i>)	49
Gambar 4.12 Tampak Atas Hasil Simulasi Faktor Keamanan (<i>Safety Factor</i>)	49

DAFTAR LAMPIRAN

1. Hasil pengujian simulasi statis
2. Kartu Kendali Bimbingan Skripsi
3. Surat Ijin Penelitian
4. Riwayat Hidup Penulis



UNIVERSITAS ISLAM
RADEN RAHMAT

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi menjadi salah satu elemen krusial dalam kehidupan manusia modern. Energi sudah menjadi bagian dari kebutuhan masyarakat di negara mana pun, termasuk Indonesia (Ridlo 2020). Peningkatan kebutuhan energi yang terus-menerus menuntut inovasi dan pengembangan dalam bidang pembangkit listrik. Energi listrik, sebagai salah satu hasil pemanfaatan kekayaan alam dan teknologi mempunyai peranan penting bagi negara dalam mewujudkan pencapaian tujuan pembangunan nasional (Azhar & Satriawan, 2018). Penggunaan energi terbarukan berasal dari sumber-sumber yang dapat diperbaharui tanpa batas, seperti tenaga hidro/air, tenaga matahari, tenaga angin maupun tenaga biomasa (Setyono et al., 2019). Salah satu teknologi yang telah berkembang pesat yaitu turbin air, menjadi sumber energi terbarukan ramah lingkungan. Di antara berbagai jenis turbin air ramah lingkungan, turbin kaplan sebagai pilihan efisien dan andal, terutama untuk aplikasi pembangkit listrik tenaga air.

Turbin kaplan termasuk jenis turbin reaksi yang cocok untuk pembangkit listrik tenaga air bertekanan rendah dan dapat digunakan dengan debit yang besar (Hiremath et al., 2019). Turbin ini digunakan di pembangkit listrik tenaga air, dimana turbin kinetik memanfaatkan kecepatan aliran air sungai yang mengalir melalui *runner blade* mengalami perubahan momentum yang memberikan gaya dorong pada sudu sehingga *runner* berputar (Muliawan & Yani, 2016). Jenis kerusakan umum pada turbin kaplan disebabkan erosi lumpur, kavitasi dan kelelahan (Zhang et al., 2019). Pada *runner blade* turbin kaplan mengubah energi air menjadi energi mekanik. Mengalami berbagai gaya dan tekanan selama beroperasi, sehingga menjadi aspek utama untuk memaksimalkan efisiensi energi yang dihasilkan turbin tersebut.

Sudu turbin (*runner blade*) kaplan memiliki keunggulan seperti, efisiensi tinggi pada berbagai kondisi aliran, kemampuan beroperasi di *head* rendah, kontrol daya yang fleksibel, keandalan yang baik. Selain itu, jika dibandingkan dengan turbin impuls, efisiensi turbin kaplan (reaksi) relatif lebih tinggi dan menunjukkan kecepatan spesifik tinggi (Ullah Khan et al., 2021). Jenis *runner blade* ada tiga macam seperti, *fixed-pitch runner blade*, *adjustable-pitch runner blade*, dan *contra-rotating runner blade*. Kekurangan sudu turbin kaplan yaitu kompleksitas desain (terutama untuk *adjustable-pitch*), biaya awal dan pemeliharaan lebih tinggi, kerentanan kerusakan terhadap kavitasi gelembung gas, ketidakcocokan untuk *head* tinggi. Jenis baja tahan karat yang banyak di pasaran, seperti SS 201, SS 304, SS 316, SS 316 L dan lain-lain, dimana semakin tinggi serinya maka baja tahan karat akan semakin bagus dan tahan korosi (Zayadi et al., 2021).

Bahan material umumnya untuk seluruh bagian turbin ini terbuat dari bahan baja tahan karat (*stainless steel*), karena sebagian besar bagiannya akan terus menerus bersentuhan dengan air dan harus tahan terhadap korosi (Hiremath et al., 2019). Peneliti tertarik pada pendekatan jenis material baja AISI 321 *Austenitic Stainless Steel* (SS). Penelitian terdahulu telah dilakukan, diketahui bahwa terjadi tingkat korosi dan erosi pada *runner blade* turbin kaplan yang mengakibatkan patahnya sudu turbin. Getaran timbul karena perilaku aliran transien dan dampak buruknya termasuk masalah kritis pada turbin. Kavitasi yang parah mengakibatkan tingkat getaran struktural tinggi, dengan pembebanan dinamis tinggi, dan kerusakan erosi sudu turbin telah terjadi akibat kondisi pengoperasian turbin (Muhsen et al., 2021).

Penelitian ini difokuskan pada analisis desain *runner blade* turbin kaplan dengan menggunakan bahan material baja AISI 321 *Austenitic Stainless Steel* (SS). Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga (MEH) sebagai pendekatan numerik untuk menganalisis kekuatan struktur dengan bantuan *software* Ansys. Permasalahan yang terjadi akan dilakukan simulasi statis bertujuan untuk meningkatkan kekuatan *runner blade* turbin kaplan. Simulasi Ansys dapat membantu memprediksi kinerja *runner blade*, mengoptimalkan desainnya dan menjadi acuan untuk membuat model yang baru. Tujuan dari

penelitian ini untuk mengetahui nilai tegangan (*stress von misses*), deformasi (*displacement*), regangan (*strain*), dan faktor keamanan (*safety factor*) pada bahan material baja AISI 321 *Austenitic Stainless Steel* (SS) menggunakan *software* Ansys sebagai hasil *output*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan hasil latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian:

1. Bagaimana hasil analisis nilai tegangan (*stress von misses*) yang terjadi terhadap desain *runner blade* turbin kaplan menggunakan metode elemen hingga ?
2. Bagaimana hasil analisis nilai defromasi (*displacement*) yang terjadi terhadap desain *runner blade* turbin kaplan menggunakan metode elemen hingga ?
3. Bagaimana hasil analisis nilai regangan (*strain*) yang terjadi terhadap desain *runner blade* turbin kaplan menggunakan metode elemen hingga ?
4. Bagaimana hasil analisis nilai faktor keamanan (*safety factor*) yang terjadi terhadap desain *runner blade* turbin kaplan menggunakan metode elemen hingga ?

1.3 Tujuan

Tujuan yang didapatkan dari penelitian:

1. Untuk mengetahui hasil analisis nilai tegangan (*stress von misses*) yang terjadi terhadap desain sudu turbin kaplan, hasil *output* dari *software* Ansys R18.1.
2. Untuk mengetahui hasil analisis nilai deformasi (*displacement*) yang terjadi terhadap desain sudu turbin kaplan, hasil *output* dari *software* Ansys R18.1.
3. Untuk mengetahui hasil analisis nilai regangan (*strain*) yang terjadi terhadap desain sudu turbin kaplan, hasil *output* dari *software* Ansys R18.1.

4. Untuk mengetahui hasil analisis nilai faktor keamanan (*safety factor*) yang terjadi terhadap desain sudu turbin kaplan, hasil *output* dari *software* Ansys R18.1.

1.4 Batasan Masalah

Batasan – batasan penelitian:

1. Penelitian ini hanya fokus pada analisis desain *runner blade* turbin kaplan
2. Jenis material yang di analisis berbahan baja AISI 321 *Austenitic Stainless Steel* (SS).
3. Penelitian ini hanya menganalisa dengan menggunakan *software* Ansys Versi R18.1.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian diharapkan dapat:

1. Memberikan referensi terbaik pada industri untuk perancangan desain *runner blade* turbin kaplan menggunakan Autodesk Inventor Profesional yang memiliki keterbaruan versi dan kompleksibel.
2. Bagi peneliti dapat menerapkan ilmu yang didapat saat kuliah berupa Material Teknik, Mesin Konversi Energi (MKE), Metode Elemen Hingga, dan *Computer Aided Design* (CAD) untuk melakukan penelitian terkait kekuatan struktur menggunakan *software* Ansys.
3. Bagi industri berskala besar, optimalisasi dan meningkatkan efisiensi terhadap kekuatan pemilihan material sudu turbin kaplan dapat menjadi masukan untuk mengetahui tingkat kekuatan struktur pada desain *runner blade* turbin kaplan berbahan baja AISI 321 *Austenitic Stainless Steel* (SS).