

Analisis Retak pada *Blade impeller* dengan Pendekatan *Static structure*

Danang Priyasudana¹, Faqih Fadillah²

¹ Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, 65145 Malang, Indonesia

² Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, 65141 Malang, Indonesia

ABSTRACT – *Impeller merupakan komponen pompa yang memiliki peran yang sangat penting pada pompa. Desain impeller yang efisien sangat penting dan berguna untuk merancang suatu pompa. Banyak faktor yang berpengaruh terhadap desain impeller seperti sudut masuk dan sudut keluar impeller serta desain dan jumlah blade dari impeller, jika didesain dan diteliti secara eksperimental akan membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang mahal. Oleh karena itu perlu, dilakukan simulasi untuk mengetahui kekuatan material blade impeller menggunakan ANSYS dengan pendekatan static structure, meliputi stress analysis, total deformation, dan stress intensity factor (SIF) pada blade impeller yang berbahan aluminium untuk menganalisis retak yang terjadi. Hasil simulasi menunjukkan Stress analysis menggunakan pendekatan Von Mises menunjukkan tegangan maksimum sebesar 59661 MPa dan tegangan minimum sebesar 30.913 MPa. Selanjutnya total deformasi pada blade impeller menunjukkan bahwa nilai maksimum sebesar 16.287 MPa dan minimum sebesar 0 MPa. Lokasi nilai maksimum merupakan daerah dengan potensi mengalami patah atau retak paling tinggi dan untuk Stress intensity factor (SIF) maksimum Mode II sebesar $300,92 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$ dan Mode III sebesar $339,31 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$.*

HISTORI ARTIKEL

Diterima: 10 Juni 2025

Revisi: 15 Juli 2025

Diterima: 25 Agustus 2025

Diterbitkan: 8 September 2025

KATA KUNCI

Impeller,

Blade,

ANSYS,

Stress analysis, Total

1.0 PENDAHULUAN

Di era modern ini, penggunaan pompa sentrifugal semakin meluas karena kebutuhan untuk memompa berbagai jenis fluida seperti air, bahan bakar, cairan industri atau limbah dari titik yang lebih rendah ke titik yang lebih tinggi. Prinsip kerja pompa sentrifugal terletak pada perpindahan energi fluida akibat gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh putaran impeller. Pompa sentrifugal terdiri dari sejumlah bagian kunci, antara lain impeller yang dipasang pada poros berputar di dalam rumah pompa (*casing*), serta saluran masuk dan keluar fluida. Impeller ini berada di jantung sistem perubahan desain atau kegagalannya akan sangat memengaruhi kinerja, efisiensi, dan keandalan sistem pompa secara keseluruhan. Sebagai komponen utama, impeller memainkan peran kritis dalam menentukan karakteristik aliran, tekanan naik (*head*), laju aliran (*flow rate*), serta kerugian hidrolik di dalam pompa. Oleh karena itu, desain impeller yang efisien termasuk geometri sudu (*blade*), sudut masuk dan sudut keluar impeller, jumlah blade, ketebalan blade, dan struktur hub/shroud sangat penting untuk mencapai performa optimal. Sebagai contoh, studi menunjukkan bahwa desain dengan sudut keluar blade yang lebih besar (*outlet blade angle*) dapat meningkatkan head dan tekanan outlet, namun juga memengaruhi distribusi tegangan pada impeller [1].

Di sisi lain, selain aspek hidrolik-desain, keandalan struktural impeller juga menjadi perhatian utama. Impeller dalam operasinya mengalami beban mekanik yang kompleks: beban sentrifugal akibat rotasi, beban tekanan dari fluida, beban getaran (*vibrasi*), serta kemungkinan beban akibat turbulensi, kavitasi, korosi atau erosi. Kajian tentang karakteristik tegangan pada impeller menunjukkan bahwa lokasi kritis seperti sambungan blade-hub, blade root (leher blade terhadap hub), dan sudu menuju rim sering kali menjadi titik konsentrasi tegangan tinggi [2]. Sebagai contoh, dalam analisis numerik impeller multistage stainless steel ditemukan bahwa tekanan fluida (*fluid pressure load*) memberikan kontribusi dominan terhadap tegangan maksimum dibandingkan beban inersia rotasi, terutama ketika blade tip tipis [3].

Selanjutnya, dari perspektif kegagalan, impeller pernah dilaporkan mengalami retak, patah blade, atau kerusakan serius lainnya. Penyebabnya bervariasi: kelelahan (*fatigue*) akibat beban siklis dan getaran, korosi-erosi dan kavitasi yang mengikis material, ataupun konsentrasi tegangan akibat desain yang kurang optimal atau kondisi operasi yang ekstrem. Misalnya, studi tentang kegagalan impeller sebuah kompresor menunjukkan bahwa sudu/wheel impeller mengalami crack yang dipicu oleh konsentrasi tegangan di keyway, kondisi lingkungan agresif (H_2S lembab) dan material yang rentan

terhadap *sulfide stress cracking* (SSC) [4]. Sementara itu, pada pompa air industri, kerusakan impeller terbukti akibat kombinasi kavitasi erosi dan korosi lokal di dekat trailing edge vanes.

Khususnya, beberapa penelitian terkini telah memfokuskan pada analisis tegangan-struktur (*stress analysis*) dan interaksi fluida-struktur (*fluid-structure interaction*, FSI) untuk memahami bagaimana beban internal dan eksternal dapat menyebabkan titik awal retak pada *blade impeller*. Menurut, [2] dijelaskan bahwa tegangan dinamik, beban siklis, dan getaran variabel memiliki kontribusi besar terhadap retak blade. Selanjutnya, analisis menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*, FEM) terhadap beberapa desain impeller menunjukkan bahwa desain “*closed impeller blades*” (dengan shroud) cenderung menghasilkan tegangan dan deformasi yang lebih rendah dibandingkan desain terbuka.

Dalam konteks simulasi dan pengembangan, pendekatan FEM/FEA (termasuk analisis struktur statik) menjadi sangat bermanfaat untuk memprediksi perilaku mekanik impeller di bawah beban tertentu, melakukan evaluasi awal desain, serta mengidentifikasi titik-titik kritis potensi retak tanpa harus melakukan pengujian eksperimental yang mahal dan memakan waktu. Penelitian [5], melaporkan model statik analisis impeller dan menemukan bahwa meskipun tegangan maksimum masih di bawah batas leleh materialnya, namun konsentrasi tegangan pada *blade root* tetap signifikan dan menjadi faktor risiko kelelahan. Keunggulan yang ditawarkan simulasi statik ini antara lain adalah fleksibilitas dalam memvariasikan parameter desain, kondisi beban, serta memvisualisasikan distribusi tegangan, deformasi, dan potensi retak (melalui faktor intensitas tegangan/SIF) dengan cepat, sehingga memungkinkan pengembangan desain yang lebih aman dan ekonomis.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dipilih pendekatan analisis struktur statik (*static structural*) menggunakan perangkat lunak seperti ANSYS untuk mengkaji fenomena retak pada *blade impeller*. Penggunaan pendekatan statik memberikan keunggulan dalam memahami kondisi awal tegangan dan konsentrasi tegangan akibat kombinasi beban mekanik dan tekanan fluida (yang pada model dapat dianggap konstan atau lambat berubah) sebelum mempertimbangkan beban dinamik atau siklis. Dengan demikian, analisis ini akan menyasar untuk mengetahui distribusi tegangan, deformasi, dan faktor intensitas tegangan (*Stress Intensity Factor*, SIF) di sekitar area retak impeller, sebagai basis rekomendasi perbaikan desain atau mitigasi risiko kegagalan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis retak pada *blade impeller* dengan pendekatan *static structure*, guna: (1) mengidentifikasi lokasi-lokasi kritis yang berpotensi mengalami inisiasi retak, (2) memprediksi distribusi tegangan dan deformasi pada *blade impeller* yang mengandung retak, dan (3) mengevaluasi pengaruh geometri impeller (misalnya jumlah blade, sudut blade, ketebalan blade) terhadap perilaku retak. Dengan demikian, hasil simulasi diharapkan dapat menyediakan wawasan desain yang lebih baik dalam meningkatkan keandalan impeller dan meminimalkan kegagalan struktural dalam pompa sentrifugal.

2.0 MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Material yang digunakan dalam proses pembuatan impeller menggunakan aluminium dan diidentifikasi dengan menggunakan *software* simulasi untuk menentukan sifat mekanik. Sifat mekanik dapat dilihat pada Tabel 1.

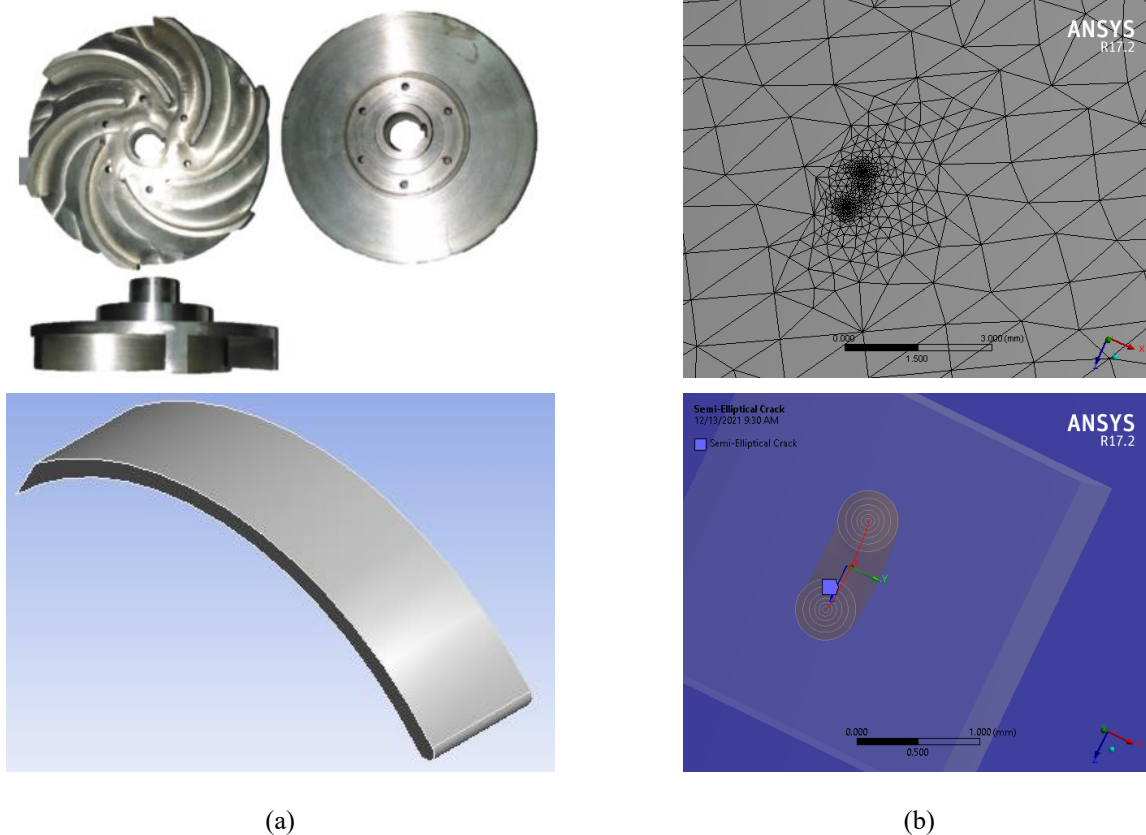
Tabel 1. *Mechanical Properties of Alloyed Steel*

<i>Density</i>	2770 MPa
<i>Young's Modulus</i>	71000 MPa
<i>Tensile Yield Strength</i>	280 MPa
<i>Tensile Ultimate Strength</i>	280 MPa
<i>Compressive Ultimate Strength</i>	310

2.2 Metode

Metode yang digunakan adalah finite element method (FEM) atau disimulasikan dengan menggunakan *software* simulasi untuk melakukan analisis tegangan, regangan, deformasi dan SIF. Tahapan dalam simulasi ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu : preprocessing, processing dan post-processing.

1. Pre-Processing Steps



Gambar. 1. ((a) Desain impeller dan *blade impeller* [6] (b) lokasi crack

Pre-processing merupakan tahap awal dalam proses simulasi. Langkah pertama dengan mendesain impeller sesuai dengan kondisi yang sebenarnya dengan menggunakan software Autodesk Inventor 2018 dan mengekspor gambar dengan format STEP (gambar 1 (a)). Selanjutnya file diimport ke software simulasi dan setting material yang digunakan pada *blade impeller* ini material yang digunakan aluminium. Setelah itu, lakukan meshing untuk membagi model menjadi bagian-bagian yang kecil yang bertujuan untuk analisis yang lebih detail, ukuran meshing yang digunakan dalam analisis ini 1 mm. Meshing menghasilkan 54198 node dan 3065 elemen untuk mensimulasikan deformasi, regangan, tegangan, dan retak. Pada bagian retak dilakukan dengan metode tetrahedron dengan bentuk semi elliptical crack dengan rasio yang relative kecil dari kedalaman retak, diameter silinder padat (major radius 0,4 mm dan minor radius 0,2 mm) (gambar 1(b)).

2. Processing

Processing merupakan perhitungan yang dilakukan oleh software ANSYS. Pada tahap ini perhitungan ini berdasarkan pada beban yang diterapkan, kondisi batas dan solusi yang sudah ditentukan dalam static structural ANSYS.

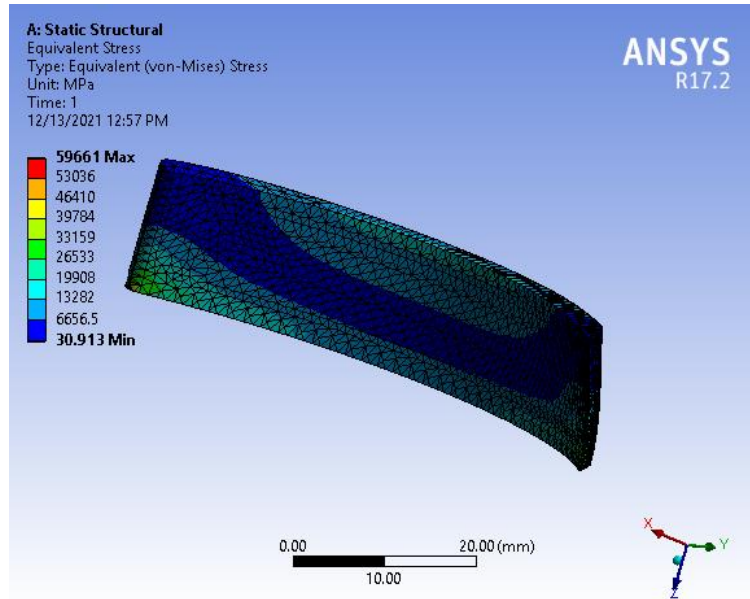
3. Post-Processing

Tahap ini merupakan tahap akhir, dimana perhitungan hasil dari processing yang ditampilkan software ANSYS. Hasil dari proses simulasi tegangan, regangan, dan deformasi, data yang diambil adalah nilai maksimum dan minimum pada setiap kondisi, dan hasil dari factor intensitas tegangan yang diambil adalah nilai maksimum dan minimum.

3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Stress analysis

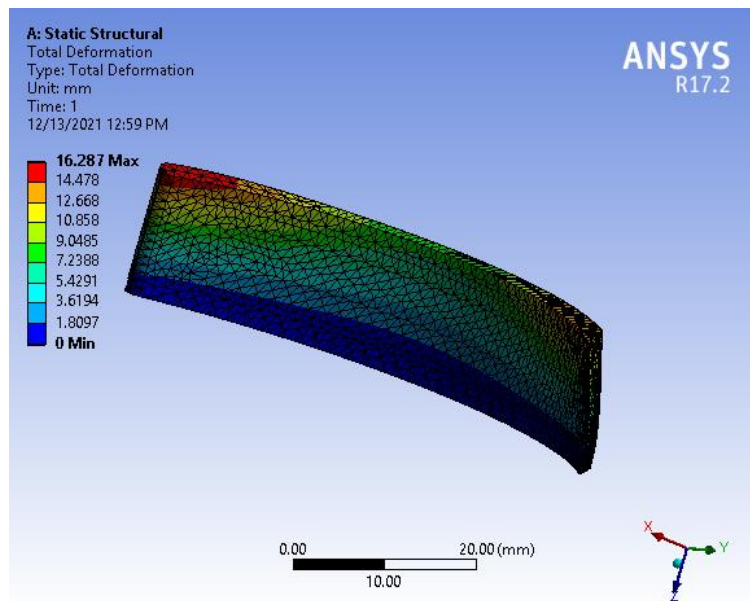
Hasil simulasi tegangan dengan menggunakan pendekatan Von Mises menunjukkan tegangan maksimum sebesar 59661 MPa dan tegangan minimum sebesar 30.913 MPa.



Gambar 2. Simulasi Equivalent (von-Mises) Stress

3.2 Deformation

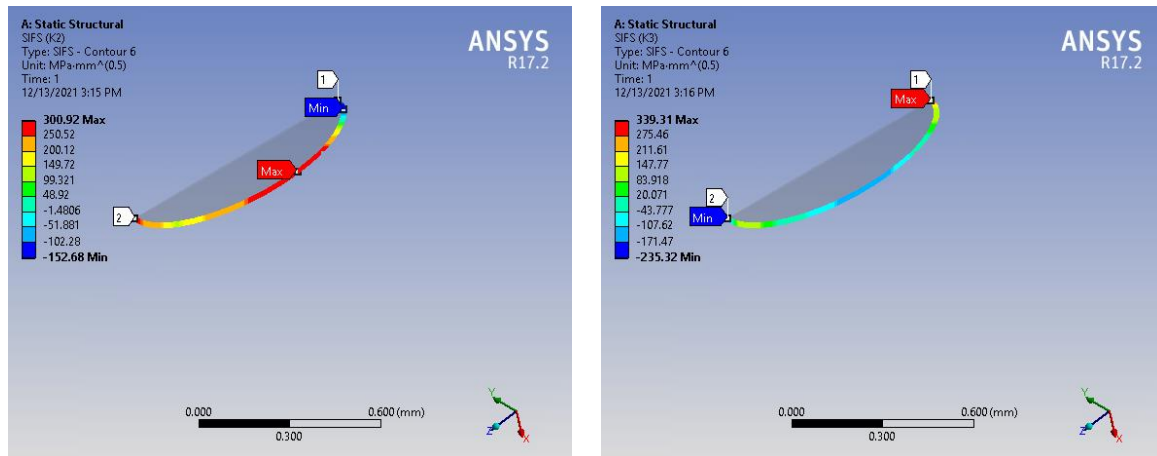
Hasil simulasi deformasi dengan menggunakan ANSYS 17.2 pada *blade impeller* menunjukkan bahwa nilai maksimum sebesar 16.287 MPa dan minimum sebesar 0 MPa. Letak deformasi tertinggi tertinggi pada *blade impeller* terlihat pada Gambar 3. Lokasi ini merupakan daerah dengan potensi mengalami patah atau retak paling tinggi dan pada kondisi tersebut *blade impeller* patah atau retak diarea tersebut hal tersebut.



Gambar 3. Simulasi Deformasi

3.3 Stress intensity factor (SIF)

SIF digunakan dalam mekanika retakan untuk memprediksi intensitas tegangan di dekat ujung retak yang diakibatkan adanya beban [7]. SIF bagian parameter yang digunakan dalam simulasi pada *blade impeller* dan nilai hasil simulasi adalah semua mode II dan III yang menyatakan pembebanan dengan mode tarik, geser dan sobek. Hasil SIF untuk semua mode dalam dapat dilihat pada Gambar 4.



a) (b)
Gambar 4. Stress intensity factor (SIF) (a) Mode II (b) Mode III

Nilai SIF maksimum Mode II terletak pada ujung retakan nomor 2 dan menurun hingga ujung nomor 1. Mode II diakibatkan adanya pembebanan shearing yang cenderung mendominasi retakan pada ujungnya dan menuju ke arah kedua ujungnya. Pada Mode III, nilai SIF tertinggi terletak pada ujung nomor 1 hal ini menunjukkan bahwa retakan dimulai dari ujung nomor 1. Hasil simulasi SIF dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Simulasi SIF Maksimum

Mode	Nilai
Mode II	300,92 $MPa\sqrt{mm}$
Mode III	339,31 $MPa\sqrt{mm}$

4.0 KESIMPULAN

Simulasi dilakukan untuk menganalisis *stress analysis*, *total deformation*, dan SIF pada *blade impeller* berbahan aluminium guna mengkaji potensi retak yang terjadi. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum berdasarkan pendekatan Von Mises mencapai 59.661 MPa, sedangkan tegangan minimumnya sebesar 30.913 MPa. Nilai *total deformation* maksimum tercatat sebesar 16.287 mm, dengan nilai minimum 0 mm. Daerah dengan deformasi maksimum diidentifikasi sebagai area yang memiliki potensi terbesar mengalami retak atau patah. Selain itu, nilai SIF maksimum untuk Mode II diperoleh sebesar 300,92 $MPa\sqrt{mm}$, sedangkan untuk Mode III sebesar 339,31 $MPa\sqrt{mm}$.

5.0 REFERENSI

- [1] N. Mohamed *et al.*, "Stress Analysis of Various Designs of Centrifugal Pump Impellers Using Finite Element Method," *J. Eng. Technol. Adv.*, vol. 7, no. 1, Aug. 2022, doi: 10.35934/segi.v7i1.48.
- [2] S. Li *et al.*, "Analysis of Stress Characteristics of a Vertical Centrifugal Pump Based on Fluid-Structure Interaction," *Water*, vol. 15, no. 24, p. 4269, Dec. 2023, doi: 10.3390/w15244269.
- [3] C. Wang, W. Shi, Q. Si, and L. Zhou, "Numerical calculation and finite element calculation on impeller of stainless steel multistage centrifugal pump," *J. Vibroengineering*, vol. 16, no. 4, pp. 1723–1734, 2014.

- [4] J. Łagodziński, Z. Kozanecki, and E. Tkacz, "Failure Analysis of a Centrifugal Compressor Impeller Made of 17-4PH Steel in the Moist Hydrogen Sulfide Environment," *Energies*, vol. 15, no. 12, p. 4183, Jun. 2022, doi: 10.3390/en15124183.
- [5] X. Zhang, Y. Zheng, Z. Y. Zhang, J. Qian, J. Fu, and J. B. Ma, "Strength Analysis of Axial-Flow Pump Impeller Based on FSI," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 799–800, pp. 581–584, Oct. 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.799-800.581.
- [6] A. Farid and S. Ayad, "Experimental and Computational Study of Semi-open Centrifugal Pump Military Technical College Chair of Rockets Experimental and Computational Study of Semi-open Centrifugal Pump By Military Technical College Under Supervision of Maj . Gen . (Ret .) Assoc," no. February, 2016, doi: 10.13140/RG.2.1.5190.3766.
- [7] S. K. Dhakad, S. Upadhyay, P. Agrawal, and R. Purohit, "Stress Intensity Factor (SIF) analysis on the Pressurized Base Weld Component (PBWC) Materials a Review," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 2, pp. 5430–5437, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2017.12.130.