



## Analisis Kegagalan *Cylinder Head Studs* pada Mesin Diesel Empat Langkah dengan Metode Elemen Hingga

P. Kurniawan\* dan Y. A. Sudrajat

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Jalan Semarang 5 Malang, Indonesia

\*Corresponding author email: [pradhanakurniawan@gmail.com](mailto:pradhanakurniawan@gmail.com)

### INFORMASI ARTIKEL

Diterima: 28 Januari 2022  
 Direvisi: 20 Februari 2022  
 Disetujui: 27 Februari 2022  
 Tersedia online: 15 Maret 2022

### ABSTRACT

Stud bolts are widely used in mechanical engineering to join two or more components. Sometimes these components fail due to fatigue, and cracks. Fatigue damage is caused by fluctuations between stress and strain that can change the permanent structure of the material, and can cause cracks or fractures after fluctuating several times. The occurrence of fatigue fractures is caused by the simultaneous action of cyclic stresses, tensile stresses, and plastic strains. Each cylinder head has 6 studs. Four cylinders stud heads were damaged on the top side, adjacent to the start of the second root thread, on the top side of the stud. Stud damage occurs over and over again, even on new cylinder head studs. By analyzing the causes of stud damage, simulations can be carried out with the aim of determining the maximum stress and fatigue life of the cylinder head studs.

*Keywords: Failure Analysis, Cylinder Head Stud, Fatigue, Finite Element Method*

### ABSTRAK

*Stud bolts* banyak digunakan dalam bidang rekayasa mesin untuk menggabungkan dua komponen atau lebih. Terkadang komponen-komponen ini mengalami kegagalan karena *fatigue*, dan retakan. Kerusakan *fatigue* disebabkan adanya fluktuasi antara tegangan dan regangan yang mampu mengubah struktural permanen material, dan dapat menimbulkan retak atau patah setelah berfluktuasi beberapa kali. Terjadinya patahan *fatigue* disebabkan oleh aksi simultan dari tegangan siklik, tegangan tarik, dan regangan plastis. Setiap cylinder head memiliki 6 studs. Empat kepala cylinder studs mengalami kerusakan di sisi atas, berdekatan dengan mulainya root thread kedua, pada sisi atas stud. Kerusakan stud terjadi berulang, bahkan pada cylinder head studs yang baru. Dengan menganalisa penyebab kerusakan stud, dapat dilakukan simulasi dengan tujuan menentukan tegangan maksimal dan umur *fatigue* dari cylinder head studs.

DOI: 10.26905/jtmt.v18i1.8118

Kata Kunci: Analisis Kegagalan, *Cylinder Head Stud*, *Fatigue*, Metode Elemen Hingga

2022 Unmer. All rights reserved

### 1. Pendahuluan

Mesin diesel banyak digunakan di berbagai area karena efisiensi yang tinggi serta memiliki ketahanan (*durability*), keandalan (*reliability*) yang lebih baik bila dibandingkan dengan beberapa penggerak lain [1]. Salah satu contoh penggunaannya adalah pada industri perkapalan. Mesin diesel berperan penting dalam industri perkapalan karena keandalannya dan *output* torsi yang tinggi [2].

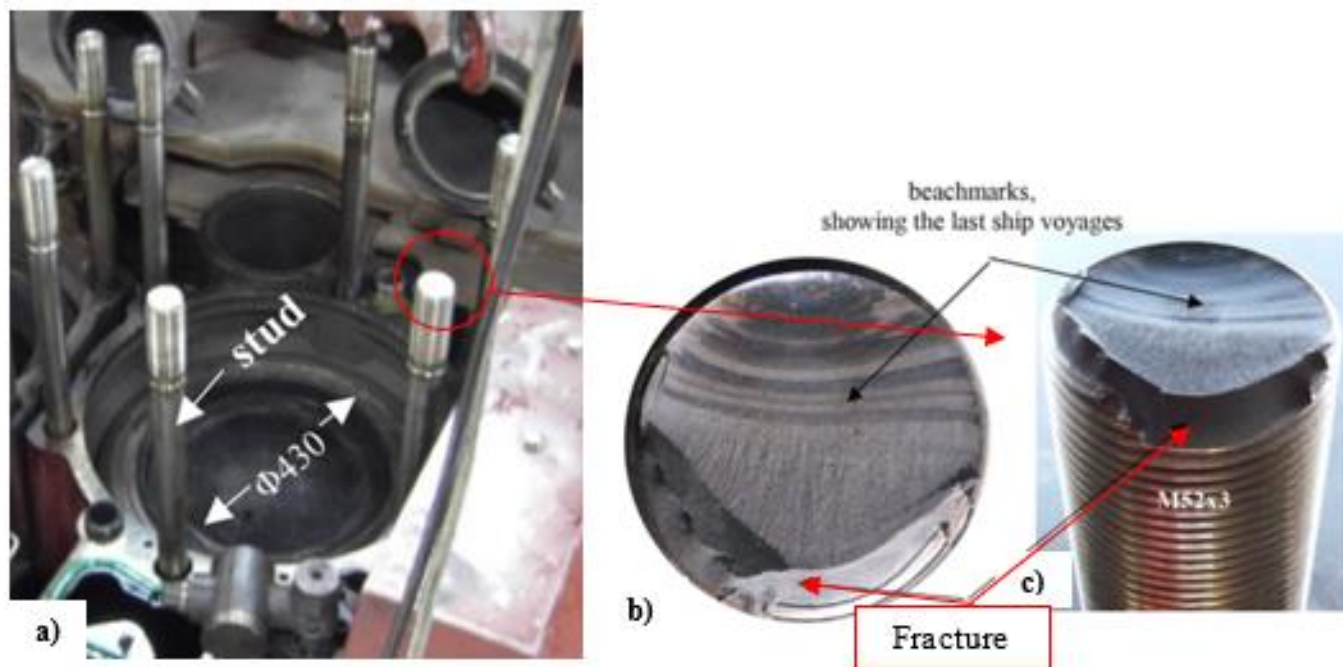
Mesin diesel merupakan mesin pembakaran dalam, dimana energi kimia dari proses pembakarannya dilepaskan di dalam silinder mesin. Mesin diesel adalah mesin bolak-balik (*reciprocating engine*), digerakkan oleh piston yang bergerak naik turun [3]. Mesin diesel tersusun atas beberapa komponen, seperti *cylinder block*, *crankcase*, *piston*,

*connecting rod*, *crankshaft*, *cylinder head*, dan *valve* [3]. Karakteristik dari mesin bolak-balik adalah adanya pembebanan siklus pada komponen-komponennya termasuk pada *cylinder head* dan *stud bolts*. Beban siklik ini adalah hasil dari tekanan gas pembakaran ke dalam silinder [4].

*Stud bolts* banyak digunakan dalam bidang rekayasa mesin untuk menggabungkan dua komponen atau lebih. Terkadang komponen-komponen ini mengalami kegagalan karena *fatigue*, dan retakan [4]. Kerusakan *fatigue* disebabkan adanya fluktuasi antara tegangan dan regangan yang mampu mengubah struktural permanen material, dan dapat menimbulkan retak atau patah setelah berfluktuasi beberapa kali. Terjadinya patahan *fatigue* disebabkan oleh aksi simultan dari tegangan siklik, tegangan tarik, dan regangan plastis. Jika

salah satu dari ketiga hal tersebut tidak ada, retakan *fatigue* tidak akan berinisiasi dan menyebar. Tegangan dan regangan siklik memulai timbulnya retak; tegangan tarik mengakibatkan pertumbuhan retak (propagasi) [5]. Dalam baut atau komponen struktural lainnya, inisiasi dan pertumbuhan retak *fatigue* terjadi ketika tegangan siklik melebihi kekuatan *fatigue* material untuk sejumlah siklus pembebanan tertentu. Permukaan ulir yang halus juga

memengaruhi umur *fatigue*: semakin halus permukaan, semakin tinggi kekuatan *fatigue*-nya. Selain itu patahan *fatigue* juga bisa disebabkan oleh adanya korosi, cacat mesin akibat pemesinan yang kurang baik, titik-titik konsentrasi tegangan tinggi, seperti takik atau perubahan bagian yang tiba-tiba, dan perlahan-lahan bertambah panjang pada setiap pemuatan siklik [4].



**Gambar 1.** (a) *Cylinder heads* dengan 6 *stud* pada setiap silinder, (b) permukaan *fracture* secara morfologi dari *cylinder head studs*, dan (c) *fracture* pada *stud* setelah mengalami proses pembebanan *fatigue*.

Setiap *cylinder head* memiliki 6 *stud*. Empat kepala *cylinder studs* mengalami kerusakan di sisi atas, berdekatan dengan mulainya *root thread* kedua, pada sisi atas *stud*. Kerusakan *stud* terjadi berulang, bahkan pada *cylinder head studs* yang baru. Dengan menganalisa penyebab kerusakan *stud*, dapat dilakukan simulasi dengan tujuan menentukan tegangan maksimal dan umur *fatigue* dari *cylinder head studs*.

## 2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, *cylinder head studs* didesain menggunakan aplikasi Autodesk Inventor Profesional 2018 dengan ukuran *cylinder head studs* untuk mesin diesel empat langkah. Material yang digunakan *cylinder head studs* adalah baja paduan rendah dengan kemampuan perlakuan panas *quenching* dan *tempering*, yang terdiri dari nickel, chromium and molibdenum. Material tersebut memiliki ketangguhan dan kemampuan meningkatkan kekuatannya dalam kondisi perlakuan panas sekaligus mempertahankan kekuatan *fatigue* yang baik [4]. *Cylinder head studs* yang dianalisis adalah baja M52x3, dengan material AISI 4340 (kekuatan tarik tinggi). Material, tersebut memiliki sifat mekanik dengan *density* 7850 kg/mm<sup>3</sup>; *Modulus Young* 20000 MPa; *Poisson ratio* 0,28; *Tensile strength* 745 MPa; *Yield strength* 470 MPa; *elongation* 22% [6].

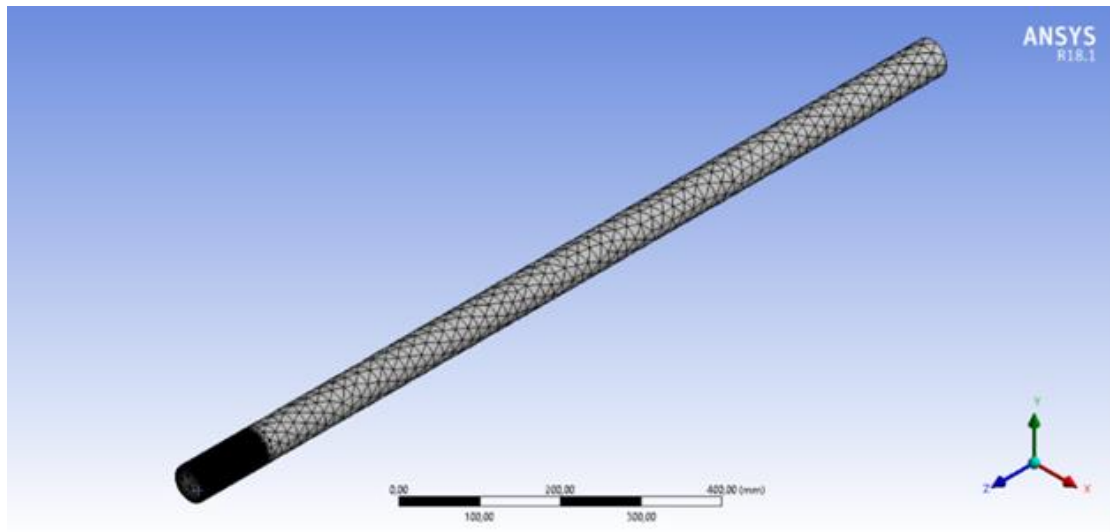
Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah Metode Elemen Hingga (FEM) melalui aplikasi ANSYS Workbench 18.1 Metode elemen hingga adalah metode numerik yang dapat digunakan untuk menemukan solusi akurat pada permasalahan teknis yang kompleks. Metode ini banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknis dan permasalahan matematis dari fenomena fisik. Jenis permasalahan teknis dan matematis yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu analisis *structural* dan analisis *non-structural* [7].

Penggunaan metode elemen hingga dalam simulasi *cylinder head studs* bertujuan mengetahui nilai tegangan maksimal, titik konsentrasi tegangan tertinggi, dan umur *fatigue*.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Stress

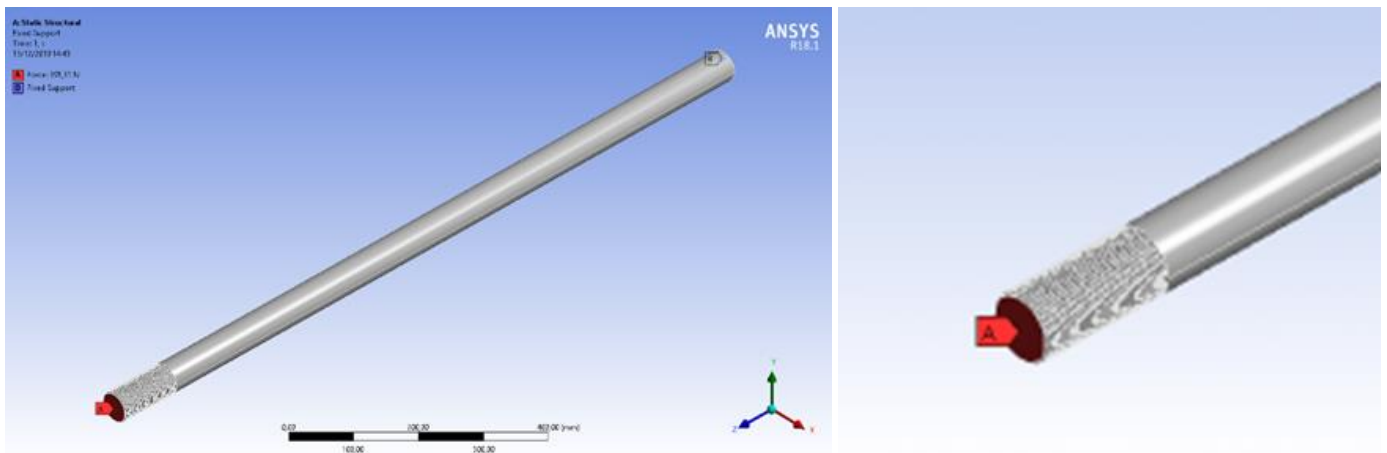
Konsep dasar dari metode elemen hingga adalah dengan membagi objek menjadi bentuk yang lebih kecil di mana mereka masih memiliki karakteristik yang sama menyerupai objek penyusunnya [8]. Hal tersebut dilakukan melalui tahapan *meshing*, dimana membagi suatu objek menjadi bentuk nodal dan elemen. Tahapan *meshing* pada simulasi *cylinder head studs* ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



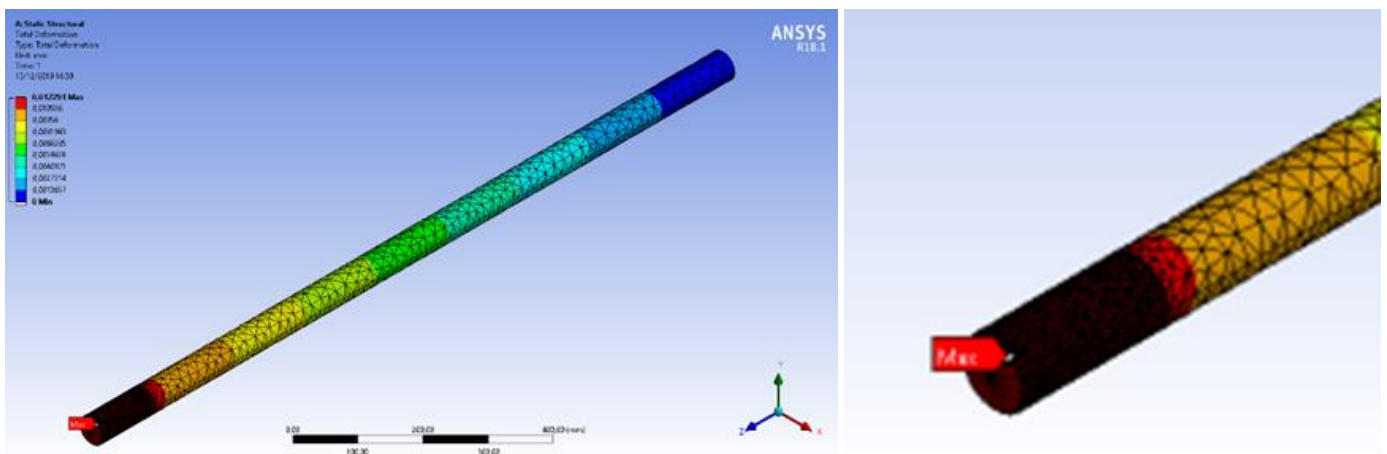
Gambar 2. Meshing pada Cylinder Head Studs

Simulasi pada *cylinder head studs* dilakukan dengan memberikan gaya pada ujung atas studs yang berulir sebesar 391,314 N. Besarnya gaya tersebut ditentukan melalui perhitungan antara

besarnya *combustion force* dibagi dengan jumlah *studs cylinder*. Sedangkan pada ujung bawah stud, disimulasikan sebagai *fixed support*.



Gambar 2. Letak Force dan Fixed Support pada Cylinder Head Studs

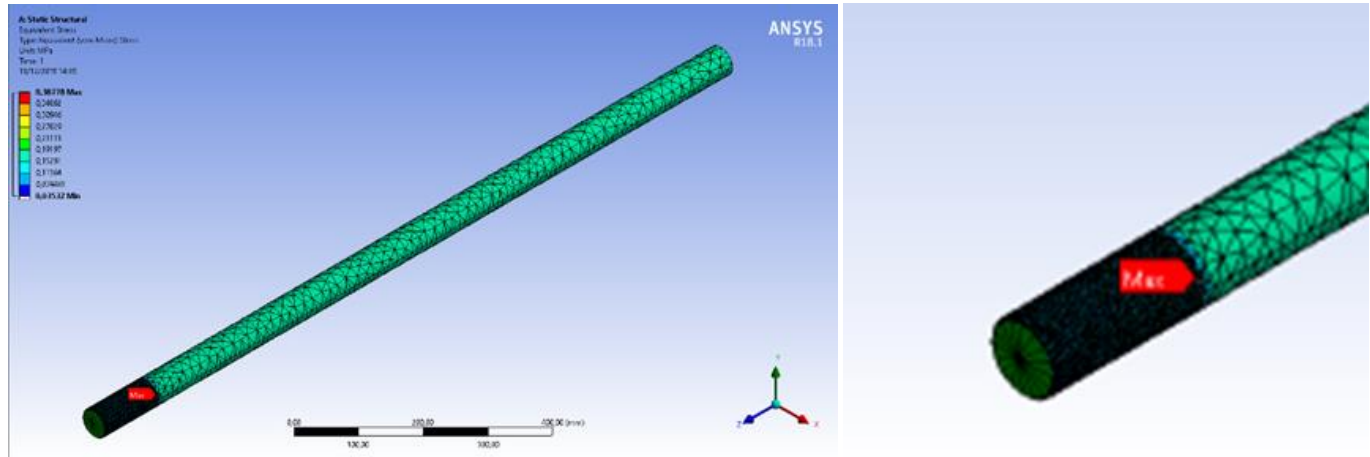


**Gambar 3.** Total Deformation pada Cylinder Head Studs

Gambar 3 menunjukkan hasil total deformasi dari simulasi cylinder head studs. Deformasi maksimum terjadi pada bagian yang berwarna merah dengan nilai deformasi 0,012291.

Tegangan maksimum yang didapatkan dalam simulasi adalah 0,38778 MPa, dimana lokasi tegangan maksimum ditunjukkan

pada bagian yang berwarna merah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil tersebut menunjukkan letak konsentrasi tegangan yang terjadi pada cylinder head studs. Bagian yang menjadi letak konsentrasi tegangan adalah bagian yang sering terjadi inisiasi retakan.

**Gambar 4.** Equivalent (von Mises) Stresses pada Cylinder Head Studs

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan simulasi pada *cylinder head studs* mesin diesel 4 silinder dengan metode elemen hingga melalui aplikasi ANSYS Workbench 18.1 didapatkan total deformasi yang dialami oleh *cylinder head studs* pada saat diberi beban. Selain itu juga didapatkan tegangan maksimum. Bagian *studs* yang terdapat konsentrasi tegangan akan mengakibatkan timbulnya inisiasi retak, dan selanjutnya akan timbul pertumbuhan retak (propagasi). Deformasi yang muncul pada bagian ulir bisa disebabkan karena permukaan ulir yang halus, adanya korosi, cacat mesin akibat pemrosesan yang kurang baik, dan juga akibat titik konsentrasi tegangan [4].

#### Referensi

- [1] E. Haryono *et al.*, "Analisa Unjuk Kerja Mesin Diesel Kapal Dua Langkah ( Two Stroke Marine Diesel Engine ) Berbahan Bakar Campuran Minyak Solar ( Hsd ) Dan Biodiesel Minyak Jelantah Pada Beban Simulator Full Load," vol. 07, no. 2, pp. 84–97, 2017.
- [2] E. W. Alturki, "Marine Diesel Engine Fixed and Moving Parts," vol. 7, no. 11, pp. 1–11, 2017, doi: 10.9790/9622-0711060111.
- [3] G. Gedeon, "Diesel Engine Fundamentals," no. 877, pp. 1–46, 2002.
- [4] M. Fonte, L. Reis, V. Infante, and M. Freitas, "Failure analysis of cylinder head studs of a four stroke marine diesel engine," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 101, no. March, pp. 298–308, 2019, doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.03.026.
- [5] D. B. Brickman, "Pen cap failure analysis and prevention," *Am. Soc. Mech. Eng.*, 1997.
- [6] Azom, "AISI 4340 Alloy Steel (UNS G43400)," *Azo Materials*. pp. 1–4, 2013.
- [7] Andoko and P. Puspitasari, "Characteristics of leaf spring strength of material 65si7 and material C17000 using finite element method," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1778, no. October, 2016, doi: 10.1063/1.4965799.
- [8] Andoko and P. Puspitasari, "Finite element analysis of surface tension on piston due to pressure variation," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1778, no. October, 2016, doi: 10.1063/1.4965798.