**JME (Jurnal Mekanika dan Energi)**
**EISSN: 3048-2836** *E-Mail*: jme@sttrcepu.ac.id

# Evaluasi As Final Clearance dan Temuan Rubbing Boiler Feed Pump MHG 6/9 di PT. X

Hilmi Yahya Bukhoori[a], Muhamad Roni Hajianto[a*]

Program Studi Teknik Mesin Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada No.38, Cepu, 58315

*Email: ronihajianto80@gmail.com

Tentang naskah:

- diterima, 27 Okt. 2026
- direview, 21 Okt. 2026
- diterbitkan, 31 Okt.2026

Kata kunci:
Boiler Feed Pump, As Final clearance, rubbing

**Intisari**
Boiler Feed Pump merupakan peralatan penting pada sistem pembangkit uap yang bekerja pada tekanan dan putaran tinggi sehingga kondisi komponen internal perlu dievaluasi secara berkala. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi As Final internal clearance terhadap design tolerance serta membandingkan kondisi dimensional akhir dengan temuan rubbing pada Boiler Feed Pump multistage tipe MHG 6/9. Penelitian menggunakan pendekatan evaluatif-deskriptif berdasarkan data scheduled overhaul, dengan Clearance Record dan Part Investigation Record sebagai data utama. Data As Received clearance tidak digunakan dalam evaluasi kuantitatif karena tidak tersedia secara lengkap. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa As Final clearance pada titik B sebesar 0,21–0,24 mm, F4 sebesar 0,71–0,75 mm, F8 sebesar 0,74–0,76 mm, dan G sebesar 0,46–0,51 mm berada di atas design tolerance masing-masing. Part Investigation Record menunjukkan adanya rubbing pada split bearing shell, wear ring, interstage bushing, balance sleeve, throttle bushing, serta komponen sistem thrust dan balancing. Temuan rubbing juga terdapat pada komponen yang memiliki As Final clearance dalam rentang desain. Oleh karena itu, inspeksi dimensional dan fisik perlu digunakan secara bersamaan karena memberikan informasi yang saling melengkapi. Penelitian ini tidak menetapkan hubungan sebab-akibat antara kondisi clearance sebelum overhaul dan terjadinya rubbing.

*Keyword*:
*Boiler Feed Pump, As Final clearance, rubbing*

***Abstract***
*Boiler Feed Pump is a critical component in steam generation systems operating under high pressure and rotational speed; therefore, the condition of its internal components requires periodic evaluation. This study evaluates As Final internal clearance against design tolerance and compares the final dimensional condition with rubbing findings on a multistage MHG 6/9 Boiler Feed Pump. An evaluative-descriptive approach was applied using scheduled overhaul data, with the Clearance Record and Part Investigation Record as the main data sources. As Received clearance data were not included in the quantitative evaluation because they were incomplete. The results show that As Final clearances at points B (0.21–0.24 mm), F4 (0.71–0.75 mm), F8 (0.74–0.76 mm), and G (0.46–0.51 mm) exceeded their respective design tolerances. The Part Investigation Record also documented rubbing on the split bearing shell, wear rings, interstage bushing, balance sleeve, throttle bushing, and components of the thrust and balancing systems. Rubbing was also found on components whose As Final clearance remained within the design range. Therefore, dimensional and physical inspections should be used together as complementary information. This study does not establish a causal relationship between pre-overhaul clearance conditions and rubbing.*

## 1. Pendahuluan

Pompa merupakan salah satu peralatan mekanis yang banyak digunakan dalam berbagai proses industri untuk memindahkan fluida dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Pompa sentrifugal merupakan salah satu jenis yang paling umum digunakan karena konstruksinya relatif sederhana dan dapat diterapkan pada berbagai kebutuhan aliran dan tekanan. Selama periode operasi, pompa dapat mengalami penurunan kondisi akibat keausan maupun perubahan kondisi komponen internal sehingga kegiatan inspeksi dan pemeliharaan diperlukan untuk mempertahankan keandalannya (Pokharel et al., 2022).

Pada sistem boiler, salah satu peralatan yang memiliki fungsi penting adalah Boiler Feed Pump (BFP), yaitu pompa yang digunakan untuk mengalirkan air umpan menuju boiler. Tiwari et al. (2016) menjelaskan bahwa High Pressure Boiler

Feed Pump merupakan pompa sentrifugal multistage yang digunakan untuk mengalirkan air dari deaerator menuju boiler. Susunan beberapa impeller, diffuser, dan casing secara seri memungkinkan pompa multistage menghasilkan head yang tinggi sehingga sesuai untuk aplikasi boiler feed dengan kebutuhan tekanan yang besar.

Penelitian terdahulu banyak membahas pengaruh clearance terhadap performa, aliran internal, pressure pulsation, dan vibrasi melalui pengujian maupun simulasi (Rifai et al., 2025; Wu et al., 2021; Jia et al., 2022), sedangkan rubbing pada pompa multistage telah dikaji melalui pendekatan diagnosis berbasis sinyal vibrasi (Li et al., 2023). Penelitian ini menggunakan data scheduled overhaul Boiler Feed Pump multistage tipe MHG 6/9 dan berfokus pada evaluasi As Final internal clearance terhadap design tolerance serta perbandingannya secara deskriptif dengan temuan rubbing pada Part Investigation Record. Tujuan penelitian adalah mengevaluasi kondisi dimensional akhir yang tercatat dan menunjukkan bagaimana inspeksi dimensional As Final dan inspeksi fisik memberikan informasi yang saling melengkapi tanpa menetapkan hubungan sebab-akibat antara kondisi clearance sebelum overhaul dan terjadinya rubbing.

## 2. Kerangka Teori

Boiler Feed Pump merupakan salah satu jenis pompa sentrifugal yang digunakan untuk mengalirkan air umpan menuju boiler pada tekanan tertentu. Pada aplikasi tekanan tinggi, Boiler Feed Pump umumnya menggunakan konstruksi multistage dengan beberapa impeller yang disusun secara seri sehingga mampu menghasilkan head yang lebih tinggi dibandingkan pompa satu tingkat. Tiwari et al. (2016) menjelaskan bahwa High Pressure Boiler Feed Pump merupakan pompa sentrifugal multistage yang digunakan untuk mengalirkan air dari deaerator menuju boiler. Susunan impeller, diffuser, dan casing pada setiap tingkat berperan dalam meningkatkan energi fluida hingga mencapai tekanan yang dibutuhkan oleh sistem boiler.

Dalam pengoperasian pompa sentrifugal, salah satu parameter mekanis yang perlu diperhatikan adalah *internal clearance*. *Internal clearance* merupakan jarak bebas antara komponen berputar dan komponen stasioner yang berfungsi mencegah terjadinya kontak langsung sekaligus membatasi kebocoran internal. Beberapa pasangan komponen yang memiliki clearance antara lain *wear ring*, *bushing*, *labyrinth ring*, dan bagian lain yang berada di sekitar sistem rotor. Karassik et al. (2001) menjelaskan bahwa pengaturan clearance pada komponen internal merupakan salah satu aspek penting dalam desain dan pengoperasian pompa karena berkaitan dengan interaksi antara bagian berputar dan bagian diam.

Pada pasangan *wear ring*, perubahan clearance dapat memengaruhi karakteristik hidraulis pompa. Rifai et al. (2025) menjelaskan bahwa *wear ring* memberikan jarak bebas antara impeller dan casing serta berfungsi mengurangi kebocoran internal. Peningkatan clearance akibat keausan dapat meningkatkan kebocoran internal dan menurunkan performa pompa. Wu et al. (2021) juga menunjukkan bahwa perubahan *wear-ring clearance* akibat abrasi dapat memengaruhi head, efisiensi, vibrasi, serta kondisi aliran internal pompa. Selain itu, Jia et al. (2022) menjelaskan bahwa aliran bocor melalui *wear-ring clearance* dapat berinteraksi dengan aliran utama pada sisi masuk impeller sehingga menimbulkan kehilangan energi, ketidakstabilan aliran, *pressure pulsation*, dan *flow-induced vibration*.

Selain kondisi clearance, kontak antara komponen rotor dan stator dapat menimbulkan fenomena *rubbing*. *Rubbing* merupakan kontak mekanis antara bagian berputar dengan bagian stasioner yang dapat meninggalkan jejak gesekan atau kerusakan pada permukaan komponen. Li et al. (2023) menjelaskan bahwa perkembangan mesin berputar dengan clearance kecil, putaran tinggi, dan beban tinggi dapat meningkatkan risiko terjadinya rotor–stator rubbing. Pada pompa sentrifugal multistage, keberadaan rubbing dapat diidentifikasi melalui karakteristik vibrasi dan dikonfirmasi melalui pembongkaran dengan ditemukannya jejak gesekan pada permukaan komponen yang mengalami kontak.

Berdasarkan konsep tersebut, evaluasi kondisi internal pompa dapat dilakukan melalui pemeriksaan dimensional dan pemeriksaan fisik komponen. Pemeriksaan dimensional memberikan informasi mengenai nilai clearance terhadap batas toleransi yang ditentukan, sedangkan pemeriksaan fisik memberikan informasi mengenai adanya *rubbing*, *damage*, maupun kondisi permukaan komponen setelah proses *dismantling*. Pada penelitian ini, kedua jenis informasi tersebut digunakan secara bersamaan untuk mengevaluasi Boiler Feed Pump MHG 6/9. Nilai *As Final*

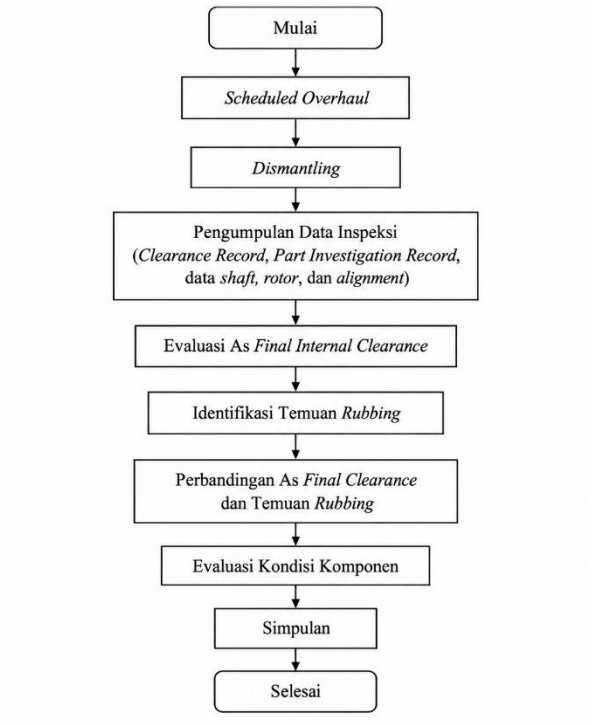
*internal clearance* dibandingkan dengan *design tolerance*, sedangkan temuan fisik diperoleh dari *Part Investigation Record*. Perbandingan keduanya dilakukan secara deskriptif dan tidak digunakan untuk menentukan hubungan sebab-akibat antara kondisi clearance sebelum overhaul dan terjadinya rubbing.

## 3. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan evaluatif-deskriptif berdasarkan data hasil *scheduled overhaul* pada satu unit Boiler Feed Pump multistage tipe MHG 6/9 di PT. X. Evaluasi dilakukan terhadap kondisi dimensional komponen internal berdasarkan data *As Final internal clearance* serta temuan fisik komponen yang tercatat selama proses *dismantling* dan inspeksi.

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dari *scheduled overhaul*, proses *dismantling*, pengumpulan data inspeksi, evaluasi *As Final internal clearance*, identifikasi temuan *rubbing*, perbandingan hasil inspeksi, evaluasi kondisi komponen, hingga penarikan simpulan. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.




Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian merupakan Boiler Feed Pump tipe MHG 6/9 yang digunakan untuk mengalirkan *boiler feed water*. Pompa merupakan pompa sentrifugal multistage sembilan tingkat dengan impeller tipe *single suction closed*. Pompa memiliki kapasitas aliran terukur sebesar 623,3 $m^3/h$, total head 1709 m, putaran 2980 rpm, efisiensi 84,5%, tekanan suction 6,3 $kg/cm^2G$, tekanan discharge 162 $kg/cm^2G$, daya poros terhitung 3132 kW, temperatur fluida 155,8 °C, dan daya motor 3550 kW. Spesifikasi utama pompa ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi Boiler Feed Pump MHG 6/9

| Parameter | Nilai |
|---|---|
| Tipe pompa | MHG 6/9 |
| Fluida | Boiler Feed Water |
| Jumlah tingkat | 9 |
| Tipe impeller | Single Suction Closed Type |
| Kapasitas aliran terukur | 623,3 $m^3/h$ |
| Total head terukur | 1709 m |
| Putaran | 2980 rpm |
| Efisiensi pompa | 84,50% |
| Tekanan suction | 6,3 $kg/cm^2G$ |
| Tekanan discharge | 162 $kg/cm^2G$ |
| Daya poros terhitung | 3132 kW |
| Temperatur fluida | 155,8 °C |
| Daya motor | 3550 kW |

### 3.3 Data Penelitian

Data penelitian diperoleh dari dokumen inspeksi selama proses overhaul, yaitu *Clearance Record, Part Investigation Record, Shaft Record, Rotor Position Record, Rotor Lift Record,* dan *Laser Alignment Record*. *Clearance Record* dan *Part Investigation Record* digunakan sebagai data utama, sedangkan data shaft, rotor, dan alignment digunakan sebagai informasi pendukung dalam menggambarkan kondisi mekanis pompa. Dokumentasi visual selama proses *dismantling* digunakan untuk mendukung identifikasi kondisi fisik komponen.

Nilai *internal clearance* yang digunakan dalam analisis kuantitatif merupakan data As Final yang tercatat pada *Clearance Record*. Data *As Received clearance* tidak digunakan karena nilai pengukurannya tidak tersedia secara lengkap. Oleh karena itu, nilai clearance yang dianalisis merepresentasikan kondisi dimensional akhir yang tercatat setelah proses overhaul dan tidak digunakan untuk merepresentasikan kondisi clearance saat pompa beroperasi sebelum overhaul.

### 3.4 Evaluasi Internal Clearance

Evaluasi *As Final internal clearance* dilakukan pada pasangan *split bearing shell–shaft, labyrinth ring–shaft, case wear ring–impeller wear ring, interstage bushing–impeller,* serta *throttle bushing–balance sleeve*. Nilai *diametral clearance* ditentukan berdasarkan selisih diameter dalam komponen stasioner dengan diameter luar komponen berputar sebagaimana persamaan (1).

$$C = D_{ID} - D_{OD} \quad (1)$$

dengan:

$C$ = diametral clearance (mm)
$D_{ID}$ = diameter dalam komponen stasioner (mm)
$D_{OD}$ = diameter luar komponen berputar (mm)

Nilai *As Final clearance* kemudian dibandingkan dengan *design tolerance* pada dokumen inspeksi. Nilai yang berada di antara batas minimum dan maksimum desain dikategorikan sebagai *Within Design Range*, sedangkan nilai yang melampaui batas atas *design tolerance* dikategorikan sebagai *Above Design Range*. Klasifikasi tersebut digunakan untuk mengevaluasi kondisi dimensional akhir dan tidak digunakan untuk menentukan kondisi clearance sebelum overhaul.

3.5 Identifikasi Rubbing dan Analisis Data

Identifikasi *rubbing* dilakukan berdasarkan temuan yang tercatat pada *Part Investigation Record* dan dokumentasi visual komponen selama proses *dismantling*. Temuan inspeksi yang digunakan meliputi *contact radial rubbing, contact axial rubbing, rubbing,* dan *damage* pada beberapa komponen internal. Komponen yang menjadi perhatian utama meliputi *split bearing shell, casing wear ring, impeller wear ring, interstage bushing, balance sleeve, throttle bushing,* serta beberapa komponen pada sistem *thrust* dan *balancing*.

Tahap analisis dilakukan dengan membandingkan hasil evaluasi dimensional *As Final clearance* dengan temuan fisik pada *Part Investigation Record*. Perbandingan dilakukan secara deskriptif untuk mengetahui kondisi yang tercatat pada kedua jenis inspeksi. Hasil perbandingan digunakan untuk menunjukkan apakah komponen dengan *As Final clearance* dalam atau di luar *design tolerance* juga memiliki temuan *rubbing* pada hasil inspeksi fisik.

Data *shaft runout, rotor position, rotor lift,* dan *laser alignment* digunakan sebagai informasi pendukung dalam menggambarkan kondisi mekanis pompa. Data tersebut tidak digunakan secara tunggal untuk menentukan akar penyebab *rubbing* karena penelitian ini tidak dilengkapi dengan data vibrasi sebelum overhaul, perubahan performa pompa, maupun pengukuran dinamis rotor selama kondisi operasi.

Dengan demikian, hasil analisis dalam penelitian ini dibatasi pada evaluasi kondisi dimensional akhir, identifikasi temuan fisik, dan perbandingan deskriptif antara kedua hasil inspeksi. Karena data *As Received clearance* tidak tersedia secara lengkap, hasil penelitian tidak digunakan untuk menetapkan hubungan sebab-akibat antara kondisi clearance sebelum overhaul dan terjadinya *rubbing*.

## 4. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian diperoleh dari evaluasi dokumen inspeksi selama proses *scheduled overhaul* Boiler Feed Pump MHG 6/9. Pembahasan difokuskan pada temuan kondisi fisik komponen berdasarkan *Part Investigation Record*, evaluasi *As Final internal clearance* terhadap *design tolerance*, serta perbandingan deskriptif antara kondisi dimensional akhir dan temuan *rubbing*. Hasil evaluasi selanjutnya digunakan untuk menggambarkan kondisi komponen internal dan rekomendasi pemeliharaan yang tercatat pada dokumen inspeksi.

4.1 Hasil Part Investigation

Hasil *Part Investigation Record* menunjukkan bahwa beberapa komponen internal Boiler Feed Pump MHG 6/9 dikategorikan *not good* (NG) setelah proses *dismantling* dan inspeksi. Temuan yang dominan berupa *rubbing* pada komponen yang berhubungan dengan sistem rotor, baik dalam arah radial maupun aksial. *Split bearing shell* tercatat mengalami *contact radial rubbing*, sedangkan *thrust bearing plate, thrust bearing segment,* dan *counter thrust bearing ring* mengalami *contact axial rubbing*.

Selain pada sistem bearing, temuan *rubbing* juga tercatat pada *casing wear ring, impeller wear ring, interstage bushing, balance sleeve,* dan *throttle bushing*. Pada sistem balancing, *balancing disc* dan *balancing disc seat* tercatat mengalami *rubbing contact face*, sedangkan *labyrinth ring* tercatat dalam kondisi *damage*. Ringkasan hasil *Part Investigation Record* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Temuan Utama Part Investigation

| No. | Komponen | Kondisi | Temuan | Rekomendasi |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Split Bearing Shell | NG | Contact radial rubbing | Replace |
| 2 | Thrust Bearing Plate | NG | Contact axial rubbing | Replace |
| 3 | Thrust Bearing Segment | NG | Contact axial rubbing | Replace |
| 4 | Counter Thrust Bearing Ring | NG | Contact axial rubbing | Replace |
| 5 | Labyrinth Ring | NG | Damage | Replace |
| 6 | Casing Wear Ring | NG | Rubbing | Replace |
| 7 | Impeller Wear Ring | NG | Rubbing | Replace |
| 8 | Interstage Bushing | NG | Rubbing | Replace |
| 9 | Balance Sleeve | NG | Rubbing | Replace |
| 10 | Throttle Bushing | NG | Rubbing | Replace |
| 11 | Balancing Disc | NG | Rubbing contact face | Replace |
| 12 | Balancing Disc Seat | NG | Rubbing contact face | Replace |

Berdasarkan Tabel 2, temuan kerusakan tidak terpusat pada satu komponen, tetapi tersebar pada beberapa bagian sistem rotor dan komponen stasioner. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa evaluasi kondisi internal pompa perlu mempertimbangkan beberapa pasangan komponen sepanjang sistem rotor. Li et al. (2023) juga menunjukkan bahwa *rubbing* pada pompa sentrifugal multistage dapat dikonfirmasi melalui proses pembongkaran dengan ditemukannya jejak kontak pada permukaan komponen. Oleh karena itu, dalam penelitian ini *Part Investigation Record* digunakan sebagai dasar identifikasi kondisi fisik komponen setelah *dismantling*.

4.2 Evaluasi As Final Clearance

Evaluasi *As Final internal clearance* dilakukan dengan membandingkan nilai yang tercatat pada *Clearance Record* terhadap *design tolerance* masing-masing pasangan komponen. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sebagian besar titik pengukuran masih berada dalam rentang desain, sedangkan beberapa titik lainnya telah melampaui batas atas toleransi. Ringkasan hasil evaluasi *As Final internal clearance* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Evaluasi As Final Internal Clearance Boiler Feed Pump MHG 6/9

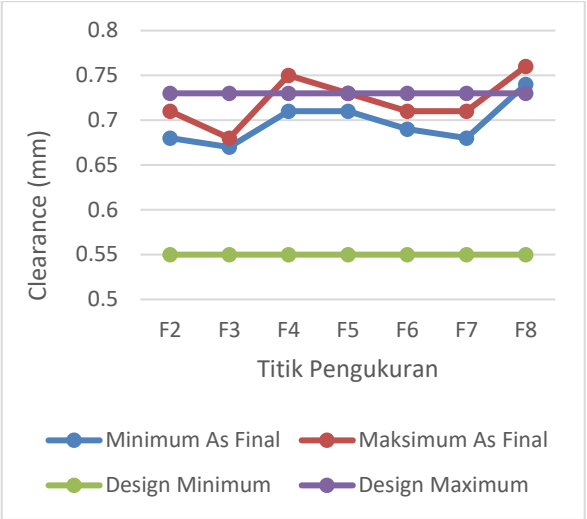
| Titik | Pasangan Komponen | As Final Clearance (mm) | Design Tolerance (mm) | Evaluasi |
|---|---|---|---|---|
| B | Split Bearing Shell – Shaft | 0,21–0,24 | 0,12–0,19 | Di atas toleransi |
| C | Labyrinth Ring DE – Shaft | 0,38–0,42 | 0,32–0,41 | Maksimum di atas toleransi |
| D1 | Case Wear Ring – Impeller Wear Ring | 0,51–0,53 | 0,43–0,64 | Dalam toleransi |
| D2 | Case Wear Ring – Impeller Wear Ring | 0,44–0,46 | 0,32–0,53 | Dalam toleransi |
| E1 | Case Wear Ring – Impeller Wear Ring | 0,44–0,46 | 0,32–0,53 | Dalam toleransi |
| E2 | Case Wear Ring – Impeller Wear Ring | 0,44–0,48 | 0,32–0,53 | Dalam toleransi |
| E3 | Case Wear Ring – Impeller Wear Ring | 0,44–0,47 | 0,32–0,53 | Dalam toleransi |
| E4 | Case Wear Ring – Impeller Wear Ring | 0,44–0,47 | 0,32–0,53 | Dalam toleransi |
| E5 | Case Wear Ring – Impeller Wear Ring | 0,42–0,45 | 0,32–0,53 | Dalam toleransi |
| E6 | Case Wear Ring – Impeller Wear Ring | 0,47–0,49 | 0,32–0,53 | Dalam toleransi |
| E7 | Case Wear Ring – Impeller Wear Ring | 0,46–0,48 | 0,32–0,53 | Dalam toleransi |
| E8 | Case Wear Ring – Impeller Wear Ring | 0,49–0,51 | 0,32–0,53 | Dalam toleransi |
| F2 | Interstage Bushing – Impeller | 0,68–0,71 | 0,55–0,73 | Dalam toleransi |
| F3 | Interstage Bushing – Impeller | 0,67–0,68 | 0,55–0,73 | Dalam toleransi |
| F4 | Interstage Bushing – Impeller | 0,71–0,75 | 0,55–0,73 | Maksimum di atas toleransi |
| F5 | Interstage Bushing – Impeller | 0,71–0,73 | 0,55–0,73 | Dalam toleransi |
| F6 | Interstage Bushing – Impeller | 0,69–0,71 | 0,55–0,73 | Dalam toleransi |
| F7 | Interstage Bushing – Impeller | 0,68–0,71 | 0,55–0,73 | Dalam toleransi |
| F8 | Interstage Bushing – Impeller | 0,74–0,76 | 0,55–0,73 | Di atas toleransi |

| Titik | Pasangan Komponen | As Final Clearance (mm) | Design Tolerance (mm) | Evaluasi |
|---|---|---|---|---|
| G | Throttle Bushing – Balance Sleeve | 0,46–0,51 | 0,40–0,45 | Di atas toleransi |
| H | Balance Disc Seat – Balance Sleeve | 0,41–0,44 | 0,40–0,45 | Dalam toleransi |

Pada titik B, pasangan *split bearing shell–shaft* mempunyai *As Final clearance* sebesar 0,21–0,24 mm, sedangkan *design tolerance* sebesar 0,12–0,19 mm. Dengan demikian, kondisi dimensional akhir pada titik tersebut berada di atas rentang desain. Pada titik C, pasangan *labyrinth ring DE–shaft* mempunyai *As Final clearance* sebesar 0,38–0,42 mm terhadap *design tolerance* 0,32–0,41 mm, sehingga nilai maksimum sedikit melampaui batas atas desain.

Pada kelompok *wear ring*, nilai *As Final clearance* pada D1, D2, serta E1 sampai E8 masih berada dalam *design tolerance*. D1 mempunyai nilai 0,51–0,53 mm terhadap *design tolerance* 0,43–0,64 mm, sedangkan D2 dan E1 sampai E8 menggunakan rentang desain 0,32–0,53 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi dimensional akhir kelompok *wear ring* yang tercatat masih berada dalam rentang desain. Kondisi *As Final* tersebut tidak digunakan untuk merepresentasikan clearance pada saat *rubbing* terjadi selama periode operasi.

Pada kelompok *interstage bushing*, sebagian besar *As Final clearance* masih berada dalam rentang desain 0,55–0,73 mm. Titik F4 mempunyai nilai 0,71–0,75 mm sehingga nilai maksimum melampaui batas atas desain, sedangkan titik F8 mempunyai nilai 0,74–0,76 mm sehingga seluruh rentang pengukurannya berada di atas batas desain. Distribusi nilai *As Final clearance* pada titik F2 sampai F8 ditunjukkan pada Gambar 2.




Gambar 2. Distribusi As Final internal clearance interstage bushing F2–F8

Berdasarkan Gambar 2, titik F2, F3, F5, F6, dan F7 masih berada di dalam rentang desain, sedangkan F4 dan F8 menunjukkan penyimpangan terhadap batas atas *design tolerance*. Pada titik G, pasangan *throttle bushing–balance sleeve* mempunyai *As Final clearance* sebesar 0,46–0,51 mm terhadap *design tolerance* 0,40–0,45 mm sehingga berada di atas rentang desain. Sebaliknya, titik H pada pasangan *balance disc seat–balance sleeve* mempunyai *As Final clearance* sebesar 0,41–0,44 mm dan masih berada dalam rentang desain.

Wu et al. (2021) menunjukkan bahwa perubahan *wear-ring clearance* dapat memengaruhi head, efisiensi, vibrasi, dan kondisi aliran internal pompa. Namun, penelitian ini hanya menggunakan data *As Final clearance* dan tidak memiliki data *As Received* yang lengkap maupun data performa sebelum dan sesudah overhaul. Oleh karena itu, pengaruh perubahan clearance terhadap head dan efisiensi Boiler Feed Pump MHG 6/9 tidak dievaluasi secara kuantitatif.

### 4.3 Perbandingan Clearance dan Rubbing

Perbandingan antara *As Final internal clearance* dan *Part Investigation Record* menunjukkan bahwa hasil evaluasi dimensional akhir dan temuan fisik komponen dapat memberikan informasi yang berbeda. Beberapa komponen memiliki *As Final clearance* yang berada di luar *design tolerance* dan juga menunjukkan temuan *rubbing*, sedangkan pada komponen lainnya *As Final clearance* masih berada dalam rentang desain meskipun temuan *rubbing* tercatat pada hasil inspeksi fisik. Ringkasan

perbandingan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.

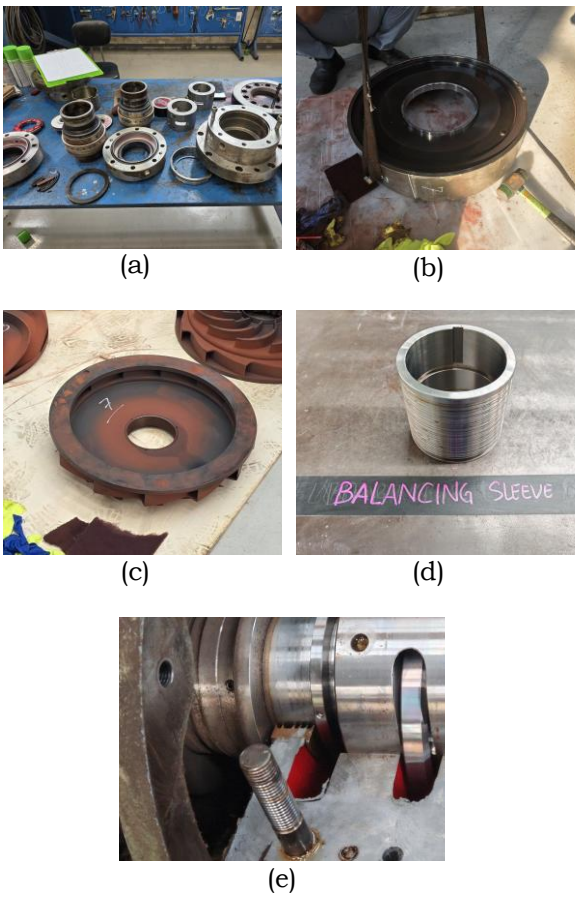
Tabel 4 Perbandingan As Final Clearance dan Temuan Rubbing

| Komponen | Kondisi As Final | Temuan Inspeksi | Rekomendasi |
|---|---|---|---|
| Split Bearing Shell | Di atas toleransi | Contact radial rubbing | Replace |
| Case/Impeller Wear Ring | Dalam toleransi | Rubbing | Replace |
| Interstage Bushing | F4 dan F8 di atas toleransi | Rubbing | Replace |
| Throttle Bushing – Balance Sleeve | Di atas toleransi | Rubbing | Replace |

Pada *split bearing shell*, *As Final clearance* titik B tercatat sebesar 0,21–0,24 mm dan berada di atas *design tolerance* 0,12–0,19 mm. Sementara itu, *Part Investigation Record* mencatat adanya *contact radial rubbing* dengan rekomendasi *replacement*. Pada *interstage bushing*, titik F4 memiliki nilai maksimum 0,75 mm yang melampaui batas desain 0,73 mm, sedangkan F8 mempunyai nilai 0,74–0,76 mm sehingga seluruh rentang pengukurannya berada di atas batas desain. Pada komponen tersebut, *Part Investigation Record* juga mencatat adanya *rubbing*.

Kondisi yang berbeda terlihat pada kelompok *case wear ring–impeller wear ring*. Nilai *As Final clearance* D1, D2, serta E1 sampai E8 masih berada dalam *design tolerance*, sedangkan hasil *Part Investigation Record* mencatat *casing wear ring* dan *impeller wear ring* dalam kondisi NG akibat *rubbing* dengan rekomendasi *replacement*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa nilai *As Final clearance* tidak dapat digunakan untuk merepresentasikan kondisi dimensional komponen pada saat *rubbing* terjadi, karena pengukuran dilakukan pada kondisi akhir setelah proses overhaul.

Pada pasangan *throttle bushing–balance sleeve*, titik G mempunyai *As Final clearance* sebesar 0,46–0,51 mm dan berada di atas *design tolerance* 0,40–0,45 mm. *Part Investigation Record* mencatat *balance sleeve* dan *throttle bushing* dalam kondisi NG akibat *rubbing* serta memberikan rekomendasi *replacement*. Perbandingan tersebut bersifat deskriptif dan tidak digunakan untuk menentukan kondisi clearance ketika *rubbing* terjadi maupun untuk menetapkan hubungan sebab-akibat secara langsung.




Gambar 3. Dokumentasi temuan inspeksi komponen internal Boiler Feed Pump MHG 6/9: (a) Split Bearing Shell contact radial rubbing; (b) Impeller Wear Ring rubbing; (c) Interstage Bushing rubbing; (d) Balance Sleeve rubbing; (e) Labyrinth Ring damage.

Dokumentasi visual pada Gambar 3 menunjukkan kondisi fisik beberapa komponen internal setelah proses *dismantling*. Jejak gesekan dan kerusakan permukaan digunakan sebagai bukti pendukung terhadap temuan pada *Part Investigation Record*. Data visual tersebut melengkapi evaluasi *As Final clearance*, tetapi tidak digunakan untuk merekonstruksi kondisi clearance pada saat *rubbing* terjadi selama operasi.

### 4.4 Rekomendasi Pemeliharaan

*Part Investigation Record* menunjukkan bahwa rekomendasi pemeliharaan terhadap komponen internal ditentukan berdasarkan kondisi komponen setelah proses *dismantling* dan inspeksi. Komponen yang menunjukkan *rubbing, damage,* atau kondisi NG umumnya direkomendasikan untuk *replacement*, sedangkan beberapa komponen lainnya direkomendasikan untuk *repair* atau *polishing/ machining*. Ringkasan rekomendasi pemeliharaan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Rekomendasi Pemeliharaan Berdasarkan Hasil Inspeksi

| No. | Komponen | Temuan | Rekomendasi |
|---|---|---|---|
| 1 | Split Bearing Shell | Contact radial rubbing | Replace |
| 2 | Thrust Bearing Plate | Contact axial rubbing | Replace |
| 3 | Thrust Bearing Segment | Contact axial rubbing | Replace |
| 4 | Counter Thrust Bearing Ring | Contact axial rubbing | Replace |
| 5 | Labyrinth Ring | Damage | Replace |
| 6 | Casing Wear Ring | Rubbing | Replace |
| 7 | Impeller Wear Ring | Rubbing | Replace |
| 8 | Interstage Bushing | Rubbing | Replace |
| 9 | Balance Sleeve | Rubbing | Replace |
| 10 | Throttle Bushing | Rubbing | Replace |
| 11 | Balancing Disc | Rubbing contact face | Replace |
| 12 | Balancing Disc Seat | Rubbing contact face | Replace |
| 13 | Shaft | Kondisi NG | Repair |
| 14 | Suction Casing | Contact face | Polishing/Machining |
| 15 | Discharge Casing | Contact face | Polishing/Machining |
| 16 | Stage Casing | Contact face | Polishing/Machining |
| 17 | Inlet Ring | Contact face | Polishing/Machining |
| 18 | Casing Cover | Contact face | Polishing/Machining |

Sebagian besar komponen yang menunjukkan *rubbing* atau *damage* direkomendasikan untuk *replacement*. *Split bearing shell* direkomendasikan untuk diganti setelah ditemukan *contact radial rubbing*, sedangkan *thrust bearing plate, thrust bearing segment,* dan *counter thrust bearing ring* direkomendasikan untuk *replacement* akibat *contact axial rubbing*. *Casing wear ring, impeller wear ring, interstage bushing, balance sleeve, throttle bushing, balancing disc,* dan *balancing disc seat* juga direkomendasikan untuk *replacement* sesuai temuan inspeksi.

Berbeda dengan komponen tersebut, shaft tercatat dalam kondisi NG dengan rekomendasi *repair*. Sementara itu, *suction casing, discharge casing, stage casing, inlet ring,* dan *casing cover* menunjukkan temuan pada *contact face* sehingga direkomendasikan untuk dilakukan *polishing/machining*. Rekomendasi yang tercantum merupakan tindakan yang disarankan berdasarkan hasil inspeksi dan tidak digunakan untuk menyatakan bahwa seluruh tindakan tersebut telah dilaksanakan.

Secara keseluruhan, evaluasi kondisi internal Boiler Feed Pump MHG 6/9 menggunakan dua jenis informasi yang saling melengkapi. Data *As Final* pada *Clearance Record* digunakan untuk mengevaluasi kondisi dimensional akhir terhadap *design tolerance*, sedangkan *Part Investigation Record* memberikan informasi mengenai *rubbing, damage,* dan rekomendasi tindakan pada masing-masing komponen.

## 5. Simpulan

Evaluasi *As Final internal clearance* pada Boiler Feed Pump multistage MHG 6/9 menunjukkan bahwa kondisi dimensional akhir tidak seragam pada seluruh pasangan komponen. Penyimpangan terhadap *design tolerance* ditemukan pada *split bearing shell–shaft* titik B sebesar 0,21–0,24 mm terhadap rentang desain 0,12–0,19 mm, *interstage bushing* titik F4 sebesar 0,71–0,75 mm dan F8 sebesar 0,74–0,76 mm terhadap rentang desain 0,55–0,73 mm, serta *throttle bushing–balance sleeve* titik G sebesar 0,46–0,51 mm terhadap rentang desain 0,40–0,45 mm. *Part Investigation Record* menunjukkan adanya *rubbing* pada *split bearing shell, casing wear ring, impeller wear ring, interstage bushing, balance sleeve, throttle bushing,* serta komponen sistem *thrust* dan *balancing*. Temuan *rubbing* juga terdapat pada komponen yang memiliki *As Final clearance* masih dalam *design tolerance*, seperti kelompok *case wear ring–impeller wear ring*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa inspeksi dimensional *As Final* dan inspeksi fisik memberikan informasi yang berbeda namun saling melengkapi dalam evaluasi kondisi internal pompa. Karena data *As Received clearance* tidak tersedia secara lengkap dan penelitian tidak dilengkapi data dinamis selama operasi, hasil penelitian ini tidak digunakan untuk menetapkan hubungan sebab-akibat antara kondisi clearance sebelum overhaul dan terjadinya *rubbing*.

## Daftar Pustaka


Jia, X., Yu, J., Li, B., Zhang, L. and Zhu, Z. (2022) 'Effect of incident angle of wear-ring clearance on pressure pulsation and vibration performance of centrifugal pump', *Frontiers in Energy Research*, 10, 861134. doi: 10.3389/fenrg.2022.861134.

Karassik, I.J., Messina, J.P., Cooper, P. and Heald, C.C. (eds.) (2001) *Pump Handbook*. 3rd edn. New York, NY: McGraw-Hill.

Li, Y.-G., Ma, W.-S., Li, F.-Z. and Wang, Q.-F. (2023) 'Rubbing fault diagnosis between stator and rotor of multi-stage centrifugal pump based on optimized support vector machine', *China Rural Water and Hydropower*, (4), pp. 228–234. doi: 10.12396/znsd.221103.

Pokharel, N., Ghimire, A., Thapa, B. and Thapa, B.S. (2022) 'Wear in centrifugal pumps with causes, effects and remedies: A review', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1037, 012042. doi: 10.1088/1755-1315/1037/1/012042.

Rifai, M.S., Ruhyat, N. and Surachman, A. (2025) 'Performance analysis of centrifugal pumps before and after wear ring restoration', *International Journal of Innovation in Mechanical Engineering and Advanced Materials*, 7(1), pp. 43–51. doi: 10.22441/ijimeam.v7i1.30324.

Tiwari, N., Kumar, K. and Kumar, D. (2016) 'Analytical and experimental analysis of the high pressure boiler feed pump', *Procedia Technology*, 23, pp. 472–479. doi: 10.1016/j.protcy.2016.03.052.

Wu, X., Du, X., Tan, M. and Liu, H. (2021) 'Experiment and simulation about the effect of wear-ring abrasion on the performance of a marine centrifugal pump', *Advances in Mechanical Engineering*, 13(2), pp. 1–11. doi: 10.1177/1687814021998115.