

# Rancang Bangun dan Uji Fungsi Internal Deburring Unit Berbasis Prinsip Poka Yoke untuk Efisiensi Pembersihan Metal Burrs pada Pipa Coupling OCTG

Luxman Yunus Purba\*1, Nurul Laili Arifin, S.ST., M.T\*1

\* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

E-mail: [yunuspurba727@gmail.com](mailto:yunuspurba727@gmail.com)

## Abstrak

Proses pembersihan sisa tajam logam pada bagian dalam sambungan pipa minyak dan gas (*internal deburring*) pada produk OCTG Coupling merupakan tahap kritis yang menentukan keandalan sambungan pipa di lapangan. Di salah satu perusahaan manufaktur peralatan migas di Batam (PT EFK), metode manual yang saat ini diterapkan memiliki risiko penggerindaan berlebih (*over-grinding*) serta waktu proses yang relatif lama dan tidak konsisten karena sangat bergantung pada kecepatan operator. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji fungsi prototipe *Internal Deburring Unit* yang menerapkan prinsip *mistake-proofing* (Poka Yoke) tipe *Physical Contact* murni menggunakan stopper mekanis, sebagai pembeda dari penelitian terdahulu yang menerapkan Poka Yoke berbasis peringatan visual maupun kajian literatur. Mekanisme pembatas fisik (*stopper yoke*) baja digunakan agar variabilitas kesalahan operator dalam menentukan kedalaman dapat diminimalkan sejak tahap desain fisik, sehingga kualitas hasil kerja tidak lagi sepenuhnya bergantung pada fluktuasi fokus manusia akibat kelelahan kerja (*fatigue*). Evaluasi kinerja diukur dengan membandingkan parameter waktu siklus (*cycle time*) serta kebersihan visual ujung pipa dari sisa potongan tajam (*metal burrs*) yang diperiksa menggunakan metode inspeksi taktil (perabaan tangan), antara metode manual dan metode mekanis. Hasil pengujian menunjukkan efisiensi waktu siklus sebesar 28,37% serta hasil kebersihan visual yang baik pada seluruh sampel uji. Penggunaan unit Poka Yoke ini ditargetkan secara spesifik untuk mengurangi potensi *over-grinding* secara desain dan mengurangi durasi pengerjaan.

**Kata kunci:** *Poka Yoke, internal deburring, OCTG coupling, PT EFK, cycle time, tactile inspection.*

## Abstract

The process of removing sharp metal residues (*internal deburring*) in oil and gas pipe connections on OCTG Coupling products is a critical stage that determines the reliability of pipe connections in the field. At an oil and gas equipment manufacturing company in Batam (PT EFK), the current manual method carries *over-grinding* risks as well as a relatively long and inconsistent process time that depends heavily on operator speed. This study aims to design and test the function of an *Internal Deburring Unit* prototype applying the *mistake-proofing* (Poka Yoke) principle of the pure mechanical *Physical Contact* type using a steel stopper, distinguishing it from prior studies that applied Poka Yoke only as a visual warning or a literature review. A rigid steel physical stopper mechanism (*stopper yoke*) is used so that operator error variability in determining depth can be minimized by design, independent of operator fatigue. Performance evaluation is measured by comparing cycle time parameters and the visual cleanliness of the pipe end from metal burrs, inspected using tactile inspection (manual palpation), between the manual and mechanical methods. The results show a cycle-time efficiency of 28.37% and good visual cleanliness results across all tested samples. The implementation of this Poka Yoke unit is specifically targeted to reduce *over-grinding* defects by design and reduce processing duration.

**Keywords:** *Poka Yoke, internal deburring, OCTG coupling, PT EFK, cycle time, tactile inspection.*

## 1 Pendahuluan

OCTG (Oil Country Tubular Goods) Coupling adalah fitting berulir penghubung pipa pada operasi pengeboran dan produksi migas. Eliminasi metal burr pada area start thread internal coupling merupakan syarat penting dalam industri OCTG karena burr yang tidak

tertangani dapat mengganggu fungsi dan keandalan sambungan pipa di lapangan [1].

Metode deburring manual di PT Elnusa Fabrikasi Konstruksi memiliki kelemahan struktural, yaitu tidak ada pembatas kedalaman gerinda sehingga waktu proses deburring sangat bergantung pada kecepatan

dan konsentrasi operator, mengakibatkan durasi siklus deburring manual relatif lama dan bervariasi antar operator. Salah satu pendekatan untuk mengurangi permasalahan tersebut adalah melalui perancangan alat berbasis Poka Yoke. Pendekatan Poka Yoke merupakan metode mistake-proofing yang merancang alat agar kesalahan operator dapat diminimalkan melalui penerapan pembatas fisik [3].

Penelitian terdahulu menerapkan Poka Yoke sebatas peringatan visual [4,5] atau tinjauan literatur [6,7]. Sitasi [4] (Kascak dkk.) menerapkan prinsip Poka Yoke pada lini perakitan sistem produksi pintar (smart assembly) berbasis Pick-toLight, sedangkan sitasi [5] (Setyono dan Irwati) menerapkannya sebagai pencegah cacat komponen Cylinder Head di PT Suzuki Indomobil Sales. Kedua penelitian tersebut berfokus pada pemberian peringatan visual kepada operator, bukan pada pembatasan fisik langsung terhadap gerakan mekanis alat. Berbeda dari kedua penelitian tersebut, belum ada penelitian yang merancang unit deburring internal semi-otomatis berbasis Poka Yoke tipe Physical Contact untuk OCTG Coupling.

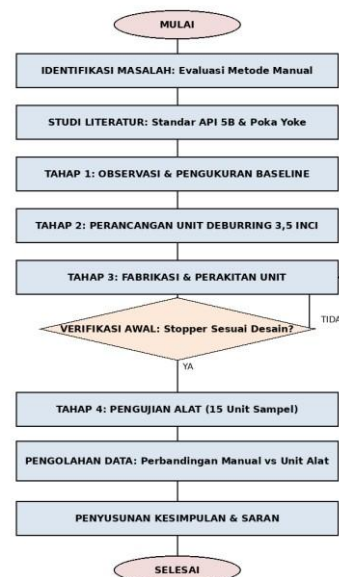
Dibandingkan dengan metode konvensional yang mengandalkan kehati-hatian atau peringatan kepada operator, pendekatan Physical Contact pada penelitian ini memberikan keuntungan operasional yang lebih langsung: kesalahan penentuan kedalaman gerinda diminimalisir sejak tahap desain fisik melalui stopper mekanis, sehingga konsistensi kualitas produk tidak lagi bergantung pada fluktuasi fokus operator akibat kelelahan kerja (fatigue). Perbedaan mendasar rancangan pada penelitian ini dengan penelitian-penelitian terdahulu terletak pada pengembangan sistem Poka Yoke tipe Physical Contact yang bersifat mekanis murni, menggunakan stopper baja sebagai pembatas gerak, khusus untuk aplikasi pembersihan internal pipa — bukan berupa sensor elektronik ataupun pemandu visual seperti pada penelitian sebelumnya.

Urgensi penelitian ini didasari oleh kebutuhan transformasi proses dari metode manual ke mekanis untuk meningkatkan efisiensi dan konsistensi proses deburring di PT Elnusa Fabrikasi Konstruksi. Waktu proses deburring manual yang bervariasi antar operator berpotensi memperpanjang durasi siklus produksi secara keseluruhan, sehingga diperlukan pendekatan mekanis yang dapat menjaga konsistensi waktu proses serta kualitas hasil deburring secara lebih terkendali.

## 2 Metodologi Penelitian

### 2.1 Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian secara sistematis dalam perancangan, fabrikasi, dan uji fungsi *Internal Deburring Unit* ini ditunjukkan pada Gambar 1. Diagram ini mencakup tahapan terintegrasi mulai dari identifikasi masalah di lapangan hingga penarikan kesimpulan, dengan tahap pengolahan data sebagai perbandingan kinerja metode manual dan unit alat.



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

### 2.2 Prosedur Pelaksanaan Tahapan Penelitian

#### Tahap 1 — Observasi dan Identifikasi Kondisi Aktual

Pada tahap ini, dilakukan pengamatan langsung di lantai produksi PT Elnusa Fabrikasi Konstruksi untuk memahami karakteristik proses manual.

Apa yang diobservasi: Peneliti mengamati durasi siklus kerja manual pada coupling 3,5 inci, pergerakan fisik operator, dan identifikasi titik kritis terjadinya kesalahan over-grinding.

Metode Pengumpulan Data: Peneliti menggunakan metode *Time Study* dengan instrumen stopwatch digital dan lembar observasi. Peneliti mencatat waktu per satu siklus kerja secara objektif dari awal hingga akhir proses.

Durasi: Pengamatan dilakukan selama 3 hari kerja pada jam operasional produksi untuk menangkap variasi kecepatan kerja operator di lapangan.

**Tahap 2 — Perancangan dan Rekayasa Desain** Fase ini merupakan tahap rekayasa untuk menentukan spesifikasi teknis alat agar potensi kesalahan operator dapat dikurangi melalui mekanisme stopper.

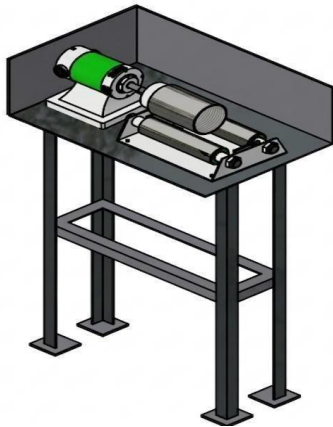
Apa yang dilakukan: Mendesain mekanisme pembatas fisik (stopper) baja dan struktur rangka unit sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

Metode: Menggunakan perangkat lunak CAD (Computer-Aided Design) untuk memodelkan sistem Poka Yoke tipe Physical Contact. Peneliti menetapkan dimensi geometri dan pembatas fisik mekanis (*stopper yoke*) pada gambar kerja (*shop drawing*) agar sesuai saat diintegrasikan dengan coupling 3,5 inci.

Spesifikasi: Komponen utama yang dipilih untuk mendukung perancangan ini dirinci pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Komponen Utama Unit Deburring

| Komponen          | Spesifikasi                               | Fungsi Utama                      |
|-------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|
| Motor Penggerak   | Wipro GDP-01 (1300 W, 500–6000 RPM)       | Aktuator pembersih burr           |
| Rangka Utama      | Besi Siku (541 × 348 mm)                  | Struktur penopang sistem          |
| Stopper Poka Yoke | Baja (Tebal 5 mm), pembatas fisik mekanis | Pembatas fisik (Physical Contact) |
| Media Abrasi      | Flap wheel Grit P80 (Diameter 50 mm)      | Penghilang metal burr pada ulir   |



Gambar 2. Desain Konstruksi Internal Deburring Unit

**Tahap 3 — Fabrikasi dan Perakitan Unit**

Realisasi desain menjadi prototipe fisik dilakukan menggunakan fasilitas workshop PT Elnusa Fabrikasi Konstruksi.

Prosedur: Meliputi pemotongan material rangka besi siku, pemesinan komponen stopper baja, dan pemasangan dudukan (*mounting*)

mesin gerinda Wipro 1300 W pada meja rangka menggunakan braket dan baut pengunci sebagai aktuator utama.

Cara Verifikasi: Dilakukan pengujian mekanis tanpa beban untuk memeriksa kelancaran putaran motor, yang selanjutnya dilakukan pengujian *dummy load* (simulasi gesekan) untuk memeriksa agar baut pengunci stopper tidak bergeser dari posisi pembatas fisik mekanisnya akibat getaran pada putaran tinggi motor.

Durasi: Proses fabrikasi hingga integrasi sistem ditargetkan berlangsung maksimal selama 10 hari kerja.

**Tahap 4 — Pengujian Performa dan Pengambilan Data**

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja desain terhadap standar keselamatan dan produktivitas.

Apa yang diobservasi: Kualitas hasil pembersihan secara visual dan waktu siklus pengerjaan menggunakan unit alat baru pada sampel coupling sebagai objek uji.

Metode: Pengoperasian alat pada tahap uji coba dilakukan langsung oleh peneliti dengan mengenakan alat pelindung diri (APD) standar berupa sarung tangan dan kacamata pelindung, mengikuti prosedur keselamatan kerja yang berlaku di workshop PT EFK. Peneliti melakukan uji coba pengoperasian alat secara berulang. Hasil deburring diperiksa menggunakan metode inspeksi taktil (perabaan tangan) berdasarkan kriteria kehalusan permukaan ujung pipa dari sisa potongan tajam (metal burrs). Metode inspeksi taktil dipilih karena sensitivitas ujung jari operator dalam mendeteksi diskontinuitas permukaan (tajam/kasar) merupakan standar pemeriksaan cepat yang umum diterapkan pada lini produksi OCTG di PT EFK. Penilaian Accept/Reject dilakukan bersama oleh peneliti dan operator berpengalaman PT EFK, dengan kriteria Accept berupa permukaan start thread yang telah bebas dari sisa potongan tajam (metal burrs) saat diraba, tanpa ditemukan bagian yang masih kasar atau tajam pada tangan. Waktu siklus dicatat kembali menggunakan stopwatch.

Durasi: Pengambilan data uji fungsi direncanakan melalui sesi sampling terukur menggunakan 15 unit sampel pipa untuk membantu validitas statistik dan konsistensi hasil pengerjaan alat.

**3 Analisa Data dan Pembahasan**

**3.1 Penyajian Data Hasil Pengujian**

Realisasi pengujian unit deburring ini mengalami penyesuaian dari rencana awal metodologi yang menargetkan 15 unit sampel coupling. Hal ini disebabkan oleh selesainya jadwal produksi massal untuk produk coupling dan tubing ukuran 3,5 inci di

OCTG Plant PT Elnusa Fabrikasi Konstruksi (PT EFK) per 2 Juni 2026, sehingga lini produksi aktif resmi ditutup. Keterbatasan material di lantai pabrik mengondisikan pengalihan objek uji menggunakan 5 unit sampel coupling sisa produksi yang masih tersedia sebagai objek pengujian. Produksi coupling yang menjadi objek penelitian telah selesai sebelum seluruh rencana pengujian dapat dilaksanakan sehingga hanya tersedia lima sampel pengujian yang masih memiliki metal burr pada area start thread. Meskipun jumlah sampel lebih sedikit dibandingkan rencana awal, Kelima sampel tersebut digunakan sebagai objek pengujian karena masih memungkinkan dilakukan pengujian proses deburring pada area start thread sesuai kebutuhan penelitian. Mengingat penelitian ini merupakan penelitian rancang bangun yang bertujuan memverifikasi fungsi prototipe, pengujian difokuskan pada kemampuan alat menjalankan proses deburring sesuai rancangan serta membandingkan waktu siklus terhadap metode manual. Dengan adanya stopper sebagai pembatas mekanis tetap, posisi kerja coupling menjadi lebih konsisten pada setiap pengujian sehingga lima sampel yang tersedia dinilai memadai untuk mengevaluasi fungsi dasar prototipe sesuai ruang lingkup penelitian. Untuk memberikan gambaran penerapan alat pada kondisi produksi, penelitian ini juga melengkapi pembahasan dengan analisis kelayakan operasional berdasarkan waktu tunggu mesin CNC.

Data komparatif hasil pencatatan waktu siklus (cycle time) dalam satuan detik dan hasil inspeksi kebersihan visual ujung ulir dirangkum pada Tabel 2. Nilai waktu siklus pada Tabel 2 diperoleh melalui pengukuran menggunakan stopwatch digital dan disajikan dalam satuan detik

Tabel 2. Data Pengujian Waktu Siklus

| No. Sampel | CT Manual Sebelum Improvement (detik) | Hasil Inspeksi Taktil Manual | CT Alat Sesudah improvement (detik) | Hasil Inspeksi Taktil Alat |
|------------|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Sampel 1   | 43                                    | Accept                       | 29                                  | Accept                     |
| Sampel 2   | 43                                    | Accept                       | 31                                  | Accept                     |
| Sampel 3   | 43                                    | Accept                       | 33                                  | Accept                     |
| Sampel 4   | 43                                    | Accept                       | 30                                  | Accept                     |
| Sampel 5   | 43                                    | Accept                       | 31                                  | Accept                     |

### 3.2 Pengolahan Data Kuantitatif

Pengolahan data dilakukan untuk membandingkan efisiensi waktu proses deburring antara metode manual dan metode menggunakan *Internal Deburring Unit* melalui perhitungan rata-rata waktu siklus dan persentase efisiensi.

Waktu siklus rata-rata untuk setiap metode dihitung menggunakan persamaan rata-rata aritmetika, yaitu jumlah waktu siklus seluruh sampel ( $t$ ) dibagi dengan jumlah sampel ( $n$ ), sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$\bar{T} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} \quad (1)$$

dengan  $\bar{T}$  adalah waktu siklus rata-rata,  $t_i$  adalah waktu siklus sampel ke- $i$ , dan  $n$  adalah jumlah sampel yang diuji. Berdasarkan persamaan (1), rata-rata waktu siklus manual dihitung sebagai berikut:

$$T_{\text{manual}} = \frac{43 + 43 + 43 + 43 + 43}{5} = 43.0 \text{ detik}$$

Rata-rata waktu siklus menggunakan *Internal Deburring Unit* dihitung dengan cara yang sama:

$$T_{\text{alat}} = \frac{29 + 31 + 33 + 30 + 31}{5} = 30.8 \text{ detik}$$

Persentase efisiensi waktu proses deburring ( $Eff$ ) dihitung dengan membandingkan selisih waktu siklus metode manual terhadap metode menggunakan *Internal Deburring Unit*, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2)

$$Eff = \frac{T_{\text{manual}} - T_{\text{alat}}}{T_{\text{manual}}} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan mensubstitusikan nilai  $T_{\text{manual}}$  dan  $T_{\text{alat}}$  ke dalam Persamaan (2), diperoleh:

$$Eff = \frac{43.0 - 30.8}{43.0} \times 100\% = 28.37\%$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penggunaan *Internal Deburring Unit* mampu menurunkan rata-rata

waktu siklus dari 43,0 detik menjadi 30,8 detik, sehingga diperoleh efisiensi waktu sebesar 28,37%. Penurunan waktu rata-rata sebesar 12,2 detik pada setiap komponen menunjukkan bahwa proses deburring dapat diselesaikan lebih cepat dibandingkan metode manual pada kondisi pengujian yang sama. Apabila diterapkan pada kondisi produksi yang sebanding, efisiensi waktu tersebut menunjukkan potensi peningkatan pemanfaatan waktu kerja operator pada stasiun finishing

### 3.3 Analisis Kelayakan Alokasi Kerja Paralel terhadap Waktu Tunggu Mesin CNC

Meskipun jumlah sampel pengujian terbatas, evaluasi kelayakan operasional tetap dapat dilakukan karena proses deburring di stasiun finishing berlangsung selama waktu tunggu mesin CNC pada setiap siklus produksi. Oleh karena itu, rata-rata

$$T_{\text{sisia}} = T_{\text{idle}} - T_{\text{alat}} \quad (3)$$

waktu pengoperasian *Internal Deburring Unit* dibandingkan dengan waktu tunggu mesin CNC untuk mengetahui apakah proses deburring dapat diselesaikan tanpa menambah durasi siklus produksi. Selisih waktu tersebut dihitung menggunakan Persamaan (3).

dengan  $T_{\text{idle}}$  adalah waktu tunggu otomatis mesin CNC sebesar 180 detik per siklus, dan  $T_{\text{alat}}$  adalah rata-rata durasi pengoperasian *Internal Deburring Unit* sebesar 30,8 detik. Substitusi nilai tersebut menghasilkan:

$$T_{\text{sisia}} = 180 - 30,8 = 149,2 \text{ detik}$$

Karena rata-rata waktu pengoperasian *Internal Deburring Unit* sebesar 30,8 detik lebih kecil dibandingkan waktu tunggu mesin CNC sebesar 180 detik, proses deburring dapat diselesaikan sepenuhnya selama periode idle mesin. Dengan demikian, alokasi waktu khusus operator untuk melakukan proses deburring di luar waktu tunggu mesin CNC menjadi:

$$T_{\text{khusus}} = 0 \text{ detik}$$

Karena seluruh proses deburring dapat dilakukan selama waktu tunggu mesin CNC, operator tidak lagi memerlukan alokasi waktu

tambahan di luar waktu tunggu tersebut untuk melakukan proses deburring. Dengan demikian, aktivitas deburring dapat dilakukan secara paralel dengan proses pemessinan sehingga waktu kerja operator dapat dialokasikan dengan lebih efisien dibandingkan metode manual.

Total alokasi waktu deburring manual per shift dihitung menggunakan Persamaan (4). Nilai ini digunakan untuk menunjukkan besarnya waktu kerja operator yang sebelumnya dialokasikan secara khusus untuk proses deburring manual sebelum penerapan *Internal Deburring Unit*.

$$T_{\text{manual}} \times N \quad (4)$$

$$T_{\text{manual\_shift}} = \frac{\quad}{60}$$

dengan  $T_{\text{manual\_shift}}$  adalah total alokasi waktu deburring manual dalam satu shift (menit),

$T_{\text{manual}}$  adalah rata-rata waktu deburring manual

per unit (detik), dan  $N$  adalah jumlah unit yang diproses dalam satu shift.

Substitusi nilai  $T_{\text{manual}} = 43$  detik dan  $N = 47$  unit menghasilkan:

$$T_{\text{manual\_shift}} = \frac{43 \times 47}{60} = 33,68 \text{ menit}$$

Berdasarkan kapasitas produksi sebanyak 47 unit per shift, total alokasi waktu yang sebelumnya digunakan operator untuk proses deburring manual adalah sekitar 33,68 menit per shift. Setelah *Internal Deburring Unit* diterapkan, proses deburring dapat dilakukan selama waktu tunggu mesin CNC sehingga alokasi waktu khusus tersebut tidak lagi diperlukan sebagai aktivitas terpisah. Dengan demikian, waktu kerja operator dapat dialokasikan untuk aktivitas produksi lainnya tanpa menambah durasi siklus mesin CNC.

### 3.4 Justifikasi Teknis Desain Konstruksi dan Pemilihan Material

Analisis teknis dan pemilihan material pada komponen utama *Internal Deburring Unit* didasarkan pada pertimbangan rekayasa (*engineering justification*) serta standar kebutuhan stasiun kerja di industri sebagai berikut.

#### 1. Rangka Meja dengan Desain Berdiri (Standing Frame)

Sistem standing frame pada konstruksi meja penopang diimplementasikan untuk mengakomodasi postur dan kenyamanan kerja operator berdasarkan rekomendasi bagian Industrial Engineering PT EFK.

Pada metode manual, operator harus menopang hand grinder selama proses deburring sehingga lengan dan bahu menerima beban statis secara terus-menerus,



rancangan standing frame dibuat agar beban utama hand grinder ditopang oleh struktur alat sehingga operator hanya mengarahkan posisi coupling selama proses deburring. Penelitian ini tidak melakukan pengukuran ergonomi secara kuantitatif. Oleh karena itu, manfaat terhadap kenyamanan kerja dijelaskan berdasarkan prinsip kerja alat serta hasil observasi selama proses pengujian

## 2 . Rangka Utama dari Besi Siku SS400

Struktur rangka menggunakan besi siku SS400 berukuran  $40 \times 40 \times 4$  mm karena material tersebut tersedia di workshop PT EFK dan telah umum digunakan untuk konstruksi penopang. Selain mudah difabrikasi menggunakan proses pemotongan dan pengelasan konvensional, material ini dinilai memiliki kekuatan yang memadai untuk menopang motor penggerak serta komponen pendukung prototipe selama proses pengujian. Penelitian ini tidak melakukan analisis kekuatan struktur maupun pengukuran getaran rangka sehingga pemilihan material didasarkan pada kebutuhan fungsional dan pertimbangan praktis di lapangan.

## 3. Stopper Yoke (Baja Karbon Sedang S45C )

Komponen stopper berfungsi sebagai pembatas mekanis pergerakan aksial media abrasi sekaligus menahan tumbukan *berulang (impact load)* dari ujung pipa coupling. Berdasarkan rekomendasi engineer PT EFK, komponen stopper dipilih menggunakan material S45C karena berfungsi sebagai pembatas mekanis yang menerima kontak berulang dengan ujung coupling selama proses deburring. Literatur material menunjukkan bahwa S45C memiliki ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan baja karbon rendah [8] sehingga sesuai digunakan sebagai komponen pembatas. Penelitian ini tidak melakukan pengujian kekerasan material sehingga informasi tersebut digunakan sebagai dasar pemilihan material, bukan sebagai hasil pengujian penelitian.

Penentuan posisi aksial stopper dilakukan melalui pengukuran langsung area start thread pada sampel coupling 3,5 inci menggunakan jangka sorong (caliper), diperoleh jarak aman sekitar 1,6 mm dari ujung depan coupling sebagai batas penetrasi media abrasi agar tidak mengenai area *perfect thread* di belakangnya. Nilai ini kemudian diverifikasi melalui *trial fitting* berulang antara pipa coupling dan pelat stopper sebelum posisi akhir dikunci secara permanen pada rangka. Pendekatan pengukuran langsung ini dipilih karena belum

tersedia standar dimensi baku area start thread untuk seluruh varian coupling di PT EFK, sehingga posisi stopper ditentukan berdasarkan data dimensi aktual pada objek yang diuji, bukan berdasarkan asumsi maupun estimasi visual. Dokumentasi unit dan detail mekanisme stopper ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Dokumentasi Internal Deburring Unit



Gambar 4. Detail Mekanisme Kerja Poka Yoke



Gambar 5. Penempatan Unit pada Stasiun Kerja

#### 4. Media Abrasi *Flap wheel* Grit P80

Pemilihan *flap wheel* dengan grit P80 mengacu pada rekomendasi teknis praktisi PT EFK, dengan pertimbangan bahwa media abrasi grit sedang tersebut secara umum menghasilkan percikan (*spark*) yang relatif lebih sedikit dibandingkan media grit lebih kasar, sehingga sejalan dengan aspek keselamatan kerja pada stasiun finishing manual. Pemilihan grit P80 juga mempertimbangkan kesesuaian laju pengikisan (*removal rate*) terhadap dimensi metal burr pada area start thread, tanpa mengikis area *perfect thread* di belakangnya. Pengujian keausan (*wear test*) media abrasi terhadap jumlah siklus penggunaan tidak dilakukan dalam penelitian ini dan menjadi bagian dari keterbatasan penelitian.

#### 3.5 Pembahasan Kinerja Prototipe dan Evaluasi Kebersihan Visual Ujung Ulir

Evaluasi terhadap keandalan fungsional mekanis dilakukan secara langsung pada prototipe *Internal Deburring Unit* yang telah selesai difabrikasi di lantai workshop PT EFK, sebagaimana penempatan alat secara paralel di samping stasiun kerja utama pada Gambar 5. Pengujian fungsional dilakukan untuk mengevaluasi kinerja seluruh komponen mekanis setelah proses fabrikasi pada kondisi kerja di workshop PT EFK. Pengujian difokuskan pada kekuatan struktural rangka meja penopang, kestabilan kedudukan motor aktuator, kelancaran putaran sistem transmisi dan media abrasi, serta keandalan mekanisme pembatas kedalaman aksial dan fungsi stopper dalam membatasi gerakan aksial coupling saat menerima beban benturan dinamis dari dorongan manual pipa, untuk memastikan seluruh komponen mekanis mampu bekerja sesuai rancangan selama proses operasi pada putaran kerja yang digunakan. Penelitian ini tidak melakukan pengukuran tingkat getaran maupun evaluasi postur kerja secara kuantitatif sehingga penilaian didasarkan pada hasil observasi selama pengujian.

Pada pengerjaan metode manual, ketiadaan pembatas fisik membuat kedalaman pengikisan sangat bergantung pada perkiraan visual operator. Hal ini menimbulkan risiko tinggi terjadinya penggerindaan berlebih (*over-grinding*) yang mengikis area *perfect thread* di belakang start thread coupling. Kerusakan geometri ulir tersebut berpotensi menurunkan konsistensi kualitas hasil deburring serta mengganggu fungsi dan keandalan penyambungan pipa di lapangan [1].

Dengan menggunakan *Internal Deburring Unit*, kedalaman proses deburring dibatasi oleh stopper mekanis yang telah ditentukan posisinya melalui pengukuran area start thread dan diverifikasi menggunakan *trial fitting*. Saat ujung depan coupling menyentuh stopper, gerakan aksial benda kerja berhenti sehingga *flap wheel* hanya bekerja pada area start thread. Mekanisme ini mengurangi ketergantungan terhadap perkiraan visual operator dalam menentukan batas penggerindaan serta membantu mencegah terjadinya *over-grinding* pada area *perfect thread* tanpa menyentuh bagian ulir utama di dalamnya.

Kelima sampel uji menunjukkan hasil kebersihan visual yang dinyatakan *Accept* berdasarkan inspeksi visual dan pemeriksaan taktil (perabaan) oleh operator serta konfirmasi dari Quality Control (QC) PT EFK. Seluruh sampel tidak menunjukkan indikasi *over-grinding* pada area *perfect thread* selama pengujian. Selain menghasilkan efisiensi waktu siklus sebesar 28,37%, penggunaan alat juga berpotensi mengurangi durasi operator memegang hand grinder secara terus-menerus karena sebagian besar beban alat ditopang oleh rangka. Namun demikian, penelitian ini tidak melakukan pengukuran tingkat getaran, evaluasi postur kerja, maupun pengujian dimensi menggunakan instrumen laboratorium, sehingga manfaat tersebut disampaikan sebagai potensi tambahan dan bukan sebagai hasil utama penelitian.

Selama tahap uji coba pengoperasian, ditemukan satu kendala teknis berupa baut pengunci pada kedudukan stopper yang sempit mengendur akibat beban tumbukan berulang (*impact load*) dari kontak pipa coupling pada kecepatan tinggi motor. Kendala ini ditangani dengan pengencangan ulang baut pengunci dan tidak menyebabkan kegagalan fungsi maupun penurunan kualitas hasil deburring pada sampel yang diuji, namun mengindikasikan perlunya elemen pengunci tambahan (seperti washer pegas atau *thread locker*) pada pengembangan lanjutan untuk menjaga stabilitas posisi stopper pada penggunaan jangka panjang. Sebagai informasi pendukung, operator PT EFK yang mencoba menggunakan alat menyampaikan bahwa proses deburring terasa lebih nyaman karena hand grinder tidak perlu terus-menerus ditopang selama proses kerja dan perpindahan posisi kerja menjadi lebih sedikit dibandingkan metode manual. Tanggapan tersebut merupakan observasi kualitatif berdasarkan pengalaman pengguna selama uji coba dan tidak digunakan sebagai data kuantitatif dalam penelitian ini.

Penurunan waktu siklus sebesar 28,37% pada penggunaan *Internal Deburring Unit* dapat dijelaskan melalui perubahan pola kerja operator selama proses deburring. Pada metode manual, operator perlu

memperkirakan kedalaman penggerindaan secara visual pada setiap siklus, sehingga sebagian waktu proses terpakai untuk pengamatan dan penyesuaian posisi hand grinder secara berulang. Dengan adanya stopper mekanis pada *Internal Deburring Unit*, batas kedalaman penggerindaan telah ditentukan sejak tahap desain, sehingga operator tidak lagi perlu melakukan pengukuran maupun penyesuaian kedalaman secara manual pada setiap sampel. Selain itu, posisi coupling terhadap media abrasi menjadi lebih konsisten karena dibatasi oleh stopper yang tetap, sehingga gerakan operator dalam mengarahkan pipa menjadi lebih sedikit dibandingkan metode manual.

Berkurangnya kebutuhan penyesuaian berulang tersebut turut menstabilkan proses deburring dari satu sampel ke sampel berikutnya, sebagaimana ditunjukkan oleh variasi waktu siklus yang relatif kecil pada Tabel 2 (29-33 detik) dibandingkan metode manual yang konstan pada satu nilai akibat pembulatan pengamatan operator. Kestabilan proses ini turut memperpendek waktu finishing secara keseluruhan karena operator dapat langsung mengarahkan coupling hingga menyentuh stopper tanpa tahap pengecekan tambahan. Dengan demikian, penurunan waktu siklus pada penelitian ini bukan semata-mata disebabkan oleh perubahan kecepatan putaran motor, melainkan oleh perubahan mekanisme kerja yang mengurangi ketergantungan pada pengukuran dan penyesuaian manual operator.

Hasil penelitian ini sejalan dengan konsep Poka Yoke sebagai pendekatan *mistake-proofing* yang membatasi variabilitas kerja operator melalui mekanisme fisik pada tahap desain, sebagaimana diuraikan pada kajian kerangka implementasi Poka-Yoke dalam manufaktur [3]. Peningkatan konsistensi proses pada penelitian ini juga sejalan dengan tinjauan klasifikasi teknik Poka-Yoke yang menekankan bahwa penerapan *physical constraint* dapat mengurangi ketergantungan proses terhadap keterampilan maupun kondisi operator dibandingkan pendekatan berbasis peringatan visual semata [7].

### 3.6 Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui secara eksplisit agar interpretasi hasil tetap proporsional. Pertama, pengujian fungsi hanya dilakukan pada lima sampel coupling ukuran 3,5 inci akibat berakhirnya jadwal produksi massal pada objek uji yang direncanakan, sehingga cakupan variasi sampel masih terbatas. Kedua, pengujian fungsi pada varian ukuran coupling

lain (2<sup>3</sup>/<sub>8</sub> dan 2<sup>7</sup>/<sub>8</sub> inci) yang secara desain telah diakomodasi oleh mekanisme adjustable roller belum dilakukan. Ketiga, pengukuran kuantitatif tingkat getaran pada tangan operator tidak dilakukan dalam penelitian ini, karena evaluasi tersebut berada di luar ruang lingkup penelitian yang berfokus pada efisiensi proses deburring. Keempat, pengujian keausan (*wear test*) media abrasi *flap wheel* dan pengujian kekerasan (*hardness test*) material stopper terhadap siklus penggunaan berulang belum dilakukan. Kelima, verifikasi dimensi menggunakan instrumen kalibrasi laboratorium bersertifikat belum dilaksanakan, sehingga hasil inspeksi kebersihan burr pada penelitian ini masih mengandalkan metode inspeksi taktil (perabaan tangan) yang bersifat kualitatif. Keterbatasan-keterbatasan tersebut menjadi acuan bagi arah pengujian lanjutan sebelum unit ini dipertimbangkan untuk diterapkan pada skala produksi penuh.

## 4 Kesimpulan

*Internal Deburring Unit* berbasis prinsip Poka Yoke tipe Physical Contact berhasil dirancang, difabrikasi, dan diuji fungsinya untuk membersihkan metal burrs pada area internal start thread pipa coupling OCTG. Mekanisme *stopper yoke* yang diterapkan sebagai pembatas mekanis mampu membatasi gerakan aksial coupling sehingga proses deburring difokuskan pada area start thread yang telah ditentukan. Dengan mekanisme tersebut, ketergantungan operator terhadap perkiraan visual dalam menentukan batas penggerindaan dapat dikurangi sehingga potensi terjadinya over-grinding pada area *perfect thread* menjadi lebih kecil.

Pengujian fungsi pada lima sampel coupling menunjukkan efisiensi waktu siklus sebesar 28,37% (dari rata-rata 43,0 detik menjadi 30,8 detik) serta hasil kebersihan visual yang baik (Accept) pada kelima sampel. Analisis kelayakan alokasi kerja paralel menunjukkan bahwa rata-rata durasi pengoperasian alat (30,8 detik) berada jauh di bawah waktu tunggu otomatis mesin CNC (180 detik), sehingga total alokasi waktu deburring manual sekitar 33,68 menit per shift berpotensi dialihkan untuk mendukung aktivitas produksi lainnya untuk kapasitas 47 unit per shift. Untuk penerapan pada skala produksi penuh, disarankan dilakukan pengujian lanjutan dengan jumlah sampel yang lebih besar, pengujian fungsi pada varian ukuran pipa lain (2<sup>3</sup>/<sub>8</sub> dan 2<sup>7</sup>/<sub>8</sub> inci) yang secara desain telah diakomodasi namun belum diuji dalam penelitian ini, serta pengujian dimensional menggunakan instrumen kalibrasi laboratorium bersertifikat.



## 5 Daftar Pustaka

- [1] J. C. Aurich, D. Dornfeld, P. J. Arrazola, V. Franke, L. Leitz, and S. Min, "Burrs—analysis, control and removal," *CIRP Annals*, vol. 58, no. 2, pp. 519–542, 2009. doi: 10.1016/j.cirp.2009.09.004.
- [2] International Organization for Standardization, "Mechanical vibration — Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration — Part 1: General requirements," ISO 5349-1:2001. Geneva: ISO, 2001.
- [3] H. A. Prabowo, M. L. Singgih, and P. D. Karningsih, "Poka-Yoke implementation framework in manufacturing: Classification and effectiveness review," *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 15, no. 1, pp. 1–18, 2022.
- [4] J. Kasčák, J. Varga, M. Juhász, and P. Gal, "Poka Yoke in smart production systems with Pick-to-Light implementation to increase assembly efficiency," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 21, p. 11715, 2023. doi: 10.3390/app132111715.
- [5] F. Setyono and D. Irwati, "Pengendalian kualitas produk Cylinder Head menggunakan QC Seven Tools dan pendekatan Poka Yoke di PT Suzuki Indomobil Sales," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 3, no. 2, pp. 108–117, 2022.
- [6] S. Widjajanto, H. H. Purba, and S. C. Jaqin, "Novel Poka-Yoke approaching toward industry 4.0: A systematic literature review," *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, vol. 4, no. 2, pp. 65–83, 2021. doi: 10.31181/oresta2104065w.
- [7] D. Stadnicka and D. Antonelli, "Classification and performance analysis of Poka Yoke techniques in production environment: An empirical study," *International Journal of Production Research*, vol. 62, no. 8, pp. 2801–2819, 2024. doi: 10.1080/00207043.2023.2243380.
- [8] ASM International, *ASM Handbook, Volume 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and HighPerformance Alloys*. Materials Park, OH: ASM International, 1990.