MEMAKSIMALKAN *MANPOWER* SERTA MENEKAN *LEADTIME OVERHAUL* KOMPONEN CRAWLER DENGAN PEMBUATAN ALAT BANTU *re-TAPPING* ELEKTRIK DI PT XYZ

Elroy FKP Tarigan*, Alfito Yudhasuri Kuncoro, Rusdi Febriyanto, Wanda
Teknik Otomotif,Mesin Otomotif Politeknik Astra
JL.Gaharu Blok F3 No.1 Delta Silicon II, Cibatu Lippo Cikarang, Cikarang Selatan, 17530, Indonesia
E-mail : elroy.fransiskus@gmail.com*

Abstract - PT XYZ service division is a division that handles service services for heavy equipment units such as General Overhaul. The current problem that exists in the overhaul lead time of crawler-type units exceeds the plan in the chassis recondition process because the retap process requires a heavy workload that requires 3 manpower. The previous condition of retap work was done manually with human labor, making the work done with a duration of 42.8 hours. The solution offered through this research is to modify the manufacture of electric retap tools as a substitute for manpower so as to reduce the duration of work to 6.2 hours and 1 manpower.

Keywords: overhaul, Manpower, lead time, tool

***Abstrak* – PT XYZ divisi *service* merupakan divisi yang menangani jasa layanan sevice unit alat berat seperti *General Overhaul.* Permasalahan saat ini yang ada pada *leadtime overhaul* unit bertipe *crawler* melebihi dari *plan* pada proses *recondition chassis* dikarenakan proses *retap* membutuhkan beban kerja yang berat sehingga membutuhkan 3 *manpower.* Kondisi pengerjaan retap sebelumnya dilakukan secara manual dengan tenaga manusia sehingga membuat pengerjaan dilakukan dengan durasi 42,8 jam. Solusi yang ditawarkan melalui penelitian ini adalah dengan *modifikasi* pembuatan alat bantu *retap* elektrik sebagai pengganti tenaga *manpower* sehingga dapat memperkecil durasi kerja menjadi 6,2 jam dan 1 manpower.**

***Kata Kunci*: *overhaul, manpower, leadtime*, alat bantu**

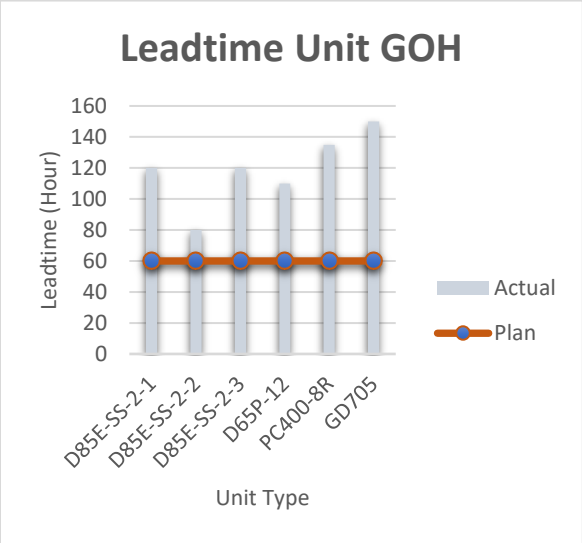
I. PENDAHULUAN

Perawatan dan perbaikan alat berat berperan penting dalam menjaga kinerja optimal dan umur operasional alat berat. PT XYZ, merupakan perusahaan yang bergerak di bidang penjualan, sewa, dan layanan *service* alat berat. PT XYZ adalah distributor peralatan berat terkemuka di Indonesia yang menyediakan produk-produk dari merek ternama dunia. Selain penjualan dan penyewaan unit, PT. XYZ juga fokus terhadap Jasa layanan pemeliharaan alat berat, seperti program *general overhaul*. *General overhaul* adalah program perawatan secara keseluruhan komponen unit alat berat, bertujuan untuk mengembalikan performa mesin dengan melakukan perbaikan maupun pergantian komponen agar mesin menjadi lebih baik dari sebelumnya dan unit mempunyai *lifetime* atau umur lebih panjang dikarenakan setelah peralatan konsumen dioperasikan selama beberapa tahun atau mencapai jumlah jam operasional tertentu, peremajaan diperlukan untuk mengembalikan produktivitas dan kondisi prima dari alat.

Dalam klasifikasinya alat berat dibagi menjadi dua berdasarkan cara bergeraknya, yaitu tipe roda dan tipe rantai (*crawler*). Tipe *crawler tractor* digunakan terutama bila dibutuhkan gesekan yang besar antara roda dan permukaan tanah, untuk mendapatkan tenaga yang maksimum (tidak slip), pada waktu berkerja, misalnya: menggeser tanah, menarik *scrapper*, menarik beban muatan dan sebagainya. Unit bertipe *crawler* memiliki *track* atau kaki bergerigi yang memungkinkannya untuk bergerak dengan lancar di berbagai medan yang sulit, seperti tanah berlumpur, pasir, atau daerah berbukit. Keunggulan ini membuatnya lebih fleksibel dan dapat digunakan dalam berbagai kondisi lingkungan. Unit bertipe *crawler* yang digunakan, seperti *dozer* dan *excavator*, sering digunakan dalam berbagai jenis pekerjaan konstruksi, termasuk pembersihan lahan, penggalian, dan pemadatan. Fleksibilitas ini memungkinkan perusahaan untuk menghadapi berbagai proyek dan tugas dengan satu jenis unit, mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Hal ini memungkinkan permintaan *customer* akan unit bertipe *crawler* yang berdampak pada meningkatnya jasa layanan *service* [1].

Proses *general overhaul* merupakan bagian dari perawatan dan perbaikan yang merupakan salah satu bentuk layanan alat berat terhadap *customer.* Proses *overhaul* adalah kegiatan pembongkaran dan memeriksa komponen di dalam komponen untuk mengembalikan performa komponen atau merekondisi komponen [2]. Dari proses ini akan diketahui penyebab kerusakan komponen dan rencana

proses perbaikan komponen. Pada proses *overhaul,* komponen dapat diganti maupun diperbaiki, tergantung kerusakan pada *part* komponen. Untuk *overhaul* dibagi perkomponen yaitu *engine, control valve, cylinder, frame, attachement, dan undercarriage* (untuk unit bertipe *crawler*). Pelaksanaan *general overhaul,* dilakukan dengan sistem yang telah terprogram dari sisi biaya, tenaga, dan waktu. Namun demikian, dalam pelaksanaanya terdapat hambatan yang mengakibatkan ketidaksesuaian dengan rencana awal yang telah ditetapkan. (Gambar 1)



Gambar 1. *Leadtime* unit GOH selama 2 tahun

Untuk traktor tipe *crawler* (*dozer* dan *excavator*), waktu dan biaya perbaikan sebagian besar digunakan untuk perbaikan *undercarriage* (bagian bawah). Karena komponen ini merupakan bagian yang memiliki peranan utama pada suatu alat berat dan biaya penggantian komponen dapat mencapai hingga 60% dari total biaya perawatan[3]. Selain karena terjadinya pergesekan antar komponen, tingkat keausan juga dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berkaitan dengan kondisi tanah, medan, penggunaan alat berat dan lingkungan tempat beroperasi. Faktor diatas juga dapat mempengaruhi kondisi material komponen *undercarriage* seperti menyebapkan karat, retak, bengkok, dan kerak. Pada proses *overhaul undercarriage* barang yang masih bisa digunakan akan *direstorasi* kembali, seperti *track frame.* Pada tahap *restorasi track frame* akan dilakukan proses *retap,* yang bertujuan menghilangkan karat maupun kotoran yang berada pada lubang ulir dan juga untuk mempermudah proses *assembly*. (Gambar 2)

Gambar 2. Korosi pada Ulir

Pada tahap *restorasi track frame,* akan dilakukan proses *retap* yang bertujuan menghilangkan karat maupun kotoran yang berada pada lubang ulir. Namun pada pelaksanaanya, karena dikerjakan secara manual yang membutuhkan usaha yang besar serta jumlah yang perlu *diretap* sebanyak 104 lubang ulir dari kedua *track frame* (kanan dan kiri), maka proses ini dapat memakan *leadtime* yang tinggi sehingga perlu dikerjakan oleh 3 *manpower.* (Gambar 3)

Gambar 3. *Retap Manpower*

Pada proses *overhaul, efektifitas manpower* dan *leadtime* yang panjang dapat berdampak pada *efisiensi* operasional dan kualitas layanan yang diberikan kepada pelanggan. Dalam mencari akar permasalahan pada penelitian ini, digunakan metode *fishbone* untuk menetukan akar penyebab utama dan dapat menentukan solusi yang sesuai.

a. *Leadtime Retap Manual* Oleh *3 Manpower*

Proses *retap* secara manual dilakukan oleh 3 *manpower* dihitung secara aktual menggunakan *stopwatch* menghasilkan data total *leadtime* 42,8 Jam. (Tabel 1). 3 orang ini bertugas untuk: membersihkan sisa karat, membuat *thread* awal dan finishing *thread*.

Tabel 1. *Leadtime* Proses *retap* Manual

Durasi Tap Manual Track Frame (m)						
Nomer Lubang	Track Roller Kanan		Track Roller Kiri		Carier Roller	
	Line Kanan	Line kiri	Line Kanan	Line Kiri	Carier Roller	Carier Roller Kiri
1	11	13	22	21	45	32
2	21	32	13	23	22	23
3	32	24	36	30	14	18
4	26	36	31	14	21	35
5	16	24	23	24	-	-
6	20	12	20	22	-	-
7	25	21	23	23	-	-
8	33	36	23	30	-	-
9	14	39	9	27	-	-
10	20	15	36	26	-	-
11	22	25	32	19	-	-
12	27	22	25	24	-	-
13	10	22	24	21	-	-
14	33	36	35	36	-	-
15	25	26	16	26	-	-
16	32	39	34	16	-	-
17	23	19	21	28	-	-
18	14	33	12	16	-	-
19	31	32	32	32	-	-
20	23	26	25	26	-	-
21	36	24	21	18	-	-
22	28	18	33	36	-	-
23	20	16	26	19	-	-
24	18	24	27	26	-	-
Total	560	614	599	583	102	108
Total Leadtime						
2.566 Menit						
42,8 Jam						

Tujuan dari penelitian ini adalah menetukan desain dan implementasi alat *retap* dengan model elektrik untuk dilihat dampaknya pada penggunaan *manpower* dan efisiensi waktu pengerjaan *retap*.

II. METODOLOGI PENELITIAN

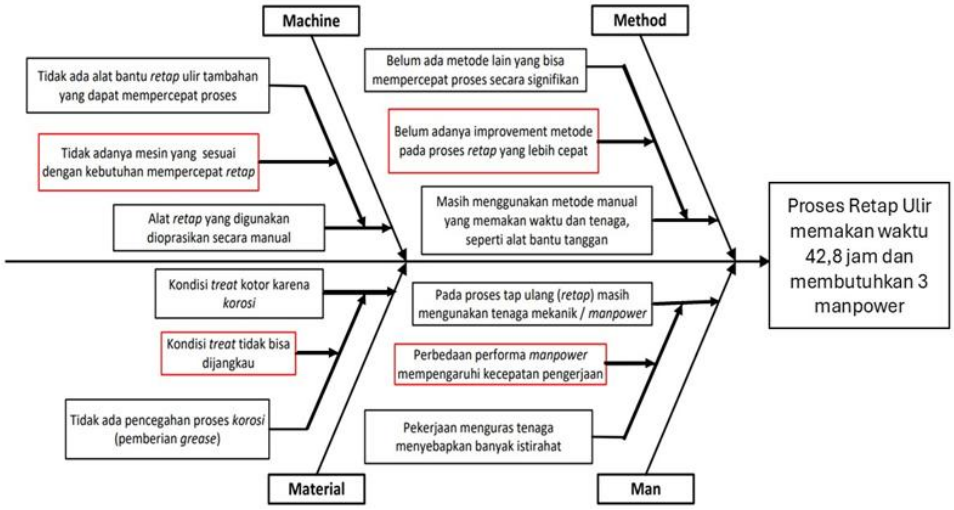
Metodologi penelitian merupakan langkah-langkah yang disusun untuk menentukan apa yang harus dilakukan dalam penelitian. Langkahlangkah ini akan memudahkan peneliti dalam menemukan dan menganalisis permasalahan yang terjadi didalam perusahaan [3]. Dalam menganalisis data dilakukan klasifikasi data terlebih dahulu, kemudian menyajikan data dan terakhir adalah kesimpulan [4]. Permasalahan dari proses tap ulang ulir (*retap)* memakan waktu dan tenaga yang besar dapat diselsaikan dengan metode *fishbone* dengan menguraikan menjadi empat faktor, seperti *man, material, method,* dan *machine*.

Pada faktor *man,* proses *retap* masih dilakukan secara manual. Pada faktor material, korosi merupakan permasalahan yang banyak dihadapi. Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi atau pengkaratan merupakan fenomena kimia pada bahan-bahan logam yang pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion pada permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan berair dan oksigen [5]. Karat juga menyebabkan baut tidak bisa masuk dan dikencangkan secara maksimal. Korosi merupakan proses yang bersifat alamiah, oleh karena itu korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan. Korosi hanya bisa dikendalikan atau diperlambat lajunya sehingga memperlambat proses kerusakannya [6]. Pelumasan berkala sulit dilakukan karena lokasi *tread* yang sulit dijangkau dan dapat mempengaruhi waktu operasional.[7], [8]

Pada faktor *methode,* pada proses *retap* dikerjakan oleh 3 *manpower* untuk mengejar target dengan menggunakan *tools* berjenis *hand tap* yang dioprasikan secara manual menggunakan bantuan kombinasi tool *adjustable wrench*. (Gambar 4) (Gambar 5)

Gambar 4. *Handtool tap* dan *Adjustable Wren*

Proses *retap* dilakukan ketika ulir yang sudah ada pada lubang atau batang logam mengalami kerusakan. atau terdapat cacat penggunaan. Cacat penggunaan dapat meliputi ulir yang aus, tergores, atau terjadi kebengkokan. Karat juga dapat menyebabkan kerusakan pada ulir. Proses *retap* bertujuan untuk membersihkan ulir tersebut dari cacat dan karat sehingga dapat mengembalikan *fungsionalitas* dan kekuatan ulir secara maksimal. Dalam proses *retap*, tap yang sesuai dengan ukuran dan tipe ulir yang dibutuhkan dimasukkan ke dalam lubang yang sudah ada ulirnya. Tap kemudian diputar secara perlahan untuk memotong atau membersihkan ulir yang rusak atau terkena karat. Sisa-sisa cacat dan karat yang terpotong akan keluar dari lubang sebagai serpihan logam halus atau debu. Ketika tap digunakan pada permukaan yang kotor dan berkarat gesekan yang dihasilkan dapat menciptakan tekanan dan ketegangan tambahan pada alat dan penggunanya. Pengguna harus menerapkan kekuatan yang cukup untuk mengatasi hambatan ini, sekaligus memastikan gerakan tap yang tepat untuk memotong dan membersihkan ulir secara efektif. Selain itu, perlunya melakukan gerakan memutar bolak-balik pada tap dalam proses retap juga menambah tingkat kesulitan dan kelelahan dalam pekerjaan ini. Gerakan memutar bolak-balik diperlukan untuk memaksimalkan proses pemotongan dan pembersihan ulir, tetapi juga menambah beban fisik yang harus ditangani oleh pengguna.

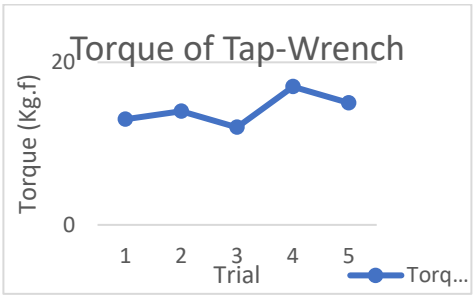


Gambar 5. *Fishbone Diagram*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan dilakukan analisa, maka diharapkan dapat mengetahui akar permasalahan dari proses tap ulang *(retap)* memakan waktu dan tenaga yang besar. Hasil dari diskusi adalah dengan melakukan *improvement* pembuatan alat *retap elektrik.* Tap dipergunakan untuk membuat ulir dalam (*female*), arah *counterclockwise* (CCW) atau *clockwise* (CW). Ulir harus dibersihkan dengan memutar balik tap untuk mencegah penyumbatan alur ulir tap. Gerakan memutar balikan tap dirasa menghasilkan beban kerja terhadap *manpower* sehingga dilakukan pengukuran moment untuk dapat menentukan *spesifikasi* motor penggerak listrik. Pengujian dilakukan menggunakan *torque wrench* yang dihubungkan dengan tap dan dilakukan percobaan sejumlah 5 kali menghasilkan data percobaan. (Gambar 6)

Hasil dari percobaan menghasilkan nilai momentum *maximum* sebesar 17 Kg.f dengan rata-rata 14,2Kg.f. Dari data tersebut dapat ditentukan *spesifikasi* motor listrik yang memiliki torsi *maximum* diatas 17Kg.f. Motor listrik yang digunakan sesuai *spesifikasi* adalah motor servo dari *brand Houle.*



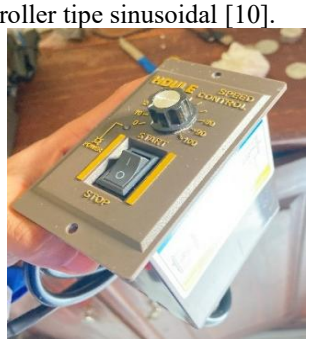
Gambar 6. Hasil Pengukuran Momen

Houle adalah produsen motor servo, driver servo, motor reduksi gigi kecil dan menengah termasuk motor servo universal, driver servo, motor reduksi mikro / kecil seri G1 (daya: dari 6W hingga 400W). Motor listrik yang dipilih berdasarkan spesifikasi yang telah ditandai dengan kotak merah. (Tabel 2)

Tabel 2. Motor Specification

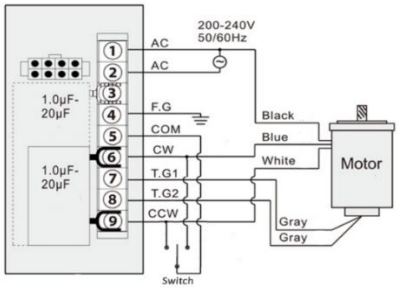
		Two-staged 二级傳動										Three-staged 三级傳動					Four-staged 四级傳動							
Ratio 減速比		3	3.6	5	6	7.5	9	10	12.5	15	18	20	25	30	36	40	50	60	75	90	100	120	150	180
Speed 轉速 r/min		500	416	300	250	200	166	150	120	100	83	75	60	50	41	37	30	25	20	16	15	12.5	10	8.3
90W	Allowable torque 容許轉矩 Kg.f	1.55	1.86	2.58	3.10	3.87	4.65	5.16	6.45	7.75	9.30	10.3	12.8	15.5	18.6	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	Max torque 最大轉矩 Kg.f	1.70	2.04	2.83	3.41	4.25	5.11	5.67	7.09	8.52	10.2	11.3	14.0	17.0	20.4	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0

Tanda kotak merah menunjukan torsi maximum dari motor listrik yaitu 22 Kg.f dengan mereduksi putaran menjadi 8.3 r/min untuk mempermudah pengoperasian. Tujuan dari reduksi ini adalah untuk melipat gandakan torsi sesuai dengan perbandingan reduksi gear-nya [9]. Kemudian dilakukan penambahan *controller* untuk mengatur kecepatan dan arah putaran sehingga dapat berputar *forward and reverse* sesuai dengan cara kerja tap. *Controller* yang digunakan yaitu juga dari *Brand* Houle (Gambar 7) dengan controller tipe sinusoidal [10].



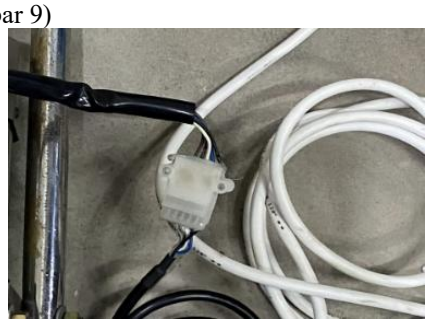
Gambar 7. *Controller*

Pada bagian depan terdapat 2 pengaturan yaitu, pada bagian atas terdapat *potensio level* untuk mengatur kecepatan putaran motor dan bagian bawah terdapat *switch* untuk *start and stop*. Untuk dapat terhubung antara motor dan *controller* dapat dijelaskan menggunakan *schematic diagram.* (Gambar 8)



Gambar 8. *Schematic Diagram*

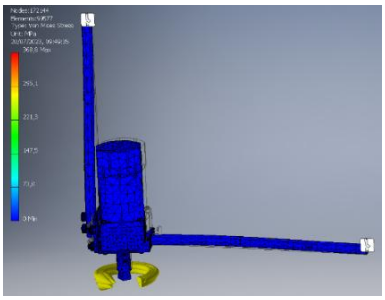
Mengikuti dari diagram bahwa pin 1 dan 2 adalah menuju sumber listrik 200 – 240V, kemudian terdapat 5 kabel menuju motor yaitu berwarna *black,blue,white,* dan 2 *gray.* Dari kelima kabel tersebut telah disatukan dengan satu soket kabel. (Gambar 9)



Gambar 9. Controller Socket

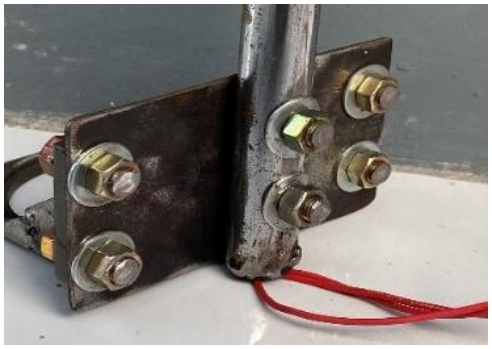
Untuk dapat mengatur arah putaran maka ditambahkan *toggle switch 3 pin* yang dihubungkan antara pin CCW, CW, dan COM dengan wiring. Pembuatan *bracket* didasari dengan melakukan gambar teknik 2 dimensi terlebih dahulu, bertujuan untuk dapat menentukan ukuran alat dan bentuk yang sesuai dengan cara pengoperasian.

Berdasarkan desain menghasilkan posisi pegangan secara *vertical* dan *horizontal* dengan pegangan *vertical* untuk tangan kiri sedangnkan *horizontal* untuk tangan kanan dengan menggunakan bahan besi pipa setebal 4 mm. Kemudian untuk *bracket* dibagi menjadi 2 bagian yaitu blacket untuk pegangan *vertical* dan untuk pegangan *horizontal* yang menggunakan bahan plat besi setebal 4 mm. Dari hasil pembuatan desain gambar teknik maka dilakukan analisa kekuatan beban kerja menggunakan *metodhe stress analysiss* menggunakan aplikasi inventor untuk dapat menentukan bahan dan ukuran yang tepat. Perubahan struktur material hingga terjadi keretakan (*crack*) dapat diakibatkan oleh beban yang berulang- ulang (tegangan atau regangan) dalam jangka waktu yang lama Maka dilakukan dengan metode ini menghasilkan analisa secara visualisasi warna (Gambar 10).[11]



Gambar 10. *Stress Analysis*

Pengujian simulasi kerja dilakukan dengan menahan kedua pegangan, kemudian motor dihubungkan dengan *bracket*, kemudian shaft tap diputar dengan moment 172 Nm atau 17.5 Kgf. Dari pengujian dihasilkan warna biru penuh pada seluruh sisi desain atau dapat diartikan seluruh bagian aman dari kerusakan seperti patah, *twist, dan* retak. *Bracket* untuk motor listrik dihubungkan dengan plat dan pegangan *vertical* menggunakan baut M12. Kemudian untuk posisi *switch forward and reverse* diletakan pada ujung pipa pegangan *vertical* dengan memasukan kabel kedalam pipa. (Gambar 11)



Gambar 11. *Bracket*

Untuk *bracket* dan handle *horizontal* digunakan plat 4 mm yang dilubangi sesuai dengan ukuran posisi lubang *bracket* pada motor dan membuat lubang untuk *shaft* motor. *Bracket* dan pipa dihubungkan dengan *bolt* dan *nut* yang di-*welding* agar pegangan dapat dilepas .

Kemudian seluruh *part* di *assembly* dengan meletakan *controller* pada posisi atas motor untuk mempermudah jangkauan pengoperasian tombol**.** Cara pengoperasian alat dilakukan dengan cara menghubungkan alat dengan sumber listrik kemudian

switch direction diputar ke arah putaran *clockwise*. Hubungkan *adaptor* dengan *tap* kemudian posisikan tegak lurus terhadap ulir. (Gambar 12)

Gambar 12. *Retap Assembly*

Sesuaikan level kecepatan potensio kemudian nyalakan *switch* kemudian gunakan *switch direction* untuk memutar balikan arah putaran *tap.* Dari hasil *implementasi* didapatkan hasil data percobaan. (Tabel 4)

Tabel 3. Leadtime Tools Retap

Percobaan	Durasi (m)	Rata-rata (m)
1	4	3,6
2	5	
3	3	
4	3	
5	4	
6	4	
7	3	
8	3	

Dari data tabel 3 menghasilkan rata-rata *leadtime* retap perlubang ulir selama 3,6 menit dengan 8 kali percobaan.

a. *Maintenance*

Tools retap elektrik perlu dilakukan perawatan dengan melakukan pengecekan pelumas *grease* pada bagian *gear ratio* dengan melakukan penambahan setiap 8 bulan sekali untuk menghindari keausan pada gear. Terdapat lubang pada bagian *gear ratio* tempat pengecekan dan penambahan pelumas. (Gambar 13)

b. *Potensi Pengembangan*

Setelah melakukan implementasi, langkah berikutnya adalah melakukan pemeriksaan potensi kegagalan pada sistem. Ditemukan empat potensi kegagalan yang berasal dari tiga faktor elemen yaitu *Machine, Man* dan *Method*. (Tabel 6)

Tabel 4. *Leadtime for trackframe*

Durasi Tap Manual Track Frame (m)						
Nomer Lubang	Track Roller Kanan		Track Roller Kiri		Carier Roller	
	Line Kanan	Line Kiri	Line Kanan	Line Kiri	Carier Roller	Carier Roller Kiri
1	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
2	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
3	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
4	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
5	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
6	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
7	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
8	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
9	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
10	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
11	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
12	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
13	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
14	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
15	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
16	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
17	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
18	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
19	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
20	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
21	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
22	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
23	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
24	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-
Total	86,4	86,4	86,4	86,4	14,4	14,4
Total Leadtime						
374 Menit						
6,2 Jam						

Gambar 13. *Maintenace Procedure*

c. *Benefit*

Manfaat langsung yang dapat dohasilkan dari penerapan konsep peneliian ini adalah manfaat dari sisi Manpower, Delivery, Safety dan Moral (Tabel 5)

Tabel 5. *Intangible Benefit*

Benefit	Sebelum	Sesudah
Manpower	Dilakukan oleh 3 *manpower*	Dilakukan oleh 1 *manpower*
Delivery	Proses memutar tap dilakukan manual	Beban kerja *manpower* berpindah ke motor
Safety	Kontak antara tap dan handle *(adjustable wrench)* berpotensi menimbulkan keausan pada tap	Tidak ada potensi aus karena penggunaan adaptor yang sesuai ukuran tap
Moral	Pandangan terhadap proses kerja tidak efisien	Proses kerja terlihat lebih profesional dan dan efisien

Tabel 6. Potential Development

Faktor	Potensi Pengembangan	Langkah Pencegahan & Pengembangan
Machine	Kerusakan pada komponen *gear ratio*	Pengecekan pelumasan (*grease)* pada *gear ratio*
	Memerlukan daya listrik untuk dapat beroprasi	Perlu *improvement* dengan penambahan batterai
	Tap dapat patah bila gesekan yang diterima terlalu besar	Perlu adanya tindak lanjut untuk *improvement* dengan penambahan *torque* sensor
Man	*Manpower* tidak dapat menahan beban *tools* sebesar 4,5kg terlalu lama	Perlu penambahan *stand* untuk menahan beban
Methode	Ada potensi kemiringan tap terhadap benda kerja	Perlu penambahan sensor *gyrometer*

IV. KESIMPULAN

Alat retap elektrik merupakan salah satu solusi yang sudah didesain dan diimplementasikan untuk mengatasi pengerjaan retap baut. Prosedur pengoperasian alat retap elektrik sudah disosialisasikan dan prosedur perawatan alat akan menjamin penggunaan alat ini menjadi lebih prima. Penerapan solusi dengan menggunakan motor listrik menghasilkan efisiensi pengerjaan dari 42,8 jam menjadi 6,2 jam. Penggunaan motor listrik yang efektif membuat kebutuhan tenaga kerja dari yang semula sejumlah 3 orang menjadi 2 orang.

V. DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Fehr, S. Fleischlin, and J. Friese- Tapmeyer, *Fachkunde Land- und Baumaschinentechnik*, 2nd ed. Haan-Gruiten: Europa Lehrmittel, 2019.

[2] R. et al Fischer, *Modern Automotive Technology*, 2nd ed. Haan-Gruiten, 2014.

[3] A. Rachman, E. Yochanan, A. I. Samanlangi, and H. Purnomo, *METODE PENELITIAN KUANTITATIF, KUALITATIF DAN R&D*. Karawang: Saba Jaya Publisher, 2024.

[4] A. Wardhana, "Teknik Pengumpulan Data Penelitian," M. Pradana, Ed., 2023.

[5] S. Fomichov, O. Linyucheva, G. Vasyliev, and Y. Chvertko, "Types of Corrosion," in *Corrosion of Welded Structures*, S. Fomichov, O. Linyucheva, G. Vasyliev, and Y. Chvertko, Eds., Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, pp. 49–91. doi: 10.1007/978-3-031-68993-2_2.

[6] P. P. Milella, "Corrosion," in *Fatigue and Corrosion in Metals*, P. P. Milella, Ed., Cham: Springer International Publishing, 2024, pp. 769–805. doi: 10.1007/978-3-031-51350-3_17.

[7] E. V Mitin and S. P. Sul'din, "Side Frame Strength of a Railroad Truck under a Load," *Russian Engineering Research*, vol. 44, no. 11, pp. 1584–1587, 2024, doi: 10.3103/S1068798X24702587.

[8] P. P. Milella, "Corrosion Fatigue," in *Fatigue and Corrosion in Metals*, P. P. Milella, Ed., Cham: Springer International Publishing, 2024, pp. 885–923. doi: 10.1007/978-3-031-51350-3_20.

[9] W. Sheng, Z. Li, X. Yu, and R. Xi, "Evaluation of contact characteristics for geometric modified low reduction ratio face gear pairs under mixed lubrication," *Meccanica*, 2025, doi: 10.1007/s11012-025-01990-8.

[10] K. W. Park, D. H. Park, and J. H. Kim, "A new position controller design compensating the ship motion (sinusoidal input) in the target tracking servo system," May 01, 2024, *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*. doi: 10.1007/s40435-023-01288-1.

[11] J. Zhang, Y. Song, and B. Lu, "Analysis of Stress," in *Mechanics of Elastic Solids*, J. Zhang, Y. Song, and B. Lu, Eds., Singapore: Springer Nature Singapore, 2025, pp. 7–41. doi: 10.1007/978-981-97-9699-1_2.