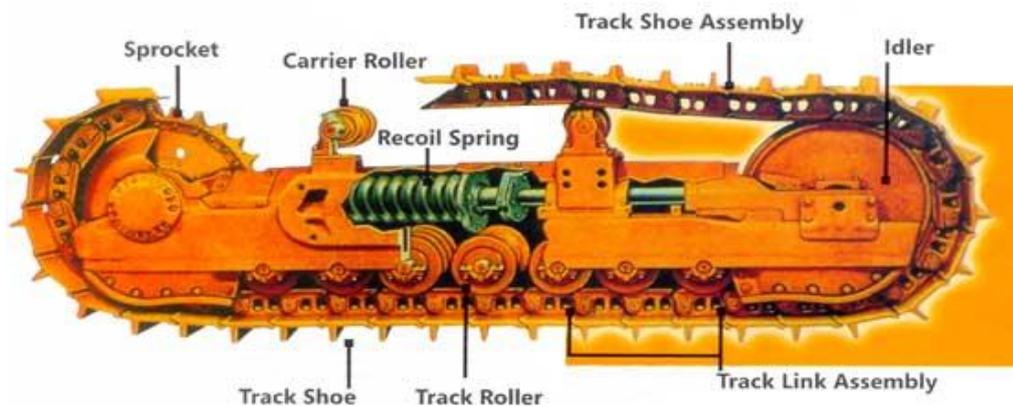


BAB II DASAR TEORI

2.1. *Undercarriage Bulldozer*

Undercarriage merupakan komponen bagian bawah unit *bulldozer*, dimana komponen tersebut berfungsi sebagai media penggerak unit tersebut untuk perpindahan dari tempat lainnya. *Undercarriage* tersebut juga berfungsi sebagai media penahan dan meneruskan berat dari unit *bulldozer* ketanah.

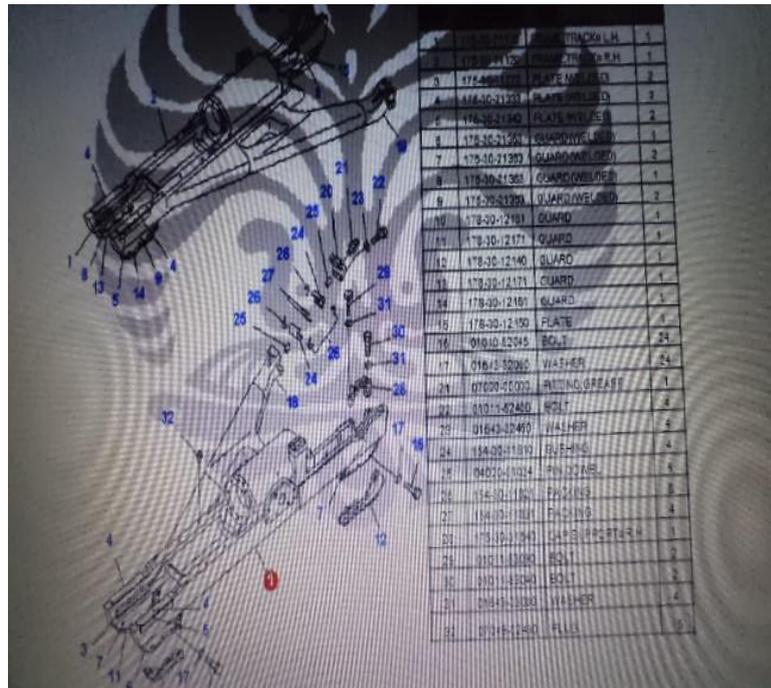


Gambar 02. *Component Undercarriage*
(Sumber :Linkone Versi 04)

2.2. Pengertian, Fungsi dan Cara Kerja Komponen *Undercarriage*

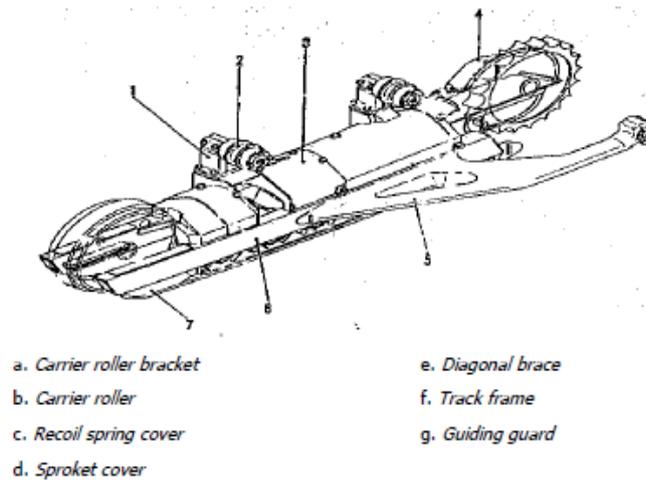
2.2.1. *Track Frame*.

Track Frame merupakan tulang punggung dari pada *undercarriage*, *track frame* sebagai tumpuan *chasis* unit terhadap permukaan tanah dan tempat kedudukan komponen-komponen *undercarriage*. *Track frame* merupakan gabungan baja yang dibentuk menyerupai konstruksi *box* yang saling menyilang dan dirakit dengan plat baja. *Track Frame* khusus di *design* mampu melawan beban kejut selama operasi berat atau ringan dari kondisi kerja unit.



Gambar 03. *Track Frame*

Pada unit *bulldozer* dibagian belakang *track frame* dihubungkan terhadap *chasis* menggunakan *pivot shaft* sedangkan bagian depannya dihubungkan dengan *equalizer bar*. *Equalizer bar* yang berfungsi seperti halnya *system suspensi* yang mengurangi kejutan yang terjadi karena ketidak rataan permukaan jalan (medan operasi). Sebagian besar *track* tetap kontak pada permukaan tanah sehingga mengurangi resiko unit terbalik. *Track frame* secara khusus dirancang mampu menerima beban kejut selama operasi.

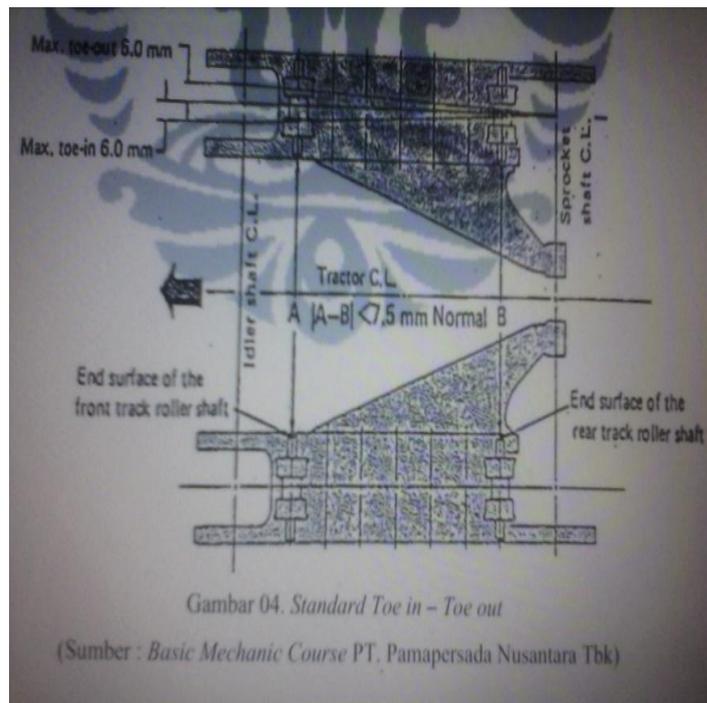


Gambar 04.*Track frame*
 (Sumber : Linkone Versi 04)

Frame crawler tractors harus diperhatikan kondisi kelurusannya, apabila *crawler tractors* sudah dipakai operasi maka kemungkinan posisi kelurusan dari *frame* berubah yang menyebabkan *teo out* menjadi berubah pula. *Teo in* adalah suatu keadaan perubahan kelurusan *track frame* kiri dan kanan ketika permukaan *idler* menuju kedalam mendekati "*center line of tractors*". Sedangkan yang dimaksud *toe out* adalah suatu keadaan perubahan kelurusan *track frame* kiri dan kanan ketika permukaan *idler* menuju kedalam mendekati "*center line of tracktor*". Sedangkan yang dimaksud *toe out* adalah suatu keadaan perubahan kelurusan *track frame* kiri dan kanan ketika permukaan *idler* menuju keluar menjahui "*center line of tracktor*". Perubahan kelurusan pada kondisi *idler* dilihat dari *sprocket*. *Track frame* mengalami *toe in* atau *toe out* disebabkan karena :

- Posisi (*pitch*) *track roller* yang dalam pemasangan tidak memperhatikan ketentuan-ketentuan skla gambar.

- Terjadinya benturan antara batu dengan permukaan bawah *diagonal brace* yang dapat merusak fisik *diagonal brace*.
- Unit yang sudah beroperasi dalam waktu lama sehingga dengan variasi beban dapat menyebabkan perubahan kelurusan *track frame*.



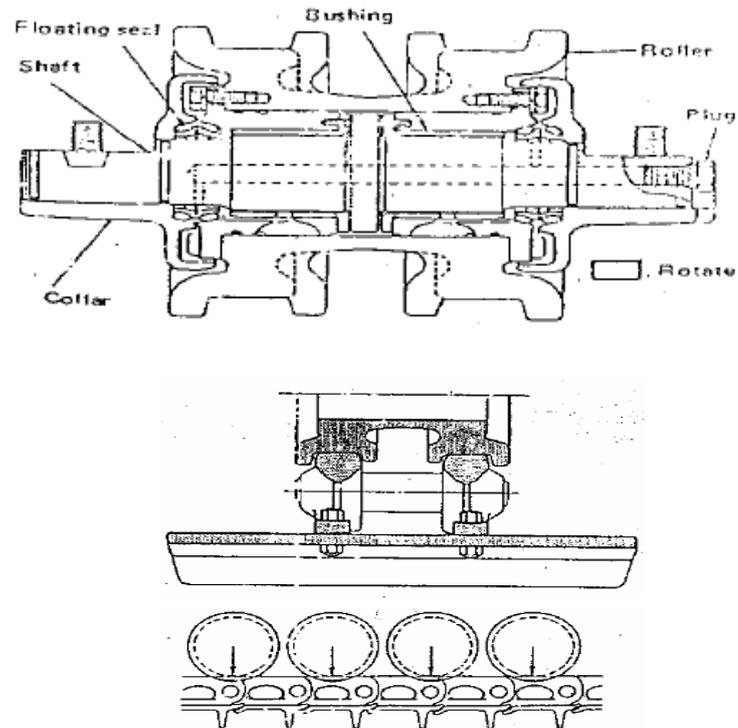
Gambar 05.Standar Toe in- Toe out

(sumber : shop manual PT. Pama Persada Nusantara)

2.2.2. Track roller

Track roller adalah bagian dari komponen *undercarriage* yang berbentuk menyerupai roda besi yang berfungsi sebagai pembagi berat *bulldozer* ke *track*. Dimana beberapa *track roller* yang dipasang pada bagian bawah *track frame* akan menahan berat unit terhadap *track link*, sehingga dapat dikatakan *track roller*

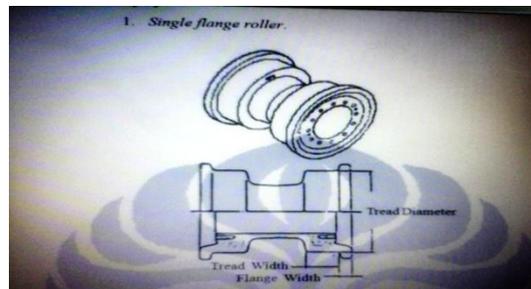
sebagai pembagi berat *chassis* terhadap *track link* seperti gambar berikut.



Gambar 06. *Track Roller*
(**Sumber :** *Linkone Versi 04*)

Pada unit *bulldozer* untuk *track roller* dibagi menjadi dua macam tipe yaitu :

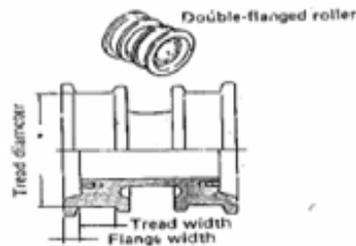
1. *Single flange roller.*



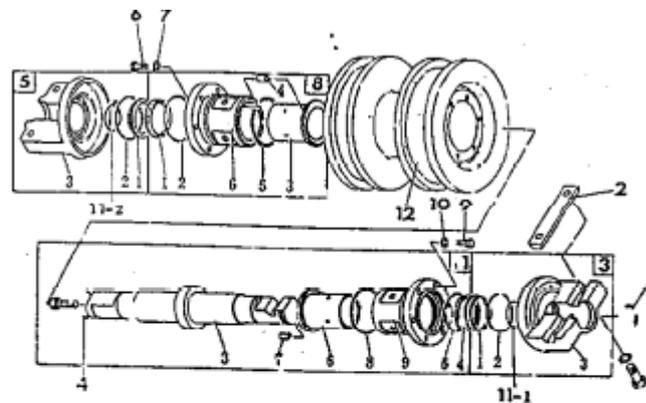
Gambar 07. *Single Flange*
(**Sumber :** *Linkone Versi 04*)

2. Double flange rolle

Double Flange Roller



Gambar 08. Duble Flange
(Sumber : Linkone Versi 04)



- | | | |
|----------------|-------------------|----------------|
| 1. Snap ring | 7. Spring washer | 11-2 O-ring |
| 2. Thrust key | 8-1 Seal ring | 11-3 Shaft |
| 3-1. Seal ring | 8-2. O-ring | 11-4 Seal ring |
| 3-2. O-ring | 8-3 Bushing | 11-5 O-ring |
| 3-3 Bracket | 8-4 Dowel pin | 11-6 Bushing |
| 4. Snap Ring | 8-5 O-ring | 11-7 Dowel pin |
| 5-1. Seal ring | 8-6 Bearing | 11-8 O-ring |
| 5-2. O-ring | 9. Bolt | 11-9 Bearing |
| 5-3 Bracket | 10. Spring washer | 12. Roller |
| 6. Bolt | 11-1 O-ring | |

Gambar 09. Inner Part Track Roller

(Sumber : Linkone Versi 04)

Jumlah *track roller* yang dipasang pada *bulldozer* tergantung dari panjang *track* pada permukaan tanah yaitu jarak antara *idler* dengan *sprocket*. Pada posisi kesatu dan terakhir, pada umumnya dipasang *track roller single flange type*, tujuannya agar keausan dapat dikurangi. Baik keausan pada *track link* dengan *flange* pada

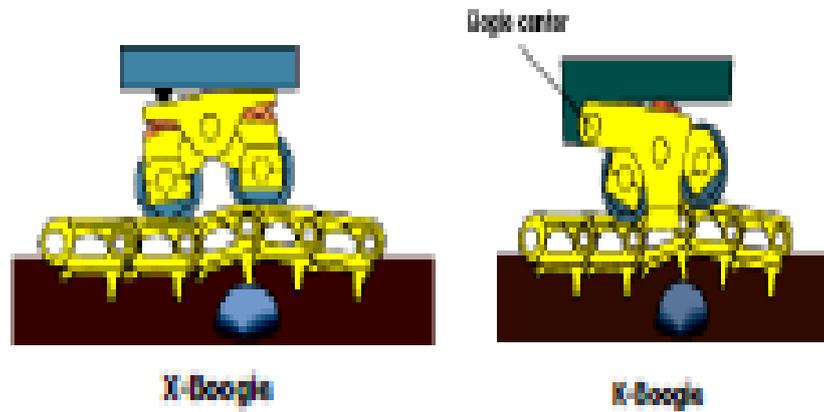
track roller disaat berputar atau belok. Seperti table 02. Unit D85ESS-2 punya susunan *track roller* dari depan D D D D S D D S, Dimana D = *Double* dan S= *Single*.

Tabel 02. Susunan *track roller* pada *bulldozer*

Model	Rollers Per Side	Rollers Position							
		Inder				Speocket			
		1	2	3	4	5	6	7	8
D 10 A, S-1	3	S	S	S					
D 20 A, P, S, Q-3	5	S	S	S	S	S			
D 21 A, P, S, Q-3	5	S	S	S	S	S			
D 30 A, S, Q-15	5	S	S	S	S	S			
D 30 P-15	6	S	S	S	S	S	S		
D 31 A, Q, S,-15,16	5	S	S	S	S	S			
D 31 P-15,16	6	S	S	S	S	S	S		
D 40 A-1	5	S	D	S	D	S			
D 40 A-1	6	S	D	S	S	D	S		
D 45 A, S – 1	5	S	D	S	D	S			
D 45 P -1	6	S	D	S	S	D	S		
D 50 A, S – 15	5	S	D	S	D	S			
D 50 P – 15	7	S	D	S	D	S	D	S	
D 53 A, S- 15	5	S	D	S	D	S			
D 55 S- 3	5	S	D	S	D	S	S		
D 57 S – 1	6	S	D	S	S	D	S		
D 60 A, S – 6	6	S	D	S	S	D	D	S	
D 60 E, P – 6	7	S	D	S	D	S	S		
D 65 A, S – 6	6	S	D	S	S	D	D	S	
D 65 E, P – 6	7	S	D	S	D	S	D	S	
D 75 S -2,-3	7	S	D	S	D	S	S		
D 80 A -12	6	S	D	S	S	D	D	S	
D 80 E – 12	7	S	D	S	D	S	S		
D 85 A- 12	6	S	D	S	S	D	D	S	
D 85 E- 12	7	S	D	S	D	S	D	S	
D 95 S -1	7	S	D	S	D	S	D	S	
D 150 A – 1	7	D	D	D	S	D	D	S	
D 155 A – 1	7	D	D	D	S	D	S	D	
D 155 S, C- 1	8	D	D	D	S	D	D	S	S
D 355 A – 3	7	D	D	D	S	D	S	D	
D 355 C – 3	8	D	S	D	S	D	S	S	S
D 455 A- 1	7	D	D	S	D	\S	<u>\\D</u>	S	

(Sumber : *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

Unit D375A menggunakan *track roller* dengan *type* “*boigie*”, dimana *track roller* dapat berisolasi menyesuaikan permukaan tanah, sehingga daya cengkram tetap baik, walaupun bekerja dipermukaan tanah yang tidak rata.

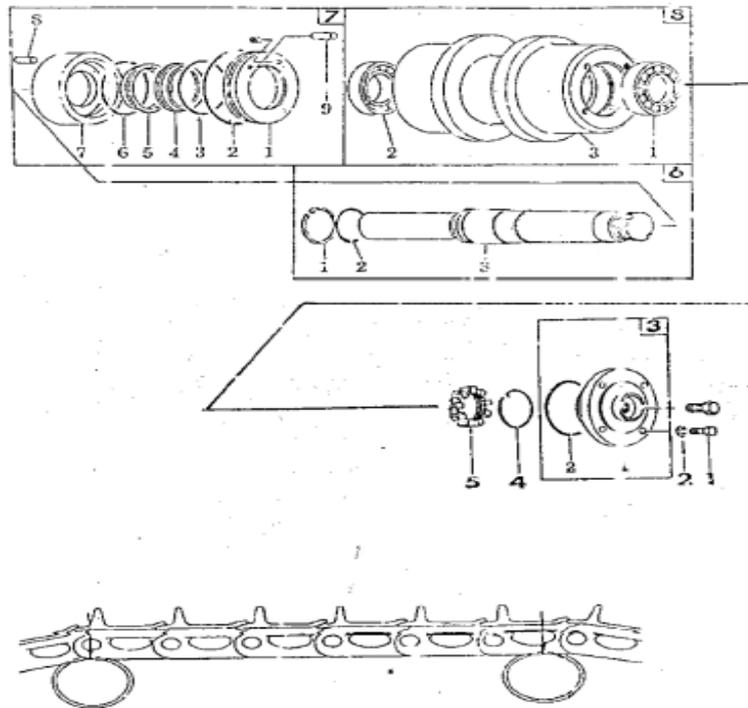


Gambar 10.Track roller tipe bogie
(sumber : *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

Tiap *track roller* dipasang pada masing-masing *inner bogie* dan *outer bogie* untuk menjamin *track roller* dan *track link* selalu bersentuhan. *Rubber mounting* digunakan untuk menyerap getaran yang disebabkan oleh permukaan tanah.

2.2.3 *Carrier roller.*

Carrier roller adalah dari bagian dari komponen *undercarriage* yang berbentuk hampir sama dengan *track roller*, akan tetapi memiliki fungsi yang berbeda yaitu menahan berat gulungan atas dari *track shoe assy*, agar tidak melentur, dan menjaga gerakan *track shoe* antara *sprocket ke idler* atau sebaliknya agar tetap lurus.

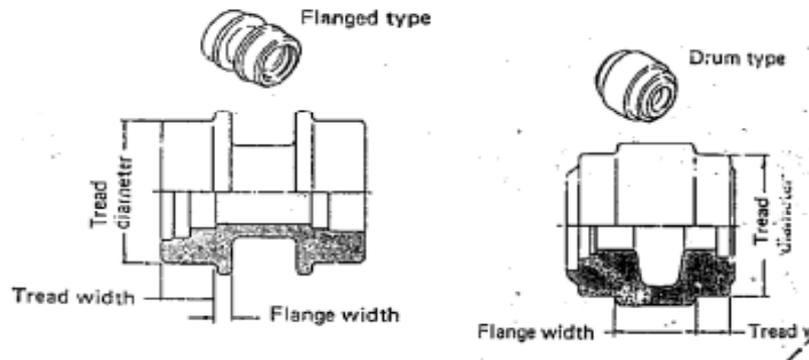


- | | | |
|------------------|----------------|---------------------|
| 1. Bolt | 6-3. Shaft | 7-7. Seal |
| 2. Spring washer | 7-1. Seat | 7-8. Dowel pin |
| 3-1. Cover | 7-2. O-ring | 7-9. Bearing |
| 3-2. O-ring | 7-3. O-ring | 8-1. Bearing |
| 4. Snap ring | 7-4. Seal ring | 8-2. Bearing |
| 5. Nut | 7-5. Seal ring | 8-3. Carrier roller |
| 6-1. Snap ring | 7-6. O-ring | |
| 6-2. O-ring | | |

Gambar 11. Carrier roller

(Sumber : *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

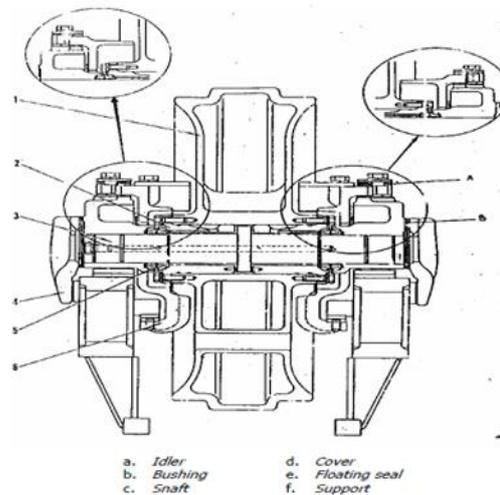
Untuk bulldozer D375A bisa menggunakan dua tipe carrier roller, baik carrier roller flange type maupun drum type seperti gambar 11. Dimana jumlah carrier roller yang dipasang pada unit tergantung dari panjang track, pada umumnya antara satu buah dan dua buah tiap sisinya berikut.



Gambar 12. *Type carrier roller*
 (Sumber : *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

2.2.4. *Front idler*

Front idler berfungsi untuk membantu mengencangkan atau mengendorkan *track* dan juga meredam kejutan.



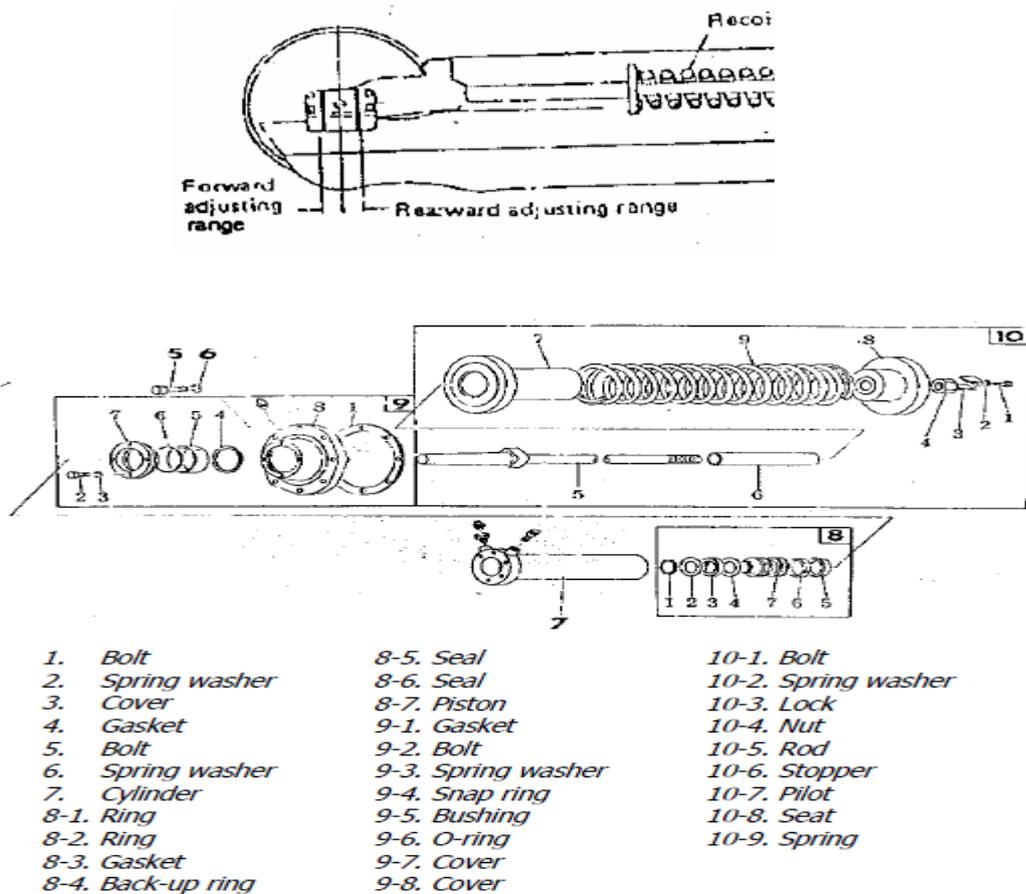
Gambar 13. *Front Idler*
 (Sumber: *Linkone* Versi 04)

Fungsi komponen-komponen antara lain :

- *Cover* bersama dengan ketebalan *shim* mengatur kelurusan *idler* antara *guide plate* dan *track frame*. Jika *clearance* besar untuk mengatur sesuai *standard clearance* (0.5 mm – 1.0 mm) dengan cara mengurangi ketebalan *shim*. Begitu sebaliknya jika *clearance*

kecil untuk mengaturnya dengan cara menambahkan *shim* sesuai dengan ketebalan tertentu.

- *Support* bersama dengan ketebalan *shim* mengatur kerataan sisi *idler* kiri dengan sisi *idler* kanan.



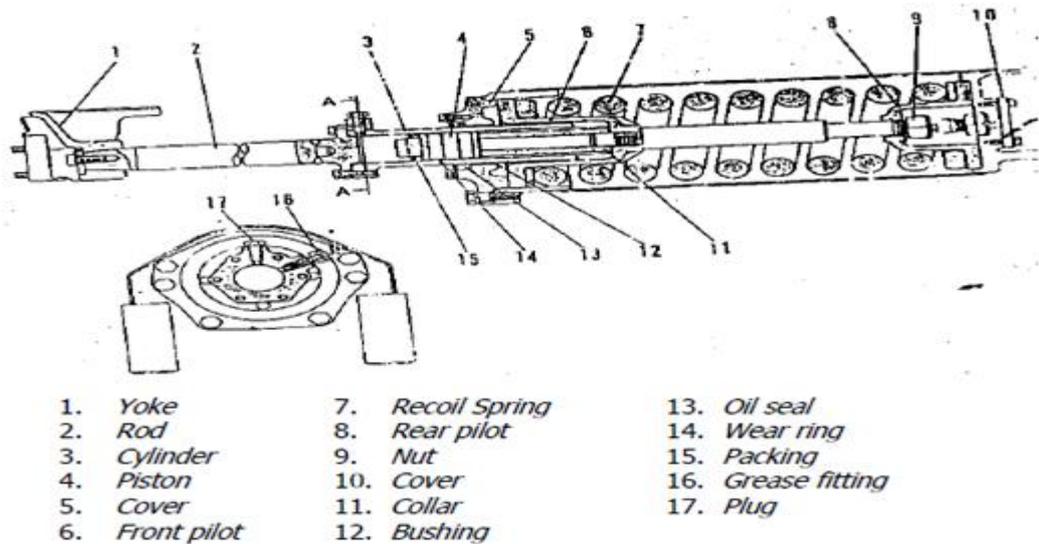
Gambar 14. *Komponen front idler*

(Sumber : *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

2.2.5. Recoil spring

Recoil spring berfungsi untuk kejutan-kejutan dari *front idler*. *Track adjuster* berfungsi untuk mengatur kekencangan *track*. Untuk mengencangkan *track* dengan cara *grease* dipompakan masuk keruangan dalam *cylinder* melalui *grease fitting*. Sehingga *cylinder* akan bergerak keluar, sedangkan untuk mengendorkan *track* dengan cara *grease* harus

dikeluarkan dari ruangan pada *cylinder* melalui *plug*, seperti gambar berikut.



Gambar 15. *Recoil Spring*

(Sumber : *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

Bagian-bagian *recoil spring* dan fungsinya :

- *Rod* : sebagai penerus tekanan ke *yoke*
- *Cylinder* : sebagai penekan *rod*
- *Piston* : sebagai penerus tekanan *rod* ke arah *spring*
- *Front cover* : sebagai penahan dan tempat mengeluarkan *spring*
- *Pilot dan seat* : tempat kedudukan *spring* dan *oil* pelumas
- *Housing* : tempat susunan *recoil spring* dan menerima gaya
- *Spring* : sebagai peredam kejut
- *Bolt l rod* : meluruskan gaya
- *Real cover* : tempat mengencangkan kondisi *recoil spring*

Penyetelan kekencangan *track* :

Ketika *track* kendur, cek ketegangan *track* dengan menepatkan unit ditempat yang rata, letakan mistar lurus di atas *track shoe*

diantara *front idler* dan *front carrier* seperti ditunjukkan dalam table 03.

Table 03. penyetelan kekencangan *track*



Model	D30.	D40.45	D50	D53	D55	D57	D60.65	D75.	D95	D120.	D150.D355
D20.21	31							D80.85		125	D455155

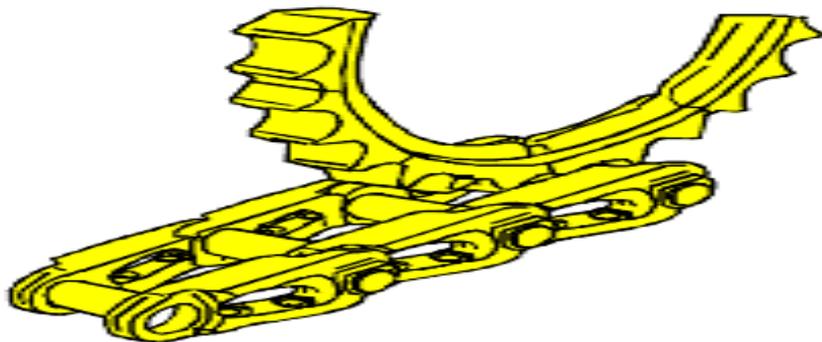
Standerd

Clearance 20 ~30 mm 30~40 mm 20~40 mm

(Sumber : *Basic MechanicalCourses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

2.2.6. *Sprocket*

Sprocket dalam komponen *undercarriage* berfungsi sebagai media penerus tenaga gerak ke *track* melalui *buhing*, dan merubah putaran *sprocket* menjadi gulungan pada *track* agar unit dapat bergerak.



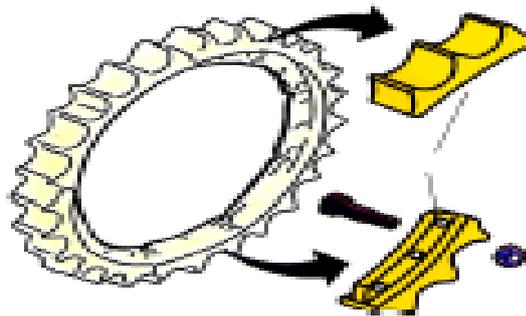
Gambar 16.*Sprocket*

(Sumber : *Basic MechanicalCourses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

Untuk *sprocket* unit D375A memiliki dua *type* :

1. *Segment type*

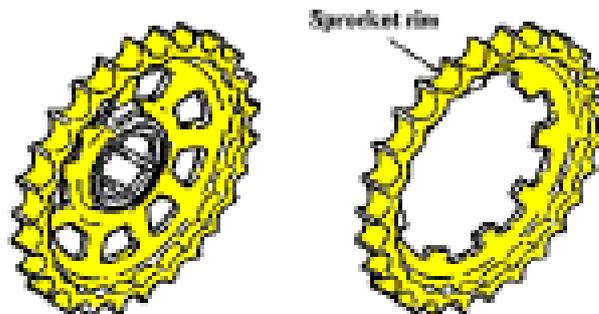
Pada *segment type* ini untuk bergantian segment tidak perlu melepas *track link* sehingga mempermudah dan mempercepat proses penggantian komponen tersebut.



Gambar 17. *Segment type*

(**Sumber :** *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

2. *Solid type*

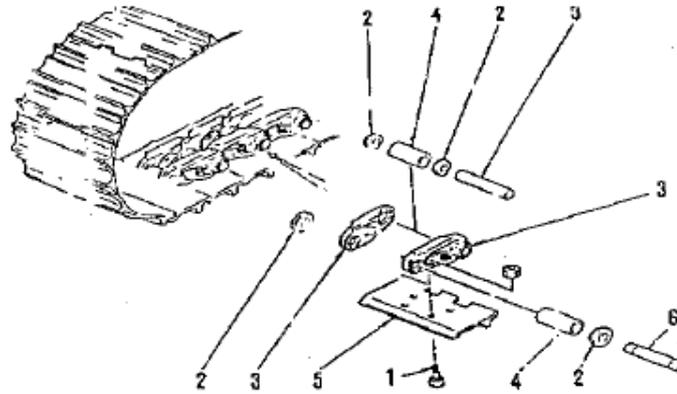


Gambar 18. *Solid type*

(**Sumber :** *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

Pada *solid type sprocket*, apabila *teeth* sudah aus maka pada waktu pengantiannya, harus banyak yang dilepas dan *solid type sprocket* harus dipotong, kemudian diganti dengan *sprocket rim* yang baru dan di las.

2.2.7. Track link



Keterangan:

- 1) *Shoe bolt* :Baut untuk mengikat *shoe*
- 2) *Dust seal* :*Seal* untuk penahan debu
- 3) *Link* : Tempat kedudukan *pin*,*bushing* dan *shoe*.
- 4) *Bushing* : Tempat persinggungan antara diameter luar *bushing* dengan link
- 5) *Shoe* :Bagian yang berhubungan langsung dengan tanah.
- 6) *Pin* :Bagian yang menghubungkan *link* satu dan *link* berikutnya

Gambar 19. Komponen *Trank Link*

(**Sumber :** *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

track link pada unit *bulldozer* memiliki fungsi sebagai penumpu dari total beban pada *track roller* sehingga memungkinkan *crawler tracktor* dapat berjalan. Dimana *track link* dihubungkan antara *link* satu dengan *link* yang lain dengan *pin* dan *bushing*, serta dihubungkan dengan *track shoe* dengan *bolt* dan *nut*. Dimana tumpuan *track link* terletak pada *track roller*, *carrier roller* dan *front idler*.

Adapun komponen-komponen *track link* sebagai berikut :

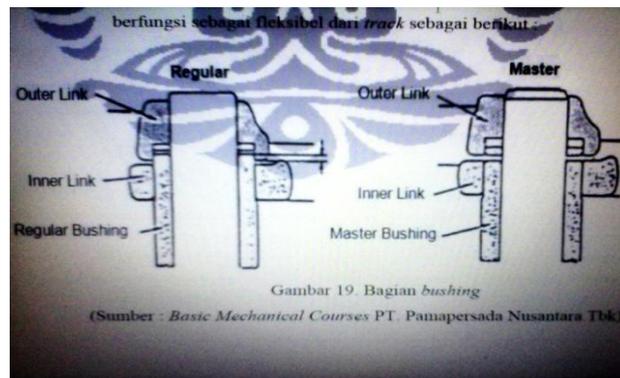
a. *Pin*

Pin berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan *link* satu dengan *link* berikutnya disamping juga sebagai tempat kedudukan

bushing, *seal assy*, *plug* dan *sprocket*. Struktur pada *pin* di bagian permukaan diproses panas (*heat treatment*) yang tujuannya agar didapatkan bahan dengan kekerasan tertentu sehingga proses keausan karena gesekan terjadi lebih lama.

b. *Bushing*

Bushing berfungsi untuk sebagai media persinggungan antara diameter luar *bushing* dengan permukaan *teeth sprocket*, dan merupakan fungsi fleksibel dari pada *track* saat bergerak menggulung. Struktur pada *bushing* dibagian diameter dalam dan diameter luar juga diproses panas (*heat treatment*) yang tujuannya agar didapatkan bahan dengan kekerasan tertentu sehingga proses keausan karena gesekan terjadi lebih lama. *Type-type bushing* yang berfungsi sebagai fleksibel dari *track* sebagai berikut :

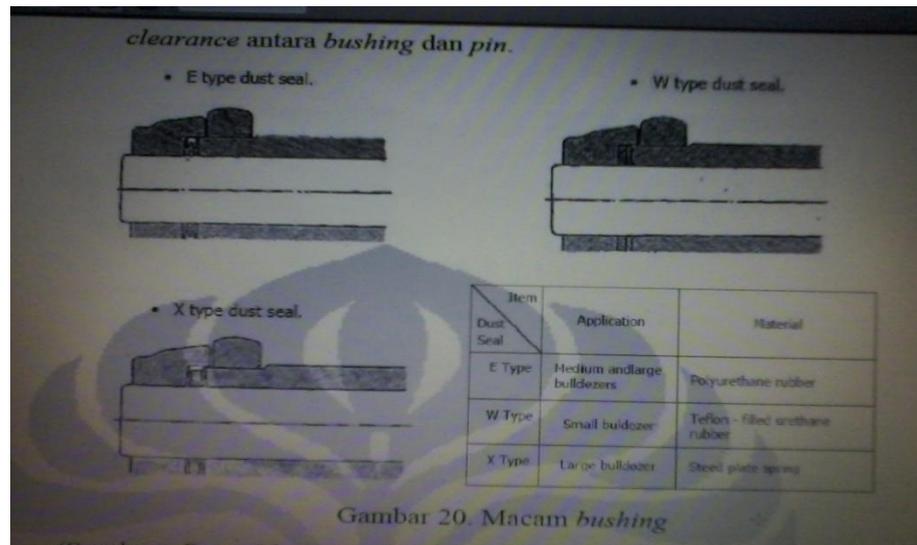


Gambar 20. Bagian *bushing*

(Sumber : *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

c. *Seal assy*

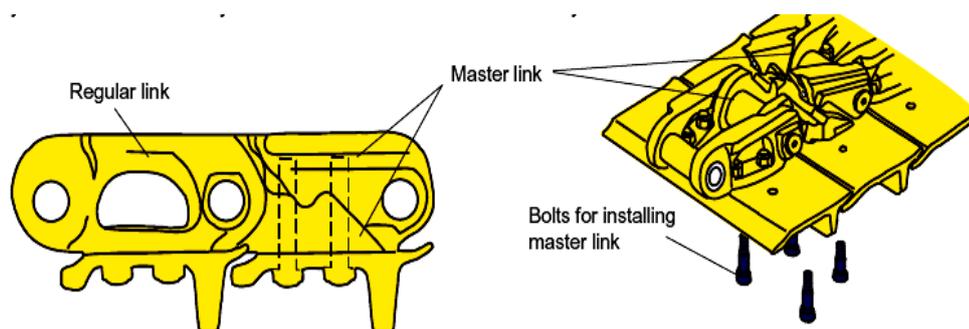
Berfungsi untuk mencegah masuknya debu dari luar ke dalam *clearance* antara *bushing* dan *pin*



Gambar 21. Macam –macam *bushing*
(Sumber : *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

d. *Link*

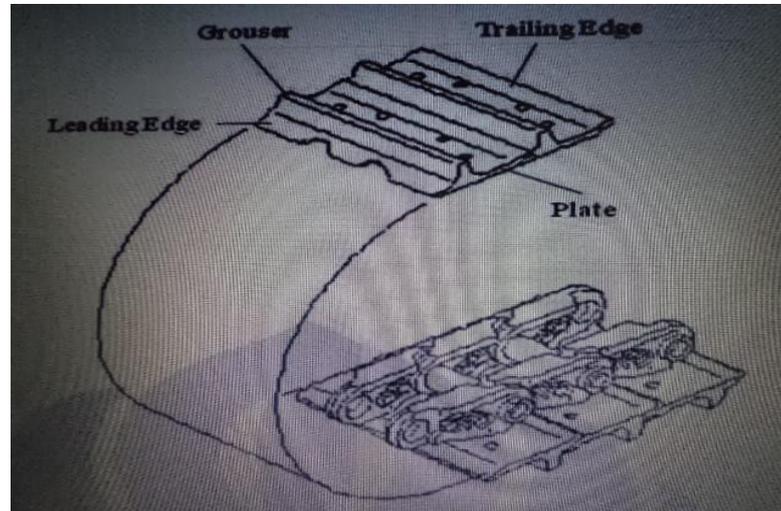
Link berfungsi sebagai penunpu berat unit ke landasan sekaligus sebagai tempat kedudukan *pin*, *bushing* dan *track shoe*. Dimana *link* juga berfungsi sebagai tempat persinggungan dengan *roller* saat *crawler tractor* diam maupun bergerak. *Link* ini menghubungkan dan memutuskan proses *assembly* dan *disassembly*, maka pada *track link* dibuat *master link*.



Gambar 22. Type master link

(Sumber : *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

2.2.8. Track shoe



Gambar 23. *Track shoe*

(Sumber : *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

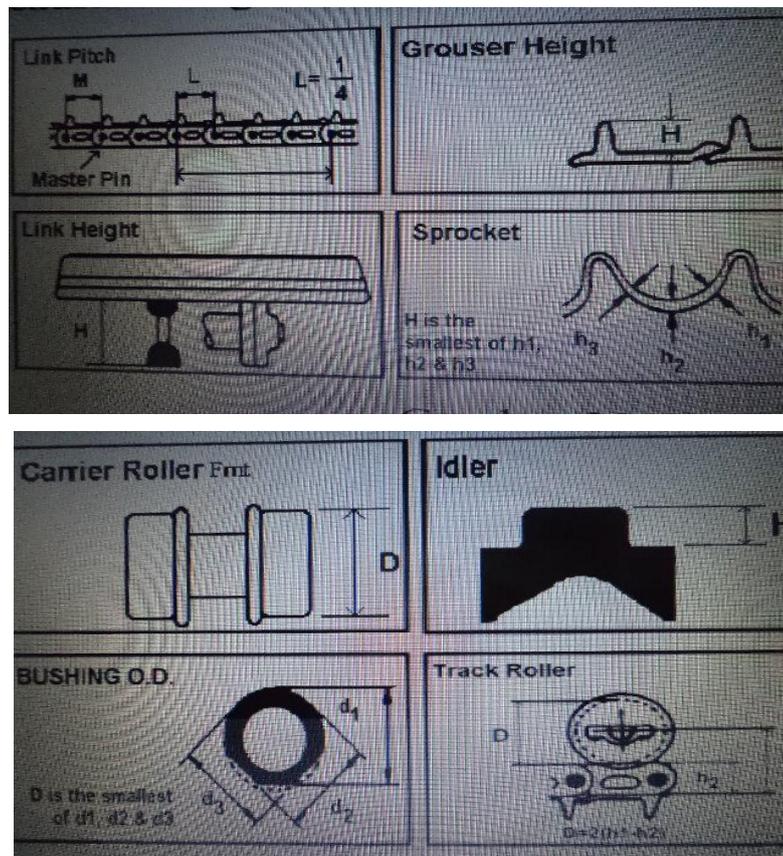
Track shoe adalah bagian dari *undercarriage* yang berfungsi disamping tempat persinggungan dengan tanah juga merupakan alas gerak *crawler tractor*. *Track shoe* merupakan pembagi berat unit ke permukaan tanah (*ground*). Dipasang pada *bulldozer* untuk keperluan operasi di daerah yang berbatu, sedangkan apabila dioperasikan di daerah yang berpasir tingkat keausannya cenderung lebih besar. Pada *track shoe*, dilengkapi dengan *rib* dengan tujuan untuk mengurangi gesekan kesamping dan dilengkapi dengan *bolt guard* bertujuan untuk mengurangi kerusakan pada kepala *bolt*.

2.3. Dasar Teori Perhitungan Umur Elemen Penyusun Komponen *Undercarriage*

2.3.1. *Percent Worn Chart*

Pengukuran keausan komponen *undercarriage* sangat penting, agar dapat menentukan sampai berapa lama lagi

komponen *undercarriage* ini dapat dipakai. Hasil pengukuran komponen kerangka bawah selanjutnya dimasukan atau dibandingkan ke *percent wort chart* untuk masing-masing komponen, *type* unit dan serial number yang sama, sehingga diperoleh tingkat keausan dalam satuan persent (%). Dalam *percent wortchart* tingkat keausan dibagi menjadi : Normal dan *impact*.



Gambar 24. Point massurement

(Sumber : *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

Tingkat keausan normal berarti unit dioperasikan pada kondisi medan biasa. Sedangkan tingkat keausan *impact berate* unit dioperasikan pada kondisi medan yang sering mendapat beban kejut. Tingkat keausannya normal atau *impact* ditujukan terhadap pengukuran diameter luar *bushing*, dan *link pitch* sedang untuk

komponen kerangka bawah lainnya tidak dibedakan tingkat keausan normal ataupun *impact* yaitu hanya tercantum satu tingkat keausan. Contoh diameter luar *bushing* untuk *bulldozer* D20-6.

Tabel 04. Diameter luar *bushing*

Mm	% Worm (0, 118 in) For imposes	% Worn 5 mm For Normal	incher
41,2	0	0	1_62
40,9	10	6	1_61
40,6	20	12	1_60
40,3	30	16	1_59
40,0	40	24	1_57
35,7	50	30	1_56
39,4	60	36	1_55
39,1	70	42	1_54
38,8	80	48	1_53
38,5	90	54	1_52
38,7	100	60	1_51
37,9	110	66	1_50
37,6	120	77	1_49
37,3	130	78	1_48
37,0	140	84	1_47
36,7	150	90	1_48
36,4	160	95	1_47
36,7	167	100	1_46

(Sumber : *Handbook Bulldozer* Komatsu)

Apabila diperoleh dari hasil pengukuran *bushing* diameter luar 39.1 mm, maka tingkat keausan untuk unit yang dioperasikan diarah sering mendapat beban kejut adalah sudah mencapai 70% sedangkan apa bila unit dipakai pada operasi medan biasa, tingkat keausannya baru mencapai 42%. Apabila hasil pengukuran tidak tercantum dalam *percent wort chart* maka keausan dapat dihitung dengan memakai persamaan sebagai berikut (sumber : referensi no. 03)

$$\text{Worn (wear rate)} = \frac{\text{Standart value-measured wear rate}}{\text{Standart value-repair limit}} \times 100 \% . (1)$$

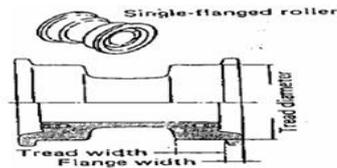
Standart value-repair limit

Contoh :

Track roller D20-6 s/n 6001 – up. Hasil pengukuran 131.4 mm.

Penyelesaian :Dilihat dari *percent wort chart*, maka tingkat keausannya tidak terlihat. Masukan ke persamaan seperti diatas.

Table 05. *worn ourter diameter track roller*



mm	% Worn	Inches
135,0	0	5,31
134,2	10	5,28
133,4	20	5,25
132,6	30	5,22
131,8	40	5,19
131,0	50	5,16
130,2	60	5,13
129,4	70	5,09
128,6	80	5,06
127,8	90	5,03
127,0	100	5,00
126,2	110	4,97
125,4	120	4,94
124,6	130	4,91

(Sumber : *Handbook Bulldozer Komatsu*)

Standar volume 13, repair limit 127 mm, maka :

$$\begin{aligned} \text{Wort} &= \frac{135-131.4}{135-127} \times 100 \% \\ &= \frac{3.6}{8} \times 100 \% \\ &= 45 \% \end{aligned}$$

Dari *percent wort chart* atau dari perhitungan selanjutnya dipakai untuk menentukan sampai berapa lama lagi komponen *undercarriage* masih dapat dipakai.

2.3.2. Hour Left Chart

Hour left chart dipakai untuk memastikan sampai berapa lama lagi komponen-komponen *undercarriage* masih dapat dipakai sampai mencapai *repair* dan *rebuild limit*. Penggunaan *hour left chart* ini harus disesuaikan dengan komponen kerangka bawah dan *type* unit. garis Mendatar pada *hour left chart* menunjukkan waktu operasi, garis vertikal menunjukkan tingkat keausan komponen (*wear rate*). Contoh :

Pengukuran *front idler* D85-18

- *Servise* meter menunjukkan 1600 jam.
- Hasil pengukuran pada *idler tread step* 27.3 mm.

Penyelesaian :

Langka 1 : dari *percentwort chart* tingkat keausan pada *idler tread step* adalah 70%. Sebagai catatan untuk penggunaan *percent wort chart* yang sesuai dengan komponen untuk model dan serial number yang cocok. Sedangkan untuk *wear rate* diperoleh dari hasil pengukuran yang selanjutnya dimasukkan ke *percent wort chart*, maka angka *wear rate* (% *wort*) akan diperoleh dari *percent wort chart* tersebut.

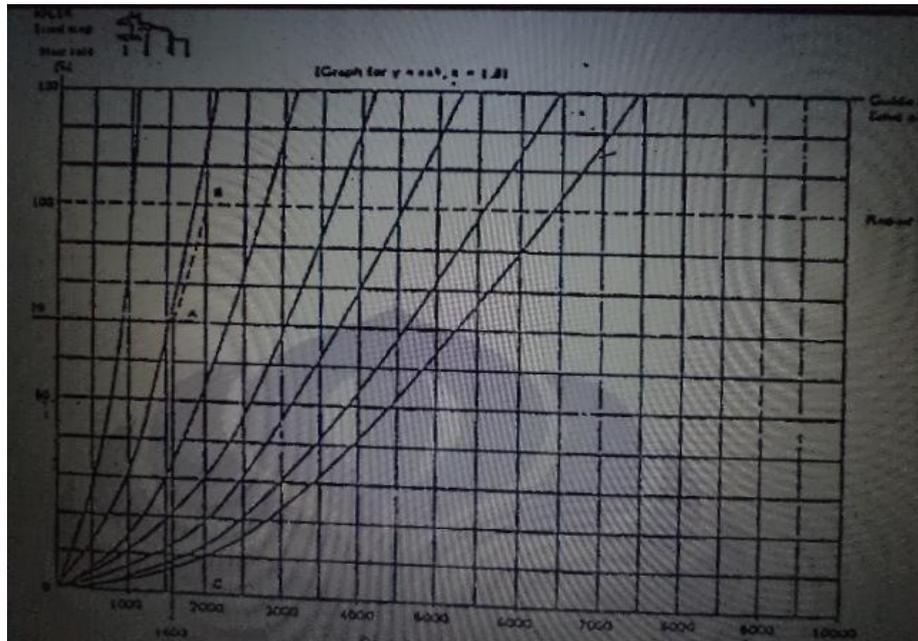
Langkah-langkah dalam membaca *hour left chart* :

- Tarik garis kearah atas dari angka 1600 jam kerja (*hoursmeter*).
- Buat titik A pada pertemuan dari garis 1600 jam dan 70%.
- Tarik garis sejajar dengan yang paling dekat terhadap titik A, sampai garis tersebut memotong garis *wear rate* 100%(atau titikB).
- Selanjutnya dari titik B tarik garis kebawah sehingga memotong garis *hour*(titik C) diperoleh *operating hoursnya* adalah 2000 jam.
- Titik C atau 2000 jam merupakan *service limit* dari *idler tread step*.
- Maka *idler tread step* masih dapat dipakai lagi selama $2000 - 1600 = 400$ jam, dari waktu saat pengukuran.

Table 06. *wort of front idler*

Mm	% Worn	Inchers
22,0	0	0,87
22,8	10	0,90
23,5	20	0,93
24,3	30	0,96
25,0	40	0,98
25,8	50	1,07
26,5	60	1,04
27,3	70	1,07
28,0	80	1,10
28,8	90	1,13
29,5	100	1,16
30,3	110	1,19
31,0	120	1,22
31,8	130	1,25

(**Sumber** : *Handbook Bulldozer* Komatsu)



Gambar 25. Hour Left Front Idler
 (Sumber : Handbook Bulldozer Komatsu)

2.3.3. Perhitungan Tanpa Hour Left Chart

Service limit dapat dihitung dengan memakai perhitungan, tingkat ketelitian dengan memakai perhitungan lebih akurat jika dibandingkan dengan memakai hour left chart. Persamaan yang dipakai sebagai berikut (sumber : referensi 03):

$$y = a \cdot x^k \quad \dots\dots\dots(2)$$

Dimana : $y = \text{wear rate (\%)}$

$x = \text{operation hour (jam)}$

$k = \text{ketetapan untuk masing-masing komponen tidak sama}$

$a = \text{konstanta, yang harus dicari terlebih dahulu.}$

Mengambil contoh diatas dari poin B, dimana dari percent wortchart diperoleh keausan 70 % pada service meter 1600 jam, sehingga :

$$y_1 = a_1 x_1^k \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

$$Y_1 = 70 \%$$

$$x_1 = 1600 \text{ jam}$$

$$k = 1,8 \text{ (idler tread step, sesuai dengan gambar 24)}$$

$$70 = a_1 \cdot 1600^{1.8}$$

$$a_1 = \frac{70}{1600^{1.8}}$$

$$a_1 = 0,000119586$$

Apabila keausannya 100%, maka $x_2 =$ jam kerjanya adalah sebagai berikut :

$$y_2 = a_2 \cdot x_2^k \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

$$a_1 = a_2$$

$$100 = 0,000119586 \cdot x_2^{1.8}$$

$$X_2 = 836.214,96$$

$$X_2 = 1950,6377.$$

“ x_2 ” dibulatkan menjadi 1950 jam maka *idler tread step* masih dapat dipakai lagi selama $1950 - 1600 = 350$ jam, dari waktu pada saat pengukuran.

2.4 RCM – FMEA

Reliability centered maintenance (RCM) sebagai sebagai metode untuk mengembangkan, memilih dan membuat alternatif strategi perawatan yang didasarkan pada *criteria* operasional, ekonomi dan keamanan. Tujuan utama dari RCM adalah untuk mempertahankan fungsi *system* dengan cara mengidentifikasi mode kegagalan (*failure mode*) dan

memprioritaskan kepentingan dari modekegagalan kemudian memiliki tindakan perawatan pencegahan yang efektif. Dalam aplikasih *reliability centered maintenance* (RCM) dapat kita pilah-pilah seperti berikut :

2.4.1. Langkah Proses RCM

Mempermudah dalam pelaksanaan RCM dapat terlaksana, maka dapat digunakan langkah-langka:

1. Pemilihan *system* dan pengumpulan informasi.

Dalam pemilihan *system*, *system* yang akan dipilih adalah *system* yang mempunyai frekuensi *corrective maintenance* yang tinggi, dengan biaya yang mahal dan berpengaruh besar terhadap kelancaran proses pada lingkungannya.

2. Definisi batasan *system*.

Definisi batasan *system* dilakukan untuk mengetahui apa yang termasuk dan tidak termasuk kedalam *system* yang diamati.

3. Deskripsi *system* dan functional diagram *block* (FDB).

Setelah *system* dipilih dan batasan *system* telah dibuat, maka dilakukan pendeskripsian *system*. Bertujuan untuk mengidentifikasi dan mendokumentasikan detail penting dari *system*.

4. Penentuan fungsi dan kegagalan fungsional.

Fungsi dapat diartikan sebagai apa yang dilakukan oleh suatu peralatan yang merupakan harapan pengguna. Fungsi berhubungan dengan masalah kecepatan, output, kapasitas dan kualitas produk. Kegagalan (*failure*) dapat diartikan sebagai ketidakmampuan suatu peralatan untuk melakukan apa yang diharapkan oleh pengguna. Sedangkan kegagalan fungsional dapat diartikan sebagai ketidakmampuan suatu peralatan untuk memenuhi fungsinya pada *performasi* standar yang dapat diterima oleh pengguna. Suatu fungsi dapat memiliki satu atau lebih kegagalan fungsional.

5. *Failure mode and effect analysis (FMEA).*

Mode kegagalan merupakan suatu keadaan yang dapat menyebabkan kegagalan fungsional. Apalagi mode kegagalan sudah diketahui maka memungkinkan untuk mengetahui dampak kegagalan yang menggambarkan apa yang akan terjadi ketika mode kegagalan tersebut terjadi, selanjutnya digunakan untuk menentukan konsekuensi dan memutuskan apa yang akan dilakukan untuk mengantisipasi, mencegah, mendeteksi atau memperbaikinya.

6. *Logic tree analysis (LTA)*

Logic tree analysis merupakan suatu alat pengukuran kualitatif untuk mengklasifikasikan mode dari kegagalan. Mode suatu kegagalan dapat diklasifikasikan kedalam 4 katagori yaitu :

a. *Safety problem (katagori A)*

Mode kegagalan mempunyai konsentersasi dapat melukai atau mengancam jiwa seseorang.

b. *Outage problem (katagori B)*

Mode suatu kegagalan dapat mengakibatkan suatu system yang digunakan tidak dapat bekerja.

c. *Minor to infestigation economic problem (katagori C)*

Mode kegagalan yang tidak berdampak pada segi keamanan maupun membuat system tidak bekerja. Mode berikut hanya tergolong berdampak kecil dan dapat diabaikan.

d. *Hidden failure (katagori D)*

Kegagalan yang terjadi pada sebuah *system* tidak dapat diketahui atau teridentifikasi oleh operator.

7. *Task selection* (pemilihan kebijakan perawatan)

Tesk selection dilakukan untuk menentukan kebijakan-kebijakan yang mungkin unntuk diterapkan (*efektif*) dan memiliki *task* yang paling efisien untuk setiap mode kegagalan.

a. Efektif

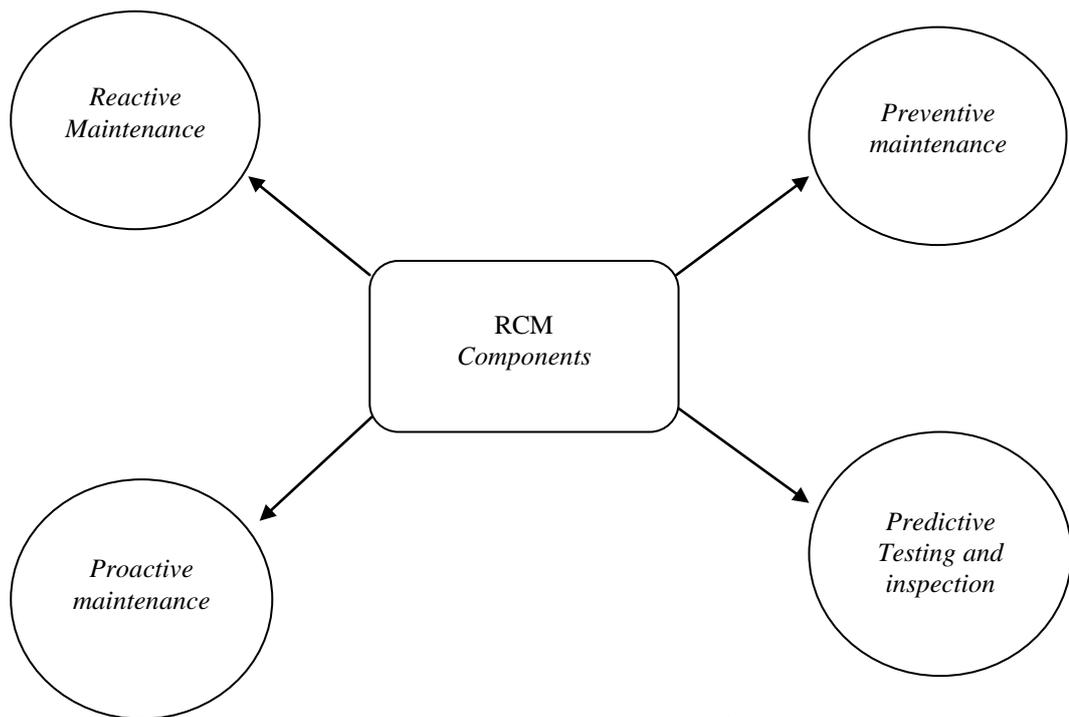
Berarti kebijakan perawatan yang dilakukan dapat mencegah, mendeteksi suatu kegagalan yang terjadi pada sebuah *system* atau menemukan *hidden failure*.

b. Efisien

Berarti kebijakan perawatan yang dilakukan ekonomis bila dilihat dari total biaya perawatan.

2.4.2. komponen dari RCM

Didalam RCM terdiri beberapa komponen penting seperti terlihat pada gambar.



Gambar 26. Komponen RCM

(Sumber : *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

2.4.2.1. *Reactive maintenance*

Ini adalah jenis perawatan yang diperinsipkan pada pengoprasian untuk sampai rusak, atau perbaikan ketika rusak. Perawatan jenis ini hanya dilakukanketika proses deteriorasi sudah menghasilkan kerusakan.

2.4.2.2. *Preventive maintenance*

Perawatan jenis ini sering disebut *time based maintenance*, sudah dapat mengurangi frekuensi kegagalan ketika perawatan jenis ini diterapkan, jika dibandingkan dengan *reactive* perawatan. perawatan jenis ini dilakukan tanpa mempertimbangkan kondisi komponen, kolaborasi, pelumasan, dan pembersian. Perawatan jenis ini sangat tidak efektif dan tidak efisien dari segi biaya ketika diterapkan sebagai satu-satunya metode perawatan dalam sebuah plant.

2.4.2.3. *Predictive testing and inspection (PTI)*

Walaupun banyak metode yang lain dapat digunakan untuk menentukan jadwal *preventive maintenance*, namun tidak ada yang tepat dan akurat sebelum didapatkan *age-reliability characteristic* dari sebuah komponen, biasanya informasi ini tidak ada, namun harus segera didapatkan untuk komponen baru. Pengalaman menunjukkan bahwa PTI sangat berguna untuk menentukan kondisi suatu komponen terhadap umurnya.

1. *Monitoring equipment*

Tujuan utama memonitor sebuah unit adalah mengetahui keadaan dan mendapat *trend* dari kondisi

equipmen tersebut dari waktu ke waktu. Pendekatan yang digunakan :

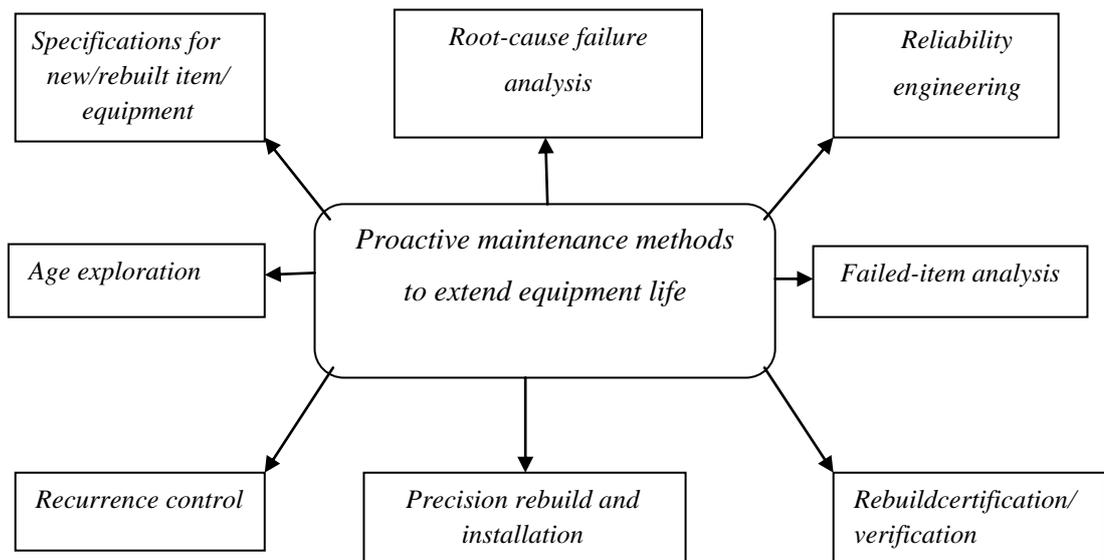
- a. Antisipasi kegagalan dari pengalaman yang sebelumnya (*failure anticipation from pastexperience*), sering kali pengalaman kegagalan sebelumnya dapat digunakan untuk menentukan *trend* kegagalan.
- b. Statistik distribusi kegagalan (*failure distribution statistic*), distribusi kegagalan dan propabilitas kegagalan harus diketahui untuk menentukan periode akan terjadinya kegagalan.
- c. Pendekatan konservatif (*conservative approach*), praktik yang sering dilakukan dilapangan adalah melakukan *monitoring* secara rutintiap bulan atau tiap minggu. Sering kali data yang didapatkan tidak mencukupi untuk mengetahui kondisi unit, hal ini akan menyebabkan periode atau *interval monitoring* semangkin diperpendek.

2. Tes Prediksi dan Inpeksi (*Prediction Testing Inspection*)

PTI seringkali disebut sebagai *conditionin gmonitoring* atau *predictive maintenance*. PTI dapat digunakan untuk mendistifikasi *time based maintenance*, karena hasilnya digeransi oleh kondisi unit yang terkontrol. Data PTI yang diambil secara periodik dapat digunakan untuk menentukan *trend* kondisi *equipment*, perbandingan data antara *equipment*, proses analisis statistik, dan sebagainya. PTI tidk dapat digunakan sebagai satu-satunya metode perawatan, karena PTI tidak dapat mengatasi semua metode potensi kegagalan.

2.4.2.4 Proactive Maintenance

Tipe perawatan ini akan menuntun pada : *desain, workmanship, instalasi, prosedur dan scheduling maintenance* yang lebih baik. Karakteristik dari *proactive maintenance* adalah *continous improvement* dan menggunakan informasi balik serta komunikasi untuk memastikan bahwa usaha perbaikan yang dilakukan benar-benar membawa hasil yang positif. Analisa *root-cause failure* dan *predictiveanalysis* diterapkan antara lain untuk mendapatkan perawatan yang efektif, menyusun *interval* kegiatan perawatan, dan memperoleh *life cycle*. Dari gambar 26 menunjukkan aspek yang merupakan bagian dari *proactive maintenance* untuk mendapatkan *life extent*.



Gambar 27. Aspek dari *proactive maintenance*

(Sumber : *Basic Mechanical Courses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

1. *Reliability Engineering*

Reliability engineering merupakan sebuah jembatan penghubung dari pendekatan *proactive maintenance*, seperti : desain ulang, modifikasi atau perbaikan dari penggantian komponen. Dalam beberapa kasus melakukan redesain merupakan suatu keharusan untuk mendapatkan *reliability* yang lebih baik.

2. *Failed Item Analysis*

Salah satu kegiatan yang termasuk *failed item analysis* adalah inspeksi visual untuk setelah komponen yang mengalami kegagalan dilepaskan dari sistemnya. *Analysis* kasus secara lebih detail diterapkan untuk mengetahui penyebab terjadinya kegagalan. Contoh sebuah *failed item analysis* : sebuah *bearing* mengalami kerusakan, penyebabnya bias dari *mis-alignment*, *unbalance*, *gears* yang buruk atau sebab lainnya.

3. *Root Cause Failure Analysis (RCFA)*

RCFA secara berkonsentrasi secara proaktif mencari penyebab terjadi kegagalan. Bedanya dengan *failed item analysis* adalah RCFA melakukan kegiatan proaktif sebelum dan juga bias sesudah terjadinya kegagalan, sedangkan *failed item analysis* mutlak setelah terjadi kegagalan. Tujuan utama dari RCFA adalah mencari penyebab terjadinya ketidak *efisienan*, ketidak ekonomisan, mengkoreksi penyebab kegagalan dan tidak hanya berkonsentrasi pada efeknya saja. membangkitkan semangat untuk melakukan perbaikan secara berkelanjutan dan menyediakan data untuk mencegah terjadinya kegagalan.

4. *Age Exploration*

Ini adalah aspek yang penting dalam program RCM. Pendekatan AE dilakukan untuk menguji kelayakan kegiatan perawatan untuk diaplikasikan dengan mempertimbangkan beberapa hal :

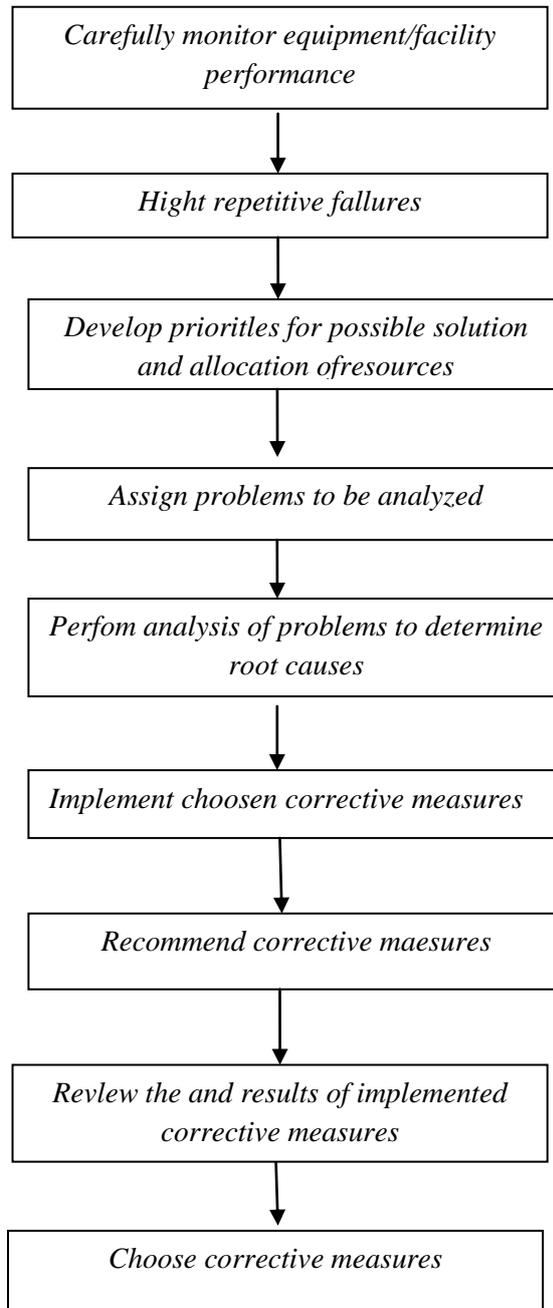
- a. *Technical Content*, adalah serangkaian verifikasi untuk memastikan bahwa semua mode kegagalan sudah ada sekarang dapat membawa ke kondisi *reliability* yang lebih baik.
- b. *Perfomaence Interval*, adjustment dilakukan berkelanjutan sampai penurunan potensi terjadinya kegagalan dapat diturunkan.
- c. *Tesk Grouping*, pekerjaan yang mempunyai periode yang sama dikelompokkan menjadi satu, tujuannya untuk mengefisienkan waktu.

5. *Spesifikasi For New, Rebuild Item, Equipment*

Pendekatan kegiatan ini adalah melakukan dokumentasi sebuah unit, seperti dokumentasi data awal (*commissioning*), seperti *vibrasi, alignment, balancing*, juga melakukan perbandingan data berbagai *merkequipment*. Hal-hal tersebut dilakukan sehingga dalam melakukan pembelian komponen atau unit baru dapat memperoleh spesifikasi yang lebih baik yang merupakan koreksi dari data-data yang sebelumnya.

6. *Recurrence Control*

Seperti arti kata *reccurence* yaitu keadaan sakit yang berulang, maka definisi *reccurence control* adalah mengontrol kegagalan yang terjadi berulang. Kegagalan berulang dapat terjadi akibat ketidakmampuan mencari informasi yang cukup tentang penyebab terjadinya kegagalan tersebut. Beberapa situasi yang dapat digolongkan sebagai kegagalan berulang adalah kegagalan berulang yang terjadi pada sebuah *equipment*, kegagalan yang berulang yang terjadi pada *system*. Kegagalan pada sebuah *part* yang terjadi pada beberapa *eequipment* atau *system*.



Gambar 28.Langkah *Analysis* Kegagalan berulang.
(Sumber : *Basic MechanicalCourses* PT. Pamapersada Nusantara Tbk)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah pendekatan sistematis yang menerapkan suatu metode pentabelan untuk membantu proses pemikiran yang digunakan oleh *engineers* untuk mengidentifikasi

mode kegagalan potensial dan efeknya. FMEA merupakan teknik *evaluasi* tingkat keandalan dari sebuah sistem untuk menentukan efek dari kegagalan dari sistem tersebut. Kegagalan digolongkan berdasarkan dampak yang diberikan terhadap kesuksesan suatu misi dari sebuah sistem. Secara umum, FMEA didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidentifikasi tiga hal, yaitu:

- Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain produk, dan proses selama siklus hidupnya,
- Efek dari kegagalan tersebut,
- Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk, dan proses.

FMEA merupakan alat yang digunakan untuk menganalisa keandalan suatu sistem dan penyebab kegagalannya untuk mencapai persyaratan keandalan dan keamanan sistem, desain dan proses dengan memberikan informasi dasar mengenai prediksi keandalan sistem, desain, dan proses terdapat lima tipe FMEA yang bisa diterapkan dalam sebuah industri pertambangan, yaitu:

- *System*, berfokus pada fungsi sistem secara global
- *Design*, berfokus pada desain produk
- *Process*, berfokus pada proses produksi, dan perakitan
- *Service*, berfokus pada fungsi jasa
- *Software*, berfokus pada fungsi *software*

Berikut ini adalah tujuan yang dapat dicapai oleh perusahaan dengan penerapan FMEA :

- Untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan tingkat keparahan efeknya
- Untuk mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik *signifikan*
- Untuk mengurutkan pesanan desain potensial dan defisiensi proses

- Untuk membantu fokus *engineer* dalam mengurangi perhatian terhadap produk dan proses, dan membantu mencegah timbulnya permasalahan.

Dari penerapan FMEA pada perusahaan, maka akan dapat diperoleh keuntungan-keuntungan yang sangat bermanfaat untuk perusahaan antara lain:

- Meningkatkan kualitas, keandalan, dan keamanan produk
- Membantu meningkatkan kepuasan pelanggan
- Meningkatkan citra baik dan daya saing perusahaan
- Mengurangi waktu dan biaya pengembangan produk
- Memperkirakan tindakan dan dokumen yang dapat mengurangi resiko.

Sedangkan manfaat khusus dari proses FMEA bagi perusahaan adalah:

- Membantu menganalisis proses manufaktur baru.
- Meningkatkan pemahaman bahwa kegagalan potensial pada proses manufaktur harus dipertimbangkan .
- Mengidentifikasi defisiensi proses, sehingga para *engineer* dapat berfokus pada pengendalian untuk mengurangi munculnya produksi yang menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan yang diinginkan atau pada metode untuk meningkatkan deteksi pada produk yang tidak sesuai tersebut.
- Menetapkan prioritas untuk tindakan perbaikan pada proses.
- Menyediakan dokumen yang lengkap tentang perubahan proses untuk memandu pengembangan proses manufaktur atau perakitan di masa datang.

Output dari proses FMEA adalah:

- Daftar mode kegagalan yang potensial pada proses
- Daftar *criticalcharacteristic* dan *significant characteristic*.
- Daftar tindakan yang direkomendasikan untuk menghilangkan penyebab munculnya mode kegagalan atau untuk mengurangi tingkat kejadiannya dan untuk meningkatkan deteksi terhadap produk cacat bila kapabilitas proses tidak dapat ditingkatkan.

FMEA merupakan dokumen yang berkembang terus. Semua pembaharuan dan perubahan siklus pengembangan produk dibuat untuk produk atau proses. Perubahan ini dapat sering digunakan untuk mengenal mode kegagalan baru. Mengulas dan memperbaharui FMEA adalah penting terutama ketika:

- Produk atau proses baru diperkenalkan.
- Perubahan dibuat pada kondisi operasi produk atau proses diharapkan berfungsi.
- Perubahan dibuat pada produk atau proses, dimana produk atau proses diharapkan berfungsi.
- Perubahan dibuat pada produk atau proses, dimana produk atau proses berhubungan jika desain produk dirubah , maka proses terpengaruh begitu juga sebalik nya.
- Konsumen memberikan indikasi masalah pada produk atau proses.