

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Digester

Digester seperti pada gambar 2.1 merupakan alat untuk melumatkan buah sawit dengan cara mengaduk menggunakan *stirring arm* dan bisa disebut pisau pengaduk dengan kecepatan putaran didalam bejana slinder tegak. Proses pengadukan juga dibantu oleh *live steam injection* kedalam bejana dengan temperatur 90-95 °C, hingga daging buah menjadi lebih lunak dan minyak sawit mudah terpisah dari daging buah.



Gambar 2.1 Mesin *Digester*

Adapun fungsi mesin *digester* pabrik kelapa sawit adalah untuk melumatkan buah sawit (brondolan) sehingga daging buah sawit ini bisa

terpisah dari nut/biji dan hal ini akan memudahkan proses mem-pres buah sawit di dalam mesin screw press (Mesin Pks).

2.1.1 Bagian Utama Mesin *Digester*

Adapun bagian utama pada mesin *digester* sebagai berikut :

1. Motor Listrik

Motor listrik pada gambar 2.2 merupakan tenaga penggerak mula pada bagian utama dari mesin *digester* untuk proses pengadukan, sebagai suatu sistem penggerak menggunakan motor listrik AC 3 Phase, Ip 55 *splash proof*, dengan daya kemampuan untuk beban kontinyu dan jumlah putaran yang sesuai untuk *digester*.



Gambar 2.2 Motor listrik

2. Gearbox/Transmisi

Pada gambar 2.3 *gearbox* yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya mesin ke salah satu bagian mesin lainnya, sehingga unit tersebut dapat bergerak menghasilkan sebuah pergerakan baik putaran maupun pergeseran. *Gearbox*

merupakan suatu alat khusus yang diperlukan untuk menyesuaikan daya atau torsi (momen/daya) dari motor yang berputar pada mesin *digester*, dan pergerakan putaran pada *gearbox* yang teruskan pada poros lengan pengaduk (pisau *digester*). Dengan kecepatan putaran pada poros 21-24 Rpm.

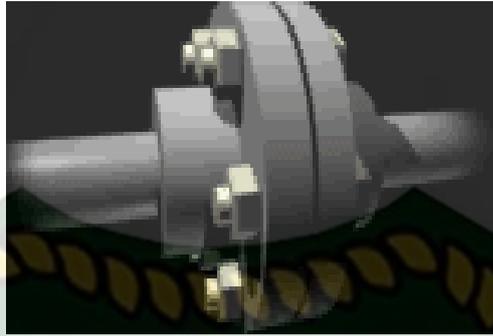


Gambar 2.3 *gearbok*

(Sumber : <http://surgapetani.blogspot.co.id/2012/11/station-digester-and-press.html>)

3. *coupling*

Coupling merupakan bagian dari mesin *digester* yang digunakan untuk menghubungkan dua poros, yaitu poros tranmisi dengan poros lengan pengaduk (pisau *digester*) dengan tujuan untuk mentransmisikan daya mekanis (putaran), *coupling* yang di pergunakan pada mesin *digester* berjenis *cone coupling*, bisa dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 *Coupling*

(sumber: <http://shrivishwakarma.in/2016/05/07/half-gear-couplings>)

4. *square shaft* (poros)

Poros merupakan suatu bagian yang terpenting dari setiap mesin, hampir setiap mesin meneruskan tenaga melalui putaran. poros pada mesin *digester* terdiri dari dua bagian, satu pendek dan satu panjang, poros ini di sambung tegak lurus dengan poros *reduction gearbox* yaitu poros pendek yang berasal dari *gearbox* yang menggunakan sambungan berupa kopleng, gambar 2.5 poros pada *digester* ini sebagai tempat pisau-pisau pengaduk.



Gambar 2.5 poros

5. *Short Stirring Arm Dan Long Stirring Arm*

Short string arm dan *long stirring arm* merupakan mata pisau digester yang mempunyai fungsi yang sama, yaitu berfungsi sebagai pemecah dan pengaduk buah kelapa sawit di dalam *digester*, pisau-pisau ini dipasang pada poros utama, yang terdiri dari 3 tingkat dan terdapat 6 jumlah pisau didalam *digester*. Perbedaan dari kedua pisau ini yaitu dari segi panjang dan pendek pada pisau *digester*, bisa kita lihat gambar 2.6 pisau *digester* sebagai berikut :



Gambar 2.6 Pisau Digester

(Sumber : <http://www.riaubajaindo.com/products/digester-arm-long-dan-short>)

6. *Liner*

Liner merupakan sebuah tabung atau selinder yang terbuat dari plat besi baja yang tahan dari korosi dan aus yang berperan

sebagai wadah atau tempat di dalam proses pengadukan berjalan pada *digester*.



Gambar 2.7 Liner

(sumber: <http://surgapetani.blogspot.co.id/2012/11/station-digester-and-press.html>)

7. *Expeller Arms*

Expeller arm merupakan pisau digester yang berfungsi sebagai pelempar berondolan sawit yang sudah di lumat menuju mesin *fress*, gambar 2.8 merupakan contoh *expeller arm*.

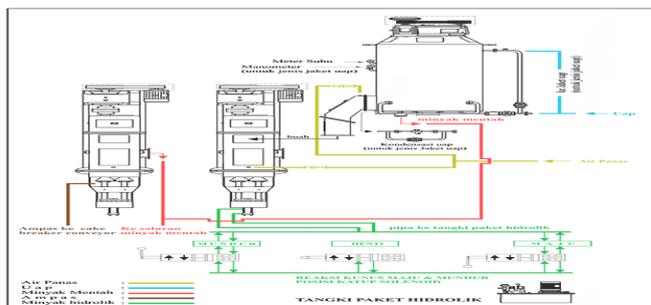


Gambar 2.8 *Expeller Arms*

(Sumber : <http://www.riubajaindo.com/products/digester-arm-long-dan-short>)

2.2 Cara Kerja Mesin Digester

Sebelum kita mengoperasikan mesin terlebih dahulu hidupkan elektro motor atau motor listrik pada posisi hidup (*on*), dengan berputarnya elektro motor dan dihubungkan ke poros I dan *gearbox* melalui sabuk, maka poros II dapat berputar dengan adanya kopling, kecepatan elektro motor memutar pada *gearbox* adalah 1500 rpm kemudian diubah menjadi 24 rpm. Buka katup valve steam (kran pipa uap masuk) sebelum *digester* diisi, hal ini bertujuan untuk memanaskan *digester*, bila sudah mencapai $\pm 95^{\circ}\text{C}$ dan merata maka berondolan dimasukkan ke *digester* melalui *screw conveyor* atas. Didalam *digester* tersebut buah atau berondolan yang sudah terisi penuh diputar atau diaduk dengan menggunakan pisau atau parang pengaduk (*long steering arms*) yang terpasang pada bagian poros II, sedangkan pisau bagian dasar sebagai pelempar atau mengeluarkan buah dari *digester* ke *screw press*. Dengan adanya pisau pengaduk inilah buah yang masuk akan tercecah dan memecah serta membuka susunan daging buah juga sekaligus melunakkan buah dengan sempurna akibat adanya uap panas (*steam*). Dari penjelasan cara kerja mesin *digester* bisa di lihat pada gambar 2.9 (jhon, 2008).



Gambar 2.9 skema kerja mesin *digester*

2.3 Material

Dalam dunia teknologi yang semakin berkembang diperlukan bahan-bahan yang mempunyai sifat-sifat yang baik, seperti kuat, liat dan tahan panas, tahan aus, tahan benturan dan tahan korosi. Sifat-sifat yang baik dari suatu bahan sangat bergantung pada struktur mikro yang membangun unsur logam tersebut. Suatu bahan logam dapat dirubah sifat-sifat dan struktur mikronya dengan cara melakukan proses-proses mekanik dan penambahan bahan kimia pada logam tersebut. Demi kemudahan, material diklasifikasikan menjadi berbagai tipe yang memiliki karakteristik yang sama. Salah satu cara pengelompokan berdasarkan ikatan atom dan struktur, menghasilkan kelompok logam, polimer, dan keramik. Pengelompokan ini berkaitan erat dengan pemrosesan.

Biasanya material yang digunakan dalam pembuatan pisau *digester* terbuat dari baja karbon sedang. Material baja pisau merupakan paduan yang terdiri dari besi, karbon dan unsur lainnya. Karbon merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Kandungan karbon didalam baja sekitar 0,1 – 0,7%, sedangkan unsur lain dibatasi persentasenya. Unsur paduan yang bercampur di dalam lapisan baja untuk membuat baja bereaksi terhadap pengerjaan panas atau menghasilkan sifat-sifat khusus.

2.3.1 Sifat Logam

Secara garis besar sifat-sifat logam dapat dibagi menjadi lima kelompok besar yaitu:

1. Sifat Densitas

Dalam kesehariannya densitas lebih dikenal dengan istilah berat jenis atau kepadatan.

2. Sifat Thermal

Sifat thermal berkaitan erat dengan kemampuan logam atau sebuah bahan dengan mengelola panas yang diterima oleh logam tersebut.

3. Sifat Konduktivitas (daya hantar)

Setiap benda atau logam mempunyai sifat daya hantar baik itu daya hantar panas ataupun daya hantar listrik.

4. Sifat Magnet

Logam juga mempunyai sifat magnet yaitu tarik menarik.

5. Sifat Mekanis

Sifat mekanis logam ini sangat erat hubungannya dengan kemampuan logam untuk menghadapi pengaruh luar. Diantara sifat mekanis adalah kekuatan tarik, kekerasan (*hardness*), keuletan (*ductility*), kekuatan (*strength*), elastisitas, fatik, plastis, *creep*, torsi dan mampu pengerjaan mesin.

Adapun pemilihan pisau *digester* juga harus memperhatikan sifat material.

2.3.2 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik material adalah hubungan antara beban atau gaya yang diberikan terhadap respons atau deformasi. Sifat mekanik baja berkaitan dengan kekuatan, kekerasan, keuletan dan kekakuan. Sifat-sifat mekanik bahan yang penting adalah:

1. Kekuatan (*strength*) adalah kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah. Kekuatan pada bahan terdiri atas beberapa macam tergantung pada jenis beban yang bekerja, contohnya kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan dan sebagainya
2. Kekuatan tarik ialah kemampuan logam dalam menahan gaya tarik yang diberikan. Setelah titik luluh, tegangan terus naik dengan berlanjutnya deformasi plastis sampai titik maksimum dan kemudian menurun sampai akhirnya patah.
3. Keuletan (*elasticity*) adalah kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Elastisitas juga menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.
4. Ketangguhan (*toughness*) yaitu kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa menyebabkan terjadinya kerusakan.
5. Kekerasan (*hardness*) yaitu kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan pengikisan (abrasi), indentasi atau penetrasi. Biasanya kekerasan suatu baja dipengaruhi oleh unsur karbon dan paduannya.
6. Kekakuan (*stiffness*), yaitu kemampuan bahan untuk menerima beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi).
7. Plastis (*plasticity*), yaitu kemampuan bahan untuk mengalami deformasi plastik (yang permanen) tanpa mengalami kerusakan.

8. Kelelahan (*fatigue*) merupakan kecenderungan dari logam untuk patah bila menerima tegangan yang berulang-ulang yang besarnya masih jauh di bawah batas kekuatan elastisnya.
9. *Creep* merupakan kecendrungan suatu logam untuk mengalami deformasi plastis yang besarnya merupakan fungsi waktu, pada saat bahan tadi menerima beban yang relatif tetap.
10. *Resilience* adalah kapasitas material untuk menyerap energi ketika mengalami deformasi elastis dan ketika beban dilepaskan energi ini juga dilepaskan (Mustazama, 2010).

Salah satu sifat material yang di perlukan pada pisau *digester* yaitu sifat kekerasan dimana kemampuan bahan untuk tahan terhadap pengikisan.

2.4 Kegagalan Mekanik (*Failure*)

Kegagalan defenisikan dimana produk tidak lagi mampu memenuhi tujuan pemakainnya. Pada beberapa produk, kegagalan dapat terjadi secara mendadak, sementara produk lain mengalami kemunduran fungsi secara bertahap, dalam beberapa periode beberapa bukan bahkan tahun. Karena kegagalan suatu produk atau alat terjadi didalam materialnya, wajar apabila kita mengasumsikan bahwa ada sesuatu kekurangan pada material itu. Akan tetapi, kegagalan beberapa produk terjadi karena perhitungan desain yang salah atau kondisi pemakaian yang tidak diantisipasi sebelumnya, namun ada juga produk mengalami kegagalan karena perawatan yang kurang baik (Laurence, 1989).

Kegagalan pada suatu elemen mesin dapat terjadi dalam berbagai wujud seperti yielding, retak, patah, scoring, pitting, aus, korosi dan lain-lain.

Penyebab kegagalan biasanya di tentukan dengan mengkaitkannya pada satu atau lebih bentuk kegagalan yang spesifik dan dari sini akan menjadi gagasan utama dari kegiatan analisa kegagalan, kegagalan sering di monitor dari perancangan, operasi dan pemeliharaan.

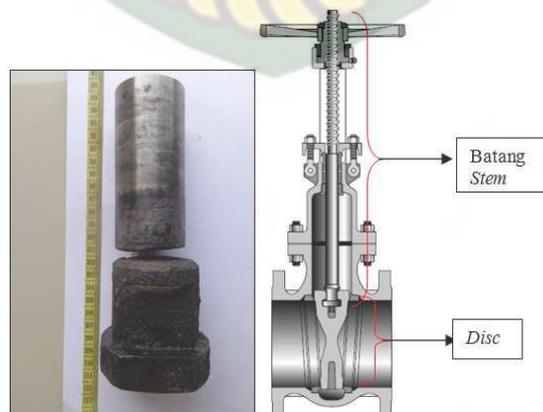
Penyebab kegagalan pada komponen teknik dapat di bagi menjadi menjadi tiga :

1. Kegagalan akibat dari desain dan pemilihan bahan yang tidak tepat.
2. Kegagalan akibat pemrosesan yang tidak tepat.
3. Kegagalan akibat keausan selama keausan.

Dari beberapa penyebab kegagalan yang telah di bahas, mekanisme – mekanisme yang mungkin terjadi antara lain seperti patah rapuh, patah ulet, fatik, kegagalan akibat beban tekan, luluh total, dan korosi retak tegang (Galih, 2016).

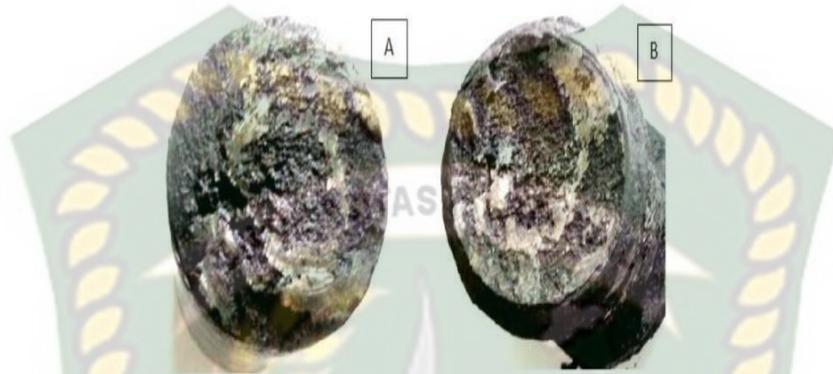
Bisa dilihat pada Bentuk – bentuk kegagalan pada material lainnya sebagai berikut:

- Kegagalan pada steam gate valve yang berupa patah, posisi patahan pada gate valve bisa di lihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 posisi patahan pada komponem steam gate valve.

Secara visual permukaan patahan pada steam gate valve berupa kegagalan patah getas, bisa di lihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 permukaan patahan steam bagian atas (a) dan bagian bawah (b).

- Kegagalan pada poros spindle mesin discontinue centrifugal secara visual makro poros mengalami kegagalan berupa patah getas, yang bisa di lihat pada gambar 2,12.



Gambar 2.12 permukaan patahan poros spidel mesin discontinue

- Kegagalan pada poros belakang kendaraan, pada gambar 2.13 merupakan permukaan visual patahan poros yang bentuk kegagalan patah lelah yang penyebab kegagalan akibat beban benturan berulang-ulang (M. Syahril, 2013).



(a)



(b)

Gambar 2.13 Area patah lelah pada poros (a) dan bentuk permukaan patahan lelah pada poros roda belakang (b).

Komponen mesin yang membentuk sebuah mesin atau peralatan sehingga jika satu komponen mesin tersebut mengalami kegagalan, maka akan terjadi :

1. Mesin atau peralatan tersebut tidak dapat dioperasikan sama sekali.
2. Mesin atau peralatan dapat dioperasikan, tetapi tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya.
3. Mesin atau peralatan tidak aman bila dioperasikan.

2.5 Keausan Material

Keausan adalah pengurangan ketebalan permukaan akibat gesekan yang terjadi pada pembebanan dan gerakan. Keausan umumnya dianalogikan sebagai hilangnya materi sebagai akibat interaksi mekanik dua permukaan yang bergerak *sliding* dan dibebani. Ini merupakan fenomena normal yang terjadi jika dua permukaan saling bergesekan, maka akan ada keausan atau perpindahan materi yang terjadi antara dua benda yang bergesekan.

Suatu komponen struktur dan mesin agar berfungsi dengan baik sebagaimana mestinya sangat tergantung pada sifat-sifat yang dimiliki material. Material yang tersedia dan dapat digunakan oleh para *engineer* sangat beraneka ragam, seperti logam, polimer, keramik, *glass*, dan komposit. Sifat yang dimiliki oleh material terkadang membatasi kinerjanya. Namun demikian, jarang sekali kinerja suatu material hanya ditentukan oleh satu sifat, tetapi lebih kepada kombinasi dari beberapa sifat. Salah satu contohnya adalah ketahanan-aus (*wear resistance*) merupakan fungsi dari beberapa sifat material (kekerasan, kekuatan, dll), friksi serta pelumasan.

Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme yang beragam. Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah metode *Ogoshi* dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang

pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terkelupas dari benda uji.

Keausan sendiri mempunyai dua sifat yaitu keausan normal dan keausan tidak normal (akibat penggantian minyak pelumas yang tidak teratur). Kemudian hal – hal yang mempengaruhi keausan :

1. Pembebanan
2. Kecepatan
3. Jumlah minyak pelumas
4. Jenis minyak pelumas
5. Temperatur
6. Kekerasan permukaan
7. Kehalusan permukaan
8. Adanya benda – benda asing
9. Adanya benda kimia

Sebagaimana telah di jelaskan, material jenis apapun akan mengalami keausan dengan mekanisme yang beragam, yaitu keausan *adhesive*, keausan *abrasive*, keausan lelah, keausan oksidasi dan keausan erosi.

Berikut penjelasan ringkas dari mekanisme-mekanisme tersebut :

1. Keausan *Adhesive (Adhesive Wear)*

Keausan *adhesif* adalah salah satu jenis keausan yang disebabkan oleh terikat atau melekat (*adhesive*) atau berpindahannya partikel dari suatu permukaan material yang lemah ke material yang lebih keras serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pelepasan/pengoyakan salah satu material. Proses bermula ketika benda dengan kekerasan yang lebih tinggi menyentuh permukaan yang lemah kemudian terjadi pengikatan. Pengikatan ini terjadi secara spontan dan dapat terjadi dalam suhu yang rendah atau moderat. *Adhesive wear* sering juga disebut *galling, scoring, scuffing, seizure, atau seizing*.

Faktor – faktor yang menyebabkan keausan *adhesive* :

- a. Kecenderungan dari material yang berbeda untuk membentuk larutan padat atau senyawa *intermetalik*.
 - b. Kebersihan permukaan.
- ### 2. Keausan Abrasif (*Abrasive Wear*)

Keausan jenis ini terjadi bila suatu partikel keras (*asperity*) dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (*degree of freedom*) partikel keras atau *asperity* tersebut.

Sebagai contoh partikel pasir silica akan menghasilkan keausan yang lebih tinggi ketika diikat pada suatu permukaan seperti pada kertas amplas, dibandingkan bila partikel tersebut berada di dalam sistem *slurry*. Pada kasus pertama, partikel tersebut kemungkinan akan tertarik sepanjang permukaan dan

akhirnya mengakibatkan pengoyakan. Sementara pada kasus terakhir, partikel tersebut mungkin hanya berputar (*rolling*) tanpa efek abrasi.

Ada dua kategori keausan ini, yaitu:

a. *Two body abrasion*

Keausan ini disebabkan oleh hilangnya material karena proses *rubbing* (penggarukan) oleh material lain yang lebih keras dibanding material yang lain. Sehingga material yang lunak akan terabrasi. Contohnya pada proses permesinan, antara lain *cutting*, atau *turning*.

b. *Three body abrasion*

Aus yang disebabkan proses *galling* sehingga serpihan hasil gesekan yang terbentuk (*debris*) mengeras serta ikut berperan dalam hilangnya material karena proses gesekan yang terjadi secara berulang-ulang. Jadi pengertian “tiga benda” disini adalah dua material yang saling bergesekan dan sebuah benda serpihan hasil gesekan. Sedangkan pada keausan “dua benda”, *debris* atau serpihan hasil gesekan tidak ada. *Debris* berasal dari logam lembaran yang teradhesi pada permukaan alat cetak, kemudian karena proses pembentukan yang terjadi, serpihan ini akan menggaruk permukaan pelat, sehingga terjadilah keausan secara abrasif.

Faktor yang berperan dalam kaitannya dengan ketahanan material terhadap *abrasive wear* antara lain:

- Material *hardness*
- Kondisi struktur mikro
- Ukuran abrasif

- Bentuk abrasif

Bentuk kerusakan permukaan akibat *abrasive wear*, antara lain :

- Scratching*
- Scoring*
- Gouging*

3. Keausan lelah (*Surface Fatigue Wear*)

Keausan lelah/*fatik* pada permukaan, pada hakikatnya bisa terjadi baik secara abrasif atau adhesif. Tetapi keausan jenis ini terjadi akibat interaksi permukaan, dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Hal ini akan berakibat pada meningkatnya tegangan gesek.

4. Keausan Oksidasi / Korosif (*Tribo Chemical Wear*)

Keausan kimiawi merupakan kombinasi antara proses mekanis dan proses termal yang terjadi pada permukaan benda serta lingkungan sekitarnya. Sebagai contoh, proses oksidasi yang sering terjadi pada sistem kontak luncur (*sliding contact*) antar logam. Proses ini lama kelamaan akan menyebabkan perambatan retak dan juga terjadi abrasi. Peningkatan suhu dan perubahan sifat mekanis pada asperiti adalah akibat dari keausan kimiawi. Keausan jenis ini akan menyebabkan korosi pada logam.

5. Keausan Erosi (*Erosion Wear*)

Proses erosi disebabkan oleh gas dan cairan yang membawa partikel padatan yang membentur permukaan material. Jika sudut benturannya kecil, keausan yang dihasilkan analog dengan abrasive. Namun, jika sudut benturannya membentuk sudut gaya normal (90^0), maka keausan yang terjadi akan mengakibatkan *brittle failure* pada permukaannya.

2.5.1. Model-Model Keausan

A. Model Keausan Archard

Archard 1953 mengusulkan suatu model pendekatan untuk mendeskripsikan keausan *sliding*. Dia berasumsi bahwa parameter kritis dalam keausan *sliding* adalah medan tegangan di dalam kontak dan jarak *sliding* yang relatif antara permukaan kontak. Model ini sering dikenal sebagai hukum keausan Archard (*Archard's wear law*). Sebenarnya bentuk dasarnya pertama kali diterbitkan oleh Holm.

Model didasarkan pada pengamatan-pengamatan bersifat percobaan. Bentuk persamaan sederhana dari model keausan ini adalah:

$$\frac{V}{L} = K \cdot \frac{F_N}{H} \quad \text{Dan,}$$

$$V = K_D \cdot L \cdot \frac{F_N}{H} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

V = volume material yang hilang akibat keausan (m^3)

L = jarak *sliding*/ jarak lintas meluncur (m)

F_N = beban normal (N)

H = kekerasan dari material yang mengalami keausan (Pascal)

k = koefisien keausan tak berdimensi

k_D = koefisien keausan yang berdimensi

Koefisien keausan (k) merupakan suatu konstanta yang disediakan untuk mencocokkan perhitungan antara teori dan pengujian.

B. Model Keausan Sarkar

Pada tahun 1980, Sarkar memodifikasi model keausan Archard dengan pertimbangan adanya suatu koefisien gesek antara permukaan yang saling bergesekan. Seperti yang didiskusikan sebelumnya, hubungan antara koefisien gesek dan tingkat keausan lebih kompleks. Meskipun begitu, Sarkar telah memodifikasi suatu model keausan yang menghubungkan antara koefisien gesek dengan volume yang hilang dari bahan. Model keausan ini adalah pengembangan model keausan Archard, sehingga menjadi:

$$\frac{V}{S} = K \cdot \frac{F_N}{H} \cdot \sqrt{1 + 3 \cdot \mu^2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

V = volume material yang hilang akibat keausan (m^3)

L = jarak *sliding*/jarak lintas meluncur (m)

F_N = beban normal (N)

H = kekerasan dari material yang mengalami keausan (Pascal)

k = koefisien keausan tak berdimensi

μ = koefisien gesek

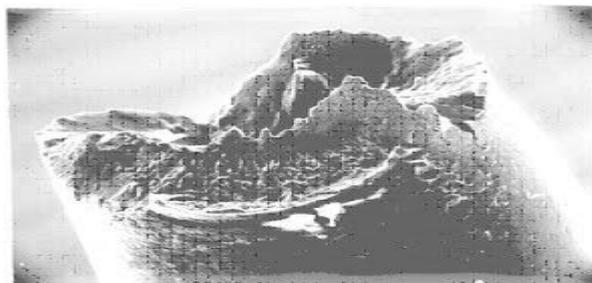
2.6 Perpatahan (*Fract ure*)

Perpatahan dalam pengertian sederhana merupakan pemisahan material menjadi dua atau lebih sebagai reaksi terhadap tegangan statis (konstan) dan suhu relatif rendah terhadap material.

Digolongkan berdasarkan pada kemampuan suatu material untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (deformasi plastis) dan perambatan retak nya sebagai berikut:

- a. Patah ulet (*ductile fracture*)

Patah ulet merupakan patahan disertai perubahan bentuk plastis.



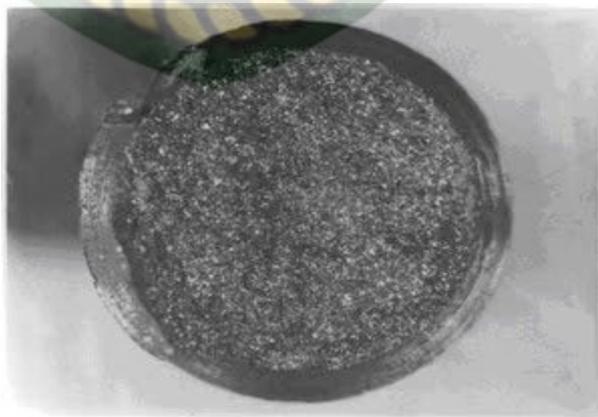
Gambar 2.14 Bentuk patah ulet

Ciri-ciri patah ulet antara lain :

1. Terjadi deformasi plastis yang cukup besar sebelum patah.
 2. Bidang geser (shear lip) biasanya nampak atau di temukan pada akhir patah.
 3. Permukaan patahan berserat (fibrous) tergantung jenis material.
 4. Pertumbuhan retak berjalan lambat.
- b. Patah getas (*brittle fracture*)

Patah getas atau patah rapuh terjadi apabila material logam pada saat patah tidak mengalami perubahan bentuk plastis atau pengecilan penampang, ciri-ciri patah rapuh antara lain:

1. Tidak ada atau terjadinya sedikit deformasi elastis.
2. Permukaan patahan umumnya datar dan tegak lurus terhadap permukaan komponen.
3. Struktur patahan bentuk granular atau kristalin dan merefleksikan cahaya retak, tumbuh atau menjalar cepat dan sering disertai suara kuat. dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Bentuk patah getas

c. Perpatahan transgranular

Perpecahan dalam material *crystalline* yang paling rapuh, perambatan retakan yang dihasil dari pemecahan ikatan atom yang berulang pada bidang tertentu. Hal ini menyebabkan perpatahan transgranular, dimana retakan terbagi (pecah) menjadi butiran.

d. Perpatahan intergranular

Kerusakan intergranular biasanya terjadi karena penipisan atau penurunan unsur chromium pada batas butir atau semacam melemahnya batas butir.

Perpatahan karena beban dinamis dikenal dengan perpatahan lelah (fatik) merupakan kerusakan material yang diakibatkan oleh adanya tegangan yang berfluktuasi yang besarnya lebih kecil dari tegangan tarik maksimum (ultimate tensile strength) maupun tegangan luluh (yield). Apabila suatu material di kenai tegangan berulang maka material tersebut akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban static.

Ada pun mekanisme terjadinya kegagalan fatik dapat di bagi 3 fase yaitu sebagai berikut :

1. Awal retak (crack initiation)

Mekanisme fasik umumnya dimulai dari awal retak yang terjadi di permukaan material yang lebih lemah atau daerah yang mana terjadinya konsentrasi tegangan dipermukaan akibat adanya pembebanan yang berulang.

2. Perambata retak (crack propagation)

Jumlah total siklus yang menyebabkan kegagalan merupakan penjumlahan jumlah siklus yang menyebabkan retakan awal dan fase perambatannya, retakan awal ini berkembang menjadi retakan halus. Dari retakan halus ini kemudian membentuk retakan besar yang akan berujung pada perpatahan.

3. Patah

Perpatahan terjadi ketika material telah mengalami siklus tegangan dan regangan yang menghasilkan kerusakan yang permanen. Ketika terjadi penjararan retak, penampang pada bagian tersebut tidak mampu menahan beban yang terakhir kali, pada tahap ini penjararan retak yang terjadi sangat cepat sehingga struktur akan terpecah menjadi dua.

2.7 Pengujian Material

Ilmu logam ialah ilmu mengenai bahan-bahan logam dimana ilmu ini berkembang bukan berdasarkan teori saja melainkan atas dasar pengamatan, pengukuran dan pengujian.

Pengujian bahan logam saat ini semakin meluas baik dalam konstruksi, permesinan, bangunan, maupun bidang lainnya. Hal ini disebabkan karena sifat logam yang bisa diubah.

Untuk mengetahui kualitas suatu logam, pengujian sangat erat kaitannya dengan pemilihan bahan yang akan dipergunakan dalam konstruksi suatu alat, selain itu juga bisa untuk membuktikan suatu teori yang sudah ada ataupun penemuan baru. Dalam proses perencanaan, dapat juga ditentukan jenis bahan

maupun dimensinya, sehingga apabila tidak sesuai dapat dicari penggantinya yang lebih tepat. Disamping tidak mengabaikan faktor biaya produksi dan kualitasnya.

Dalam pengujian bahan ini ada dua macam jika ditinjau berdasarkan sifat dari pengujian tersebut, yaitu :

A. Pengujian Destruktif

Pengujian destruktif adalah pengujian suatu material, tapi hasil akhirnya akan menyebabkan cacat atau rusak. Pengujian ini dilakukan dengan cara merusak benda uji dengan cara pembebanan atau penekanan sampai benda uji tersebut rusak, dari pengujian ini akan diperoleh sifat mekanik bahan. Pengujian destruktif terdiri dari :

1. Pengujian Kekerasan

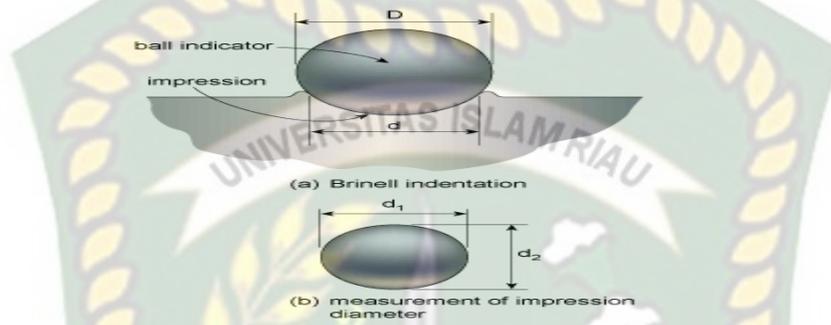
Pengujian kekerasan adalah pengujian suatu material dengan mengukur ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis. Nilai kekerasan adalah ketahanan suatu material terhadap penetrasi. Pengujian kekerasan dibagi menjadi 3 cara, yaitu :

a. Pengujian kekerasan dengan cara penekanan

Pengujian ini merupakan pengujian kekerasan terhadap bahan (logam) dimana dalam menentukan kekerasannya dilakukan dengan menganalisis indentasi pada benda uji sebagai reaksi pembebanan tekan. Pengujian ini sendiri dibagi menjadi tiga metode sesuai dengan indenter yang digunakannya. jenis-jenis pengujiannya adalah :

- Metode Brinell

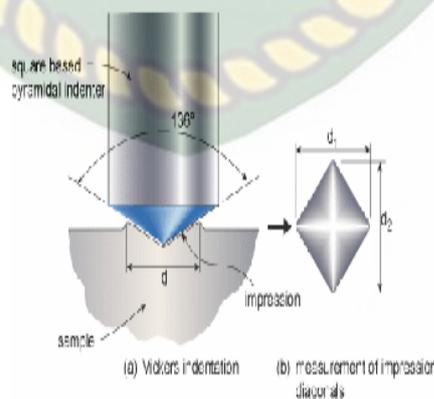
Pengujian kekerasan dengan metode brinell bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja yang ditekan pada permukaan material uji



Gambar 2.16 Pengujian Brinell

- Metode Vickers

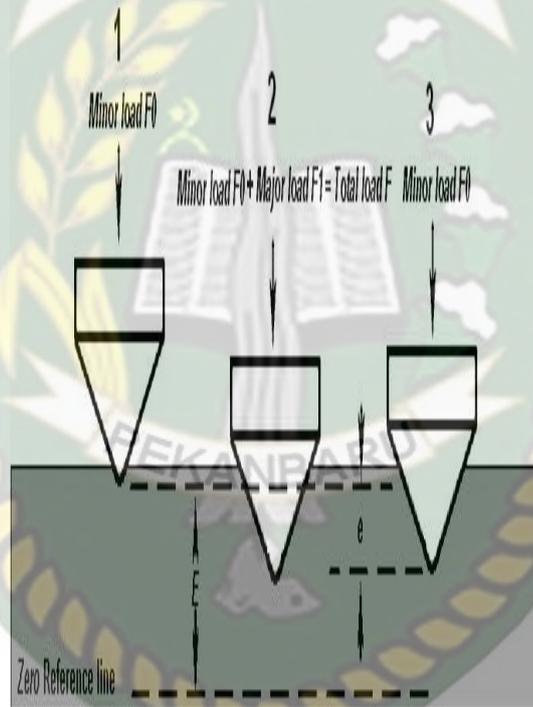
Pengujian kekerasan dengan metode vickers bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap indentor intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramid



Gambar 2.17 Pengujian Vickers

- Metode Rockwell

Pengujian kekerasan dengan metode rockwell bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor berupa kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji.



Gambar 2.18 Pengujian Rockwell

b. Pengujian kekerasan dengan cara goresan

Pengujian ini merupakan pengujian kekerasan terhadap benda (logam) dimana menentukan kekerasannya dengan mencari kesebandingan bahan yang dijadikan standar. Pengujian ini menggunakan metode Moh's.

Mohs hardness	Mineral	Chemical formula	Absolute hardness	Image
1	Talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	1	
2	Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	3	
3	Calcite	$CaCO_3$	9	
4	Fluorite	CaF_2	21	
5	Apatite	$Ca_5(PO_4)_3(OH, Cl, F)$	48	
6	Orthoclase Feldspar	$KAlSi_3O_8$	72	
7	Quartz	SiO_2	100	
8	Topaz	$Al_2SiO_4(OH, F)_2$	200	
9	Corundum	Al_2O_3	400	
10	Diamond	C	1600	

Gambar 2.19 Pengujian Metode Goresan

c. Pengujian kekerasan dengan cara dinamik

Pengujian ini merupakan pengujian kekerasan yang dilakukan dengan cara mengukur tinggi pantulan dari bola baja atau hammer intan yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu. Skeleroskop shore (shore scleroscope) merupakan contoh paling umum dari suatu alat uji kekerasan dinamik.

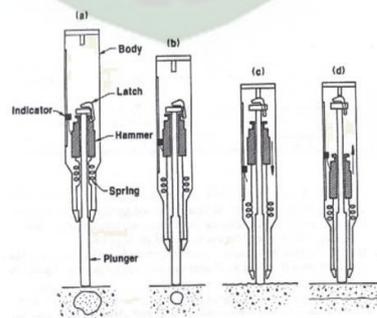
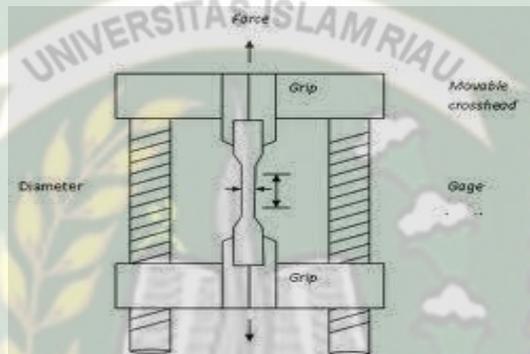


FIG. 1.0 A cutaway schematic view of the Schmidt rebound hammer.

Gambar 2.20 Pengujian Kekerasan Secara Dinamik

2. Pengujian Tarik

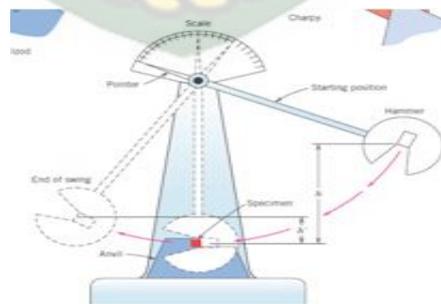
Pengujian tarik adalah pengujian suatu material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah dalam satu garis lurus. Pengujian ini digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat.



Gambar 2.21 Skema Pengujian Tarik

3. Pengujian Impact

Pengujian impact adalah pengujian suatu material untuk mengetahui kekuatan impactnya. Kekuatan impact adalah kekuatan suatu material untuk menahan beban dinamik yang diberikan secara mendadak yang menyebabkan patah atau rusak. Ada dua metode dalam pengujian ini, yaitu charpy dan izod.



Gambar 2.22 Pengujian Impact

4. Pengujian Struktur

Pengujian struktur adalah pengujian yang digunakan untuk melihat struktur logam. Prosesnya adalah material dipotong dan dikikis pada permukaannya hingga halus, kemudian dilakukan analisa visual secara makroskopis dan juga secara mikroskopis. Dalam pengujian mikroskopis, spesimen diamati secara khusus menggunakan mikroskop metalurgi untuk mengetahui struktur spesimen dan juga rasio dari tiap tiap komponen dalam spesimen.

5. pengujian komposisi kimia

Pengujian komposisi kimia merupakan pengujian untuk mengetahui presentase komposisi unsur kimia dalam logam. Pengujian ini disebut juga pengujian optical emission spectroscopy, prosesnya adalah material di potong dan di amplas atau dikikis permukaannya hingga halus, kemudian di analisa pada spectroscopy untuk melihat unsur pada logam.

B. Pengujian Non-Destruktif

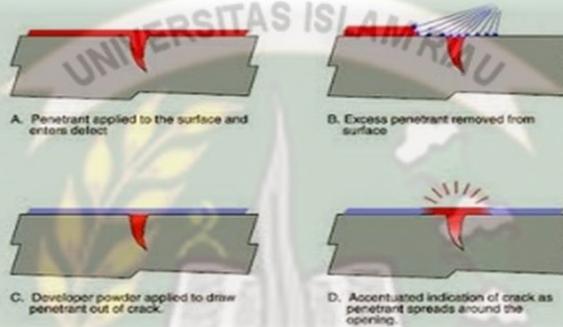
Pengujian non-destruktif adalah salah satu teknik pengujian material tanpa merusak benda ujinya. Pengujian bertujuan untuk mendeteksi secara dini timbulnya crack atau flaw pada material secara dini. Dari tipe keberadaan crack pada material uji dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu inside crack dan surface crack. Pengujian non-destruktif antara lain adalah :

1. Pengujian Visual

Metode ini bertujuan untuk menemukan cacat atau retak serta melihat korosi pada permukaan. Digunakan alat bantu optikal untuk dapat melihat cacat atau retakan pada permukaan secara jelas.

2. Pengujian Cairan Penetran

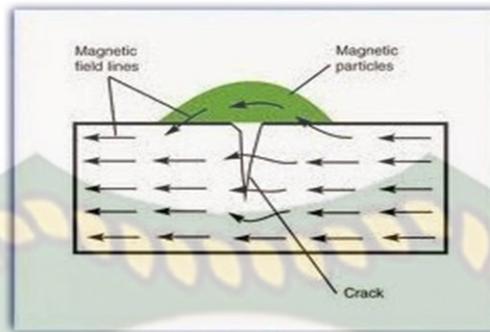
Metode ini digunakan untuk menemukan cacat permukaan terbuka dari permukaan solid, baik logam maupun non logam. Metode ini menggunakan 3 jenis cairan untuk melihat cacat pada permukaan, yaitu penetrant, cleaner, dan developer.



Gambar 2.23 Langkah Cairan Penetran

3. Pengujian Partikel Magnet

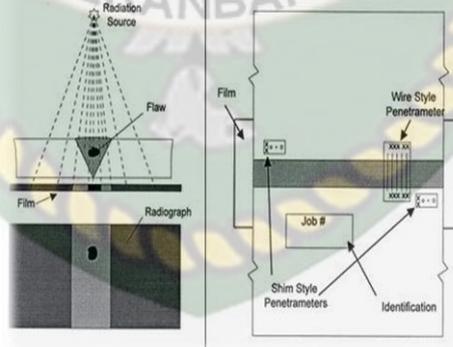
Pengujian partikel magnet yaitu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui cacat permukaan dan permukaan bawah suatu komponen dari bahan feromagnetik. Dengan menggunakan prinsip memagnetisasi bahan yang akan diuji yaitu dengan cara mengalirkan arus listrik dalam bahan yang diuji tersebut. Adanya cacat yang tegak lurus arah medan magnet akan menyebabkan kebocoran medan magnet. Kebocoran ini menandakan adanya cacat pada material. Caranya adalah dengan menaburkan partikel magnetic di permukaan. Partikel-partikel tersebut akan berkumpul pada daerah kebocoran medan magnet atau arah medan magnet akan berbelok sehingga terjadi kebocoran fluks magnetik. Bocoran fluks magnetik akan menarik butir-butir feromagnetik di permukaan sehingga lokasi cacat dapat ditemukan.



Gambar 2.24 penujian partikel magnet

4. Pengujian Radiografi

Pada pengujian ini diletakkan film dibelakang objek, kemudian objek akan disinari sinar laser x atau sinar gamma. Apabila pada objek terdapat cacat, maka akan terjadi variasi intensitas pada film. Hasil film inilah yang akan menunjukkan kecacatan yang ada pada spesimen.

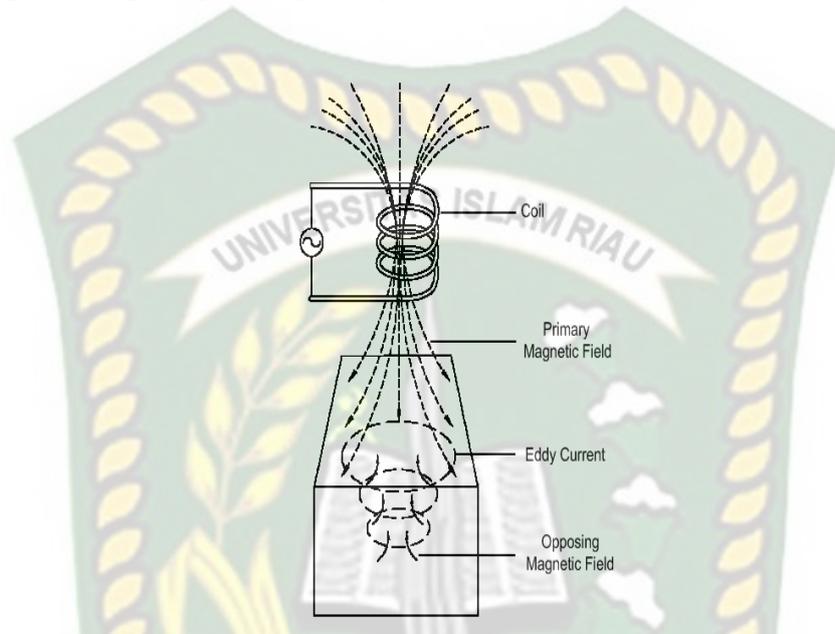


Gambar 2.25 Pengujian Radiografi

5. Pengujian Eddy Current

Metode ini memanfaatkan prinsip elektromagnetik dimana arus yang dialirkan pada kumparan akan menghasilkan gaya elektromagnetis yang dikenakan pada benda uji, hingga terbentuk arus eddy. Arus ini menandakan

adanya induksi magnet pada logam dan bila terdapat cacat besarnya impedansi yang diukur sensor arus eddy akan berubah. Metode ini hanya dapat diterapkan pada logam saja.



Gambar 2.26 Pengujian Eddy Current

6. Pengujian Ultrasonik

Pada pengujian ini gelombang suara dirambatkan pada spesimen uji dan sinyal yang ditransmisikan atau dipantulkan akan diamati. Gelombang suara akan terganggu jika terdapat retakan atau delaminasi pada material. Gelombang ini akan dibangkitkan transducer piezoelectric dan akan diterima kembali untuk dikonversikan menuju energi listrik kembali (Deryraditya, 2014).

Dari beberapa pembahasan pengujian material, yang diperlukan pada pisau digester yaitu pengujian kekerasan pada metode Rockwell dan pengujian komposisi kimia.