

## Optimasi Desain Pisau Mesin Penghancur Batu Kapur

Elya Heryana<sup>1</sup>, Djoko W. Karmiadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

Email: [afwifurqon@gmail.com](mailto:afwifurqon@gmail.com), [dkarmiadi@rocketmail.com](mailto:dkarmiadi@rocketmail.com)

### ABSTRAK

Batu kapur merupakan salah satu mineral industri yang banyak digunakan oleh sektor industri ataupun konstruksi dan pertanian, antara lain untuk bahan bangunan, batu bangunan, bahan penstabilan jalan raya, pengapuran, dan keramik. Peningkatan produksi penghancuran batu kapur dapat dilakukan dengan cara mengoptimalkan kinerja elemen mesin yang ada. Untuk mengatasi masalah pada mesin penghancur batu kapur ini diperlukan suatu konstruksi pada komponen pisau mesin penghancur batu kapur yang mampu bekerja secara maksimal dengan cara optimasi pisau penghancur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode pengujian langsung di lapangan, serta menggunakan metode pengujian-pengujian non-destruktif. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian kekerasan, pengujian metalografi dan pengujian spectrometer. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimisasi kekuatan pisau penghancur batu kapur yang awal mulanya hanya memiliki kekuatan selama 3-4 minggu mencapai waktu minimal 8-12 minggu. Spesifikasi daya mesin yang ada sebesar 50 HP 1455 RPM.

**Kata kunci:** batu kapur, pisau penghancur, lifetime pisau penghancur

### ABSTRACT

*Limestone is one of minerals industry that widely used by the industrial sector such as construction and agriculture for construction materials, building stones, stabilizing materials of highway, calcifications, and ceramics. Increasing production of limestone destructor can be made by optimizing the performance of the existing machine elements. To overcome the problem of limestone it is required an improvement by optimizing destructing blades to work optimally by optimizing the destructing blades. The method used in this research is to test methods in the field, as well as tests using non - destructif. Tests performed include hardness testing, metallography testing and spectrometer testing. The research activities aimed to optimize the strength of limestone destructing blade which the initial performance is merely for 3-4 weeks increasing reach a minimum of 8-12 weeks. The existing power of specification machine is 50 HP in 1455 RPM.*

**Keywords:** limestone, destructing blade, lifetime destructing blade

### PENDAHULUAN

Batu kapur merupakan salah satu mineral industri yang banyak digunakan oleh sektor industri ataupun konstruksi dan pertanian, antara lain untuk bahan bangunan, batu bangunan, bahan penstabil jalan raya, pengapuran untuk pertanian dan lain-lain. Batu kapur juga merupakan salah satu material utama dalam industri pembuatan keramik untuk lantai bangunan [1,2].

Material batu kapur yang digunakan untuk pembuatan keramik tersebut merupakan batu kapur yang sudah dihancurkan dalam bentuk pasir, sedangkan batu kapur yang diperoleh dari penambangan batu tersebut masih dalam bentuk bongkahan-bongkahan yang cukup besar, sehingga material tersebut perlu diproses terlebih dahulu dengan mesin penghancur batu kapur

untuk menghasilkan batu kapur yang sudah berbentuk pasir [3].

Pada proses penghancuran batu kapur yang menggunakan mesin penghancur batu kapur tersebut komponen yang paling sering diganti yaitu terletak pada pisau mesin tersebut, dimana dengan menggunakan material jenis S45C kekuatan dari pisau tersebut dalam pemakaian normal hanya sampai 2 minggu operasional mesin. Sedangkan yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah optimalisasi desain dari pisau mesin penghancur batu kapur tersebut sehingga diperoleh satu desain pisau tersebut yang optimal dari segi kekuatan dan masa pakainya (*lifetime*).

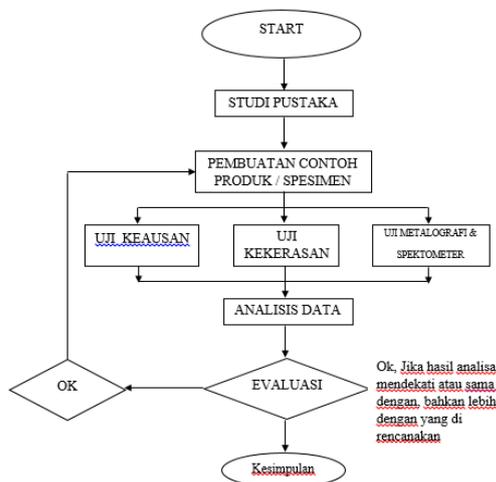
Mesin penghancur batu kapur yang sudah ada saat ini memiliki kapasitas 1 ton/ 1,5 jam dimana mesin tersebut beroperasi sekitar 8 jam. Permasalahan mesin penghancur batu kapur yang ditemukan saat ini terletak pada keausan permukaan pisau penghancurnya. Keausan

permukaan dari pisau penghancur batu kapur itu hanya 2 minggu dengan material yang terbuat dari material jenis S45C. Karena dengan keausan permukaan hanya 2 minggu akan menghambat proses produksi penghancur batu kapur tersebut, terutama mengenai waktu yang dibutuhkan untuk proses penggantian pisau batu kapur tersebut, dimana setiap satu kali penggantian komponen pisau mesin penghancur tersebut membutuhkan waktu sekitar 1 minggu, dengan demikian harus didesain suatu pisau penghancur batu kapur yang memiliki keunggulan seperti keausan permukaan yang bisa bertahan sampai dengan 12 minggu, sehingga proses penghancuran batu kapur lebih efektif, efisien dan ekonomis.

Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mendesain material pisau mesin penghancur batu kapur dengan memanfaatkan material pegas daun bekas kendaraan mobil, dengan asumsi bahwa material pegas daun memiliki kekerasan yang tinggi, sehingga dapat memperpanjang keausan permukaan, dari pisau mesin penghancur batu kapur tersebut.

## METODE PENELITIAN

Sistematika penelitian yang dilakukan dapat terlihat pada gambar diagram alir pelaksanaan penelitian berikut.



Gambar 1. Sistematika Penelitian

### 1.1. Pembuatan contoh produk/spesimen

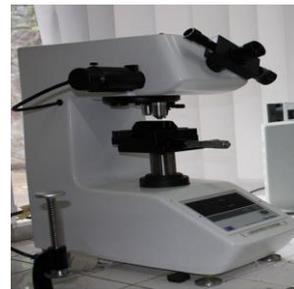
Dibuat suatu produk pisau berdimensi yang sama dengan yang sudah ada namun dengan bahan material yang berbeda untuk mendapatkan nilai perbandingan baik dalam pemakaiannya maupun dalam pengujian materialnya.

### 1.2. Uji Keausan

Uji coba pemakaian dilakukan untuk mengetahui lamanya masa pakai (*lifetime*) pisau penghancur batu kapur hasil desain sehingga dapat dijadikan perbandingan dengan yang sebelumnya.

### 1.3. Uji kekerasan bahan pisau

Untuk pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan uji kekerasan Brinell dengan menggunakan standar uji *ASTM E10* [4].



Gambar 2. Mesin Uji Kekerasan *Brinell*

### 1.4. Uji tarik bahan pisau

Untuk pengujian tarik tidak dilakukan, sebab sangat kerasnya bahan sehingga sangat sulit sekali membentuk bahan sesuai standar untuk dilakukan uji tarik. Untuk hasil uji tarik, bisa didapatkan dengan mengkonversi nilai kekerasan menjadi nilai UTS (*Ultimate Tensile Strength*) dengan menggunakan Persamaan 1 [5].

$$\sigma_t \cong 3,45 \times BHN \quad (1)$$

### 1.5. Uji Metalografi bahan pisau

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui mikrostruktur dari material pisau atau *crusher* mesin penghancur batu kapur. Menggunakan mesin uji Mikroskop Optik Olympus GX71. Dengan standar acuan pengujian *ASTM E3-11* [4].

### 1.6. Uji Spektrometer bahan pisau

Uji spektrometer dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dari material pisau atau *crusher* mesin penghancur batu kapur. Dengan menggunakan mesin uji *ARL 3460 Optical Emission Spectrometer* [4].

### 1.7. Analisa data

Jika hasil analisa mendekati atau sama dengan pisau penghancur batu kapur yang ada, bahkan untuk masa pakainya lebih lama dari sebelumnya atau bahkan lebih dari yang direncanakan.

### 1.8. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu dengan sistem perbandingan antara alat/pisau penghancur yang didesain ulang dengan pisau penghancur yang sudah ada di lapangan. Untuk

pembandingnya akan dilakukan beberapa pengujian yang diantaranya adalah:

1. Uji pemakaian. Dimana pengujian ini untuk mengetahui lamanya masa pakai pisau penghancur batu kapur yang dibuat sehingga dapat dijadikan perbandingan masa pakainya (*lifetime*) dengan yang sudah ada sebelumnya yaitu selama 2 minggu.
2. Uji kekerasan. Pengujian ini dilakukan dilaboratorium guna mengetahui tingkat kekerasan dari material bahan yang digunakan pada penelitian.
3. Uji metalografi dan *spectrometer tests*. Disamping uji kekerasan bahan dilakukan juga uji tarik material sehingga dapat mengetahui mana yang lebih baik unsur paduan materialnya.

#### 1.9. Teknik Pengumpulan Data dan Pengolahan Data

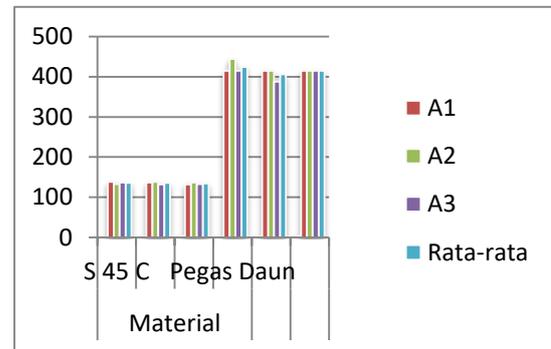
Dari data-data yang dikumpulkan maka akan dilakukan perhitungan dimana diawali dengan penentuan kapasitas, yang mana data kapasitas digunakan sebagai data utama dalam penelitian ini khususnya besarnya daya mesin yang digunakan. Dengan demikian dapat diketahui pemanfaatan daya dari motor penggerak digunakan dengan baik sehingga kinerja mesin pun bekerja secara optimal.

#### 1.10. Pengolahan Data

Data yang diperoleh diolah guna mengetahui hasil pengujian performa atau kinerja mesin melalui beberapa kali uji coba. Pengolahan data hasil pengujian dimaksudkan untuk mengetahui lamanya keausan permukaan antara sebelum dimodifikasi ulang dengan sesudah dimodifikasi ulang. Data yang diperoleh kemudian diolah sehingga dapat diketahui keunggulan dari lamanya keausan permukaan yang sudah dibuat ulang.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

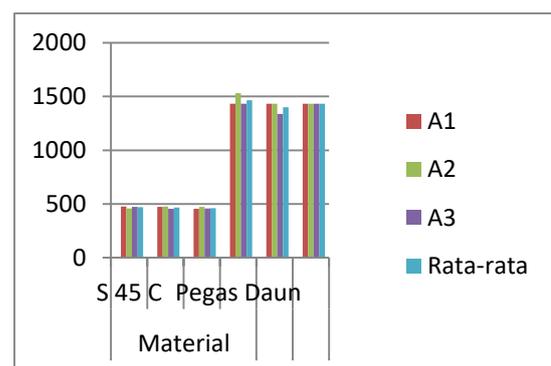
### Hasil Uji Kekerasan



Gambar 3. Diagram hasil uji kekerasan Brinell (BHN) material S45C dengan material pegas daun

Hasil uji kekerasan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa terlihat perbedaan kekerasan yang signifikan antara material spesimen pegas daun asli dengan material spesimen hasil optimasi, dimana nilai kekerasan rata-rata material asli pisau penghancur batu kapur adalah antara 100 – 150 BHN, sedangkan untuk nilai kekerasan rata-rata material pisau penghancur batu kapur hasil optimasi adalah antara 400–450 BHN. Dengan demikian pisau penghancur batu kapur yang dibuat dengan menggunakan material pegas daun bekas kendaraan mobil memiliki *life time* pemakaian yang lebih lama, ditinjau dari segi kekerasan material, maka penggunaan pegas daun bekas lebih baik dibandingkan dengan material S 45 C, terutama dari faktor ekonomis.

### Nilai Tarik

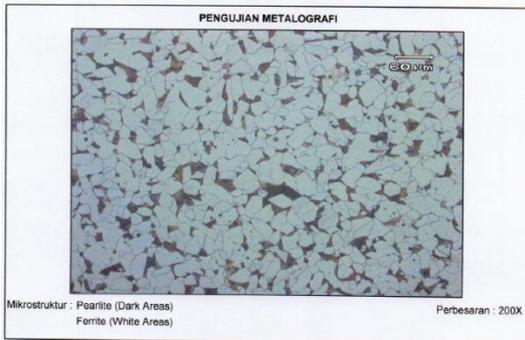


Gambar 4. Diagram nilai konversi uji tarik dari nilai kekerasan Brinell

Nilai *Ultimate Tensile Strength (UTS)* pada Gambar 4 menunjukkan bahwa material pisau penghancur batu kapur dengan menggunakan material bekas pegas mobil memiliki nilai *Ultimate Tensile Strength (UTS)* yang tinggi.

Tegangan tarik tertinggi terjadi pada spesimen pegas daun baik rata-rata (1433 MPa), nilai terkecil (1338 MPa) maupun nilai terbesar (1532 MPa), dengan kata lain pisau penghancur dengan menggunakan material bekas pegas daun mobil lebih menguntungkan.

### Hasil Uji Metalografi



Gambar 5. Hasil uji Metalografi pada material jenis S45C

Hasil uji metalografi mikrostruktur pada Gambar 5 menunjukkan bahwa struktur dari material S45C yang dijadikan bahan pisau mesin penghancur batu kapur adalah terdiri dari struktur *Pearlite* dan *ferrite*. Struktur *pearlite* adalah struktur yang terbentuk karena persenyawaan antara struktur *ferrite* dan struktur *cementite* yang seimbang. Struktur *pearlite* jika dipanaskan sampai suhu 723°C akan berubah menjadi struktur *austenite*. Sifat dari *pearlite* adalah keras, dan lebih kuat dari pada *ferrite*, tetapi kurang ulet, dan tidak magnetis [6].

Sedangkan untuk material pisau penghancur batu kapur yang terbuat dari bekas pegas daun mobil memiliki struktur *martensite*. Struktur *martensite* sifatnya sangat keras dengan susunan kristalnya berbentuk kubus pusat tetragonal (*BCT*) [7]. Struktur *martensite* seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil uji Metalografi pada material pegas daun

### Hasil Uji Komposisi Bahan/Spectrometer Test

Tabel 1. Hasil Uji *Spectrometer Test* pada material jenis S45C

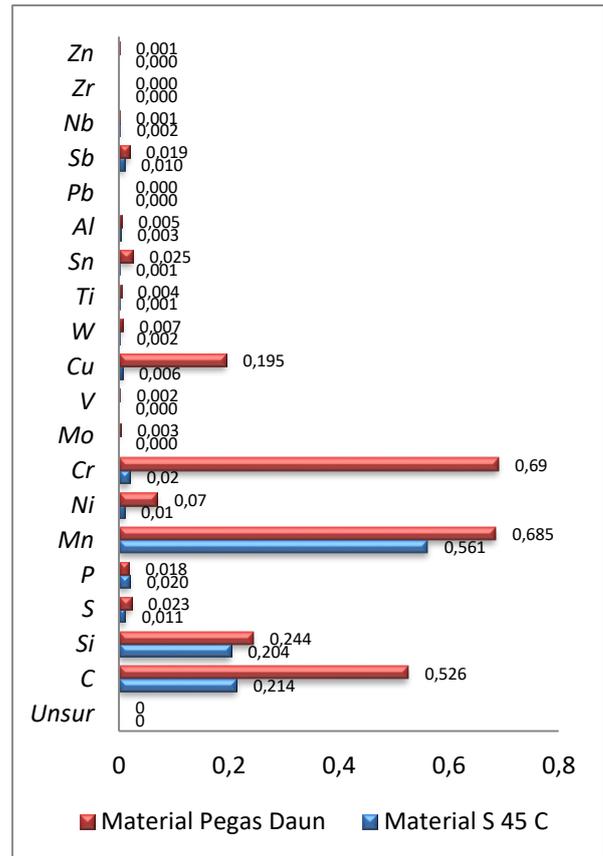
Nomor	Unsur/Element	Nilai (%)
1	Carbon (C)	0,214
2	Silicon (Si)	0,204
3	Sulfur (S)	0,011
4	Phosphorus (P)	0,020
5	Manganese (Mn)	0,561
6	Nickel (Ni)	0,01
7	Chromium (Cr)	0,02
8	Molybdenum (Mo)	0,000
9	Vanadium (V)	0,000
10	Copper (Cu)	0,006
11	Wolfram (W)	0,002
12	Titanium (Ti)	0,001
13	Tin (Sn)	0,001
14	Aluminium (Al)	0,003
15	Plumbun/Lead (Pb)	0,000
16	Antimony (Sb)	0,010
17	Niobium (Nb)	0,002
18	Zirconium (Zr)	0,000
19	Zinc (Zn)	0,000
20	Ferro/Iron (Fe)	98,948

Tabel 2. Hasil Uji *Spectrometer Test* pada material jenis pegas daun

Nomor	Unsur/Element	Nilai %
1	Carbon (C)	0,526
2	Silicon (Si)	0,244
3	Sulfur (S)	0,023
4	Phosphorus (P)	0,018
5	Manganese (Mn)	0,685
6	Nickel (Ni)	0,07
7	Chromium (Cr)	0,69
8	Molybdenum (Mo)	0,003
9	Vanadium (V)	0,002
10	Copper (Cu)	0,195
11	Wolfram (W)	0,007
12	Titanium (Ti)	0,004

Nomor	Unsur/Element	Nilai %
13	Tin (Sn)	0,025
14	Aluminium (Al)	0,005
15	Plumbun/Lead (Pb)	0,000
16	Antimony (Sb)	0,019
17	Niobium (Nb)	0,001
18	Zirconium (Zr)	0,000
19	Zinc (Zn)	0,001
20	Ferro/Iron (Fe)	97,486

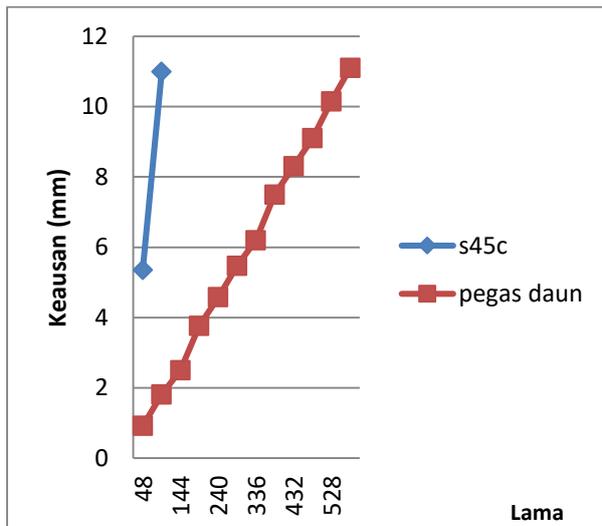
Dari data Tabel 1 dan 2 dapat dilihat komposisi material dari masing-masing material yang digunakan sebagai pisau penghancur batu kapur, dimana persentase yang paling besar adalah unsur utama yaitu unsur *Ferro*. Untuk material jenis *S45C* memiliki kandungan *ferro* sebesar 98,948 % dan untuk material pegas daun memiliki kandungan *ferro* sebesar 97,486 %. Sedangkan untuk unsur paduan dapat dilihat terdapat perbedaan yang signifikan pada beberapa jenis unsur paduan, di antaranya adalah pada unsur *Carbon (C)*, untuk material *S45C*, kandungan karbonnya adalah 0,214 %, sedangkan material pegas daun kandungan karbonnya adalah 0,526%, kemudian untuk unsur *Chromium (Cr)*, untuk material *S45C*, kandungan *chrom*-nya adalah 0,02 % sedangkan material pegas daun kandungan *chrom*-nya adalah 0,526%, dan untuk unsur *Manganese (Mn)*, untuk material *S 45 C*, kandungan mangannya adalah 0,561 % sedangkan material pegas daun kandungan mangannya adalah 0,685%.



Gambar 7. Grafik perbandingan persentase komposisi unsur material *S 45 C* dengan material pegas daun

Dimana persentase unsur-unsur paduan tersebut berpengaruh pada sifat dari material tersebut, kaitannya dengan material yang diteliti pada penelitian ini, yang digunakan sebagai pisau mesin penghancur batu kapur. Sehingga material bekas pegas daun mobil dapat memiliki *life time* yang lebih lama dibandingkan dengan material yang sebelumnya digunakan yaitu material jenis *S45C*, karena pengaruh komposisi unsur materialnya yang lebih baik untuk digunakan sebagai *crusher* penghancur batu kapur.

### Hasil Uji Keausan



Gambar 8. Grafik Hubungan Lama Pemakaian dan Keausan pisau penghancur batu kapur

Grafik Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin lama digunakan maka semakin besar tebal keausannya, peningkatan keausan yang paling tinggi terjadi pada spesimen pisau batu kapur yang terbuat dari material S45C ini tidak bisa digunakan lagi setelah tebalnya keausannya 10-11 mm sehingga batu kapur tidak akan hancur seperti yang diharapkan. Data di atas menunjukkan pisau batu kapur yang terbuat dari material S45C hanya bisa dipakai selama 2 minggu atau 96 jam dengan waktu pemakaian mesin 8 jam perhari selama 6 hari kerja dalam satu minggu dengan keausan 10,98 mm. Pisau penghancur batu kapur dengan menggunakan material pegas daun bekas bisa digunakan selama 3 bulan (12 minggu atau 576 jam) dengan waktu pemakaian mesin yang sama, sehingga pisau penghancur batu kapur dengan menggunakan material pegas daun bekas dengan lebih menguntungkan. Karena material pegas daun bekas harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan material jenis S45C.

### Pembahasan

Dimana berdasarkan hasil pengujian kekerasan terdapat perbedaan nilai kekerasan yang cukup signifikan antara kedua material tersebut, nilai kekerasan rata-rata material awal pisau penghancur batu kapur adalah antara 100 – 150 BHN, sedangkan untuk nilai kekerasan rata-rata material pisau penghancur batu kapur hasil optimasi adalah antara 400-450 BHN.

Berdasarkan nilai konversi dari kekerasan Brinell ke *Ultimate Tensile Strength (UTS)*, material pisau penghancur batu kapur dengan

menggunakan material bekas pegas mobil memiliki nilai *Ultimate Tensile Strength (UTS)* yang tinggi. Tegangan tarik tertinggi terjadi pada spesimen pegas daun baik rata-rata (1433 MPa), nilai terkecil (1338 MPa) maupun nilai terbesar (1532 MPa), dengan kata lain pisau penghancur dengan menggunakan material bekas pegas daun mobil lebih menguntungkan.

Hasil uji metalografi mikrostruktur pada Gambar 3 menunjukkan bahwa struktur dari material S45C yang dijadikan bahan pisau mesin penghancur batu kapur adalah terdiri dari struktur *Pearlite* dan *ferrite*. Struktur *pearlite* adalah struktur yang terbentuk karena persenyawaan antara struktur *ferrite* dan struktur *cementite* yang seimbang, Struktur *pearlite* jika dipanaskan sampai suhu 723<sup>0</sup> C akan berubah menjadi struktur *austenite*. Sifat dari *pearlite* adalah keras dan lebih kuat dari pada *ferrite*, tetapi kurang ulet, dan tidak magnetis. Sedangkan untuk material pisau penghancur batu kapur yang terbuat dari bekas pegas daun mobil memiliki struktur *martensite*. Struktur *martensite* sifatnya sangat keras dengan susunan kristalnya berbentuk kubus pusat tetragonal (*BCT*).

Dari data yang terdapat pada Tabel 1 dan 2 dapat dilihat komposisi material dari masing-masing material yang digunakan sebagai pisau penghancur batu kapur, dimana persentase yang paling besar adalah unsur utama yaitu unsur *Ferro*. Untuk material jenis S45C memiliki kandungan *ferro* sebesar 98,948 % dan untuk material pegas daun memiliki kandungan *ferro* sebesar 97,486 %. Sedangkan untuk unsur paduan dapat dilihat terdapat perbedaan yang signifikan pada beberapa jenis unsur paduan, di antaranya adalah pada unsur *Carbon (C)*, untuk material S 45 C, kandungan karbonnya adalah 0,214 %, sedangkan material pegas daun kandungan karbonnya adalah 0,526%, kemudian untuk unsur *Chromium (Cr)*, untuk material S45C, kandungan *chrom*-nya adalah 0,02 % sedangkan material pegas daun kandungan *chrom*-nya adalah 0,526%, dan untuk unsur *Manganese (Mn)*, untuk material S 45 C, kandungan mangannya adalah 0,561 % sedangkan material pegas daun kandungan mangannya adalah 0,685%. Dimana persentase unsur-unsur paduan tersebut akan berpengaruh pada sifat dari material tersebut, kaitannya dengan material yang diteliti ini, yang digunakan sebagai pisau mesin penghancur batu kapur. Sehingga material bekas pegas daun mobil dapat memiliki *life time* yang lebih lama di bandingkan dengan material yang sebelumnya digunakan yaitu material jenis S45C, karena pengaruh komposisi unsur materialnya yang lebih baik untuk digunakan sebagai *crusher* penghancur batu kapur.

Besarnya torsi dari motor listrik yaitu 244,8 *N*, maka torsi tersebut diasumsikan terbagi terhadap komponen utama *crusher* batu kapur yaitu pisau penghancur batu kapur yang berjumlah 16 bilah pisau penghancur, sehingga torsi yang diterima oleh masing-masing dapat dihitung berdasarkan nilai torsi motor di bagi jumlah pisau, besarnya torsi untuk masing-masing pisau yaitu sebesar 19,6 *Nm*. Dari nilai tersebut maka dapat diketahui untuk masing-masing pisau penghancur batu kapur memiliki gaya potong/gaya maksimum sebesar 45*N*.

Pemakaian pisau penghancur batu kapur dengan menggunakan material pegas daun bekas membuat pisau menjadi lebih awet, apabila dilihat dari laju keausan pisau batu kapur dari material S45C tidak bisa digunakan kembali setelah 2 minggu dengan keausan mencapai 10,98 mm dengan waktu pemakain mesin 8 jam perhari selama 6 hari kerja dalam satu minggu sedangkan pisau penghancur batu kapur dengan menggunakan material pegas daun bekas dapat digunakan sampai 12 minggu dengan waktu pemakain mesin yang sama. Rata-rata laju keausan tertinggi terjadi pada spesimen pisau batu kapur yang terbuat dari material S45C (0,11 mm/jam), kemudian diikuti oleh pisau penghancur batu kapur yang terbuat dari material pegas daun bekas (0,019 mm/jam).

### KESIMPULAN

Berdasarkan dari beberapa hasil penelitian dan pembahasan yang dibuat dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kekerasan pisau penghancur batu kapur yang terbuat dari pegas daun kendaraan mobil yaitu 400 *BHN* melebihi kekerasan pisau penghancur batu kapur yang terbuat dari bahan yang biasa di pakai yaitu bahan S45C dengan nilai kekerasan 135 *BHN*.
2. Komposisi kimia batu kapur yang memiliki usia pakai 12 minggu memiliki komposisi.
3. Usia pakai (*life time*) pisau penghancur batu kapur yang terbuat dari pegas daun bekas lebih baik dibandingkan dengan material awal benda tersebut.
  - a. Laju keausan material awal sebesar 0,11 mm/jam
  - b. Laju keausan material pegas daun bekas 0,019 mm/jam
4. Berdasarkan perhitungan besarnya torsi untuk masing-masing pisau yaitu sebesar 19,6 *Nm* dan masing-masing pisau penghancur batu kapur memiliki gaya potong/gaya maksimum sebesar 45*N*.
5. Dengan melihat semua hasil pengujian, baik pengujian kekerasan, nilai *Ultimate Tensile*

*Strength (UTS)*, uji metalografi, dan uji keausan memperlihatkan bahwa material pegas daun untuk pisau penghancur batu kapur usia pakai (*life time*) nya lebih baik dibandingkan dengan material awalnya yang terbuat dari material jenis S45C.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Rochim T., 1993 Teori Teknologi Proses Permesinan. Jakarta. PT Higher Education Development Support Project.
- [2.] Intan Sudibyo, 2015. Pengertian Torsi dan Leverage. <http://gadabinausaha.wordpress.com>
- [3.] McGraw-Hill, 2003. Dictionary of Scientific & Technical Terms.
- [4.] Bondan T. Sofyan, 2010. Pengantar Material Teknik. Salemba Teknika, Jakarta.
- [5.] Singer F.L, 1995. Kekuatan Bahan, Erlangga, Jakarta
- [6.] R.S. Khurmi & Ghupta, 1982. Machine Design. Eurasia Publishing House, New Delhi.
- [7.] Khairul Anwar & Yusuf Umardani, 2008. Pengujian sifat mekanis dan struktur mikro pisau *hammer mill* pada mesin penggiling jagung di PT. charoen pokhpand indonesia cab. semarang.