

KAJIAN KINERJA *HAMMER CRUSHER* DALAM PENYEDIAAN BATU KAPUR UNTUK KEBUTUHAN SEMEN PORTLAND DI UNIT CRUSHING PLANT PT SEMEN INDONESIA TBK

Taufik Arief^{1*}, Alex Al Hadi², Alieftiyani Paramita Gobel³

¹Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Palembang

² Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Palembang

³Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Palembang

Corresponding author: arieftaufik701@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian teknis terhadap kinerja alat *hammer crusher* di unit Crushing Plant Tuban 1 PT Semen Indonesia. Kajian teknis ini dilakukan dalam upaya untuk meningkatkan kinerja system produksi khususnya alat *hammer crusher* yang cenderung menurun. Pada periode bulan Oktober 2022 efisiensi kinerja hanya mencapai 32,5% dan waktu kerja efektif hanya 6,78 jam/hari dari jam kerja produksi 21 jam/hari, hal ini mengakibatkan produksi batukapur sebesar 278.601 ton/bulan masih rendah dari target produksi 368.746 ton/bulan. Penggunaan daya listrik yang digunakan untuk menggerakkan alat *hammer crusher* sebesar 268 kilowatt per jam relatif besar. Dari permasalahan tersebut kajian awal adalah melakukan perbaikan kinerja blasting dengan merubah geometri peledakan dan menghitung estimasi produk ukuran batukapur (fragmentasi batukapur) yang dihasilkan. Dari hasil perbaikan menunjukkan bahwa fragmentasi batukapur yang berukuran >75 cm dapat diturunkan dibawah 10%, hal ini dapat meningkatkan kinerja produksi alat *hammer crusher*. Dari hasil perbaikan hambatan-hambatan teknis dan non teknis dengan mengurangi hambatan *stockpile* penuh dan ketersediaan *dump truck*, jam kerja efektif meningkat menjadi 11,11 jam/hari. Dari hasil evaluasi dan analisis kinerja perbaikan sistem produksi batu kapur di unit *crushing plant* Tuban I dapat dinaikkan dari 30,5% menjadi 52,5% dan kinerja produksi batukapur dinaikkan dari 278.601 ton/bulan menjadi 356.950,9 ton per bulan.

Kata kunci: Hammer crusher, fragmentasi, kinerja, daya listrik

PENDAHULUAN

Seiring dengan pembangunan infrastruktur dan perumahan di Indonesia kebutuhan akan semen terus meningkat dari tahun ke tahun. Dalam 10 tahun terakhir kebutuhan semen mengalami peningkatan hingga 63% (Kementerian PUPR 2021). PT. Semen Indonesia, Tbk salah satu BUMN ikut andil dalam memproduksi semen, pada tahun 2021 produksi PT Semen Indonesia sekitar 40,47 juta ton (40% dari produksi nasional sebesar 119 juta ton).

PT Semen Indonesia, Tbk dalam memproduksi semen sangat tergantung pada bahan baku, salah satu bahan baku utama penting adalah batukapur (*limestone*). Kegiatan penambangan batukapur PT Semen Indonesia Tbk saat ini dilakukan di Pabrik Tuban 1 dan 2 yang berlokasi di Desa Temandang, Pongpongan, Kecamatan Merakurak dan Desa Sumber arum, Kecamatan Kerek memiliki luas lahan 752,8 Ha.

Pada Unit Tuban 1 penambangan batukapur dilakukan melalui tahapan awal yaitu kegiatan pemboran (*drilling*) yang bertujuan untuk menyiapkan lubang (*hole*) untuk diisi bahan

peledak. Target pemboran batukapur sebanyak 40 - 50 lubang bor per hari dengan rata-rata kedalaman 6 - 9 meter. Kemudian lubang yang sudah di bor. Akan diisi dengan bahan peledak jenis ANFO sebanyak separuh dari kedalaman lubang bor. Dari kegiatan peledakan (*blasting*) diprogramkan kegiatan peledakan dilakukan 20 - 25 kali peledakan dalam 1 bulan. Dalam 1 hari pemboran ditargetkan volume batukapur sesuai dengan permintaan pabrik semen (klinker) untuk pembuatan semen Portland.

Pada penambangan Tuban 1 dan 2 pengolahan batukapur agar memenuhi standar ukuran dan volume untuk produksi semen Portland menggunakan sistem *crushing plant*, dimana teknologi *size reduction* yang dipakai adalah alat *hammer crusher*.

Tahapan awal frakmentasi batukapur hasil peledakan dibawa dengan alat *dump truck* ke pabrik pengolahan Tuban 1 dengan mereduksi ukuran batukapur di unit *crushing plant* dengan alat *hammer crusher tipe single toggle*. PT Semen Indonesia (Persero) Tbk memiliki 2 unit *crushing plant* pabrik Tuban 1 dan Tuban 2 yang berfungsi

untuk memenuhi kebutuhan bahan baku untuk produksi semen, salah satunya yaitu pabrik Tuban 1.

Alat *hammer crusher* yang digunakan pada pabrik Tuban 1 mempunyai kapasitas teoritis terpasang 1.400 ton/jam, dimana dalam operasinya alat ini digerakkan oleh sistem kelistrikan dengan daya kilowatt haour yang bersumber dari PLN.

Pada penelitian ini fokus pada lokasi Tuban 1, dimana dari hasil pengamatan dan laporan terjadi inefisiensi produksi pada pabrik Tuban 1. Dimana sistem produksi batukapur tidak bekerja maksimal pada periode tanggal 21 September – 25 November 2021. Produksi batukapur menurun dari target 378.000 ton/bulan dan penggunaan daya listrik yang cukup besar sekitar 268 kw serta waktu efektif produksi hanya 6,78 jam/hari, sehingga capai efisiensi kerja hanya 32,5%.

Dilihat dari evaluasi periode bulan Oktober dan November 2021 produksi batukapur yang dihasilkan dari alat *hammer crusher* hanya mencapai 278.000 ton/bulan sangat rendah dibawah target produksi dan penggunaan daya listrik yang digunakan relatif besar untuk menggerakkan alat *hammer crusher*.

Alat *hammer crusher* sebagai alat pemecah tersier saat ini masih menjadi andalan perusahaan semen di Indonesia dalam mengecilkan ukuran batukapur agar memenuhi standar ukuran sebagai bahan baku semen. Sebagai mesin peremuk alat ini memiliki kecepatan operasi dan rasio reduksi (RR) yang tinggi, serta dapat bekerja secara kontinu. Produksi alat *hammer crusher* sangat dipengaruhi oleh karakteristik dan ukuran batukapur yang masuk sebagai umpan (Fahrudin Ahmad, 2018).

Hammer crusher terdiri dari dua jenis, yaitu jenis *hammer crusher single toggle* yang hanya memiliki satu buah rotor dan jenis *hammer crusher double toggle* yang memiliki dua buah rotor. Apabila ukurannya besar maka energi dan daya listrik juga besar (Willis, B.A., Finch, J.A. (2016).

Fragmentasi merupakan ukuran partikel berupa fragmen-fragmen yang dihasilkan oleh peledakan (*blasting*) yang direncanakan agar Dapat menghasilkan batuan yang diinginkan. Sebelum dilakukan kegiatan peledakan secara teoritis, produk ukuran partikel dapat di estimasi dengan perhitungan menggunakan persamaan Kuz-ram. Dimana faktor batuan tergantung pada volume batuan berbanding lurus dengan total bahan peledak per lubang dan kekuatan relatif bahan peledak (Cunningham, C.V.B., 1983).

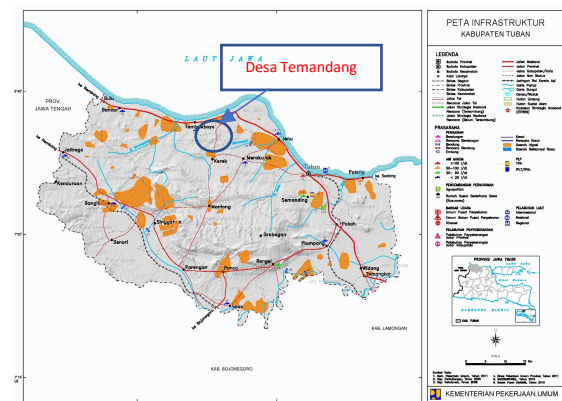
Kegiatan peledakan yang dilakukan pada suatu kegiatan penambangan batuan, dilakukan perencanaan dan pengaturan geometri peledakan antara lain : *burden (B)*, *spacing (S)*, tinggi jenzang (H), *subdrilling stemming (T)*, dan kedalaman lubang ledak (L). Pengaturan geometri bertujuan agar Dapat menghasilkan ukuran-ukuran batukapur sesuai yang ditargetkan (Putera, R.Y. 2018).

Perhitungan penggunaan energi listrik *size reduction* sangat tergantung kepada ukuran umpan dan ukuran produk yang dihasilkan disamping itu dalam menghasilkan massa produk yang dihasilkan penggunaan daya listrik tergantung besarnya laju (massa) pengumpunan ton per jam (Fahrudin, Ahmad. (2018).

Atas permasalahan menurunnya tingkat produksi dan kinerja sistem produksi di PT. Semen Indonesia, Tbk, perlu dilakukan evaluasi secara menyeluruh sistem produksi mulai dari kegiatan drilling, blasting, kinerja alat *hammer crusher* dan penggunaan daya listrik yang digunakan. Kajian ini diperlukan agar dapat mengetahui dan menurunkan hambatan-hambatan teknis dan non teknis apa saja yang terjadi, sehingga produksi dan efisiensi kerja dapat meningkat sesuai yang ditargetkan oleh perusahaan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di lokasi kuari batukapur Pabrik Tuban 1 di Section of Mining Operation milik PT Semen Indonesia Tbk. Berdasarkan IUP Penambangan batukapur Tuban 1 Nomor P2T/1/15.02/02/I/2019. Lokasi Tuban 1 terletak di Desa Temandang, Pongpongan, Kecamatan Merakurak dan Desa Sumber arum, Kecamatan Kerek memiliki luas lahan 752,8 Ha. Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat geografis 6°52'04"- 6°54'00" LS dan 111°54'20"- 111°57'10" BT (SMI,2013).



Gambar 1. Lokasi penelitian di kuari batukapur Tuban 1

Sumber : <https://www.google.com/search?q=lokasi tuban PT Semen indonesia>

Tahapan awal penelitian ini adalah studi literatur untuk mencari data-data baik dari penelitian terkait yang meliputi jurnal dan dokumen penelitian sebelumnya. Tahapan berikutnya adalah melakukan studi lapangan yaitu melakukan pengamatan factual dan analisis kegiatan pemboran dan kegiatan peledakan (*blasting*) agar Dapat diketahui dan di evaluasi apakah hasil sesuai dengan standar dan sesuai prosedur teknis yang

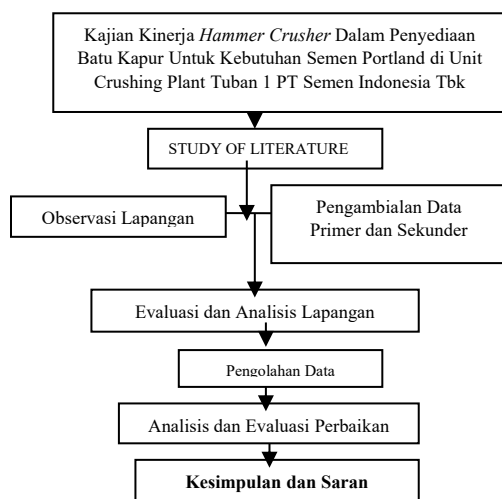
ditargetkan. Dari hasil studi diatas akan dievaluasi apakah target volume dan ukuran batukapur yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan perusahaan yaitu ukuran batukapur yang < 75cm harus harus dibawah 10%, dimana perhitungan untuk mengestimasi produk ukuran batukapur yang ditargetkan menggunakan persamaan Kuz-Man

Tahapan selanjutnya adalah melakukan pengamatan kinerja sistem produksi terhadap waktu kerja operasional pabrik yang meliputi analisis waktu kerja alat *hammer crusher* dan waktu kerja efektif yaitu waktu kerja setelah dikurangi waktu hilang (*loss time*) sehingga menghasilkan waktu efektif produksi alat.

Tahapan terakhir dalam penelitian ini adalah melakukan evaluasi dan analisis secara menyeluruh efektifitas kegiatan pemboran, peledakan dan hasil peledakan (*fragmentasi*). Kemudian melakukan evaluasi kinerja alat *hammer crusher* dalam memproduksi batukapur (ton/jam), termasuk melakukan perhitungan efisiensi kerja (%). Melakukan evaluasi terhadap penggunaan daya listrik (kilowatt) alat hammer crusher selama jam kerja produksi dengan menggunakan persamaan BOND, agar didapatkan penggunaan energi listrik yang efektif dan efisien.

Pengolahan data-data lain sebagai alat bantu perhitungan diperoleh dengan menggunakan *software Microsoft Office Excel 2010*.

Selanjutnya dari hasil penelitian didapatkan evaluasi, pembahasan, analisis dan rekomendasi terkait perbaikan sistem produksi batukapur di lokasi Tuban 1. Adapun bagan alir penelitian disampaikan dibawah ini:



Gambar 2. Bagan alir penelitian

PEMBAHASAN

1. Analisis Pemboran dan Peledakan batukapur aktual di lokasi penambangan

a. Sistem Pemboran batukapur

Potensi dan karakteristik batukapur di Tuban merupakan jenis batukapur terumbu, yang terdiri dari batukapur pejal dan batukapur dolomitan

berwarna putih, terdapat juga batukapur kristalin berupa kristal kalsit. Batukapur di lokasi Tambang PT Semen Indonesia Tbk ini didominasi oleh batukapur yang memiliki rata-rata densitas sebesar 2,28 ton/m³, dengan kekerasan batuan sebesar 4 skala Mohs.

Disamping dari uji kuat tekan batukapur kuari Tuban memiliki kekuatan 50 – 100 Mpa dengan kadar air yang rendah. Untuk itu untuk membongkar batukapur dari lapisannya harus dilakukan pemboran dan peledakan.

Kegiatan pemboran (*drilling*) batu kapur di PT Semen Indonesia Tbk dilakukan bekerjasama dengan dengan Operator United Tractor Semen Gresik (UTSG). Kegiatan pemboran batukapur menggunakan alat bor jenis Furukawa Rock Drill PCR200 dan Compressor Airman PDS750S Furukawa Rock Drill HCR1500 dengan diameter lubang bor sebesar ± 3,5 inci. Pola pengeboran yang digunakan adalah pola *zig - zag (staggered pattern)* dengan arah pemboran yang diterapkan adalah pengeboran vertikal.

Setiap batang bor memiliki panjang 3 m. Dan kedalaman lubang ledak maksimal yang ditetapkan adalah 6 m (Gambar 3).



Gambar 3. Alat pemboran batukapur jenis Rock drill PCR300 & HCR1500 dan compressor airman PDS750S

Sumber : Operator United Tractor Semen Gresik (UTSG),2021

b. Sistem peledakan (*blasting*)

Sistem peledakan dilakukan di lokasi kuari Tuban direncanakan dengan sistem blok. Peledakan dilaksanakan setiap hari Senin–Sabtu dengan meledakkan 3 – 4 blok per harinya dengan target produksi batukapur sebesar 1.300.000 ton/bulan.

Pola peledakan yang digunakan yaitu *corner cut (echelon)* atau *v-cut* disesuaikan dengan kondisi *free face* yang ada di lokasi penambangan,

sedangkan rangkaian yang digunakan adalah rangkaian seri dengan sistem penyalan yaitu menggunakan aliran listrik (*electric detonator*).

Dalam peledakan yang dilakukan umumnya baris kolom ledak yakni 4 row, lalu untuk jumlah peledakan berkisar 1-25 kali peledakan tergantung dengan jarak blok peledakan dengan area sekitar tambang terutama daerah pemukiman warga.

Peralatan peledakan yang digunakan yaitu Blasting Machine Kobla BL-500 dan Blaster's Ohm meter Reo Model B01999-1. *Blasting machine* berfungsi sebagai mesin yang dapat meledakkan sebesar 500 detonator listrik sekaligus (500 ohm) dalam satu kali peledakan dengan asumsi 1 detonator mempunyai resistensi sebesar 1 ohm.

Jenis bahan peledak yang digunakan berupa AN (*ammonium nitrate*), kemudian AN dicampur dengan FO (*Fuel oil*) di dalam truk MMU. Geometri peledakan merupakan rancangan lubang ledak yang diterapkan perusahaan bulan September - November 2021 untuk mendapatkan ukuran dan distribusi fragmentasi batukapur sesuai dengan yang diharapkan di tambang batukapur PT Semen Indonesia Tbk.

Geometri peledakan berdasarkan pengukuran langsung pada 11 blok peledakan dan hasil pengamatan peledakan dari tanggal 14 - 25 Oktober 2021 selama penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Geometri peledakan PT Semen Indonesia

Burden (B)	= 2,00 m
Spasi (S)	= 3,50 m
Kedalaman Lubang Ledak(H)	= 5,54 m
Subdrilling (J)	= 0,20 m
Stemming (T)	= 1,80 m
Tinggi Jenjang (L)	= 5,34 m
Power Charge (PC)	= 3,74 m
E ANFO	= 100

Sumber : PT Semen Indonesia, 2021

Untuk menghitung fragmentasi ukuran batukapur rata-rata (X) yang dihasilkan digunakan persamaan Kuz-Man.

Untuk menghitung ukuran fragmentasi rata-rata batukapur yang dihasilkan geometri peledakan aktual rata-rata pada Tabel 1, didapat hasil sebagai berikut :

Rock Faktor = 0,9825

$$X = A \left(\frac{V}{Q} \right)^{0,8} \times Q^{0,167} \times \left(\frac{E}{115} \right)^{-0,63}$$

$$X = 9,825 (37,78/18,62)^{0,8} \times 18,62^{0,167} \times (100/115)^{-0,63}$$

$$X = 30,54 \text{ cm.}$$

Sedangkan untuk menghitung volume batukapur yang terbongkar (V), dengan faktor batukapur (A) dilokasi didapat 9,825 dan berat bahan peledak sebesar 17,97 kg/lubang, maka Dapat dihitung volume batukapur yang terbongkar sebesar 46,11 m³/lubang, dimana E bahan peledak jenis ANFO sebesar 100. Perhitungan estimasi jumlah bahan peledak sebagai berikut:

Jumlah bahan peledak per lubang (Q)

$$Q = 0,508 \times 3,5^2 \times 0,8 \times 3,74$$

$$Q = 18,62 \text{ kg/lubang}$$

Volume batukapur yang terbongkar per lubang (V)

$$= 2 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \times 5,34 \text{ m}$$

$$= 37,78 \text{ m}^3$$

Hasil dari perhitungan Kuz-Ram didapatkan ukuran fragmentasi rata-rata batukapur sebesar 37,78 cm.

Perhitungan distribusi fragmentasi batukapur hasil peledakan berdasarkan geometri peledakan aktual rata - rata dengan (Persamaan Kuz-Ram) adalah sebagai berikut:

R = Persentase tertahan material (%)

e = Dasar logaritma (2,71)

x = Ukuran batuan (cm)

Xc = Karakteristik ukuran

n = Indeks keseragaman

➤ Fragmentasi hasil peledakan ukuran >25 cm

$$R = e^{-(x/Xc)^n} \times 100\%$$

$$= e^{-(25/37,37)^{1,82}} \times 100\%$$

$$= 61,75\%$$

Hal ini menandakan batuan yang berukuran lebih dari 25 cm sebesar 61,75%. Ukuran batuan yang berukuran dibawah 25 cm didapat sebesar 38,25%.

➤ Fragmentasi hasil peledakan ukuran >75 cm

$$R = e^{-(x/Xc)^n} \times 100\%$$

$$= e^{-(75/37,37)^{1,82}} \times 100\%$$

$$= 2,90\%$$

Hal ini menandakan batuan yang berukuran lebih dari 75 cm sebesar 2,90%.



Gambar 4. Fragmentasi hasil peledakan batukapur

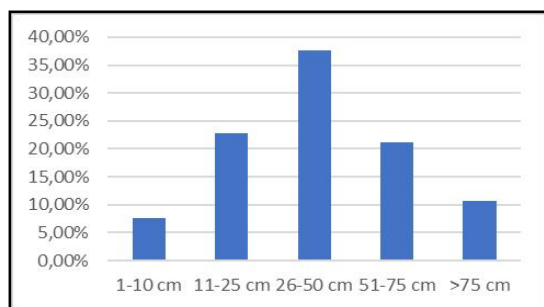
Hal ini menandakan batuan yang berukuran lebih dari 25 cm sebesar 61,75%. Ukuran batuan yang berukuran dibawah 25 cm didapat sebesar 38,25%.

Ukuran batuan yang berukuran 26-75 cm sebesar 35,35%. Berikut adalah hasil ukuran fragmentasi yang dihasilkan dari geometri rata rata yang di supply ke unit Tuban 1 berdasarkan perhitungan dengan persamaan Kuz-ram:

Tabel 1. Distribusi Fragmentasi Ukuran batukapur

Tgl	X(cm)	<25 cm	26 -75 cm	>75 cm
25-Sep	30,54	38,25%	58,85%	2,90%
27-Sep	45,82	29,02%	51,41%	19,57%
28-Sep	41,28	31,40%	53,78%	14,82%
29-Sep	37,25	35,05%	53,38%	11,57%
30-Sep	32,20	38,16%	55,44%	6,40%
01-Oct	42,37	31,95%	52,71%	15,34%
02-Oct	40,23	32,26%	53,01%	14,73%
03-Oct	35,80	33,70%	56,73%	9,57%
04-Oct	32,38	37,01%	56,33%	6,67%
05-Oct	35,32	36,13%	53,08%	10,78%
06-Oct	34,81	36,84%	54,91%	8,25%
07-Oct	30,56	38,24%	58,79%	2,97%
09-Oct	39,39	33,84%	52,81%	13,35%
10-Oct	36,47	34,95%	55,16%	9,89%
11-Oct	30,45	38,55%	58,34%	3,11%
13-Oct	42,75	33,01%	51,48%	15,51%
14-Oct	39,38	33,46%	53,07%	13,47%
15-Oct	33,60	37,25%	53,84%	8,91%
17-Oct	31,30	39,17%	54,94%	5,89%
18-Oct	31,37	37,95%	57,49%	4,56%
20-Oct	36,33	34,54%	55,44%	10,02%
21-Oct	35,33	37,38%	54,69%	7,93%
22-Oct	30,19	38,88%	58,42%	2,71%
23-Oct	30,19	38,97%	58,18%	2,85%
24-Oct	32,45	37,81%	56,53%	5,66%
25-Oct	35,36	35,24%	54,21%	10,56%

Berdasarkan perhitungan Rossin-Ramler distribusi fragmentasi batukapur hasil geometri aktual dapat dilihat pada Gambar 5.



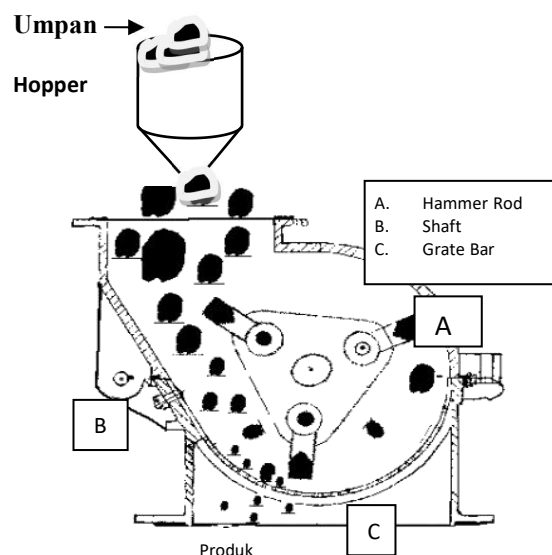
Gambar 5. Distribusi fragmentasi batukapur berdasarkan geometri aktual

Dari Gambar 5 distribusi ukuran fragmentasi batukapur didapatkan hasil persentasi batukapur ukuran 1-10 cm sebesar 7,63%, ukuran 11-25 cm sebesar 22,75%, ukuran 26-50 cm sebesar 37,70%, ukuran 51-75 cm sebesar 21,20%, dan yang berukuran lebih dari 75 cm sebesar 10,90%.

c. Analisis kinerja *hammer crusher*

Untuk melihat kinerja alat *hammer crusher* dalam menggerus batukapur sangat tergantung pada ukuran fragmentasi batukapur hasil peledakan di tambang batukapur PT Semen Indonesia Tbk.

Dalam penanganan batukapur dilakukan oleh alat galimuat tipe *excavator* yaitu *excavator backhoe* komatsu PC300-8 kapasitas *bucket* 2,21 m³ dan *excavator backhoe* komatsu PC400LC-8 kapasitas *bucket* 3,20 m. Kemudian diangkut oleh *Dump Truck* tipe Scania-340, Scania-380, dan *dump truck* quester yang masing-masing memiliki kapasitas ± 30 ton ke unit *crushing plant* yang pada penelitian ini khususnya unit Tuban 1. Sebelum *dumping* umpan ke *crusher*, *dump truck* terlebih dahulu melakukan penimbangan yang bertujuan untuk menghitung besar produksinya.



Gambar 6. Alat *hammer crusher* tipe single shaft

Unit *crushing plant* Tuban 1 berfungsi untuk mereduksi ukuran batukapur yang dihasilkan dari kegiatan peledakan menggunakan teknologi *single shaft hammer crusher* yang berkapasitas 1.400 ton/jam. Umpan yang masuk ke unit *crushing plant* melalui *hopper* dibawa oleh *dumptruck*. Unit ini direncanakan memiliki jam kerja sebesar 21 jam/hari yang dibagi menjadi 3 *shift* dengan target produksi perusahaan sebesar 368.746 ton/bulan.

a. Perhitungan nilai reduction ratio (RR) *hammer crusher*

Hammer crusher yang digunakan PT Semen Indonesia Tbk secara desain dapat menerima umpan dengan ukuran ≤1.500 mm dan

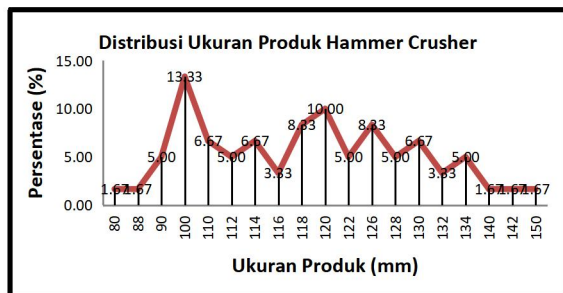
menghasilkan produk berukuran ± 100 mm, sehingga nilai RR teoritis alat peremuk sebesar 15. Dari hasil pengamatan kondisi actual di lapangan menunjukkan ukuran rata-rata umpan yang masuk sebesar 458,2 mm.

Produk ukuran yang dihasilkan dari *hammer crusher* memiliki ukuran rata-rata produk yang dihasilkan adalah sebesar 116,8 mm, sehingga *ratio reduction (RR)* actual dari *hammer crusher* unit Tuban 1 sebesar 3,9.

Produk yang dihasilkan dari *hammer crusher* juga memiliki distribusi ukuran yang beragam dengan ukuran rata-rata produk yang dihasilkan adalah sebesar 116,8 mm. Sehingga nilai RR actual alat peremuk adalah sebagai berikut:

$$RR \text{ actual} = \frac{458,2 \text{ mm}}{116,8 \text{ mm}} = 3,9$$

Dari hasil perhitungan didapat nilai RR actual *hammer crusher* sebesar 3,9. Nilai RR actual masih relative tidak baik, mengingat ukuran batukapur yang masuk sebagai umpan dan ukuran produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang direncanakan karena akan menghasilkan ukuran batukapur yang halus dari ketentuan teknis sebesar 5%.



Gambar 7. Distribusi ukuran produk batukapur sebelum perbaikan

Pada gambar 7. Menunjukkan bahwa produk yang dihasilkan *hammer crusher* yaitu ukuran 100 mm sebesar 13,33% dari 60 sampel, ukuran dibawah 100 mm sebesar 8,34%, dan yang lebih besar dari 100 mm sebesar 78,33%. Hasil ini dianggap tidak baik dikarenakan tidak memenuhi target yang ditetapkan perusahaan yaitu menghasilkan produk ukuran 0-100 mm dengan ukuran yang lebih besar dari 100 mm maksimal hanya 5%.

Dari hasil ini diketahui bahwa dengan hasil produksi sebesar 278.601 ton/bulan, target ukuran produk yang tercapai selama penelitian adalah sebesar 21,67% dari total produksi atau sebesar 60.373 ton/bulan. Sedangkan seharusnya banyaknya produk ukuran yang dihasilkan berdasarkan target perusahaan yaitu sebesar 95% dari total produksi atau sebesar 368.746 ton/bulan yaitu sebesar 350.308 ton/bulan.

2. Analisis hambatan-hambatan pada unit C Crushing Plant Tuban 1

Pada tahap ini akan di evaluasi dan dianalisis penyebab terjadi in efisiensi yang terjadi pada sistem produksi batukapur di Unit Crushing Pant Tuban khususnya pada kinerja alat hammer crusher. Efisiensi kerja menunjukkan persentase waktu efektif operasi rata-rata unit *hammer crusher* dengan memperhatikan kehilangan waktu yang disebabkan oleh berbagai hambatan baik mekanis maupun non-mekanis.

Dari tabel 2 diketahui bahwa total waktu yang hilang dari hambatan teknis mencapai total hambatan sebesar 803 menit per bulan.

Hambatan teknis berasal dari kerusakan mekanik alat dan kerusakan elektrik serta hambatan proses menjadi hambatan paling besar yaitu 519 menit/bulan. Hambatan teknis relative lebih kecil dari hambatan non teknis.

Tabel 2. Hambatan mekanis pada unit *crushing plant* Tuban 1

No	Hambatan	Waktu (Menit/Bulan)	Total Waktu (Menit/Bulan)
1	Kerusakan Mekanik	56	803 atau 13,02 jam/bulan
2	Kerusakan Elektrik	228	
3	Hambatan Proses	519	

Hambatan non-mekanis berasal dari luar alat. Hambatan ini menyebabkan *crushing plant* berhenti beroperasi padahal alat dalam keadaan *standby* atau siap untuk digunakan (tidak ada kerusakan). Total kehilangan waktu akibat hambatan-hambatan non-mekanis dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hambatan non-mekanis pada unit *crushing Plant* Tuban 1

No	Hambatan	Waktu (menit/bulan)	Total waktu (menit/bulan)
A	NON MEKANIS		
1	Stockpile penuh	8.571	25.968 atau 432,8 jam/bulan
2	Dumptruck terlambat	5.530	
3	Overshift	637	
4	Blasting	252	
5	Kondisi Lainnya	10.978	

Dari pengamatan dilapangan hambatan non teknis merupakan hambatan yang paling besar mengakibatkan kehilangan waktu (loss time) yang relative besar total hambatan 25.968 menit/bulan atau 432 jam/bulan. Hambatan non teknis meliputi : stockpile penuh, dumtruck terlambat, overshift, blasting dan kondisi lainnya. Hambatan-hambatan tentunya perlu perbaikan agar Dapat meningkatkan efisiensi kerja dan waktu efektif meningkat.

3. Analisis perbaikan sistem produksi batukapur

Pada tahap ini akan di evaluasi dan di analisis perbaikan sistem produksi batukapur agar waktu efektif produksi batukapur dapat dinaikkan dan nilai efisiensi waktu kerja Dapat meningkat sehingga produksi di unit Tuban Dapat meningkat sesuai target produksi perusahaan. Dari data periode bulan Oktober 2021, kehilangan waktu yang disebabkan oleh berbagai hambatan. Jumlah waktu kerja yang ditetapkan oleh perusahaan untuk unit *crushing plant* adalah 21 jam/hari selama sebulan, namun pada kenyataannya banyak waktu yang hilang akibat hambatan yang terjadi yaitu sebesar 6,78 jam/hari. Jumlah waktu kerja efektif rata-rata pada saat ini, yaitu:

$$W_{\text{efektif}} = W_{\text{tersedia}} - W_{\text{hilang}} \\ = (21+0,036) \text{ jam/hari} - 14,38 \text{ jam/hari} \\ = 6,78 \text{ jam/hari}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Waktu kerja efektif}}{\text{Waktu kerja tersedia}} \times 100\% \\ = \frac{6,78 \text{ jam/hari}}{21,036 \text{ jam/hari}} \times 100\% \\ = 32,28\%$$

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa nilai efisiensi kerja sebesar 32,28%. Hasil ini dapat dikatakan rendah. Dari perhitungan didapatkan nilai produktivitas unit *crushing plant* sebesar 278.601 ton/bulan atau 8.987,13ton/hari. Kondisi ini harus diperbaiki dengan melakukan perbaikan hambatan teknis dan non teknis.

a. Perbaikan kinerja *hammer crusher*

Untuk mengurangi hambatan *stockpile* penuh yang menyebabkan *hammer crusher standby* mengakibatkan waktu hilang, untuk perlu dilakukan perluasan area *stockpile*. Apabila alternatif solusi ini dapat diaplikasikan, maka waktu yang hilang akibat hambatan *stockpile* penuh ini diharapkan dapat dikembalikan sekitar 4.200 menit/bulan atau 70 jam/bulan.

Sedangkan hambatan *dumtruck* terlambat, kondisi dapat diatasi dengan melakukan evaluasi terhadap ketersediaan alat muat-angkut, dan juga melakukan perawatan yang berkala terhadap alat muat angkut agar alat tidak cepat rusak.

Jika alternatif solusi ini diaplikasikan maka diharapkan dapat meminimalisir waktu hambatan

menjadi 1.860 menit/bulan atau 1 jam/hari. Disamping kegiatan overshift dapat diturunkan menjadi 160 menit/bulan dengan melakukan perbaikan personil pegawai.

Tabel 3. Hambatan pada unit *crushing plant* Tuban 1 setelah perbaikan

No	Hambatan	Waktu (menit/bulan)	Total Waktu (menit/bulan)
A NON MEKANIS			
1	Stockpile Penuh	4.371	17.621
2	Dumtruck Terlambat	1.860	
3	Overshift	160	
4	Blasting	252	
5	KondisiLainnya	10.978	
B MEKANIS			
1	Kerusakan Mekanik	51	781
2	Kerusakan Elektrik	193	
3	Kerusakan Lainnya	537	

Setelah dilakukan perbaikan terhadap kehilangan waktu karena hambatan non-mekanis dengan memberikan alternatif solusi, terjadi penurunan jumlah waktu *kehilangan dari 25.968 menit /bulan menjadi 17.621 menit/bulan.*

Setelah dilakukan perbaikan hambatan produksi dengan alternatif solusi. Maka dapat dihitung diharapkan waktu kerja efektif dari unit *hammer crusher* Tuban 1 meningkat menjadi 344,3 jam/bulan atau 11,11 jam/hari, sehingga didapatkan nilai efisiensi kerja setelah perbaikan yaitu:

$$E_f = \frac{\text{Waktu kerja efektif}}{\text{Waktu kerja tersedia}} \times 100\% \\ = \frac{11,11 \text{ jam/hari}}{21 \text{ jam/hari}} \times 100\% \\ = 52,90\%$$

Nilai efisiensi kerja meningkat dari 32,28 % menjadi 52,90% dan waktu kerja efektif meningkat dari 6,78 jam/hari menjadi 11,11 jam/hari.

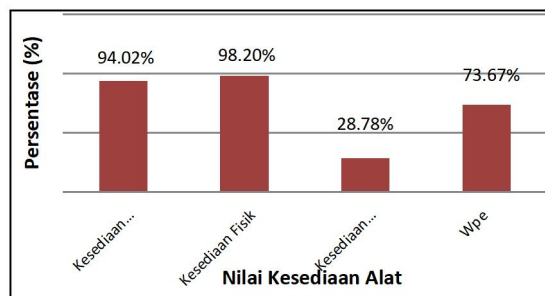
Solusi alternatif terhadap perbaikan hambatan-hambatan non-mekanis yaitu *stockpile* penuh, *dumtruck* yang terlambat dan *overshift*, diharapkan waktu kerja efektif dari 6,78 jam/hari menjadi 11,11 jam/hari, sehingga unit *hammer crusher* Tuban 1 meningkat menjadi 344,3 jam/bulan

Setelah diberikan alternatif solusi untuk mengatasi hambatan non-mekanis, maka nilai kesediaan alat juga mengalami perubahan.

b. Analisis nilai ketersediaan alat aktual

Berdasarkan hasil pengolahan data waktu hambatan, baik mekanis maupun non-mekanis di dapat nilai kesediaan mekanis unit *crushing plant* Tuban 1 sebesar 94,02%, nilai kesediaan fisik unit *crushing plant* sebesar 98,20%, nilai kesediaan penggunaan unit *crushing plant* sebesar 28,78%.

Dari hasil tersebut didapatkan waktu produktif selektifnya sebesar 73,67%. Dari hasil tersebut didapatkan grafik pada Gambar 8 yang menunjukkan nilai-nilai kesediaan alat unit *crushing plant* Tuban 1 secara aktual. Dari analisis nilai ketersediaan actual maka Dapat dihitung beban produksi actual dari alat hammer crusher.



Gambar 8. Nilai kesediaan alat actual

Dengan memperhatikan waktu kerja yang tersedia dan nilai kesediaan alat terutama nilai waktu penggunaan efektif (Wpe).

Dengan target produksi batukapur (Tp) sebesar ± 368.746 ton/bulan, waktu total (Wt) sebesar 652,11 jam/bulan dan nilai persentase waktu penggunaan efektif (Wpe) sebesar 31,63% atau setara dengan 0,3163, maka dapat dihitung nilai beban produksi per jam sebagai berikut:

$$Th = \frac{Tp}{Wt \times Wpe} = \frac{368.746 \text{ ton/bulan}}{652,11 \text{ jam/bulan} \times 0,3163} = 1.787,75 \text{ ton/jam}$$

Nilai beban produksi untuk mencapai target produksi *hammer crusher* Tuban 1 sebesar 1.787,75 ton/jam dan dinilai terlalu besar serta melebihi kapasitas dari *hammer crusher* itu sendiri yang berkapasitas 1.400 ton/jam.

Setelah diberikan alternatif solusi untuk mengatasi hambatan non-mekanis, maka nilai kesediaan alat juga mengalami perubahan. Nilai kesediaan mekanis mengalami kenaikan menjadi 96,17%, nilai kesediaan fisik tetap 98,20%, nilai kesediaan penggunaan mengalami kenaikan menjadi 45,94%.

Selain itu diketahui bahwa jumlah waktu kerja efektif meningkat menjadi 335,63 jam/bulan dan nilai persentase waktu produktif selektif menjadi 80,10% atau setara dengan 0,8010. Dengan target produksi sebesar 377.686 ton/bulan, maka nilai beban produksi per jam setelah perbaikan sebesar 1.404,87 ton/jam.

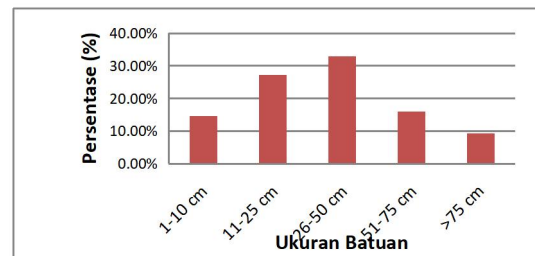
c. Perbaikan fragmentasi berdasarkan geometri peledakan teoritis

Dalam kajian perbaikan geometri peledakan agar diperoleh ukuran yang direncanakan, maka dilakukan perhitungan estimasi dengan persamaan R.L. Ash, sehingga didapatkan geometri peledakan teoritis yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Geometri peledakan teoritis

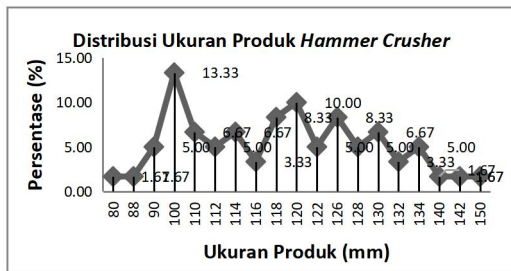
Burden	2,28 m
Spacing	2,85 m
Hole Depth	5,656 m
Power Charge	3,376 m
Bench Height	5,2 m
Stemming	2,28 m
Subdrilling	0,456 m
Berat bahan peledak/ lubang	16,83 Kg/Lubang
Volume batuan terbongkar/ Lubang	33,7896 m3

Berdasarkan geometri tersebut dan juga faktor batuan di lapangan, setelah dilakukan perhitungan, maka didapatkan ukuran fragmentasi rata-rata mengalami penurunan dari 36,99 cm menjadi sebesar 30,03 cm. Berdasarkan perhitungan Rossin-Ramler distribusi fragmentasi batukapur hasil geometri aktual dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Distribusi fragmentasi berdasarkan geometri teoritis

Dari gambar 9 distribusi ukuran fragmentasi batu kapur diatas didapatkan hasil persentase batukapur ukuran 1-10 cm sebesar 14,62%, ukuran 11-25 cm sebesar 27,21%, ukuran 26-50 cm sebesar 32,90%, ukuran 51-75 cm sebesar 15,95%, dan yang berukuran lebih dari 75 cm sebesar 9,32%. Berdasarkan geometri teoritis, persentase bongkah hasil peledakan atau yang berukuran lebih dari 75 cm mengalami penurunan kurang dari 10%. sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya material tersangkut.



Gambar 10. Distribusi ukuran produk *hammer crusher*

d. Perhitungan produktivitas

Dengan meningkatnya waktu kerja efektif dari *hammer crusher* maka produktivitasnya pun ikut meningkat. Dengan target produksi sebesar 368.746 ton/bulan, maka nilai beban produksi per jam setelah perbaikan adalah sebagai berikut:

$$Th = \frac{Tp}{Wt \times Wpe}$$

$$= \frac{368.746 \text{ ton/bulan}}{651 \frac{\text{jam}}{\text{bulan}} \times 0,5289}$$

$$= 1.070,96 \text{ ton/jam}$$

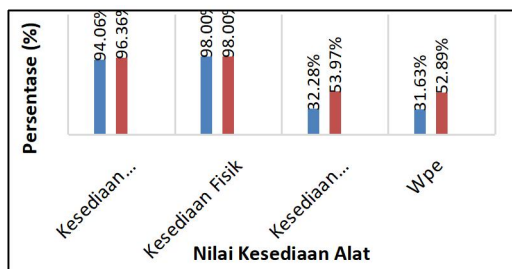
sebesar:

$$Q = 1.070,96 \text{ ton/jam} \times 11,11 \text{ jam/hari}$$

$$= 11.898,7 \text{ ton/hari}$$

Total produksi batukapur sebesar 11.898,7 ton/hari. Sehingga produksi batukapur per bulan diperkirakan sebesar 356.950,9 ton

Dengan produksi batukapur per jam unit *crushing plant* setelah perbaikan adalah sebesar 1.070,96 ton/jam. Hasil ini dianggap baik karena tidak lebih besar dari kapasitas *hammer crusher*.



Gambar 11. Perbandingan nilai kesiediaan alat sebelum dan sesudah perbaikan

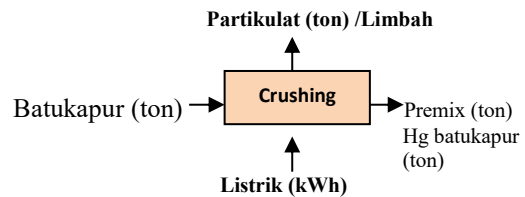
Dari gambar 11 menunjukkan adanya perbaikan sistem produksi batukapur dari alat *hammer crusher*.

e. Analisis penggunaan daya listrik

Energi listrik sangat penting dalam proses pememukan batukapur oleh alat *hammer crusher*. Besarnya energi listrik dipengaruhi oleh daya listrik yang dikeluarkan dan jam kerja alat tersebut bekerja. *Hammer crusher* dikatakan efisien apabila

dengan minimnya daya listrik yang dikeluarkan bisa mencapai target ukuran produk yang diharapkan. Estimasi daya listrik yang digunakan dapat dihitung dengan persamaan Bond.

Berdasarkan persamaan bond, daya listrik (P) yang digunakan dipengaruhi oleh beberapa parameter, yaitu besarnya ukuran *feed* (F) yang masuk (mikron), besarnya laju pengumpanan (m) kedalam *hammer crusher* (ton/jam), target ukuran produk (p) yang diinginkan (mikron), dan juga *bond work index* (wi) yang merupakan ukuran ketahanan batuan terhadap proses pememukan. Besar wi untuk batukapur sebesar 12,74 yang berarti memiliki ketahanan *medium* untuk diremuk.



Gambar 12. Diagram alir input dan output proses *crushing* batukapur

Perhitungan daya listrik yang digunakan untuk mencapai target produk ukuran batukapur yang diinginkan perusahaan adalah sebagai berikut:

$$Wi = 12,74 \text{ (work index batukapur)}$$

$$m = 1.344,36 \text{ ton/jam (laju pengumpanan maksimal)}$$

$$F = 30,54 \text{ cm} = 305.400 \text{ mikron}$$

$$P = 10 \text{ cm} = 100.000 \text{ mikron}$$

Persamaan Bond:

$$P = 10 \times wi \times m \left(\frac{1}{\sqrt{p}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right)$$

$$= 10 \times 12,74 \times 1.344,36 \times \left(\frac{1}{\sqrt{100.000}} - \frac{1}{\sqrt{305.400}} \right)$$

$$= 231,69 \text{ Kwh}$$

Hasil perhitungan estimasi daya listrik berdasarkan ukuran *feed* dan laju pengumpanan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Estimasi daya listrik berdasarkan ukuran *feed* dan laju pengumpanan

F (mikron)	p (mikron)	L (ton/jam)	Daya (Kw)	Kwh/Ton
305400	100000	1344,36	231,69	0,1723
458200	100000	1485,93	318,98	0,2147
412800	100000	1342,45	274,64	0,2046
372500	100000	1381,76	268,25	0,1941
322000	100000	1488,56	265,50	0,1784
423700	100000	1388,93	287,72	0,2072
402300	100000	1352,8	273,28	0,2020
358000	100000	1245,52	236,58	0,1899
323800	100000	1365,92	244,48	0,1790
353200	100000	1376,88	259,55	0,1885
348100	100000	1486,06	277,81	0,1869
305600	100000	1290,19	222,45	0,1724
393900	100000	1353,87	270,62	0,1999
364700	100000	1417,06	271,95	0,1919
304500	100000	1246,58	214,41	0,1720

427500	100000	1501	312,24	0,2080
393800	100000	1262,44	252,31	0,1999
376000	100000	1331,65	259,82	0,1951
313000	100000	1360,42	238,29	0,1752
313700	100000	1425,8	250,10	0,1754
363300	100000	1252,14	239,79	0,1915
353300	100000	1229,67	231,84	0,1885
301900	100000	1319,52	225,65	0,1710
301900	100000	1183,54	202,39	0,1710
362600	100000	1476,28	282,42	0,1913
353600	100000	1264,95	238,60	0,1886

Berdasarkan hasil perhitungan estimasi penggunaan daya listrik yang paling optimal untuk mencapai target produk ukuran *hammer crusher* adalah sebesar 202,39 kwh sd 231 kwh dengan ukuran *feed* sebesar 30,19 cm dan laju pengumpanan sebesar 1.183,54 ton/jam atau dengan kata lain energi yang dibutuhkan untuk meremukkan 1 ton batukapur sebesar 0,1710 kwh. Semakin kecil penggunaan daya listrik yang dibutuhkan untuk mencapai target produk ukuran, makabiaya yang dibutuhkan perusahaan untuk meremukkan batukapur dapat menurun dan lebih efisien.

Berdasarkan hasil ini dapat diketahui bahwa ukuran *feed* yang masuk mempengaruhi besarnya daya listrik yang dihasilkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Dari uraian dan analisis tersebut diatas maka dapat diambil kesimpulan sbb:

1. Dari hasil analisis aktual terhadap kinerja sistem produksi dari *drilling*, *blasting* dan alat *hammer mill* serta alat berat masih masih dibawah target, dimana kinerja produksi batukapur sebesar 30,5%, jam kerja efektif sebesar 6,78 jam/hari dengan produksi batukapur sebesar 278, ton/bulan. Ukuran fragmentasi batukapur yang menjadi umpan untuk *hammer crusher* memiliki distribusi dimana fragmentasi ukuran 51 - 75 cm sebesar 21,22%, dan yang berukuran >75 cm masih sebesar 10,90%. Ukuran rata-rata umpan sebesar 36,99 cm. Kondisi dinilai sangat tidak efisien karena penggunaan daya listrik *hammer crusher* masih sangat besar.
2. Kinerja dari *hammer crusher* didapatkan belum optimal karena nilai kesediaan alat dan efisiensi kerja alat rendah yang menyebabkan tidak tercapainya target produksi. Hal ini disebabkan adanya hambatan-hambatan pada unit *crushing plant* yang mengganggu proses reduksi. Hambatan tersebut meliputi : mekanis antara lain : kerusakan mekanik dan elektrik dan non-mekanis meliputi : *stockpile* penuh, *dumptruck* yang terlambat dan *overshift*.

3. Dari hasil perbaikan system produksi yang dilakukan khususnya pada geometri peledakan didapat ukuran fragmentasi ukuran batukapur >75cm dibawah 10%. Kondisi ini meningkatkan efisiensi kinerja *hammer* meningkat menjadi 50,29%, sehingga waktu efektif produksi mengalami kenaikan 11,11 jam/hari, sehingga produksi batukapur meningkat sebesar 356.950,9 ton per bulan atau mengalami kenaikan 11.898 ton per bulan. Dari hasil perhitungan diperoleh daya listrik yang digunakan oleh alat *hammer crusher* sebesar 231,69 kwh.

SARAN

1. Selalu menjalankan program kerja sesuai dengan SOP baik di tambang (*drilling* dan *blasting*) sampai ke *crushing plant* dan sesuai target perusahaan.
2. Melakukan monitoring dan evaluasi terhadap program *drilling*, *blasting* dan *crushing plant* secara periodik

DAFTAR PUSTAKA

- Ash, R.L. (1963). The Mechanics of Rock Breakage. Pit and Quarry Magazine.
- Cunningham, C.V.B., 1983, The Kuz-Ram model for prediction of fragmentation From Blasting. In R. Holmberg & A Rustan (eds), Proceedings of First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Lulea, 439-454
- Fahrudin, Ahmad. (2018). Kajian Teknis Produktivitas Hammer Crusher Tuban 1 Untuk Mencapai Target Produksi Batu Kapur Sebesar 425.250 Ton/Bulan di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk, Kabupaten Tuban.
- Handoko, P. (2015). Kajian Teknis Peremukan Batu Kapur (Size Reduction) pada Unit Crushing Plant untuk Mencapai Target Produksi Sebesar 7000 ton/hari di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk. Skripsi, Fakultas Teknik: Universitas Sriwijaya.
- Harahap, A.I., Iskandar, H., Arief, T., (2014). Kajian Kominusi Limestone Pada Area Penambangan PT. Semen Padang (Persero) Tbk. Bukit Karang Putih Indarung Sumatera Barat. Jurnal Ilmu Teknik Universitas Sriwijaya, Vol. 2 (2).
- Hendy. (2016). Analisis Hubungan Antara Nilai Kesediaan Alat dan Ukuran Fragmentasi Hasil Peledakan Dengan Besarnya Penggunaan Daya Listrik Pada Hammer Crusher di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk Baturaja

- Sumatera Selatan. Skripsi, Fakultas Teknik: Universitas Sriwijaya.
- Indonesianto, Y. (2016). Pemindahan Tanah Mekanis. Yogyakarta: Seri Tambang Umum UPN “Veteran” Yogyakarta Skripsi, Fakultas Teknik: Universitas Sriwijaya.
- Konya. J. Calvin and Edward. J. Walter, (1995), Blast Design, Precision Blasting Services, Montville, Ohio, P. 6375, 114-130.
- Malau, R.R. (2012). Kajian Teknis Produksi Alat Peremuk pada Peremukan Batu Granit untuk mencapai target Produksi 200.000 ton/bulan di PT. Wira Penta Kencana Tanjung Balai Kabupaten Karimun-Kepulauan Riau. Skripsi. Fakultas Teknik: Universitas Sriwijaya.
- Putera, R.Y. (2018). Kajian Teknis Perencanaan Size Reduction Batukapur Pada Unit Crushing Plant Pabrik Operasi 1 Untuk Mencapai Target Produksi di PT Semen Baturaja (Persero) Tbk, Baturaja, Sumatera Selatan. Skripsi, Fakultas Teknik: Universitas Srwijaya.
- Willis, B.A., Finch, J.A. (2016). Mineral Processing Technology, Eight Edition. UK: Butterworth-Heinemann.