

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Landasan teori merupakan teori-teori yang berhubungan atau berfungsi sebagai pedoman atau acuan agar peneliti tidak menyimpang dari tujuan awal yang telah ditetapkan.

2.1.1 Jaw Crusher

Jaw Crusher adalah alat pemecah material padat seperti batuan yang bekerja dengan prinsip tekanan mekanik antara dua buah rahang, yaitu rahang tetap (*fixed jaw*) dan rahang gerak (*moving jaw*). Proses penghancuran terjadi akibat gerakan osilasi rahang gerak yang didorong oleh poros eksentrik, sehingga material yang masuk ke dalam ruang penghancur (*crushing chamber*) terjepit dan hancur. Mekanisme ini dikategorikan sebagai sistem kompresi mekanik yang umum digunakan dalam proses primary crushing atau tahap awal pemecahan material (Sumarjono dkk., 2025). Bentuk fisik dari *Jaw Crusher* secara umum dapat dilihat pada Gambar 2. 1 (Sumarjono dkk., 2025).



Gambar 2. 1 Jaw Crusher

Jaw Crusher tersedia dalam beberapa konfigurasi, di antaranya Blake *Jaw Crusher* (dengan engsel di bawah) dan Dodge *Jaw Crusher* (engsel di atas). Mesin ini memiliki ukuran pembukaan rahang bervariasi, mulai dari 150 × 250 mm hingga di atas 1000 × 1200 mm, dengan hasil reduksi ukuran material mencapai 10–50 mm tergantung pada pengaturan *closed side setting* (Mutethya dkk., 2020).

Desainnya yang sederhana namun kokoh membuat *Jaw Crusher* menjadi alat favorit di sektor industri menengah hingga besar, terutama dalam proses *primary crushing* atau penghancuran tahap pertama. Mesin ini banyak digunakan dalam sektor pertambangan, pabrik semen, konstruksi jalan, dan pengolahan bahan galian. Efisiensi penghancuran, perawatan yang relatif mudah, serta daya tahan tinggi menjadikan *Jaw Crusher* sebagai pilihan utama dalam berbagai proses pemecahan material batuan keras.

2.1.2 Prinsip Kerja Jaw Crusher

Jaw Crusher bekerja berdasarkan prinsip tekanan mekanis. Material yang akan dihancurkan dimasukkan ke dalam ruang penghancur (*crushing chamber*) yang terdiri dari dua rahang (*jaw*): satu tetap dan satu bergerak.

1. Material Dimasukkan

Batu atau material dimasukkan ke bagian atas *Jaw Crusher* melalui hopper atau feed opening.

2. Proses Penghancuran

Rahang bergerak (*moving jaw*) didorong oleh poros eksentrik dan melakukan gerakan maju-mundur terhadap rahang tetap (*fixed jaw*). Saat rahang bergerak maju, material terjepit dan dihancurkan oleh tekanan antara kedua rahang. Saat rahang bergerak mundur, material yang sudah pecah akan jatuh ke bawah.

3. Keluaran Material

Material yang sudah dihancurkan keluar melalui bukaan bawah (*discharge opening*), yang bisa diatur untuk menentukan ukuran hasil akhir.

2.1.3 Rangkaian Star-Delta

Rangkaian *Star-Delta* adalah metode pengasutan motor induksi tiga fasa yang umum digunakan untuk mengurangi arus *start* yang tinggi saat motor pertama kali dinyalakan. Arus *start* yang besar dapat menyebabkan gangguan tegangan pada sistem tenaga listrik dan memperpendek umur peralatan. Oleh karena itu, saat *start*, motor dihubungkan dalam konfigurasi *Star* (bintang), sehingga tegangan yang diterima tiap fasa berkurang menjadi $1/\sqrt{3}$ dari tegangan saluran. Dengan demikian,

arus *start* akan berkurang secara signifikan. Setelah beberapa detik, sistem berpindah ke konfigurasi *Delta* (segitiga) agar motor menerima tegangan penuh dan menghasilkan torsi maksimum.

Menurut Yudha Hartawan & Galina, (2022), metode *star-delta* ini efektif digunakan pada motor-motor induksi dengan daya di atas 7,5 kW. Selain mampu menekan arus awal, metode ini juga menjaga kestabilan sistem tenaga saat proses *start* berlangsung.

Secara teoritis, penurunan arus pada pengasutan *Star-Delta* sangat signifikan dibandingkan dengan metode penyalaan langsung atau *Direct-On-Line* (DOL). Karena tegangan fasa pada hubungan *Star* turun menjadi $V_L/\sqrt{3}$, maka arus jaringan yang ditarik oleh motor juga ikut merosot secara proporsional. Secara matematis, arus *start* dan torsi awal pada konfigurasi *Star* hanya sebesar sepertiga ($1/3$) dari arus dan torsi jika motor langsung dihubungkan secara *Delta*. Karakteristik ini membuat motor tidak langsung menghentak saat pertama kali dihidupkan.

Penerapan metode ini sangat krusial pada sistem mekanik mesin *jaw crusher*. Mesin ini menggunakan penggerak berupa motor berkapasitas 11 kW (15 HP) yang terhubung dengan poros eksentrik dan *flywheel*. Komponen *flywheel* memiliki momen inersia yang sangat tinggi saat dalam keadaan diam. Jika motor langsung dihidupkan dengan daya penuh (*Delta*), beban inersia tersebut akan memicu lonjakan arus (*inrush current*) ekstrem yang dapat memicu sistem proteksi seperti MCB atau *Thermal Overload Relay* (TOR) menjadi *trip*. Oleh karena itu, sistem pengasutan dikontrol menggunakan *timer* (pewaktu) yang menahan motor di fase *Star* selama 5 detik awal. Durasi ini memberikan waktu bagi *flywheel* untuk membangun momentum putaran dasar secara perlahan. Setelah putaran stabil dan beban inersia awal terlampaui, kontaktor secara otomatis beralih ke konfigurasi *Delta* untuk mensuplai torsi maksimal yang dibutuhkan guna memecah batuan keras.

2.1.4 Konsumsi Daya Motor Listrik

Motor listrik induksi tiga fasa merupakan komponen penggerak utama pada mesin *jaw crusher* yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik (putaran). Kinerja dan efisiensi mesin sangat dipengaruhi oleh seberapa besar daya listrik yang dikonsumsi oleh motor saat menggerakkan mekanisme rahang

kompresi, baik dalam kondisi tanpa beban (beban inersia *flywheel*) maupun saat diberi beban material.

Dalam sistem kelistrikan arus bolak-balik (AC), daya listrik terbagi menjadi tiga jenis, yaitu daya semu (*Apparent Power*), daya aktif (*Active Power*), dan daya reaktif (*Reactive Power*). Daya aktif adalah daya sebenarnya yang dikonsumsi oleh motor untuk melakukan kerja mekanik, yang satuannya dinyatakan dalam *Watt* (W) atau *Kilowatt* (kW).

Secara umum, untuk mengetahui besaran daya yang diserap oleh motor pada tiap fasanya, perhitungan dasar yang digunakan adalah perkalian antara tegangan (*Volt*) dan arus (*Ampere*) yang mengalir. Persamaan dasar konsumsi daya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = V \times I \quad (2.1)$$

Dimana:

- a) **P** = Daya listrik (*Watt atau Volt-Ampere*)
- b) **V** = Tegangan listrik terukur (*Volt*)
- c) **I** = Arus listrik terukur (*Ampere*)

Pada pengujian motor induksi di lapangan, pengukuran tegangan (*V*) menggunakan multimeter dan pengukuran arus (*I*) menggunakan clamp meter (tang ampere) pada masing-masing fasa (R, S, dan T) sering dilakukan untuk mengetahui nilai daya aktual (pendekatan daya per fasa). Nilai daya yang didapatkan dari perkalian langsung $V \times I$ merupakan representasi dari beban listrik yang sedang ditarik oleh motor saat beroperasi.

Jika beban mekanik pada mesin (seperti batu yang keras atau volume material yang besar) meningkat, maka motor akan membutuhkan torsi yang lebih besar untuk mempertahankan putaran. Hal ini secara otomatis akan menyebabkan tarikan arus (*I*) dari sumber listrik meningkat, yang berbanding lurus dengan peningkatan konsumsi daya (*P*) secara keseluruhan. Oleh karena itu, perhitungan daya ini menjadi parameter penting untuk menentukan apakah kapasitas motor (dalam hal ini 15 HP) sudah memadai dan aman dari kondisi *overload* selama proses penghancuran batu sungai.

Hal ini secara otomatis akan menyebabkan tarikan arus (*I*) dari sumber listrik

meningkat, yang berbanding lurus dengan peningkatan konsumsi daya (P) yang dihitung melalui nomor persamaan (2.1) secara keseluruhan.

2.1.5 Kapasitas Penghancuran Material

Kapasitas penghancuran material merupakan parameter utama untuk menentukan unjuk kerja dan produktivitas dari mesin *jaw crusher*. Kapasitas ini menunjukkan seberapa besar kemampuan mesin dalam memproses dan memecahkan material keras, seperti batu sungai, menjadi ukuran yang lebih kecil dalam rentang waktu tertentu, baik dalam kondisi tanpa hambatan maupun saat mesin diberi beban maksimal.

Secara umum, untuk mengetahui besaran kapasitas produksi dari mesin penghancur, perhitungan dasar yang digunakan adalah perbandingan antara massa atau berat material awal dengan waktu tempuh yang dihabiskan selama proses penghancuran berlangsung. Persamaan dasar kapasitas penghancuran material dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C = (m / t) \times 3600 \quad (2.2)$$

Dimana:

- a) C = Kapasitas penghancuran material (kg/jam)
- b) m = Massa material yang dimasukkan (kg)
- c) t = Waktu penghancuran terukur (detik)
- d) 3600 = Angka konversi dari satuan detik ke jam

Pada pengujian kapasitas mesin di lapangan, pengukuran massa (m) dilakukan menggunakan timbangan, Oleh karena itu, besarnya nilai kapasitas produksi ini sangat bergantung pada variabel waktu dan massa yang dihitung menggunakan nomor persamaan (2.2) tersebut. untuk mengetahui presisi berat batu sebelum dimasukkan, dan pengukuran waktu (t) menggunakan stopwatch yang diaktifkan sejak material masuk ke *crushing chamber* hingga hancur sepenuhnya. Nilai kapasitas yang didapatkan dari perhitungan rumus di atas merupakan representasi dari kecepatan produksi alat saat beroperasi.

Jika beban mekanik pada mesin meningkat (misalnya ukuran batu lebih besar atau celah keluaran rahang diatur lebih sempit), maka motor dan sistem kompresi akan membutuhkan waktu (t) yang lebih lama untuk menyelesaikan proses

penghancuran. Hal ini secara otomatis akan menyebabkan angka kapasitas penghancuran (C) menurun secara keseluruhan. Oleh karena itu, perhitungan kapasitas ini menjadi parameter penting untuk menentukan apakah desain mesin yang dirancang sudah memadai untuk mencapai target produksi industri menengah, yaitu sebesar 1000 kg/jam.

2.1.6 Sistem Transmisi Sabuk-V (*V-Belt*) dan *Pulley*

Sistem transmisi daya pada mesin jaw crusher memegang peranan penting untuk menyalurkan putaran dari motor listrik menuju mekanisme poros eksentrik. Pada perancangan mesin pemecah batu, jenis transmisi yang paling umum dan efektif digunakan adalah kombinasi sabuk-V (*V-Belt*) dan *pulley*. Motor penggerak biasanya beroperasi pada putaran yang relatif tinggi, sementara mekanisme kompresi rahang membutuhkan putaran yang lebih lambat namun dengan tenaga dorong (torsi) yang sangat besar. Oleh karena itu, ukuran *pulley* pada motor dirancang lebih kecil dibandingkan *pulley* penerima daya yang biasanya menyatu dengan *flywheel* pada poros eksentrik. Perbedaan ukuran ini berfungsi untuk menurunkan kecepatan putaran mekanik sekaligus melipatgandakan kekuatan dorongan rahang, kombinasi sabuk V atau *V Belt dan Pully* bisa dilihat pada Gambar 2. 2.



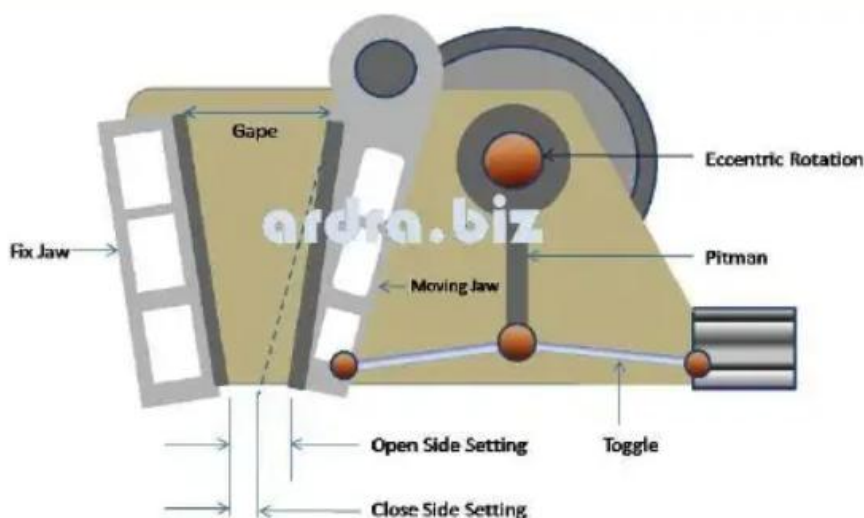
Gambar 2. 2 Kombinasi sabuk V atau *V Belt dan Pully*

Pemilihan sabuk-V atau *V Belt* sangat ideal untuk mesin *jaw crusher* karena kemampuannya dalam meredam getaran dan menahan beban kejut. Saat rahang mesin menjepit dan memecahkan batu sungai yang keras, akan terjadi hentakan mekanik yang sangat kuat secara terus-menerus. Sabuk-V yang terbuat dari material karet berserat memiliki sifat elastisitas tertentu yang mampu menyerap hentakan tersebut. Dengan demikian, getaran ekstrem dari rahang penghancur tidak akan merambat langsung dan merusak poros motor listrik.

Selain itu, sabuk-V juga berfungsi sebagai pengaman mekanik secara pasif. Apabila mesin mengalami kondisi beban berlebih yang ekstrem misalnya ada material yang tidak bisa pecah sehingga menyumbat dan membuat rahang macet (*jamming*) sabuk-V dirancang untuk dapat sedikit selip (*slip*) pada alur *pulley*. Efek selip ini sangat penting untuk mencegah putaran motor tertahan secara tiba-tiba, sehingga menghindarkan komponen kelistrikan motor dari risiko panas berlebih atau lilitan terbakar akibat arus yang tertahan.

2.1.7 Mekanisme Kompresi Dua Rahang

Mesin *jaw crusher* beroperasi menggunakan prinsip tekanan mekanis atau kompresi antara dua buah bidang pelat baja untuk menghancurkan material keras. Sistem kompresi ini dikenal dengan istilah mekanisme dua rahang, yang terdiri dari rahang tetap (*fixed jaw*) dan rahang gerak (*moving jaw*), yang dapat dilihat pada Gambar 2. 3 (dody, 2017).



Gambar 2. 3 *Fix Jaw* dan *Moving jaw*

Dalam perancangannya, rahang tetap dipasang secara statis dan kokoh pada rangka utama mesin, berfungsi sebagai dinding penahan atau tumpuan saat material dihancurkan. Sementara itu, rahang gerak digantung pada poros eksentrik yang terhubung dengan sistem transmisi daya dari motor listrik. Ketika poros eksentrik berputar, rahang gerak akan melakukan gerakan berayun maju-mundur secara terus-menerus, mendekati dan menjauhi rahang tetap.

Proses penghancuran (kompresi) terjadi pada saat rahang gerak berayun maju menekan bongkahan batu ke arah rahang tetap. Gaya tekan jepit yang sangat besar dari kedua sisi rahang ini akan melampaui batas kekuatan tekan batuan, sehingga batu tersebut retak dan pecah. Kemudian, pada siklus saat rahang gerak berayun mundur, celah antara kedua rahang (*crushing chamber*) akan membesar. Kondisi ini memungkinkan serpihan batu yang sudah pecah untuk merosot jatuh ke area bukaan bawah (*discharge opening*) akibat gaya gravitasi. Siklus jepit dan lepas ini berlangsung sangat cepat dan berulang-ulang, menjadikan sistem kompresi dua rahang ini sangat andal untuk mereduksi material berukuran besar secara kontinu.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian pertama yang cukup visioner datang dari (Bogdanovská dkk., 2025a) melalui karya "*Analysis of Causes and Consequences of Failures in Process of Sungai Crushing by Jaw Crusher*". Penelitian ini fokus pada diagnosis kerusakan yang umum terjadi dalam proses penghancuran batu sungai. Mereka memakai metode FMEA dan berbagai pendekatan analitik untuk menilai komponen kritis. Ini jadi pelajaran penting untuk merancang *Jaw Crusher* yang tidak hanya kuat, tetapi juga minim downtime dan ramah lingkungan.

Selanjutnya, (Faisal Ahmad dkk., 2023) melalui penelitian tentang *mesin penyerut es batu* mungkin tampak tidak langsung terkait, namun justru memberi inspirasi dari segi portabilitas, efisiensi waktu, dan desain ergonomis. Mesin mereka mampu menyerut 56 kg es dalam waktu 2,8 menit—kecepatan yang jika dialihkan ke batu, bisa mengubah pendekatan mobilitas dalam desain *Jaw Crusher* portabel.

Penelitian dari (Huda dkk., 2023) merancang *crusher* skala laboratorium untuk limbah HP, menggunakan motor 3 HP dan menghasilkan kapasitas 42,8 kg/jam. Pendekatannya cocok diadaptasi untuk *Jaw Crusher* kecil-menengah yang

presisi dan hemat ruang.

Kemudian, (Artikov dkk., 2020) dalam artikelnya “*Systems Thinking in Jaw Crusher Analysis*” membahas pendekatan sistem dalam menganalisis kinerja mesin. Di sini, struktur hierarki dari *Jaw Crusher* dipetakan dari tingkat partikel hingga sistem penuh. Yang menarik: analisis sistemik ini membuka cara baru untuk optimasi performa dan efisiensi energi.

Penelitian oleh (Beloglazov, 2018) melalui karya “*Automation Experimental Studies of Grinding Process in Jaw Crusher Using DEM Simulation*” memperkenalkan pemodelan numerik menggunakan Discrete Element Method (DEM) untuk mempelajari proses penghancuran dalam *Jaw Crusher*. Ini bukan cuma simulasi, tapi semacam “*digital twin*” dari mesin *crusher*—berguna untuk merancang geometri dan kekuatan komponen tanpa harus uji coba fisik berulang.

Terakhir, penelitian oleh (Lumban Batu dkk., 2018) dari Polbeng melalui karya “*Perancangan Mesin Pemecah Batu Dolomit Kapasitas 500 kg/jam*” menunjukkan pentingnya desain struktural, pemilihan material, dan efisiensi transmisi. Meskipun jenis materialnya dolomit, prinsip desain *Jaw Crusher* di dalamnya masih sangat relevan. Dengan penggerak 1,5 HP dan sistem belt-pulley, desain ini hemat energi dan cocok untuk industri skala menengah.

Berikut ini adalah perbandingan dari beberapa penelitian terdahulu yang relevan dan sesuai dengan tema *Jaw Crusher* dapat dilihat pada Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Tabel Perbandingan Dari Beberapa Penelitian Terdahulu

No	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil Utama
1	Bogdanovská dkk. (2025)	<i>Failures in Sungaie Crushing</i>	FMEA & diagnosis	Identifikasi kerusakan & solusi
2	Faisal Ahmad dkk. (2023)	<i>Mesin Penyerut Es Batu</i>	Rancang bangun lapangan	Desain portabel & cepat
3	Huda dkk. (2023)	<i>Crusher Limbah HP Skala Lab</i>	Eksperimen langsung	Desain presisi & hemat ruang

No	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil Utama
4	Artikov dkk. (2020)	<i>Systems Thinking Jaw Crusher</i>	Analisis sistemik	Optimasi struktur & efisiensi energi
5	Beloglazov dkk. (2018)	<i>DEM Simulation Jaw Crusher</i>	Simulasi numerik (DEM)	Validasi struktur dan efisiensi
6	Lumban Batu dkk. (2018)	<i>Crusher Dolomit 500 kg/jam</i>	Desain mekanik	Desain efisien untuk industri menengah

Perancangan mesin *Jaw Crusher* ini diarahkan untuk menjawab kebutuhan sektor industri kecil dan menengah (IKM) yang membutuhkan alat pemecah batu yang sederhana, efisien, mudah dioperasikan, serta minim perawatan. Desain mesin difokuskan agar tidak hanya fungsional dan kokoh, tetapi juga terjangkau secara biaya, baik dari segi pembangunan maupun operasional jangka panjang. Struktur rangka utama dibuat dari baja kanal U (UNP) yang kuat namun tetap ringan, sehingga memudahkan dalam proses fabrikasi dan pemasangan di lapangan.

Sistem penghancur menggunakan mekanisme *single toggle jaw*, yang dikenal memiliki konstruksi sederhana dan andal, serta lebih mudah dalam hal penyetelan dan perawatan dibandingkan tipe *double toggle*. Untuk mendukung efisiensi energi, mesin ini digerakkan oleh motor listrik 3 fasa dengan daya maksimal 15 HP, yang mentransmisikan putaran melalui sistem *pulley* dan *V-belt*. Penggunaan transmisi sabuk ini memungkinkan perawatan yang lebih mudah dan murah dibandingkan transmisi roda gigi.

Komponen rahang tetap dan rahang gerak dirancang dari baja bintik atau baja damaskus tahan aus, dengan bukaan rahang yang dapat disesuaikan sesuai kebutuhan output material. Sistem pelumasan dibuat sederhana namun efektif, menggunakan pelumasan manual atau *grease nipple* untuk titik-titik kritis, sehingga memudahkan operator dalam pemeliharaan harian. Untuk aspek keselamatan dan kemudahan operasional, mesin dilengkapi dengan saklar on/off, panel pengaman, dan area kerja yang terbuka namun tetap aman.

Dengan pendekatan ini, mesin *Jaw Crusher* yang dirancang tidak hanya mampu menghancurkan batuan keras seperti sungai hingga ukuran tertentu, tetapi juga menghadirkan solusi teknologi yang praktis, hemat energi, dan sesuai dengan kapasitas serta skala industri menengah di Indonesia.

Halaman ini sengaja dikosongkan