

Analisis Biaya Produksi dan Estimasi Harga Jual Mesin *Ball Mill* Skala Laboratorium

Fahmi Putra Alfie^{1*}, Andita Nataria Fitri Ganda², Arya Mahendra Sakti³

^{1,2,3}Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia 60231

E-mail: fahmi.22024@mhs.unesa.ac.id

Abstrak: Ball mill merupakan salah satu mesin penting yang digunakan untuk memperkecil ukuran material menjadi mikro hingga nano. Dalam skala laboratorium, mesin ini sangat bermanfaat bagi penelitian dan pengembangan teknologi, namun biaya produksinya sering menjadi kendala. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis biaya produksi mesin *ball mill* skala laboratorium secara detail sebagai acuan perencanaan yang lebih efisien. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimental dengan memproduksi satu unit mesin secara nyata, dimulai dari tahap perencanaan desain, pengadaan material, proses manufaktur, hingga perhitungan dan estimasi biaya produksi. Hasil perhitungan biaya material dan bahan menunjukkan bahwa motor penggerak menjadi komponen dengan biaya terbesar dalam total biaya produksi. Berdasarkan hasil estimasi, total biaya produksi mesin *ball mill* sebesar Rp 3.807.491, yang terdiri dari biaya material dan bahan Rp 3.094.600, biaya proses Rp 512.891, dan biaya perencanaan Rp 200.000. Dengan margin keuntungan sebesar 35%, estimasi harga jual mesin direkomendasikan sebesar Rp 5.140.112 per unit. Dibandingkan dengan harga mesin ball mill skala laboratorium sejenis di pasaran, estimasi harga jual yang diperoleh masih berada pada kisaran yang lebih rendah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa estimasi biaya produksi memiliki peran penting sebagai dasar pengendalian anggaran, penentuan harga, serta strategi pengembangan mesin pada skala laboratorium maupun industri kecil.

Kata kunci: analisis biaya, *ball mill*, proses produksi, estimasi biaya.

Abstract: A ball mill is one of the essential machines used to reduce material size to the micro- and nano-scale. At the laboratory scale, this machine is highly beneficial for research and technological development; however, its production cost often becomes a major constraint. This study aims to analyze the production cost of a laboratory-scale ball mill in detail as a reference for more efficient cost planning. The research method employed an experimental approach by manufacturing one unit of the machine, starting from the design planning stage, material procurement, manufacturing process, to the calculation and estimation of production costs. The results of the material cost analysis indicate that the drive motor constitutes the largest cost component of the total production cost. Based on the estimation, the total production cost of the ball mill is Rp 3,807,491, consisting of material and component costs of Rp 3,094,600, processing costs of Rp 512,891, and planning costs of Rp 200,000. With a profit margin of 35%, the recommended selling price of the machine is Rp 5,140,112 per unit. Compared to the market prices of similar laboratory-scale ball mills, the estimated selling price obtained in this study remains relatively lower. These findings demonstrate that production cost estimation plays a crucial role as a basis for budget control, pricing determination, and development strategies for laboratory-scale and small-scale industrial machines.

Keywords: cost analysis, *ball mill*, production process, cost estimation

© 2025, JRM (Jurnal Rekayasa Mesin) dipublikasikan oleh ejournal Teknik Mesin Fakultas Vokasi UNESA.

PENDAHULUAN

Mesin *ball mill* skala laboratorium merupakan perangkat penting dalam dunia industri dan penelitian, berfungsi untuk menghaluskan material hingga ukuran mikro atau nano guna meningkatkan reaktivitas permukaan dan homogenitas campuran material. Dalam skala laboratorium, *ball mill* tidak hanya digunakan dalam metalurgi serbuk, tetapi juga dalam pengujian kualitas material serta pengembangan produk berbasis nanopartikel (Muttaqin and Mihdar

2023). Seiring meningkatnya kebutuhan akan efisiensi anggaran pada sektor industri kecil-menengah dan institusi pendidikan, analisis biaya produksi dari penggunaan mesin *ball mill* menjadi sangat relevan untuk menghindari pemborosan anggaran dan mendukung keberlanjutan operasional (Slamet and Bastian 2018). Analisis ini membantu dalam perencanaan investasi alat, optimalisasi energi, dan perbandingan nilai ekonomi terhadap hasil penelitian yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemahaman mengenai biaya operasional, efisiensi energi, serta

umur pakai komponen mesin menjadi aspek vital yang perlu diperhitungkan secara sistematis dan berbasis data akurat dari laboratorium.

Biaya produksi mesin *ball mill* dipengaruhi oleh berbagai faktor penting seperti bahan baku, tenaga kerja, desain mesin, dan teknologi yang digunakan. Salah satu faktor yang signifikan adalah jenis bahan baku yang digunakan, yang dapat mempengaruhi biaya secara langsung, seperti harga baja atau komponen lainnya yang diperlukan dalam pembuatan mesin *ball mill* (Mhetar et al. 2017). Selain itu, faktor tenaga kerja juga turut menentukan, karena mesin *ball mill* memerlukan proses perakitan dan pemeliharaan yang membutuhkan tenaga kerja terampil, yang dapat meningkatkan biaya produksi (Wei et al. 2023). Desain dan teknologi yang diterapkan, termasuk penggunaan sistem otomatisasi dan teknologi canggih, dapat menaikkan biaya awal produksi namun berpotensi meningkatkan efisiensi dalam jangka panjang, mengurangi biaya operasional dalam pengoperasian mesin (Zaed et al. 2024). Dengan demikian, biaya pembuatan mesin *ball mill* sangat bergantung pada berbagai elemen tersebut, yang dapat bervariasi berdasarkan spesifikasi yang diminta oleh pengguna. Variabilitas biaya dalam produksi mesin *ball mill* juga dipengaruhi oleh skala produksi dan spesifikasi teknis yang diinginkan. Mesin *ball mill* dengan kapasitas yang lebih besar atau kemampuan teknis yang lebih tinggi, seperti untuk pengolahan material khusus, akan membutuhkan biaya yang lebih tinggi karena membutuhkan desain dan material khusus yang lebih mahal (Bortnowski et al. 2021). Tingkat otomatisasi dan pemilihan teknologi juga mempengaruhi variabilitas biaya, di mana sistem yang lebih canggih membutuhkan investasi awal yang lebih besar namun memberikan efisiensi operasional yang lebih tinggi (Mhetar et al. 2017). Dengan demikian, perbedaan dalam kapasitas dan desain teknis mesin *ball mill* akan mempengaruhi biaya produksi secara signifikan, yang membuat harga mesin ini lebih bervariasi di pasaran.

Efisiensi biaya dalam produksi mesin *ball mill* menjadi faktor kunci yang mempengaruhi keberhasilan sebuah proyek industri. Dalam pengembangan mesin *ball mill*, terkadang upaya untuk mengurangi biaya produksi dapat mengarah pada penggunaan material atau teknologi yang lebih murah, yang dapat berdampak pada kinerja mesin dalam jangka panjang (Mhetar et al. 2017). Biaya yang lebih rendah pada proses produksi bisa menyebabkan penurunan kualitas mesin yang dihasilkan, yang pada akhirnya berdampak pada efisiensi operasional dan biaya pemeliharaan yang lebih tinggi di masa depan (Gu et al. 2018). Sementara itu, strategi efisiensi biaya yang lebih baik, seperti penggunaan bahan baku yang lebih berkualitas atau peningkatan teknologi, bisa meningkatkan durabilitas mesin dan mengurangi biaya operasional yang lebih tinggi dalam jangka panjang (Lyu et al. 2017). Dalam penelitian sebelumnya, banyak pengusaha industri yang mengabaikan kualitas demi efisiensi biaya yang lebih rendah, namun hal ini

bisa menyebabkan biaya perawatan dan penggantian mesin yang lebih tinggi di masa depan (Hlabangana, Danha, and Muzenda 2018). Oleh karena itu, perlu ada keseimbangan antara pengurangan biaya dan menjaga kualitas mesin agar efisiensi biaya yang diterapkan dapat tetap menguntungkan dalam jangka panjang. Biaya yang lebih rendah dalam pembuatan mesin *ball mill* sering kali berisiko memengaruhi kualitas dan ketahanan mesin itu sendiri. Penurunan kualitas mesin berpotensi mengurangi kinerja jangka panjang, meskipun awalnya terlihat menguntungkan secara finansial (Lyu et al. 2017). Mesin yang dibuat dengan bahan baku lebih murah mungkin memiliki umur yang lebih pendek atau membutuhkan lebih banyak perawatan, yang akhirnya akan meningkatkan biaya operasional dan mengurangi efisiensi keseluruhan (Hlabangana, Danha, and Muzenda 2018). Sebagai contoh, penelitian menunjukkan bahwa meskipun biaya pembuatan mesin bisa ditekan, biaya perawatan dan penggantian mesin yang lebih sering dapat melebihi penghematan awal. Oleh karena itu, penting untuk tidak hanya fokus pada pengurangan biaya, tetapi juga memastikan bahwa kualitas mesin tetap terjaga agar keberlanjutan dan efisiensi jangka panjang dapat tercapai. Beberapa studi menunjukkan bahwa memilih bahan dengan kualitas lebih baik atau teknologi yang lebih canggih dapat meningkatkan daya tahan mesin dan mengurangi biaya operasional jangka panjang (Mhetar et al. 2017)(Gu et al. 2018)(Xiao, Hu, and Chen 2020).

Penelitian terdahulu terkait mesin *ball mill* skala laboratorium umumnya berfokus pada perancangan dan performa, sementara analisis biaya produksi belum menjadi perhatian utama (Pancarana, Waisnawa, and Firdaus 2024). Penelitian ini bertujuan untuk menghitung total biaya produksi, estimasi harga jual mesin, serta analisis sensitivitas biaya. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan teknologi mesin *ball mill* serta memberikan rekomendasi bagi industri dan laboratorium riset dalam mengelola biaya produksi secara optimal.

DASAR TEORI

MESIN BALL MILL

Ball mill merupakan mesin yang digunakan untuk menggiling material menjadi partikel berukuran lebih kecil melalui proses tumbukan antara bola-bola baja dan bahan yang digiling. Mesin ini sering dimanfaatkan dalam industri untuk memperkecil ukuran bahan padat, terutama bahan-bahan keras yang sulit dihancurkan secara manual. Prinsip kerja *ball mill* melibatkan perputaran tabung berisi bola penggiling yang menyebabkan material mengalami tumbukan dan gesekan secara terus-menerus. Proses ini dapat menghasilkan partikel serbuk yang sangat halus, bahkan hingga mencapai skala nano, tergantung pada waktu dan kecepatan putaran mesin. Metode

penggilingan ini dinilai efisien dan tidak menghasilkan limbah karena tidak memerlukan pelarut dalam prosesnya. Oleh karena itu, *ball mill* menjadi salah satu teknologi penting dalam pengolahan material serbuk di bidang manufaktur dan penelitian material(Pancarana, Waisnawa, and Firdaus 2024).

Perhitungan biaya produksi

- Menghitung biaya material dan bahan (Pratama S. Y. et al. 2024).

$$C_M = C_{MO} + C_{MI}$$

Table I. Keterangan menghitung biaya material dan bahan

Simbol	Keterangan	Satuan
C_M	ongkos material	Rp
C_{MO}	harga pembelian	Rp
C_{MI}	ongkos tak langsung	Rp

Total biaya material dan bahan diperoleh dari akumulasi harga pembelian seluruh material dan bahan yang digunakan selama proses pembuatan mesin.

- Menghitung biaya pemesinan (Pratama S. Y. et al. 2024).

$$C_m = c_m \times t_m$$

Table II. Keterangan menghitung biaya pemesinan

Simbol	Keterangan	Satuan
C_m	Ongkos pemesinan	Rp
c_m	Ongkos operasi mesin (mesin, operator, dan overhead)	Rp
t_m	Waktu pemesinan	menit

Ongkos operasi mesin yang termasuk dalam biaya pemesinan didapat dari biaya sewa alat yang meliputi biaya mesin, biaya operator, dan biaya overhead yang dihitung per menit waktu operasi mesin.

- Menghitung biaya proses produksi (Pratama S. Y. et al. 2024).

$$C_p = C_m + C_e$$

Table III. Keterangan menghitung biaya proses produksi

Simbol	Keterangan	Satuan
C_p	Ongkos produksi	Rp

C_m	Ongkos pemesinan	Rp
C_e	Ongkos Pahat	Rp

Biaya proses produksi diperoleh dari akumulasi ongkos pemesinan serta ongkos pahat yang digunakan selama proses manufaktur berlangsung.

- Menghitung biaya total produksi (Pratama S. Y. et al. 2024).

$$C_u = C_M + C_{plan} + \sum C_P$$

Table IV. Keterangan menghitung biaya total produksi

Simbol	Keterangan	Satuan
C_u	Ongkos total	Rp
C_M	Ongkos material dan bahan	Rp
C_{plan}	Ongkos perencanaan	Rp
$\sum C_P$	ongkos salah satu proses produksi	Rp/Produk

Biaya total produksi merupakan keseluruhan biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan satu unit mesin, yang diperoleh dari penjumlahan biaya material, biaya perencanaan yang mencakup biaya desain serta biaya proses produksi yang terjadi selama pembuatan mesin.

- Menghitung laba

$$L = p \times C_u$$

Table V. Keterangan menghitung laba

Simbol	Keterangan	Satuan
L	Laba	Rp
P	Persentase yang ditetapkan	%
C_u	Biaya total produksi	Rp

Laba merupakan keuntungan yang ditetapkan sebagai persentase tertentu dari biaya total produksi, yang dihitung untuk menentukan besarnya keuntungan yang diperoleh dari penjualan satu unit mesin.

- Menghitung harga jual

$$harga\ jual = C_u + L$$

Table VI. Keterangan menghitung harga jual

Simbol	Keterangan	Satuan

C _u	Biaya total produksi	Rp
L	Laba	Rp
C _u	Biaya total produksi	Rp

Harga jual diperoleh dari penjumlahan biaya total produksi dan laba yang ditetapkan dalam pembuatan satu unit mesin.

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental, dimana proses analisis dilakukan pembuatan secara langsung satu unit mesin *ball mill* skala laboratorium. Dengan melibatkan proses produksi secara nyata, peneliti dapat mencatat secara rinci semua kebutuhan material, tenaga kerja, serta penggunaan mesin dan alat bantu yang terlibat selama proses produksi berlangsung. Pengukuran waktu proses pada setiap proses manufaktur dilakukan menggunakan estimasi waktu kerja, yang ditentukan berdasarkan pengalaman operator. proses manufaktur dikerjakan oleh operator dengan tingkat keterampilan menengah, yang memiliki pengalaman dalam pengoperasian alat seperti mesin gerinda, mesin bor, dan mesin las.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium K5, Prodi Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya. Proses penelitian ini berlangsung selama empat bulan, terhitung sejak tahap perencanaan desain, proses manufaktur, hingga perhitungan biaya produksi.



Gambar 1. Hasil Produksi Mesin *Ball Mill* Skala Laboratorium

Table VII. Spesifikasi mesin

N o	PARAMETE R	SATUA N	KETERANGA N
1	Kapasitas Produksi	5-6 kg	Stainless Steel
2	Kecepatan Putar	60-260 rpm	Putaran Mesin
3	Jenis Transmisi	1 : 1 pulley & vbelt	Rasio Transmisi
4	Bahan Bola Penghancur	0,8 ; 6 ; 10 mm	Bola Zirconia

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan untuk pembuatan mesin *ball mill* skala laboratorium yaitu mesin bor, mesin las, mesin gerinda, mesin laser cutting, penggaris siku, avometer digital dan peralatan kunci *hand tool*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu motor 180 Watt, plat besi, besi hollow (berukuran 30 mm x 30 mm x 2 mm), pipa *stainless steel*, plat *stainless steel* tebal 2 mm, kabel listrik, bracket motor, pulley dan V-belt, baut, mur, besi pejal ST42, dempal, dan cat.

Tahapan Metode Penelitian

1. Studi literatur : mengulas penelitian terdahulu yang relevan sebagai dasar teoritis penelitian ini.
2. Pembuatan mesin *ball mill* skala laboratorium : proses pembuatan dimulai dari desain hingga perakitan mesin.
3. Pengumpulan data material dan bahan : mengambil data pada objek penelitian.
4. Perhitungan biaya proses produksi : ongkos tenaga kerja, ongkos overhead, dan ongkos alat pada pembuatan mesin *ball mill* skala laboratorium.
5. Perhitungan total biaya produksi : data seluruh ongkos pada pembuatan mesin *ball mill* skala laboratorium.
6. Penentuan laba dan harga jual : Keuntungan yang ditetapkan untuk penjualan mesin *ball mill* skala laboratorium.
7. Analisis hasil dan kesimpulan : mengolah hasil dan mempublikasikan hasil penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Biaya Material dan Bahan

Tabel di bawah ini merupakan keseluruhan material dan bahan yang telah dibeli serta digunakan selama tahapan produksi mesin *ball mill* skala laboratorium berlangsung.

Table VIII. Biaya material dan bahan

N o	Tangg al	Toko	Nama Bahan	Jum lah	Harg a (Rp)
1	18/04/ 2025	Houle Official Store	Houle Motor 180W 220v AC 5IK, Variabl e Speed Contro	1 Bua h	2.000 .000

No	Tanggal	Toko	Nama Bahan	Jumlah	Harga (Rp)
			<i>l, Motor Gearbox Set 1 Phase 180watt</i>		
2	18/04/2025	UD. Hamid	Plat besi 2 mm	10 Kg	160.00
3	18/04/2025	UD. Hamid	Besi hollow 30x30x 2mm	11 Kg	137.50
4	18/04/2025	UD. Hamid	Pipa stainless steel 8" tebal 2 mm	2 Kg	90.00
5	18/04/2025	UD. Hamid	Plat stainless steel 530x320x2 mm	2,2 Kg	99.00
6	18/04/2025	Houle Official Store	<i>Houle Mounting Bracket For Speed Control Motor Gearbox Gearhead 5GN/GU (90x90)</i>	1 Bua h	87.50
7	18/04/2025	Gudang pulley	Pulley 3" Alas 15mm	1 Bua h	17.00
8	18/04/2025	Gudang pulley	Pulley 3" Alas 20mm	1 Bua h	17.00
9	18/04/2025	Sparepart stations	<i>Pillow Block UCP 204 ASB Laher Bearin</i>	2 Bua h	60.00

No	Tanggal	Toko	Nama Bahan	Jumlah	Harga (Rp)
			<i>g Duduk Ukuran As 20 mm</i>		
10	18/04/2025	Tugumas	<i>Delay Timer Cycle AC 110-220V T3230 Pengatur Waktu Otomatis</i>	1 Bua h	76.00
11	18/04/2025	Gudang pulley	V belt M23	1 Bua h	22.00
12	20/04/2025	Saudara	Baut & mur M12	6 Bua h	16.00
13	20/04/2025	Saudara	Baut & mur M10	20 Bua h	21.60
14	20/04/2025	Saudara	<i>Adjust M10 (Baut 10, Mur 14) Diameter 35/Karet Penstabil Kaki Meja</i>	4 Bua h	16.00
15	20/04/2025	Saudara	Kabel listrik HY.E 2x1.5	1 Meter	14.00
16	20/04/2025	Saudara	<i>Knob Star Mur Bintang M10 Diameter 38 mm</i>	4 Bua h	22.00
17	20/04/2025	Saudara	Thinne r A-Spesial	2 liter	22.00

No	Tanggal	Toko	Nama Bahan	Jumlah	Harga (Rp)
18	20/04/2025	Saudara	Suzuka Epoxy Filler Grey 200 CC	2 Keling	56.000
19	20/04/2025	Saudara	Alkyco at Cat Warna Biru 200 ML	1 Keling	22.500
20	20/04/2025	Saudara	Dana Paint Warna Chamomix C222K -2102 200 ML	1 Keling	22.000
21	20/04/2025	Saudara	EELIC SEP-Y6x12 Isi 5 Pcs	2 Pack	6.000
22	18/04/2025	UD. Hamid	Besi pejal ST42 Ø20 mm panjang 30 cm	1 Buah	35.000
23	20/04/2025	Saudara	Steker Arde Broco	1 Buah	10.500
24	20/04/2025	Saudara	Avian Vernis P.SE-BM02. 3B	1 Buah	65.000
			Total		Rp. 3.094.600

Berdasarkan Table VIII, diketahui bahwa total biaya pembelian material dan bahan dalam produksi mesin *ball mill* skala laboratorium mencapai sebesar Rp. 3.094.600. Dari keseluruhan bahan dan material tersebut, biaya pembelian motor listrik memiliki nilai paling besar dibandingkan bahan dan material lainnya. Harga tersebut mencakup seluruh kebutuhan komponen utama maupun bahan pelengkap yang digunakan selama proses perakitan dan penyempurnaan mesin.

Biaya Proses Produksi

Biaya proses produksi merupakan total pengeluaran yang berkaitan dengan kegiatan manufaktur selama pembuatan mesin *ball mill* skala laboratorium. Hasil perhitungan biaya proses produksi per komponen dapat dilihat pada Tabel berikut.

Table IX. Biaya proses produksi

Komponen	Proses	C _m (Rp/p roduk)	C _e (Rp/p roduk)	C _p (Rp/p roduk)	t _m (menit/produk)
Rangka	Cutting	20.714	6.000	26.714	27,8
	Drilling	15.573	9.400	24.973	24,6
	Welding	114.054	0	114.054	88,4
	Painting	32.469	0	32.469	28,07
Bodemessen	Cutting	13.966	3.000	16.966	18,72
	Drilling	6.444	9.400	15.844	10,18
	Welding	70.698	0	70.698	50
	Painting	26.917	0	26.917	23,27
Tabung	Drilling	6.710	9.400	16.110	10,6
	Welding	91.146	0	91.146	62,17
	Laser Cutting	77.000	0	77.000	45
Total				512.891	388,81

Hasil perhitungan pada Table IX, nilai C_e pada proses welding, painting, dan laser cutting ditetapkan 0 karena ketiga proses tersebut tidak menggunakan pahat seperti mata bor dan mata gerinda.

Diketahui bahwa total biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan seluruh proses produksi mesin *ball mill* skala laboratorium adalah sebesar Rp. 512.891. Biaya ini dihitung berdasarkan durasi pengerjaan tiap proses manufaktur dan ongkos tenaga kerja maupun operasional per menit.

Total Biaya Produksi

Total biaya produksi merupakan keseluruhan pengeluaran biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan satu unit mesin *ball mill* skala laboratorium.

$$\begin{aligned}
 C_u &= C_M + C_{plan} + \sum C_p \\
 &= \text{Rp. } 3.094.600 + \text{Rp. } 200.000 + \text{Rp. } 512.891 \\
 &= \text{Rp. } 3.807.491
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total biaya produksi mesin *ball mill* skala laboratorium adalah sebesar Rp. 3.807.491 per unit.



Gambar 2. Grafik total biaya produksi

Gambar 2. Grafik total biaya produksi menunjukkan bahwa biaya material dan bahan memiliki porsi terbesar sebesar 81,3%, biaya proses produksi sebesar 13,5%, dan Biaya Perencanaan sebesar 5,3% dari total biaya produksi.

Laba dan Harga Jual

Penetapan laba keuntungan pada mesin *ball mill* skala laboratorium didasarkan pada hasil *benchmark* harga pasar mesin sekelas, sehingga harga jual yang ditetapkan tetap kompetitif (Shoope,2025).

Dalam perhitungan laba keuntungan yang ditetapkan untuk penjualan mesin *ball mill* skala laboratorium adalah 35% dari total biaya produksi yang telah digunakan selama proses pembuatannya.

$$\begin{aligned}
 \text{Laba} &= 35\% \times C_u \\
 &= 35\% \times (\text{Rp. } 3.807.491) \\
 &= \frac{35}{100} \times (\text{Rp. } 3.807.491) \\
 &= 0,35 \times (\text{Rp. } 3.807.491) \\
 &= \text{Rp. } 1.332.621
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka laba dalam penjualan mesin *ball mill* skala laboratorium adalah sebesar Rp. 1.332.621. Selanjutnya, harga penjualan mesin *ball mill* skala laboratorium dapat dihitung mengacu pada (6) yaitu :

$$\begin{aligned}
 \text{Harga jual alat} &= \text{total biaya produksi} + \text{laba} \\
 &= \text{Rp. } 3.807.491 + \text{Rp. } 1.332.621 \\
 &= \text{Rp. } 5.140.112
 \end{aligned}$$

Jadi, harga penjualan mesin *ball mill* skala laboratorium yang direkomendasikan berdasarkan perhitungan biaya produksi dan laba sebesar 35% adalah sebesar Rp. 5.140.112 per unit.

Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter biaya utama terhadap harga jual mesin *ball mill* skala laboratorium. Parameter yang dianalisis meliputi perubahan harga motor, biaya proses produksi, dan laba.

Table X. Analisis sensivitas

Parameter	Total Biaya Produksi	Laba 15 %	Laba 25 %	Laba 35 %
Harga Motor -10%	Rp. 3.607.491	Rp. 4.148.614	Rp. 4.509.363	Rp. 4.870.112
Harga Motor +10%	Rp. 4.007.491	Rp. 4.608.614	Rp. 5.009.363	Rp. 5.410.112
Biaya Proses Produksi -10%	Rp. 3.756.201	Rp. 4.319.631	Rp. 4.695.251	Rp. 5.070.871
Biaya Proses Produksi +10%	Rp. 3.858.780	Rp. 4.437.597	Rp. 4.823.475	Rp. 5.209.353

Berdasarkan Table X, hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan harga motor listrik memberikan pengaruh paling besar terhadap harga jual mesin *ball mill* skala laboratorium dibandingkan dengan perubahan biaya proses produksi.

SIMPULAN

Total biaya produksi mesin *ball mill* skala laboratorium dalam penelitian ini adalah Rp 3.807.491 dengan harga jual yang direkomendasikan sebesar Rp 5.140.112 per *unit* pada margin keuntungan 35%. Hasil analisis menunjukkan bahwa biaya material dan bahan merupakan komponen biaya yang paling dominan, khususnya motor listrik yang memberikan kontribusi terbesar terhadap total biaya produksi. Efisiensi biaya dapat dicapai melalui substitusi komponen motor dengan alternatif yang lebih ekonomis tanpa menurunkan kinerja, penyederhanaan desain rangka untuk mengurangi kebutuhan material, serta peningkatan efektivitas proses manufaktur. Keterbatasan penelitian ini terletak pada cakupan produksi yang hanya melibatkan satu *unit* mesin, sehingga penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji pengaruh skala produksi serta biaya operasional jangka panjang.

REFERENSI

- Bortnowski, Piotr, Lech Gładysiewicz, Robert Król, and Maksymilian Ozdoba. 2021. "Energy Efficiency Analysis of Copper Ore Ball Mill Drive Systems." *Energies* 14(6). doi:10.3390/en14061786.
- Gu, Bon-Jae, Jinwu Wang, Michael P. Wolcott, and Girish M. Ganjyal. 2018. "Increased Sugar Yield from Pre-Milled Douglas-Fir Forest Residuals with Lower Energy Consumption by Using Planetary Ball Milling." *Bioresource Technology*

- Technology* 251: 93–98.
doi:10.1016/j.biortech.2017.11.103.
- Hlabangana, N., G. Danha, and E. Muzenda. 2018. “Effect of Ball and Feed Particle Size Distribution on the Milling Efficiency of a Ball Mill: An Attainable Region Approach.” *South African Journal of Chemical Engineering* 25: 79–84. doi:10.1016/j.sajce.2018.02.001.
- Indonesia, Shopee. “Mesin Ball Mill Mini Laboratorium.” <https://shopee.co.id/mesin-ball-mill-mini-laboratorium-i.41492539.23451930924>.
- Lyu, Honghong, Bin Gao, Feng He, Cheng Ding, Jingchun Tang, and John C Crittenden. 2017. “Ball-Milled Carbon Nanomaterials for Energy and Environmental Applications.” *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 5(11): 9568–85. doi:10.1021/acssuschemeng.7b02170.
- Mhetar, Shubham Krishna, Akshay Ashok Nerle, Rohit Laxman Patil, Rahul Ankush Pawar, Mayur Manik, Patil Hemant, and Tanaji Shinde. 2017. “Cost Effective Ball Milling Machine for Producing Nanopowder.” *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 4(4): 330–34. <https://www.irjet.net/archives/V4/i4/IRJET-V4I466.pdf>.
- Muttaqin, Ahmad Nurul, and Uswatul Hasanah Mihdar. 2023. “Volume Kerja Dan Waktu Penggilingan Tongkol Jagung Pada Ukuran Produk/ Morfologi Dalam Proses Ball Mill.” *Jurnal Teknik Mesin Sinergi* 21(1): 51–57. doi:10.31963/sinergi.v21i1.4203.
- Pancarana, Dewa Made, I Gede Nyoman Suta Waisnawa, and Muhammad Nabil Firdaus. 2024. “Rancangan Bangun Mesin Planetary Ball Mill Type Vertikal Skala Laboratorium Dengan Variasi Kecepatan Putaran.” *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi* 7(2): 254–63. <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME/article/view/19704/11739>.
- Pratama S. Y., M.F Soulton, E. N Sari, S. D. N. Rosady, and Arifin S. 2024. “Analisis Putaran Spindel Terhadap Waktu Dan Biaya Produksi Proses Reservoir Cover Aluminium 6061 Menggunakan Cnc Tu-3a.” *Jingga: Jurnal Inovasi Teknologi Manufaktur, Energi, dan Otomotif* 2(2): 115–29. <http://jurnal.poliwangi.ac.id/index.php/jingga/>.
- Slamet, Sugeng, and Yanuwar Bastian. 2018. “Daur Ulang Pasir Silika Bekas Inti Cor Melalui Teknik Ball Mill Untuk Mengembalikan Daya Ikatnya.” *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer* 9(1): 211–18. doi:10.24176/simet.v9i1.2097.
- Wei, Leong, Shayfull Abd Rahim, Mohd Al Bakri Abdullah, Allice Yin, Mohd Ghazali, Mohd Omar, Ovidiu Nemes, et al. 2023. “Producing Metal Powder from Machining Chips Using Ball Milling Process: A Review.” *Materials* 16(13): 4635. doi:10.3390/ma16134635.
- Xiao, Jiang, Rui Hu, and Guangcai Chen. 2020. “Micro-Nano-Engineered Nitrogenous Bone Biochar Developed with a Ball-Milling Technique for High-Efficiency Removal of Aquatic Cd(II), Cu(II) and Pb(II).” *Journal of Hazardous Materials* 387: 121980. doi:10.1016/j.jhazmat.2019.121980.
- Zaed, Md Abu, Kim Han Tan, Norulsamani Abdullah, R. Saidur, Adarsh Kumar Pandey, and Ahmed Mortuza Saleque. 2024. “Cost Analysis of MXene for Low-Cost Production, and Pinpointing of Its Economic Footprint.” *Open Ceramics* 17(October 2023): 100526. doi:10.1016/j.oceram.2023.100526.