

RANCANG BANGUN MESIN *BALL MILL* VERTIKAL DENGAN KONTROL KECEPATAN BERBASIS *PULSE WIDTH MODULATION*

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF *BALL MILL* MACHINE WITH SPEED CONTROLLER BASED ON *PULSE WIDTH MODULATION*

Abdi Wahyu Sejati¹, Asep Suhendi, M.Si.², Edy Wibowo, M.Sc.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

abdiwahyu216@gmail.com¹, suhendi@telkomuniversity.ac.id², edyw.phys@gmail.com³

Abstrak

Pada penelitian kali ini dilakukan perancangan mesin *ball mill* vertikal dengan berbasis *Pulse Width Modulation* (PWM) menggunakan IC LM 555. Mesin ini digunakan untuk penggilingan bahan berbentuk padat agar dapat menghasilkan reduksi pada ukuran bahan. Cara kerja mesin penggiling ini memutar baling-baling pada bagian dalam tabung yang dicampurkan dengan air, bola-bola besi, dan material yang akan digiling. Hasil putaran dan tumbukan dengan bola-bola besi menghasilkan gaya sentrifugal yang dapat menghancurkan material yang ada di dalamnya. Mesin ini menggunakan PWM sebagai kontrol kecepatan dan motor listrik DC sebagai mesin penggerak baling-baling. Pengujian alat dilakukan dengan tiga tahapan yaitu mengukur kecepatan putaran baling-baling mesin, mengukur tegangan dan sinyal masukan, dan penggilingan bahan. Pada pengukuran kecepatan putaran dibagi menjadi tiga bagian diantaranya saat mesin dengan beban air sebesar 300 mL, 600 mL, 900 mL, dan 1200 mL; saat mesin dengan beban bola-bola besi 300 gram dan air sebesar 300 mL, 600 mL, dan 900 mL; dan saat mesin dengan tanpa beban. Sedangkan untuk penggilingan bahan dilakukan menggunakan material zeolit dan serpihan batu bata. Variabel yang diatur berupa lama waktu putaran dan nilai kerja mesin tersebut. Hasil dari penggilingan akan dibandingkan dengan bahan sebelum penggilingan.

Kata kunci: *ball mill*, penggilingan bahan, *milling*, PWM, motor DC

Abstract

In this study, vertical rotation of the ball mill machine was carried out using Pulse Width Modulation (PWM) using IC LM 555. This machine is used for grinding the material so that it can produce a reduction in the size of the material. The workings of this grinding machine will rotate the propellers on the inside of the tube mixed with air, iron balls, and the material to be milled. The results of rounds and collisions with centrifugal iron balls that can damage the material inside. This machine uses PWM as speed control and DC electric motor as a propeller drive engine. The measuring instrument is done in three steps, measuring the turning speed of the propeller engine, measuring voltage and current input, and grinding the material. When the speed measurement is divided into three parts when the engine with an air load of 300 mL, 600 mL, 900 mL, and 1200 mL; machines with a load of 300 grams and air as much as 300 mL, 600 mL, and 900 mL; and when the engine is without load. Whereas for material milling is done using zeolite and brick fragments. The right variable includes the length of time and the work value of the machine. The results of grinding will be compared with the ingredients before grinding.

Keywords: *ball mill*, material milling, *milling*, PWM, DC motor

1. Pendahuluan

Pada bidang perindustrian, terkadang dibutuhkan alat yang mampu mengkonversi ukuran benda dari skala besar menjadi suatu skala yang lebih kecil [1]. Ada berbagai cara untuk membantu kerja manusia dalam melumatkan suatu bahan yang keras, salah satunya menggunakan sistem kerja mesin bola-bola penggiling (*ball mill*) [2]. *Ball mill* merupakan sebuah mesin yang dapat digunakan untuk menggiling suatu material dengan mengubah struktur bentuk objek yang besar menjadi sebuah objek yang lebih kecil. Mesin *ball mill* dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *ball mill* vertikal dan *ball mill* horizontal [3]. Jenis ini dibedakan dari bentuk mesin tersebut dan cara mengolah bahannya. Bentuk umum *ball mill* vertikal adalah berbentuk tabung yang berdiri vertikal dengan sistem pengolahan

dilakukan menggunakan baling-baling pengaduk untuk menggiling objek. Sedangkan untuk *ball mill* horizontal berbentuk tabung horizontal dengan cara kerjanya yaitu memutar tabung agar dapat menggerakkan bola-bola penggiling dan objek tersebut. Pada rancang bangun kali ini, penulis akan berfokus kepada rancangan *ball mill* vertikal.

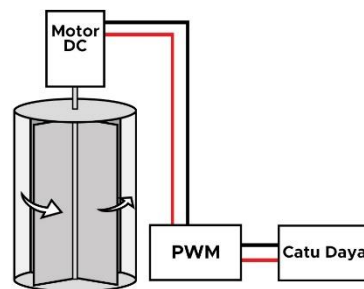
Umumnya, *ball mill* berbentuk tabung vertikal dengan poros yang berada di kedua sisi yang berseberangan dengan berisikan bola-bola didalamnya [4]. Media penggilingannya berupa bola-bola yang dapat terbuat dari besi, zirconia, baja, *stainless steel*, keramik, atau karet. Permukaan pada bagian dalam tabung biasanya dilapisi oleh bahan yang tahan akan benturan seperti besi, keramik, atau baja. Alat ini bekerja dengan poros yang dapat berputar pada sumbu sehingga mampu menghancurkan material didalamnya menggunakan tumbukan pada bola-bola penggiling [5]. Hal ini dikarenakan ketika mesin bekerja menggerakkan sebuah pengaduk berbentuk sekrup dan bola-bola penggiling berada pada sisi atas tabung, bola-bola penggiling akan jatuh tepat pada objek yang akan dihaluskan. Pengaruh dari sistem tersebut menghasilkan suatu reduksi pada ukuran objek yang ikut berputar di dalam mesin, bersamaan dengan bola-bola penggiling tersebut. Pada bidang perindustrian, *ball mill* dapat beroperasi terus menerus dengan memasukkan untuk objek pada ujung mesin dan keluaran dari hasil pada ujung yang lainnya. Adapun selain sebagai mesin penggiling, *ball mill* biasa digunakan sebagai mesin pengaduk atau pencampur bahan. Penggunaan mesin ini sering dipakai untuk proses pembuatan semen [6], pengadukan cat, penggilingan keramik, batu bara, dan lainnya yang membutuhkan material halus untuk bahan produksi ataupun mencampurkan suatu objek dengan objek lainnya.

Beberapa faktor yang ikut berpengaruh pada sistem kerja mesin *ball mill* adalah kecepatan putar (rotasi), lama waktu yang dibutuhkan, dan massa bola-bola penggiling. Kecepatan putaran *ball mill* diharuskan seimbang untuk mengoptimalkan kerja mesin. Aspek ini menentukan tingkat kehancuran bahan menggunakan gaya sentrifugal sehingga mampu menggiling material yang berada didekatnya [7]. Apabila putaran terlalu lambat, bola-bola besi tidak akan mampu untuk menggerus material yang ada [3]. Sedangkan untuk lama waktu dan pemilihan jenis bola-bola penggilingan tergantung pada bahan yang akan diolah. Aspek tersebut menunjang efisiensi alat agar tidak adanya rugi energi akibat energi yang terbuang percuma. Semakin besar efisiensi yang dihasilkan, maka semakin baik pula mesin itu menjalankan sistemnya [8]. Oleh karena itu, dibutuhkan adanya analisa terhadap aspek-aspek yang berpengaruh terhadap *ball mill* secara merinci agar dapat menjalankan tugas dengan baik dan tepat.

Pada penelitian kali ini, akan di bangun sebuah mesin *ball mill* vertikal dengan menggunakan komponen penggerak dan kontrol kecepatan pada mesin [9]. Mesin ini berbentuk tabung dengan baling-baling yang berada di tengah tabung. Alat ini bekerja menggunakan media bola-bola penggiling yang terbuat dari besi sehingga mampu menghancurkan objek yang berada di dalam mesin. Mesin tersebut dilengkapi dengan motor DC sebagai sumber penggerak yang telah terhubung oleh rangkaian *Pulse Width Modulation* (PWM) sebagai kontrol kecepatan (*speed controller*). Hal ini dilakukan agar kecepatan putaran dapat di kontrol melalui potensiometer. Dengan sistem yang telah dijelaskan di atas, diharapkan mesin mampu bekerja sebagaimana mestinya.

2. Gambaran Umum

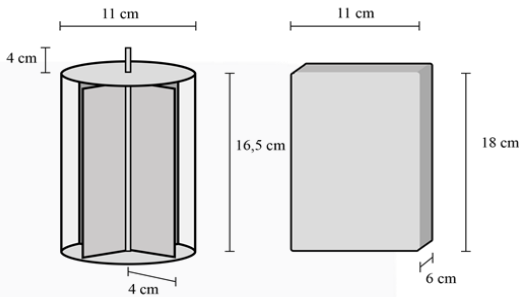
Pada dasarnya, cara kerja mesin *ball mill* vertikal hampir sama seperti mesin pengaduk lainnya, yaitu menggunakan baling-baling sebagai media untuk memutar objek yang berada didalamnya. Namun, mesin *ball mill* lebih diutamakan untuk menggiling suatu material agar mendapatkan ukuran yang lebih kecil dari ukuran awalnya. Metode ini menggunakan prinsip bola-bola penggiling yang terbuat dari besi agar dapat menghancurkan material yang keras. Seperti halnya mesin pengaduk, mesin ini akan memutar poros yang terhubung dengan baling-baling sehingga mampu memutar bola-bola penggiling bersamaan dengan objek yang akan dihaluskan. Bola-bola besi yang berputar menghasilkan energi untuk menumbuk material didalamnya menggunakan gaya sentrifugal, sehingga material dapat hancur dan menghasilkan ukuran yang lebih kecil [7]. Mesin ini telah digunakan banyak pada bidang industri seperti pabrik pembuatan semen, pengadukan cat, penggilingan keramik, batubara, dan lain sebagainya.



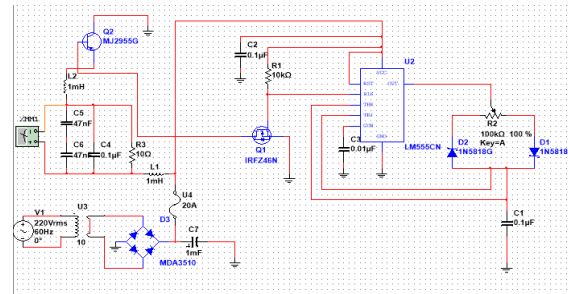
Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Ball Mill

3. Perancangan Alat

Langkah perancangan alat diawali dengan pembuatan bagian-bagian dari mesin *ball mill* vertikal. Bagian-bagian mekanik *ball mill* vertikal terdiri dari tabung besi sebagai tempat pengolahan serta baling baling penggerak untuk menggerakkan bola-bola besi dan material yang akan dihancurkan. Tabung besi berbentuk tabung yang ditempatkan vertikal dengan diameter 11 cm dan tinggi 16,5 cm. Di bagian atas tabung dibuat bongkar pasang agar dapat memasukkan material dan bola-bola besi untuk digiling. Pada bagian tengah tabung diletakkan baling-baling penggerak dengan lebar 4 cm dan tinggi 15 cm pada setiap balingnya. setelah perancangan mekanik selesai dilanjutkan kepada perancangan elektrik. Perancangan elektrik dalam perancangan alat ini sangat penting agar mesin dapat menjalankan sistem dengan baik. Perancangan elektrik dilakukan meliputi perancangan catu daya dan *speed controller*. Catu daya digunakan untuk mengonversikan listrik dari sumber listrik agar dapat menjalankan semua komponen pada mesin. Jalur rangkaian dimulai dari catu daya yang nantinya akan disambungkan ke rangkaian listrik lainnya. Catu daya yang dirancang mengubah nilai tegangan 220V AC menjadi 16V AC dengan nilai arus sebesar 3A. Untuk control kecepatan menggunakan rangkaian PWM. Rangkaian PWM terdiri dari gabungan beberapa komponen yang diantaranya IC LM555, MOSFET, dan lain sebagainya. IC LM555 ditampilkan sebagai multivibrator dengan frekuensi kerja tetap yang diteruskan ke motor DC melalui MOSFET. Rangkaian ini mampu memvariasikan pulsa untuk motor DC, sehingga kecepatan motor dapat dikendalikan bebas. Setiap perangkat akan disambungkan agar menjadi rangkaian penggerak mesin *ball mill*.



Gambar 3. 1 Skema Bentuk Tabung *Ball Mill* dan wadah *gearbox*



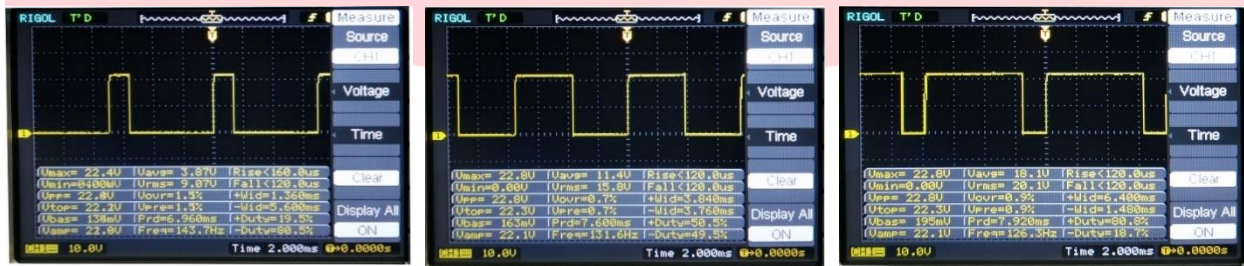
Gambar 3. 2 Skematik Rangkaian PWM dan Catu Daya



Gambar 3. 3 Bentuk *Ball Mill* Vertikal

4. Menentukan Nilai Duty Cycle

Pada pengujian alat dibutuhkan penentuan nilai kerja konkret untuk menjadi tolak ukur agar data tidak acak / random. Maka dari itu pada pra pengujian ini dilakukan kalibrasi alat dengan menentukan nilai *duty cycle* yang sesuai dengan nilai kerja mesin *ball mill*. *Duty cycle* adalah siklus kerja berdasarkan lebar pulsa. Apabila semakin besar nilai *duty cycle* tersebut maka semakin besar pula lebar pulsa yang dihasilkan. Penentuan nilai *duty cycle* ini dilakukan berdasarkan nilai yang keluar dari proyeksi sinyal di osiloskop melalui putaran pada potensiometer. Putaran potensiometer menentukan lebar pulsa yang keluar dari PWM sehingga menimbulkan perubahan sinyalnya. Beberapa proyeksi sinyal dari osiloskop ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Proyeksi Sinyal Osiloskop Dengan *Duty Cycle* 20%, 50%, dan 80%

5. Pengujian Alat

Pada tahap ini dilakukan pengukuran terhadap kecepatan baling-baling yang berputar pada mesin *ball mill*. Pengukuran dibagi menjadi empat bagian; yaitu menggunakan beban air, beban air + bola-bola besi, beban air + bola-bola besi + zeolit, dan tanpa menggunakan beban apapun. Untuk bola-bola besi dan zeolit dimasukan massa tetap sebesar 300 gram dan 50 gram dengan variabel volume air yang diubah. Pada beban air diukur kecepatan berdasarkan volume air yang diisi sebesar 300 mL, 600 mL, 900 mL, dan 1200 mL. Sedangkan untuk beban air + bola-bola besi diukur kecepatan dengan volume air 300 mL, 600 mL, dan 900 mL dengan massa bola-bola besi sebesar 300 gram.



Gambar 5. 1 Pengukuran Kecepatan Menggunakan Tachometer

Selain itu dilakukan juga pengujian dengan penggilingan bahan. Tahapan ini dilakukan untuk menguji apakah alat ini dapat menghancurkan batu sesuai dengan karakteristik mesin *ball mill* sesungguhnya. Hal ini diaplikasikan dengan pengukuran besar material sebelum dan sesudah digiling. Penggilingan ini dilakukan dengan dua jenis material yang berbeda, yaitu menggunakan zeolit dan serpihan batu-bata. Langkah pertama dalam pengujian ini adalah memasukkan bahan yang akan digiling ke dalam mesin beserta dengan 300 gram bola-bola besi dan 300 mL air. Langkah selanjutnya memulai penggilingan bahan dengan variabel yang ditentukan masing-masing pengujian. Jika semua selesai, material dikeluarkan agar dapat dihitung ukurannya setelah digiling. Apabila pengujian selesai dilakukan tabung *ball mill* dibersihkan untuk dapat dipakai penggilingan selanjutnya.

Penggilingan ini menggunakan serpihan batu bata sebagai bahan yang akan diuji. Pengujian dilakukan menggunakan 50 gram serpihan batu bata, 300 gram bola-bola besi, dan 300 mL air dengan variabel waktu selama 30

menit, 1 jam, dan 2 jam. Selain itu faktor pengujian juga diatur dengan posisi *duty cycle* 50% dan 100%. Sebelum penggilingan, dilakukan pengukuran beberapa sampel untuk dapat dibandingkan dengan sampel yang setelah digiling.



Gambar 5. 2 Serpihan Batu Bata Beserta Bola-Bola Besi dan Air

Setelah penggilingan selesai dilakukan, langkah berikutnya adalah penyaringan bahan menggunakan saringan berukuran sekitar lebih dari satu milimeter. Saringan ini menyeleksi bola-bola besi dan bahan berukuran besar yang mungkin belum tergiling sempurna, sehingga air dan bahan yang telah tergiling hingga berukuran mikro dapat keluar dan ditampung pada wadah penampung.



Gambar 5. 3 Penggilingan Dengan Bahan Serpihan Batu Bata, Penyaringan Bahan, dan Hasil Penggilingan

Tidak jauh berbeda dengan penggilingan menggunakan serpihan batu bata, penggilingan ini menggunakan zeolit sebagai bahan yang digiling. Pengujian ini menggunakan 50 gram zeolit dengan 300 gram bola-bola besi dan 300 mL air. Variabel waktu yang ditentukan selama 8 jam non-stop. Pada saat penggilingan, keadaan *duty cycle* 100% sehingga kekuatan putaran dilakukan maksimal.



Gambar 5. 4 Zeolit Beserta Bola-Bola Besi dan Air

Saat penggilingan telah selesai, tahapan berikutnya ialah penyaringan bahan. Hasil dari penggilingan ini masih berbentuk batu keras dengan perbedaan ukuran yang tidak terlalu signifikan.



Gambar 5. 5 Penyaringan Zeolit dan Hasil Penggilingan Zeolit

6. Hasil Pengujian

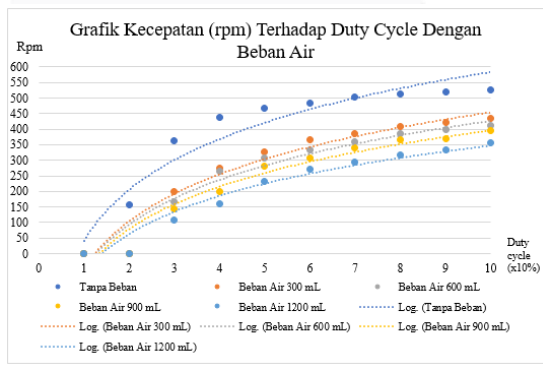
Hasil pengukuran ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu pengukuran terhadap kecepatan putaran dengan variabel beban air, kecepatan putaran dengan variabel beban air dan bola-bola besi seberat 300 gram, dan kecepatan putaran dengan tanpa beban. Berikut adalah hasil dari pengukuran kecepatan ketika beban air dan tanpa beban serta grafik kecepatan terhadap *duty cycle* nya pada *table 5.1* dan *tabel 5.2*.

Tabel 6. 1 Hasil Pengukuran Kecepatan Putaran Dengan Beban Air dan Tanpa Beban

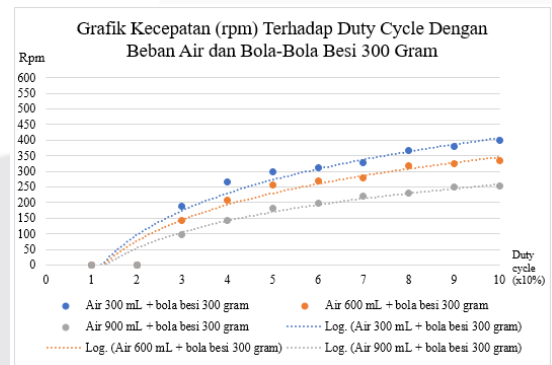
No	Putaran potensiometer terhadap <i>duty cycle</i> (%)	Kecepatan putaran (rpm)				
		Tanpa beban	Dengan beban air 300 mL	Dengan beban air 600 mL	Dengan beban air 900 mL	Dengan beban air 1200 mL
1	10	-	-	-	-	-
2	20	157,9	-	-	-	-
3	30	361,7	200,7	167,5	143,6	109,2
4	40	437,1	273,9	263,2	198,7	160,3
5	50	468,2	328,2	307,1	280,7	232,9
6	60	485,2	365,2	333,4	308,4	269,9
7	70	504,3	385,9	359,6	338,9	294,1
8	80	514,7	408,2	385,2	365,4	317,6
9	90	520,1	421,8	398,1	371	332,1
10	100	526,4	434,3	413,2	394	357,7

Tabel 6. 2 Hasil Pengukuran Kecepatan Putaran Dengan Beban Air + Bola Besi 300 Gram

No	Putaran potensiometer terhadap <i>duty cycle</i> (%)	Kecepatan putaran (rpm)		
		Air 300 mL + bola besi 300 g	Air 600 mL + bola besi 300 g	Air 900 mL + bola besi 300 g
1	10	-	-	-
2	20	-	-	-
3	30	187,5	144,1	96,5
4	40	264,8	206,7	143,5
5	50	297,1	255	182
6	60	312,9	269,8	197,2
7	70	326,5	278,1	219,4
8	80	367,6	319,2	231,7
9	90	378,4	324,3	249,8
10	100	398,1	333,7	251,9



Gambar 6. 2 Grafik Kecepatan Terhadap *Duty Cycle* Dengan Beban Air



Gambar 6. 1 Grafik Kecepatan Terhadap *Duty Cycle* Dengan Beban Air + Bola-bola Besi

Berikut adalah perbandingan bahan sebelum dan setelah digiling:



Gambar 6. 3 Perbandingan sebelum dan setelah digiling dengan durasi penggilingan 30 menit dan *duty cycle* 50%



Gambar 6. 4 Perbandingan sebelum dan setelah digiling dengan durasi penggilingan 30 menit dan *duty cycle* 100%



Gambar 6. 5 Perbandingan sebelum dan setelah digiling dengan durasi penggilingan 1 jam dan *duty cycle* 50%



Gambar 6. 6 Perbandingan sebelum dan setelah digiling dengan durasi penggilingan 1 jam dan *duty cycle* 100%



Gambar 6. 7 Perbandingan sebelum dan setelah digiling dengan durasi penggilingan 2 jam dan *duty cycle* 50%



Gambar 6. 8 Perbandingan sebelum dan setelah digiling dengan durasi penggilingan 2 jam dan *duty cycle* 100%

7. Kesimpulan

1. Mesin *ball mill* vertikal merupakan mesin penggiling dengan metode penggilingan menggunakan baling-baling untuk pengaduk dengan air dan bola-bola besi sebagai objek untuk membantu penggilingan.
2. Sistem kerja mesin *ball mill* vertikal ini menggunakan kontrol kecepatan berupa *pulse width modulation* (PWM) dengan IC LM555 dan motor DC sebagai penggerak mesin.
3. Kecepatan putaran *ball mill* serta lama waktu penggilingan berpengaruh terhadap ukuran bahan setelah digiling. Semakin cepat dan lama waktu penggilingan maka semakin halus bahan setelah digiling.
4. Perancangan *ball mill* vertikal ini dikatakan tercapai, karena adanya perbedaan ukuran antara sebelum penggilingan dan setelah penggilingan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. J. Collado and M. Mufioz, "Powder technology," *Energy*, vol. 92, pp. 195–204, 1997.
- [2] A. Calka and A. . Radlinski, "Universal high performance ball-milling device and its application for mechanical alloying," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 134, pp. 1350–1353, 1991.
- [3] C. Suryanarayana, "Mechanical alloying and milling," *Prog. Mater. Sci.*, vol. 46, no. 1–2, pp. 1–184, 2001.
- [4] A. Matthew *et al.*, "Continuous Type Vertical Planetary Ball Mill," 2011.
- [5] S. Petra, "Recent advances in the synthesis of," vol. 61, no. 726, pp. 7325–7348, 2005.
- [6] Ratna Kartikasari, R Soekrisno, and M Noer Ilman, "Karakterisasi Ball Mill Import pada Industri Semen di Indonesia," *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 18–24, 2007.
- [7] H. Mio, J. Kano, F. Saito, and K. Kaneko, "Effects of rotational direction and rotation-to-revolution speed ratio in planetary ball milling," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 332, no. 1–2, pp. 75–80, 2002.
- [8] B. a Wills and T. Napier-munn, *Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*, no. October. 2006.
- [9] M. Ramasamy, S. S. Narayanan, and C. D. P. Rao, "Control of ball mill grinding circuit using model predictive control scheme," *J. Process Control*, vol. 15, no. 3, pp. 273–283, 2005.
- [10] P. S. Subramanyam, "Chapter 1 of the Book, "Basic Concepts of Electrical Engineering",," no. January 2013, 2015.
- [11] H. Semat and R. Katz, "Physics , Chapter 11 : Rotational Motion (The Dynamics of a Rigid Body)," *Robert Katz Publ.*, vol. 11, pp. 198–224, 1958.
- [12] H. Mio, J. Kano, F. Saito, and K. Kaneko, "Optimum revolution and rotational directions and their speeds in planetary ball milling," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 74, no. SUPPL., 2004.
- [13] J. F. Chen and C. L. Chu, "Combination Voltage-Controlled and Current Controlled PWM Inverters for UPS Parallel Operation," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 10, no. 5, pp. 547–558, 1995.
- [14] D. G. Lipo, Thomas A. Holmes, *Pulse Width Modulation for Power Converters: Principles and Practice*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2013.
- [15] N. Nugroho and S. Agustina, "Analisa Motor Dc (Direct Current) Sebagai Penggerak Mobil Listrik," vol. 2, no. 1, pp. 28–34, 2015.
- [16] O. Publications, "Electric Motor Gearbox," 1992.
- [17] D. Yuanita, "Hidrogenasi Katalitik Metil Oleat Menjadi Stearil Alkohol Menggunakan Katalis Ni/Zeolit Alam," *Pros. Semin. Nas. Kim. , UNY*, p. 6, 2009.