Rancang Bangun Mesin Penggiling Kedelai dengan Sistem *Soft Start* dan Proteksi Motor pada UMKM Sari Kedelai Mutiara

Adhie Wijaya[*1], Miftakhul Huda[2] , Septriandi Wirayoga[3]

[1,2,3]Program Studi Teknik Elektronika Kampus Kediri,Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Email: [1]2241190050@student.polinema.ac.id, [2]miftakhul.huda@polinema.ac.id,
[3]yoga.septriandi@polinema.ac.id

Nomor Handphone : 089518817527

Abstrak

Proses penggilingan kedelai pada UMKM Sari Kedelai Mutiara memerlukan sistem penggerak yang mampu bekerja secara efektif sekaligus memberikan perlindungan terhadap motor. Pengoperasian motor DC secara langsung dapat menghasilkan lonjakan arus saat *starting*, sedangkan peningkatan beban penggilingan dapat menyebabkan arus motor meningkat. Penelitian ini bertujuan merancang mesin penggiling kedelai dengan penerapan *soft start* dan proteksi arus. Sistem menggunakan motor DC MY1020 48 V 500 W yang dikendalikan ESP32 melalui *driver* motor berbasis PWM. *Soft start* diterapkan dengan menaikkan *duty cycle* PWM secara bertahap hingga 100%, sedangkan PZEM-017 digunakan untuk memantau arus dengan batas proteksi 10 A. Pengujian menunjukkan bahwa proses *soft start*menghasilkan peningkatan putaran secara bertahap hingga 2.593 RPM dengan arus 8 A pada PWM 100%. Arus *starting*juga mengalami penurunan dari 16,3 A tanpa *soft start* menjadi 1,5 A dengan *soft start*. Pada pengujian proteksi, motor berhasil dihentikan ketika arus berada pada rentang 13,7–17 A dengan waktu respons 4,0–4,5 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu mengendalikan proses *starting* dan memberikan perlindungan terhadap kondisi arus berlebih.

Kata kunci: mesin penggiling kedelai, *soft start*, proteksi arus, motor DC, PZEM-017, ESP32.

Abstract

The soybean grinding process at Sari Kedelai Mutiara MSME requires a drive system that can operate effectively while providing protection for the motor. Direct operation of a DC motor can produce a high starting current, while increased grinding loads may cause the motor current to rise. This study aims to design a soybean grinding machine equipped with a soft start and overcurrent protection system. The system uses a 48 V, 500 W MY1020 DC motor controlled by an ESP32 through a PWM-based motor driver. The soft start system gradually increases the PWM duty cycle up to 100%, while the PZEM-017 is used to monitor the motor current with a protection limit of 10 A. The test results show that the soft startprocess gradually increases the motor speed to 2,593 RPM with a current of 8 A at 100% PWM. The starting current also decreased from 16.3 A without soft start to 1.5 A with soft start. In the protection test, the motor was successfully stopped when the current reached 13.7–17 A, with a response time of 4.0–4.5 seconds. These results indicate that the developed system can control the motor starting process and provide protection against overcurrent conditions.

Keywords: *soybean grinding machine, soft start, overcurrent protection, DC motor, PZEM-017, ESP32.*

This work is an open access article and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. PENDAHULUAN

Sari kedelai merupakan salah satu produk olahan berbahan dasar kedelai yang dapat menjadi sumber protein nabati bagi masyarakat [1]. Dalam proses produksinya, tahap penggilingan merupakan salah satu tahapan penting karena berfungsi menghancurkan biji kedelai sebelum dilakukan proses pengolahan lebih lanjut. Penggunaan mesin penggiling kedelai dapat mendukung proses produksi pada skala industri rumah tangga sehingga pekerjaan pengolahan menjadi lebih efektif [2].

UMKM Sari Kedelai Mutiara masih menggunakan blender rumah tangga sebagai peralatan utama untuk menggiling kedelai. Berdasarkan hasil observasi, proses penggilingan sebanyak 5 kg kedelai membutuhkan waktu sekitar 40 menit. Penggunaan blender dengan kapasitas terbatas untuk proses penggilingan dalam jumlah besar juga kurang sesuai untuk pengoperasian secara berkelanjutan. Kondisi tersebut menyebabkan waktu yang diperlukan pada tahap penggilingan menjadi cukup lama dan dapat membatasi peningkatan kapasitas produksi. Oleh karena itu, diperlukan mesin penggiling yang memiliki kemampuan kerja lebih sesuai dengan kebutuhan produksi UMKM.

Dalam perancangan mesin penggiling, motor listrik merupakan komponen utama yang berfungsi menghasilkan tenaga mekanik untuk menggerakkan sistem penggilingan. Pemilihan motor perlu disesuaikan dengan karakteristik beban dan kebutuhan daya agar mampu bekerja sesuai dengan kebutuhan proses pengolahan [3]. Pada penelitian ini digunakan motor DC MY1020 48 V 500 W sebagai penggerak utama yang dikendalikan secara elektronik menggunakan PWM.

Penggunaan motor DC pada proses penggilingan memiliki salah satu permasalahan pada saat starting. Ketika motor mulai berputar dari kondisi diam, arus yang mengalir dapat meningkat karena motor belum mencapai kecepatan kerjanya. Pemberian daya secara langsung dapat menyebabkan lonjakan arus yang cukup besar sehingga diperlukan metode pengasutan yang mampu mengendalikan pemberian daya secara bertahap. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah soft start berbasis PWM dengan meningkatkan duty cycle secara bertahap hingga mencapai kondisi kerja motor [4].

Selain pengendalian saat starting kondisi motor selama proses penggilingan juga perlu diperhatikan karena perubahan beban dapat menyebabkan peningkatan arus. Arus yang terlalu tinggi dalam kondisi tertentu dapat meningkatkan beban termal motor dan berpengaruh terhadap penuaan isolasi [5]. Oleh karena itu diperlukan sistem pemantauan dan proteksi yang mampu mendeteksi kondisi arus berlebih sehingga motor dapat dihentikan sebelum mengalami kondisi operasi yang berpotensi menyebabkan kerusakan.

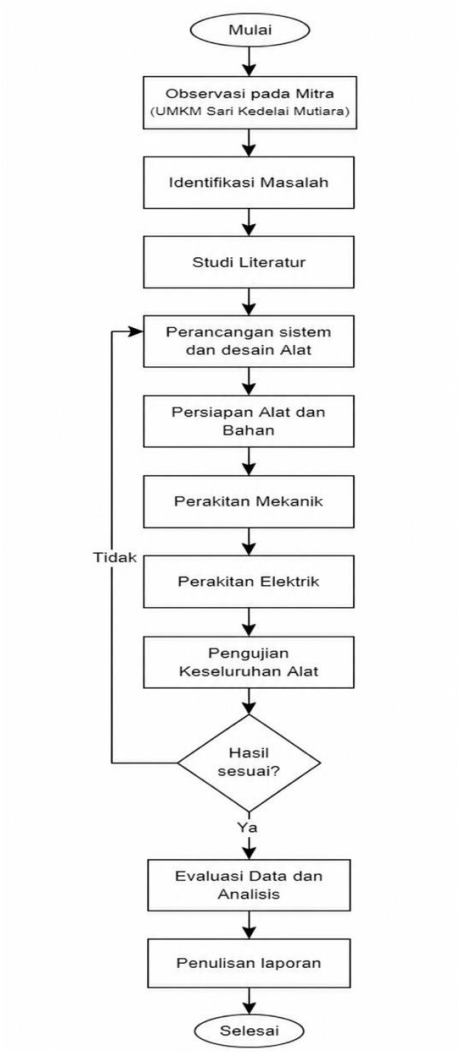
Berdasarkan permasalahan tersebut penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan mesin penggiling kedelai dengan sistem *soft start* dan proteksi motor pada UMKM Sari Kedelai Mutiara. Sistem *soft start* diterapkan untuk mengendalikan proses starting motor melalui pengaturan PWM, sedangkan sistem proteksi memanfaatkan sensor PZEM-017 untuk memantau arus motor dan mikrokontroler ESP32 untuk menentukan kondisi proteksi berdasarkan batas arus yang telah ditetapkan. Pengujian difokuskan pada kemampuan sistem dalam mengendalikan arus awal motor serta respons proteksi terhadap kondisi arus lebih.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Research and Development* (R&D) atau penelitian dan pengembangan [6]. Metode ini digunakan untuk menghasilkan suatu produk sekaligus menguji kinerja produk yang telah dikembangkan. Metode R&D diterapkan dalam proses perancangan dan pembangunan mesin penggiling kedelai yang dilengkapi sistem *soft start* dan proteksi motor. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali, motor DC MY1020 sebagai penggerak utama, serta sensor PZEM-017 untuk memantau kondisi arus motor.

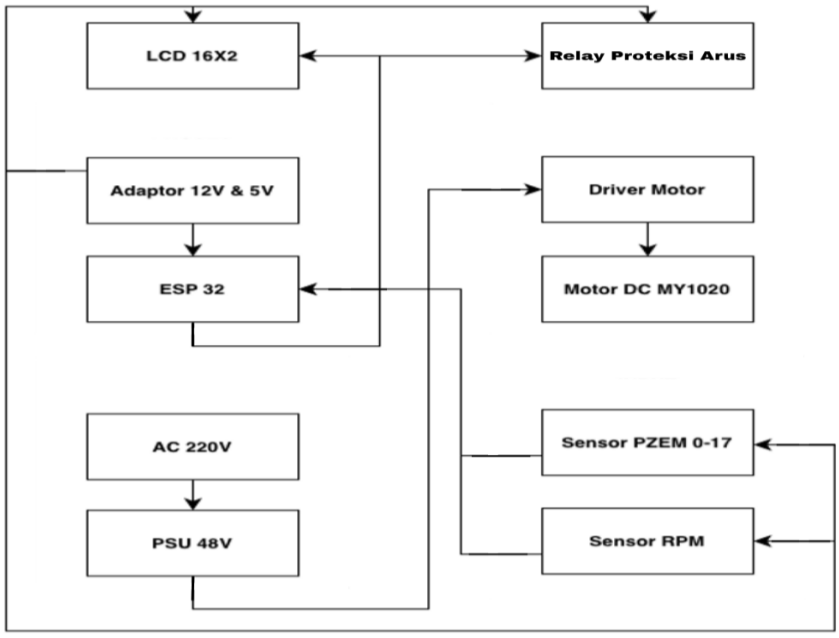
2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis, dimulai dari observasi mitra, identifikasi masalah, dan studi literatur. Selanjutnya dilakukan perancangan, persiapan alat dan bahan, serta perakitan mekanik dan elektrik. Alat kemudian diuji secara keseluruhan dan diperbaiki apabila hasilnya belum sesuai. Data yang diperoleh selanjutnya dievaluasi dan dianalisis sebagai dasar penyusunan laporan. Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Tahapan Penelitian

2.2 Diagram Blok Sistem



Gambar 2 Diagram Blok Sistem

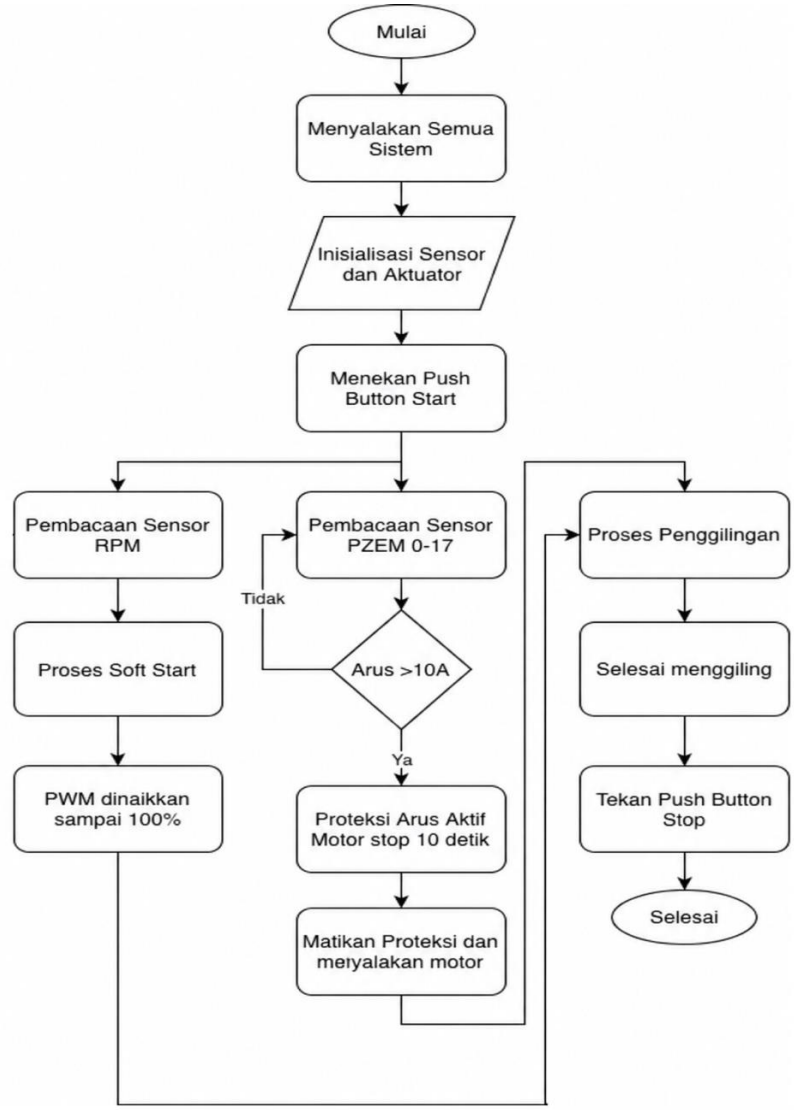
Gambar 2 menunjukkan hubungan antara sumber daya, mikrokontroler, sensor, aktuator, dan motor pada mesin penggiling kedelai. Sistem menggunakan sumber AC 220 V yang diturunkan menjadi 48 V DC melalui PSU untuk menyuplai rangkaian penggerak motor. Sementara itu, adaptor 12 V dan 5 V digunakan untuk menyuplai ESP32, LCD 16×2, serta komponen kontrol lainnya.

ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendalian sistem dengan menerima data dari sensor PZEM-017 dan sensor RPM. Data tersebut digunakan untuk memantau kondisi kelistrikan dan putaran motor selama proses pengoperasian. ESP32 memberikan sinyal kendali ke *driver motor* untuk mengatur pemberian daya ke motor DC MY1020 melalui PWM, sehingga proses *soft start* dapat dilakukan secara bertahap. Nilai parameter sistem ditampilkan melalui LCD 16×2.

Pada sisi proteksi PZEM-017 digunakan untuk membaca arus dan tegangan motor. Nilai arus yang diperoleh diproses oleh ESP32 dan dibandingkan dengan batas arus yang telah ditentukan. Apabila terjadi kondisi arus berlebih, ESP32 memberikan perintah kepada relay proteksi arus untuk menghentikan pengoperasian motor. Sensor RPM digunakan untuk memantau kecepatan putaran motor selama sistem bekerja. Dengan demikian, diagram blok sistem menggambarkan integrasi antara pengendalian *soft start*, pemantauan parameter motor, dan sistem proteksi arus pada mesin penggiling kedelai.

2.3 Perancangan Logika Sistem

Perancangan logika sistem menunjukkan logika pengoprasian mesin penggiling kedelai. Untuk alur logika sistem ini dapat di tunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 *Flowchart* Sistem

Pengoperasian alat dimulai dengan mengaktifkan seluruh sistem, kemudian sensor dan aktuator diinisialisasi agar setiap bagian berada pada kondisi siap bekerja. Setelah PB Start diberikan, sistem menjalankan proses penggilingan dan mulai memantau kondisi motor melalui pembacaan PZEM-017. Pada saat yang sama, fungsi *soft start* dijalankan dengan meningkatkan nilai PWM secara bertahap sampai mencapai 100% sebagai nilai kerja motor.

Selama motor menggerakkan proses penggilingan, nilai arus yang diperoleh dari PZEM-017 diperiksa secara berkala terhadap batas proteksi sebesar 10 A. Selama arus masih berada pada nilai yang diperbolehkan, motor tetap beroperasi. Namun, apabila arus terdeteksi melebihi 10 A, sistem mengaktifkan proteksi dengan menghentikan motor selama 10 detik. Setelah interval proteksi berakhir, proteksi dinonaktifkan dan motor kembali diaktifkan untuk meneruskan proses penggilingan.

Penggilingan dilanjutkan sampai proses dinyatakan selesai. Setelah itu, PB Stop ditekan untuk mengakhiri pengoperasian sehingga sistem berhenti dan kembali ke kondisi tidak aktif.

2.3 Perancangan Soft Start

Sistem *soft start* dirancang untuk mengatur proses awal pengoperasian motor DC MY1020 agar kenaikan daya berlangsung secara bertahap. Penerapan metode ini bertujuan untuk mengurangi lonjakan arus saat motor mulai berputar serta meminimalkan hentakan mekanik pada sistem penggerak [7]. Pengendalian dilakukan oleh ESP32 melalui pengaturan *duty cycle* PWM yang diberikan ke *driver motor* [4]. Dengan metode ini, motor tidak langsung menerima nilai PWM maksimum ketika mulai beroperasi, tetapi mengalami peningkatan PWM secara bertahap hingga mencapai kondisi kerja.

Pada implementasinya, *duty cycle* PWM dimulai dari 0% dan dinaikkan sebesar 5% pada setiap interval 0,3 detik hingga mencapai 100%. Dengan pengaturan tersebut, proses *soft start* terdiri dari 20 tahapan dan membutuhkan waktu sekitar 6 detik untuk mencapai PWM maksimum. Parameter ini digunakan untuk memperoleh proses percepatan motor yang lebih bertahap tanpa memperpanjang waktu starting secara berlebihan.

2.4 Perancangan Proteksi Arus

Proteksi arus diterapkan untuk mengantisipasi kondisi *overcurrent* yang dapat terjadi ketika proses penggilingan mengalami hambatan atau kemacetan akibat objek yang digiling. Arus yang melebihi kondisi kerja motor dalam waktu tertentu dapat meningkatkan beban termal pada lilitan dan berpengaruh terhadap masa kerja motor [5]. Oleh karena itu sistem dirancang agar mampu mendeteksi kenaikan arus dan menghentikan motor secara otomatis ketika nilai tersebut melewati batas yang ditentukan. Penentuan batas proteksi diawali dengan menghitung arus kerja teoritis motor menggunakan persamaan:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{500}{48} = 10{,}42A \qquad (1)$$

- P = daya (W)
- V = tegangan (V)
- I = arus (A)

Berdasarkan spesifikasi motor DC MY1020 48 V 500 W, *rated current* yang tercantum pada *datasheet* dan *nameplate*adalah 13,4 A. Sementara itu, hasil perhitungan menggunakan persamaan (1) menghasilkan arus kerja teoritis sebesar 10,42 A. Nilai tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam menetapkan batas proteksi sebesar 10 A, sehingga sistem dapat memberikan tindakan proteksi sebelum motor mencapai nilai *rated current*. Pemantauan arus dilakukan menggunakan PZEM-017 yang mengirimkan hasil pengukuran ke ESP32. Ketika arus yang terdeteksi melewati batas proteksi, ESP32 memberikan perintah kepada relay untuk memutus suplai menuju *driver* motor sehingga motor berhenti beroperasi [8]. Penerapan mekanisme tersebut memungkinkan motor segera dihentikan ketika terjadi kondisi arus lebih dan membantu mengurangi risiko kerusakan akibat beban yang berlebihan [9].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kalibrasi Sensor PZEM-017

Pengujian PZEM-017 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap multimeter sebagai alat ukur acuan. Sebelum kalibrasi, pada *duty cycle* 100% sensor menunjukkan arus 8,6 A, sedangkan multimeter membaca 4,8 A, sehingga diperlukan penyesuaian pembacaan. Dari perbandingan tersebut diperoleh faktor kalibrasi sebesar 0,558. Setelah kalibrasi diterapkan pengujian dilakukan pada 10 variasi *duty cycle* dari 10% hingga 100% untuk mengetahui tingkat kesalahan pembacaan arus dan tegangan sensor. Hasil kalibrasi dapat ditujukan pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1 Kalibrasi Arus Sensor PZEM-017

No	PWM (%)	Arus Sensor PZEM (A)	Multimeter (A)	Nilai Error (%)
1	10	0,58	0,5	16
2	20	1,3	1,3	0
3	30	1,9	1,7	11,7
4	40	2,2	2,09	5,26
5	50	2,7	2,61	3,45
6	60	3,1	2,8	10,71
7	70	3,4	3,1	9,68
8	80	3,7	3,5	5,71
9	90	4,2	4,4	4,55
10	100	4,6	4,7	2,13
Rata-rata nila *error* : 6,92%				

Tabel 2 Kalibrasi Tegangan Sensor PZEM-017

No.	PWM (%)	Tegangan Sensor PZEM (V)	Multimeter (V)	Nilai Error (%)
1	10	3.2	3.1	3,23
2	20	8.5	7.8	8,97
3	30	13.5	12.6	7,14
4	40	18.2	17	7,06
5	50	20.4	20.4	0
6	60	27.5	26.2	4,96
7	70	32.2	30	7,33
8	80	36.3	35.3	2,83
9	90	40.6	39	4,10
10	100	44.3	44.2	0,23
Rata-rata nila *error* : 4,58%				

Hasil pengujian menunjukkan rata-rata *error* pembacaan PZEM-017 sebesar 6,92% untuk arus dan 4,58% untuk tegangan. Perbedaan pembacaan antara sensor dan multimeter dapat dipengaruhi oleh perubahan beban motor, karakteristik sensor, serta perbedaan respons pembaruan data. Secara keseluruhan, hasil pengukuran PZEM-017 cukup mendekati multimeter sehingga dapat digunakan untuk pemantauan kondisi motor.

Untuk perhitungan error dan akurasi sensor dapat menggunakan rumus sebagai berikut :
Rumus Perhitungan Nilai *Error*:

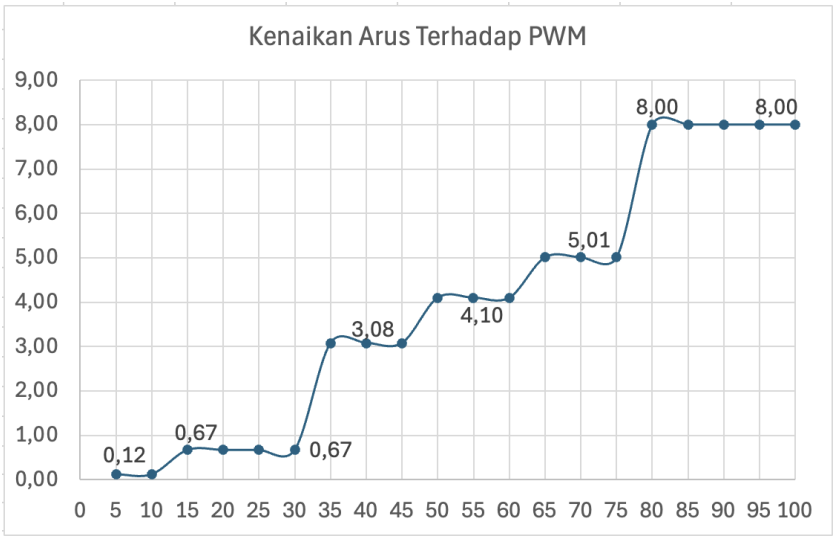
$$Error(\%) = \frac{Hasil\ Sensor - Nilai\ Alat\ Ukur}{Nilau\ Alat\ Ukur} \times 100\% \qquad (2)$$

3.2. Pengujian Sistem *Soft Start*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem *soft start* dalam mengatur proses awal pengoperasian motor DC MY1020. Pengujian dilakukan dengan meningkatkan *duty cycle* PWM secara bertahap sebesar 5% setiap 0,3 detik, mulai dari 5% hingga mencapai 100%. Selama proses tersebut, perubahan putaran dan arus motor diamati untuk mengetahui respons motor terhadap peningkatan PWM. Hasil pengujian dapat ditujukan pada Tabel 3 dan Gambar 4.

Tabel 1 Pengujian Sistem *Soft Start*

No	Waktu *(s)*	PWM *(%)*	RPM	Arus *(A)*
1	0.3	5	4	0.12
2	0.6	10	85	0.12
3	0.9	15	180	0.67
4	1.2	20	310	0.67
5	1.5	25	450	0.67
6	1.8	30	620	0.67
7	2.1	35	820	3.08
8	2.4	40	1.010	3.08
9	2.7	45	1.180	3.08
10	3.0	50	1.350	4.10
11	3.3	55	1.490	4.10
12	3.6	60	1.640	4.10
13	3.9	65	1.780	5.01
14	4.2	70	1.930	5.01
15	4.5	75	2.080	5.01
16	4.8	80	2.230	8.0
17	5.1	85	2.360	8.0
18	5.4	90	2.413	8.0
19	5.7	95	2.534	8.0
20	6.0	100	2.593	8.0



Gambar 4 Grafik Kenaikan Arus

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan *duty cycle* secara bertahap diikuti oleh kenaikan putaran dan arus motor. Pada PWM 5%, motor mulai berputar dengan arus 0,12 A, sedangkan pada PWM 100% putaran mencapai 2.593 RPM dengan arus 8 A. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan masukan motor secara bertahap selama proses *starting*.

Untuk mengetahui pengaruh penerapan *soft start* terhadap arus awal, dilakukan perbandingan antara kondisi motor tanpa *soft start* dan dengan *soft start*.

Tabel 4 Perbandingan Arus *Starting* Motor

Kondisi	**Arus *Starting* (A)**
Tanpa *Soft Start*	16,3
Dengan *Soft Start*	1,5

Berdasarkan hasil pengujian penggunaan sistem *soft start* menunjukkan perbedaan arus awal dibandingkan kondisi tanpa *soft start*. Arus awal yang terukur tanpa *soft start* sebesar 16,3 A, sedangkan setelah menerapkan *soft start* arus awal menjadi 1,5 A. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemberian PWM secara bertahap dapat mengurangi lonjakan arus pada saat motor mulai beroperasi.

3.3. Pengujian Sistem Proteksi

Pengujian sistem proteksi arus dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam melindungi motor ketika terjadi *overcurrent* selama proses penggilingan. Pengujian dilakukan dengan memberikan hambatan pada *pulley* hingga arus motor mencapai kondisi yang diuji. Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali untuk melihat respons sistem terhadap perubahan arus di sekitar batas *setpoint* sebesar 10 A. Berdasarkan pengujian sebelumnya, arus motor membutuhkan waktu sekitar 4 detik untuk mencapai kondisi *running* yang stabil. Oleh karena itu, sistem menggunakan waktu tersebut sebagai acuan dalam mengenali kondisi *overcurrent*.

Tabel 5 Hasil Pengujian Sistem Proteksi

No	***Setpoint* (*A*)**	**Arus Terbaca *(A)***	**Respon Pengaktifan (Detik)**	**Status Motor**
1	10	10,7	3,6	On
2	10	9,4	2,7	On
3	10	10,2	3,3	On
4	10	12,4	3,8	On
5	10	11,3	3,7	On
6	10	13,7	4,2	Off
7	10	17	4	Off
8	10	16,4	4,5	Off
9	10	15,5	4,3	Off
10	10	14,6	4,2	Off

Berdasarkan Tabel 5 arus 10,0–12,4 A motor masih berada dalam kondisi ON dengan waktu respons 2,7–3,8 detik. Ketika arus meningkat hingga 13,7–17 A, sistem berhasil mengaktifkan proteksi dan menghentikan motor dengan waktu respons 4,0–4,5 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kondisi *overcurrent*dan memberikan respons pemutusan motor ketika arus telah mencapai kondisi yang dianggap membahayakan, sehingga dapat membantu mencegah motor bekerja pada kondisi pembebanan berlebih.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem *soft start* pada mesin penggiling kedelai mampu mengatur kenaikan PWM secara bertahap hingga 100% sehingga proses *starting* motor berlangsung lebih terkendali. Penerapan *soft start* juga menurunkan arus awal motor dari 16,3 A menjadi 1,5 A. Sementara itu sistem proteksi arus berbasis PZEM-017 dan ESP32 mampu mendeteksi kondisi *overcurrent* dan menghentikan motor ketika arus mencapai 13,7–17 A dengan waktu respons 4,0–4,5 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua sistem dapat bekerja sesuai fungsi yang dirancang untuk mendukung pengoperasian dan perlindungan motor pada mesin penggiling kedelai. kedelai.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] FAO, *Technology of Production of Edible Flours and Protein Products from Soybeans: Chapter 8 – Soymilk and Related Products*, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

[2] M. Masdani, Z. Kurniawan, dan Hasdiansah, “Pengabdian Kepada Masyarakat Mesin Penggiling Kedelai Untuk Produksi Susu Kedelai Pada Industri Rumah Tangga,” DULANG: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, vol. 2, no. 2, pp. 76–81, 2022.

[3] O. Olanrewaju, I. M. Jeremiah, A. U. Shehu, T. K. Sule, and R. Suleiman, "Selection of Electric Motor for Post Harvest Processing of Agricultural Products," *VEF Journal of Agriculture, Rural and Community Development*, vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2014.

[4] U. Goundaje, G. Dhulugade, A. Sontakke, dan S. S. Manjare, "Soft Starter For DC Motor with Speed Control by PWM Method," *IJIREEICE (International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering)*, vol. 12, no. 4, hlm. 138-141, Apr. 2024.

[5] V. Madonna, P. Giangrande, L. Lusuardi, A. Cavallini, C. Gerada, dan M. Galea, "Thermal overload and insulation aging of short duty cycle, aerospace motors," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 67, no. 4, hlm. 2618-2629, Apr. 2020.

[6] Okpatrioka, "Penelitian dan Pengembangan (Research And Development) Dalam Pendidikan dan pengajaran," *Ikraith-Humaniora*, vol. 9, no. 2, hlm. 1-8, 2025.

[7] H. Purnata, Supriyono, A. F. Pratiwi, dan M. Yusuf, "Mekanisme Soft Starting Pada Pengaturan Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Kendali Logika Fuzzy," *E-JOINT (Electronica and Electrical Journal of Innovation Technology)*, vol. 1, no. 1, hlm. 13-19, Jun. 2020.

[8] V. N. Höpner dan V. E. Wilhelm, "Insulation Life Span of Low-Voltage Electric Motors-A Survey," *Energies*, vol. 14, no. 6, hlm. 1738, Mar. 2021.

[9] I. V. Bochkarev, I. V. Bryakin, V. R. Khramshin, A. R. Sandybaeva, dan K. V. Litsin, "Developing New Thermal Protection Method for AC Electric Motors," *Machines*, vol. 9, no. 3, hlm. 51, Mar. 2021.