

## Monitoring dan Notifikasi *Crust Breaker* pada Tungku Reduksi

Hadi Supriyanto<sup>1</sup>, Nuryanti<sup>2</sup>, Muhammad Iqbal Imanuddin<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup> Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung

Email : [iqbalimhammad10000000@gmail.com](mailto:iqbalimhammad10000000@gmail.com)

| Informasi Artikel:   | ABSTRAK  |
|--|--|
| <p><i>Received:</i><br/>4 Januari 2024</p> <p><i>Accepted:</i><br/>30 April 2025</p> <p><i>Available:</i><br/>9 Mei 2025</p> | <p><i>Crust Breaker</i> merupakan peralatan pada tungku reduksi aluminium yang berfungsi memecahkan <i>crust</i> pada permukaan <i>electrolyte</i>. Selama ini pihak operasional mengidentifikasi <i>crust breaker abnormal</i> dengan manual karena belum tersedia alat pendeteksi <i>crust breaker abnormal</i>. Untuk itu, alat untuk mendeteksi saat terjadi <i>crust breaker abnormal</i> dirancang dengan pembuatan <i>prototype crust breaker</i> dan pengukuran implementasi langsung pada tungku reduksi yang dapat dimonitor secara <i>real time</i> melalui <i>website</i> dan memberikan notifikasi saat terjadi kondisi <i>crust breaker abnormal</i> melalui Telegram, serta menambahkan indikasi lampu dan <i>buzzer</i> pada ruang. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan <i>toggle switch</i> dengan kondisi <i>crust breaker normal</i> mendapatkan <i>respons</i> rata-rata pendeteksian 86,54% dan kondisi <i>crust breaker abnormal</i> mendapatkan <i>respons</i> rata-rata pendeteksian 90,51%, serta pengujian implementasi langsung pada tungku reduksi dengan pengaturan waktu di bawah 10 menit, <i>crust breaker</i> memberikan notifikasi aktual tidak menyentuh <i>electrolyte</i>. Berdasarkan hasil tersebut, pengaturan waktu yang tepat untuk memastikan kondisi <i>crust breaker abnormal</i> yakni <math>\geq 10</math> menit.</p> |
| <p><b>Kata Kunci:</b></p> <p><i>Crust Breaker, Monitoring, Notifikasi, Telegram</i></p>                                      | <p><b>ABSTRACT</b></p> <p><i>Crust Breaker is an equipment in aluminum reduction furnace that functions to break the crust on the electrolyte surface. So far, the operational team has identified abnormal crust breakers manually because there is no abnormal crust breaker detection tool available. For this reason, the tool to detect when an abnormal crust breaker occurs is designed by making a prototype crust breaker and measuring the implementation directly on the reduction furnace which can be monitored in real time through the website and providing notifications when abnormal crust breaker conditions occur via Telegram, as well as adding light and buzzer indications in the room. The results showed that the use of toggle switches with normal crust breaker conditions got an average detection response of 86.54% and abnormal crust breaker conditions got an average detection response of 90.51%, as well as direct implementation testing on a reduction furnace with a time setting of less than 10 minutes, the crust breaker provided an actual notification of not touching the electrolyte. Based on these results, the right time to ensure the condition of the abnormal crust breaker is <math>\geq 10</math> minutes.</i></p>  |

## 1 PENDAHULUAN

Aluminium merupakan salah satu material logam *nonferrous* yang paling sering digunakan di dunia industri [1]. Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan mempunyai cadangan yang paling berlimpah ke 3 di dunia [2] dan dapat dimanfaatkan untuk kaleng minuman, komponen mobil, pesawat dan kereta api [3]. Kebutuhan aluminium di dalam negeri pada tahun 2022 mencapai 1 juta ton/tahun, untuk produksi di dalam negeri sebesar 250.000 ton/tahun [4]. Proses peleburan aluminium menggunakan prinsip proses Hall-Heroult [5] yang terjadi pada tungku atau pot [6]. Permasalahan saat ini peralatan di tungku reduksi yaitu *crust breaker*, berdasarkan data pada tahun 2022 telah terjadi kerusakan 354 kejadian disebabkan karena pihak operasional tidak mengetahui saat terjadi *crust breaker* abnormal, selama ini pihak operasi menemukannya dengan cara manual yaitu melihat langsung kondisi *crust breaker* ke tungku dan belum tersedia alat untuk mendeteksi saat terjadi *crust breaker* abnormal.

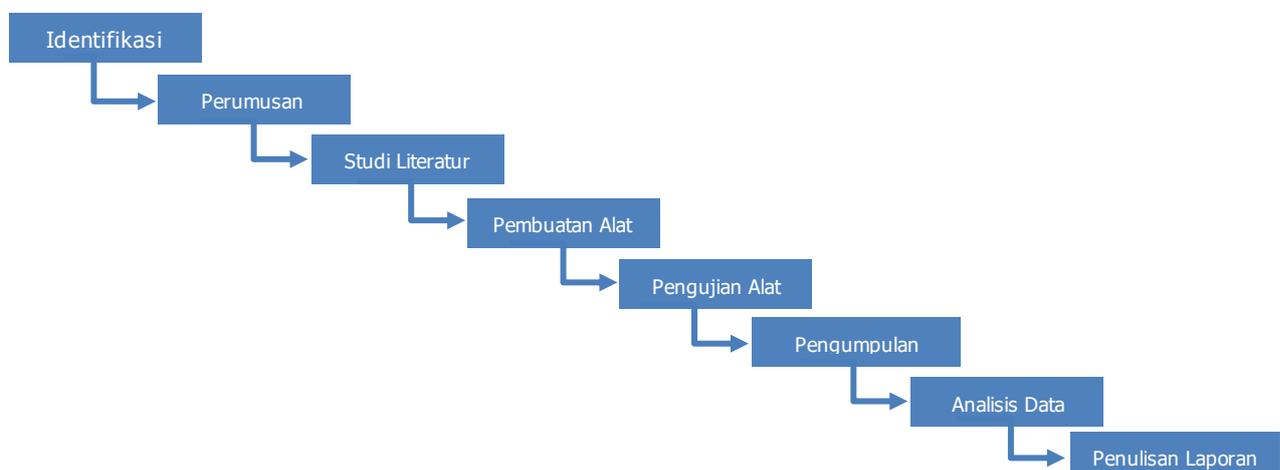
Di antara penelitian-penelitian sebelumnya saat kondisi tungku reduksi mengalami *anode effect* [7] yang disebabkan karena permasalahan pada *crust breaker* menggunakan metode pendeteksian saat *crust breaker* bekerja melalui tekanan udara [8] dan kondisi *chisel* yang menyentuh dengan cairan *electrolyte* [9]. Penggunaan peralatan tambahan pada *crust breaker* juga dilakukan dengan menambahkan peralatan *pressure switch* [10] untuk mengetahui selisih tekanan udara saat *crust breaker* aktif lalu memanfaatkan tegangan [11] pada tungku melalui chisel saat menyentuh dengan cairan *electrolyte*. Pemanfaatan penampungan udara atau *chamber* [12][13] pada piston *rod silinder* juga digunakan untuk pemanfaatan *crust breaker* secara mekanis lalu dikembangkan dengan menambahkan pendeteksian tegangan pada *chisel* [14]. Penelitian selanjutnya untuk mengurangi permasalahan *elephant leg* yang disebabkan karena *chisel* menyentuh cairan *electrolyte* dengan membuat modul *Bath Sensing Module* (BSM) [15]. Sebagian besar untuk pengendalian *crust breaker* menggunakan *monitoring* [16][17] melalui tampilan secara *website* [18] secara *real time* [19].

Terkait dengan permasalahan tersebut dilakukan upaya untuk melakukan pembuatan alat untuk membantu pihak operasional agar tidak melakukan pengecekan secara manual dengan memanfaatkan teknologi monitoring dan notifikasi berbasis website. Penelitian ini diharapkan dapat mengurangi jumlah kerusakan pada *crust breaker* sebesar 80% dan menghilangkan 100 % pekerjaan pengecekan manual pada *crust breaker* di tungku reduksi.

## 2 METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Metode Penelitian

Dalam pengerjaan suatu karya ilmiah dibutuhkan sebuah metodologi yang digunakan untuk penyelesaian masalah yang ada. Metodologi sendiri adalah serangkaian kerangka sistematis dalam melakukan penyelesaian masalah dalam penelitian. Dalam penelitian ini terdapat langkah sebagai mana Gambar 1 berikut.



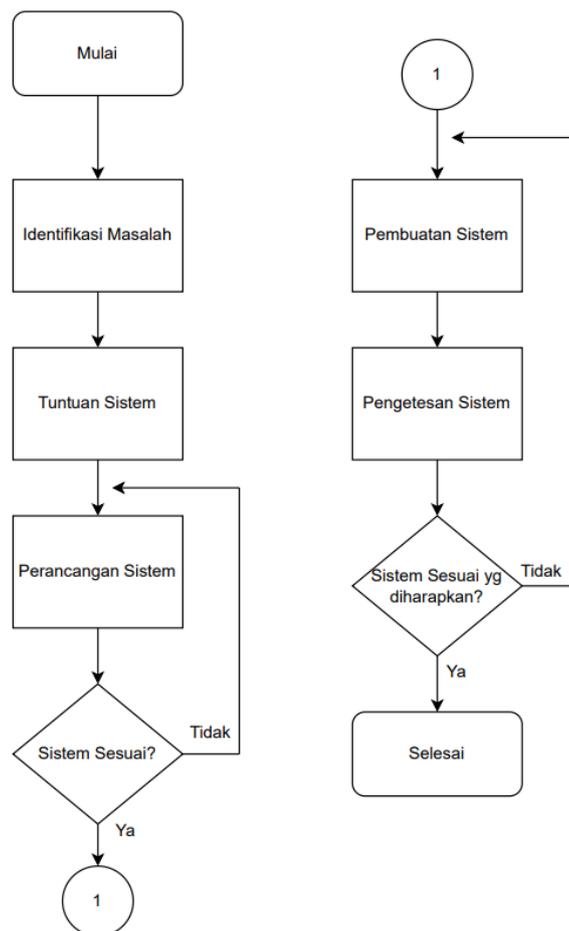
Gambar 1 Metode Penelitian *Waterfall*

Tahapan-tahapan yang terdapat pada metode penelitian *waterfall*

- 1) Identifikasi Masalah
- 2) Merumuskan Masalah
- 3) Studi Literatur
- 4) Pembuatan Alat
- 5) Pengujian Alat
- 6) Pengumpulan Data
- 7) Analisis Data
- 8) Penulisan Laporan

## 2.2 Diagram Alir Perancangan

Sebagaimana metode *waterfall*, Gambar 2 menunjukkan alur proses perancangan alat untuk memonitor dan memberikan notifikasi *crust breaker* pada tungku reduksi. Perancangan diawali dengan mengidentifikasi masalah agar dapat merumuskan tuntutan sistem yang diperlukan. Hal tersebut akan meningkatkan alat sesuai dengan fungsi dan permasalahan yang dicarikan solusinya. Setelah itu, alat tersebut akan diuji untuk memastikan alat tersebut telah mencapai tuntutan sistem sebagaimana tertuan. Alat yang tidak sesuai akan direvisi kembali dari perancangan sistem.



Gambar 2 Diagram Alir Perancangan

### 2.3 Identifikasi Masalah

Pada penelitian ini untuk pengidentifikasian masalah berdasarkan kondisi yang terjadi pada tungku reduksi yaitu *crust breaker* abnormal yang tidak diketahui dengan cepat, maka diperlukan sistem yang dapat mengetahui kondisi *crust breaker* dengan menggunakan monitoring dan memberikan notifikasi saat terjadi *crust breaker* abnormal.

### 2.4 Analisis tuntutan sistem

Pada sistem ini bertujuan untuk memonitor *crust breaker* yang terdapat pada tungku reduksi, terdapat beberapa hal penting yang perlu digaris bawahi guna untuk keberhasilan pada penelitian ini. Pada tabel 1 adalah tuntutan yang ingin dicapai pada penelitian ini meliputi beberapa hal yaitu :

Tabel 1 Analisis Tuntutan Sistem

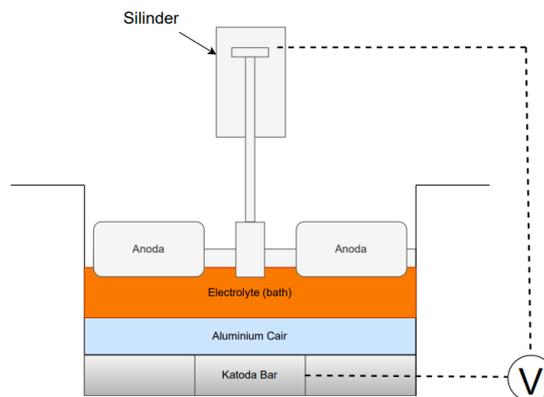
Pendeteksian saat *crust breaker* aktif / bekerja melewati dari batas yang telah ditentukan akan memberikan notifikasi pada aplikasi telegram, lampu indikator dan buzzer jika terjadi *crust breaker abnormal*.

Data *crust breaker* yang aktif dikirim ke *website* bertujuan untuk menampilkan kondisi atau aktivitas dari *crust breaker* dan solenoid.

Data *crust breaker* yang *abnormal* tersimpan di *website* lalu dapat disajikan dalam bentuk laporan.

### 2.5 Analisis Pendeteksian *Crust Breaker*

Analisis pendeteksian *crust breaker* berasal dari tungku reduksi, karena pada tungku reduksi dialirkan oleh tegangan DC sehingga memiliki tegangan yang terdapat pada cairan *electrolyte*, dengan rentang tegangan yang terdapat di dalam tungku. Gambar 3 merupakan tungku reduksi yang memanfaatkan tegangan dari *crust breaker* dan katoda bar.



Gambar 3 Pendeteksian Tegangan *Crust Breaker*

### 2.6 Perancangan Sistem

Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan maka dibutuhkan perancangan sistem untuk mengetahui aktivitas *crust breaker*, solenoid dan memberikan notifikasi saat terjadi abnormal pada *crust breaker*. Untuk perancangan sistem yang dibutuhkan yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

### 2.7 Perangkat Keras (*Hardware*)

Pada perancangan sistem ini digunakan beberapa perangkat keras sebagai berikut :

Tabel 2 Perangkat Keras

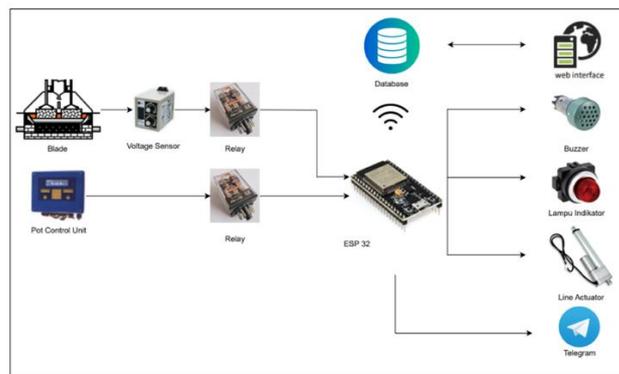
| No. | Nama Perangkat | Keterangan                              |
|-----|----------------|---|
| 1   | Laptop         | Untuk sebagai tampilan <i>dashboard</i> |
| 2   | ESP 32         | Jenis mikrokontroller yang digunakan    |

## Monitoring dan Notifikasi *Crust Breaker* pada Tungku Reduksi

|    |                                       |  |
|----|---------------------------------------|--|
| 3  | FM-7                                  | Pendeteksi tegangan <i>crust breaker</i>   |
| 4  | <i>Solenoid Valve</i>                 | Pendeteksi tegangan solenoid   |
| 5  | MK3P                                  | <i>Relay AC 220</i> , terdapat 3 <i>auxiliary contact</i>  |
| 6  | Catu Daya AC to DC (220 VAC ke 5 VDC) | Sebagai sumber listrik peralatan mikrokontroler  |
| 7  | JQC-3FF-S-Z                           | <i>Relay DC 5</i> , terdapat 1 <i>auxiliary contact</i>  |
| 8  | Lampu Indikator                       | Lampu untuk indikasi <i>crust breaker abnormal</i>   |
| 9  | Buzzer                                | Buzzer untuk indikasi <i>crust breaker abnormal</i>  |
| 10 | <i>Pot Control Unit</i>               | Peralatan yang berfungsi untuk memberikan perintah <i>crust breaker</i> bekerja ( <i>existing system</i> ) |

### 2.8 Gambaran Umum Sistem

Sebagaimana tuntutan sistem, Gambar 4 menunjukkan hubungan antarperangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) untuk membangun sistem monitor dan notifikasi *crust breaker* pada tungku besi. ESP32 menjadi pusat penghubung antara sensor dengan *relay* dan juga memberikan data melalui *database*. Selain itu, ESP32 juga akan mengirimkan notifikasi pada aplikasi Telegram.

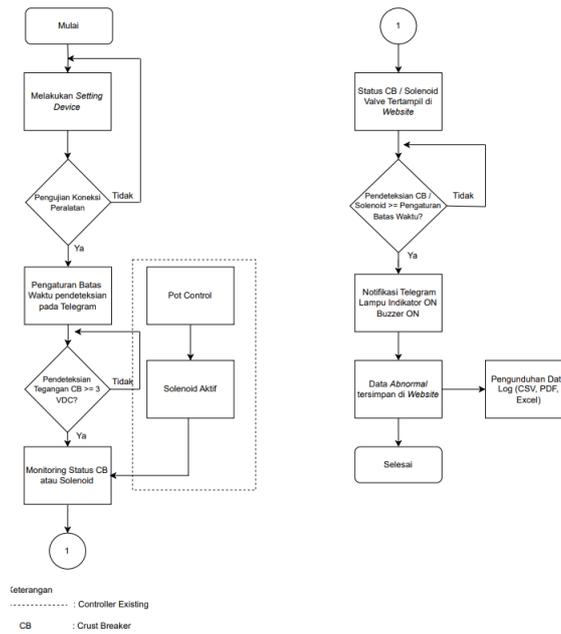


Gambar 4 Gambaran Umum Sistem

### 2.9 Diagram Alir Proses

Gambar 5 menunjukkan alur kerja sistem otomatis untuk pengaturan dan pemantauan *solenoid valve* yang dikendalikan berdasarkan waktu, dengan integrasi sistem notifikasi melalui Telegram dan pencatatan data melalui Webtools. Sistem dimulai dengan proses *setting device* oleh pengguna. Setelah perangkat diatur, sistem akan memeriksa koneksi internet. Jika koneksi internet tidak tersedia, proses akan berhenti atau tertunda. Jika koneksi tersedia, sistem akan melanjutkan ke tahap pengaturan waktu operasional dan notifikasi melalui Telegram. Pada tahap tersebut, pengguna dapat mengatur batas waktu operasional *solenoid valve*. Setelah waktu ditentukan, sistem akan mengaktifkan solenoid pada waktu yang telah dijadwalkan. Aktivasi ini dilakukan melalui blok kontrol khusus (*Pot Control*) yang kemudian mengatur status solenoid untuk aktif sesuai pengaturan yang telah ditetapkan. Selanjutnya, sistem akan terus memantau status solenoid atau *Circuit Breaker* (CB).

Pemantauan dilakukan secara berkala untuk memastikan bahwa perangkat berfungsi sesuai jadwal. Jika ditemukan adanya kondisi yang tidak sesuai, sistem akan mengirimkan notifikasi ke pengguna melalui aplikasi Telegram. Selain itu, indikator lokal seperti lampu indikator atau *buzzer* akan diaktifkan sebagai tanda peringatan. Selain notifikasi, sistem ini juga merekam setiap aktivitas dan status ke dalam Webtools. Data hasil pemantauan dapat disimpan dalam berbagai format, seperti CSV, PDF, atau Excel, yang memudahkan pengguna untuk melakukan analisis data historis atau pelaporan.



Gambar 5 Diagram Alir Proses

### 2.10 Perangkat Lunak (*Software*)

Pada perancangan sistem ini menggunakan beberapa perangkat lunak sebagaimana Tabel 3 berikut. *Software* tersebut diintegrasikan dengan perangkat keras untuk memastikan dapat memberikan kinerja yang optimal.

Tabel 3 Perangkat Lunak

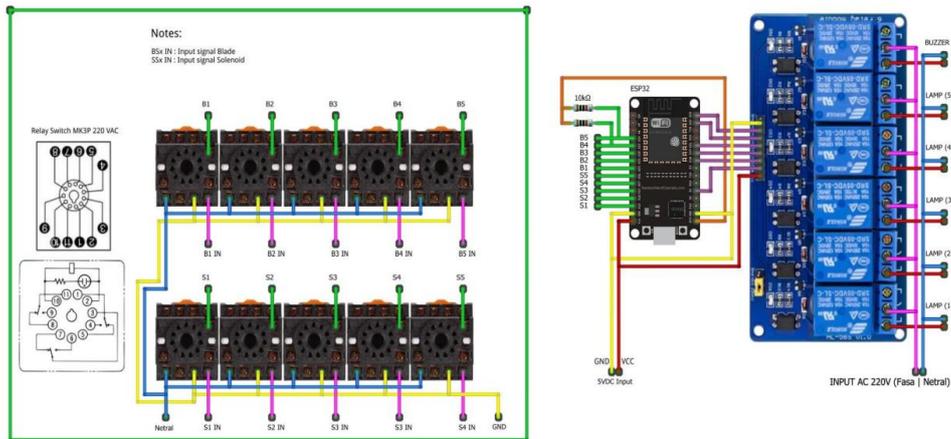
| No. | Nama <i>Software</i> | Keterangan   |
|-----|----------------------|--|
| 1   | Arduino IDE          | Untuk memprogram pada mikrokontroler ESP 32                            |
| 2   | XAMPP Database       | Untuk pembuatan database   |
| 3   | Website              | Untuk menampilkan kondisi <i>crust breaker</i> dan solenoid            |
| 4   | Telegram             | Untuk memberikan notifikasi saat terjadi <i>crust breaker</i> abnormal |

### 2.11 Pembuatan Sistem Alat Pendeteksian Crust Breaker Abnormal

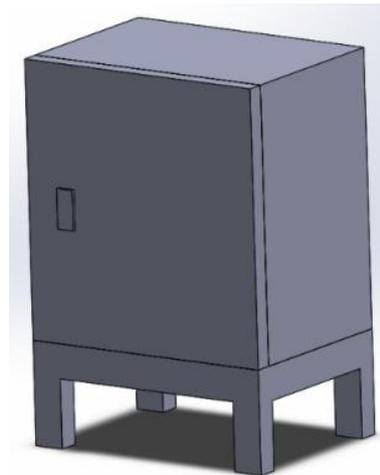
Gambar 6 memperlihatkan skema instalasi kabel dari sistem monitoring dan kontrol berbasis mikrokontroler (ESP32) yang terhubung dengan modul *relay* dan soket *relay* mekanik. Sistem ini bertujuan untuk mengendalikan beberapa perangkat seperti *solenoid valve* atau beban listrik lainnya secara digital. Instalasi tersebut tersimpan dalam boks panel sebagaimana Gambar 7. Boks tersebut dirancang untuk melindungi seluruh rangkaian elektronik dan sistem kabel dari faktor eksternal seperti air, debu, atau gangguan fisik lainnya.

## Monitoring dan Notifikasi *Crust Breaker* pada Tungku Reduksi

### Wiring Installation



Gambar 6 Pengkabelan Kontrol *Crust Breaker*



Gambar 7 Panel Pendeteksian *Crust Breaker Abnormal*

## 3 HASIL PENELITIAN

### 3.1 Hasil Pengujian Peralatan Pada *Toggle Switch*

Berdasarkan hasil pengukuran pengujian seluruh sistem.

Tabel 4 Hasil Pengujian *Toggle Switch* Kondisi Normal *Crust Breaker*

| No | Standard Waktu Normal <i>Crust Breaker</i> Aktif | Tungku 1   | Tungku 2   | Tungku 3   | Tungku 4   | Tungku 5   | Ket |
|----|--|------------|------------|------------|------------|------------|-----|
| 1  | 5 detik  | 4.33 detik | 4.34 detik | 4.43 detik | 4.32 detik | 4.26 detik |     |
| 2  | 5 detik  | 4.42 detik | 4.32 detik | 4.32 detik | 4.22 detik | 4.38 detik |     |
| 3  | 5 detik  | 4.33 detik | 4.23 detik | 4.41 detik | 4.32 detik | 4.25 detik |     |

|                     |         |            |            |            |            |            |
|---------------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 4                   | 5 detik | 4.21 detik | 4.44 detik | 4.21 detik | 4.31 detik | 4.33 detik |
| 5                   | 5 detik | 4.33 detik | 4.33 detik | 4.22 detik | 4.45 detik | 4.47 detik |
| <i>Error (%)</i>    | -       | 86,48      | 86,64      | 86,36      | 86,48      | 86,76      |
| Rata-Rata Error (%) |         |            |            |            |            | 86,54      |

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4 didapatkan hasil respons waktu dengan standar waktu *crust breaker* bekerja normal adalah 5 detik berdasarkan sinyal dari *pot control unit*. Pada pengujian ini melakukan pengukuran pendeteksian pada bagian *input* dari kontroler saat mendapatkan sinyal dari toggle switch didapatkan respons waktu peralatan yang diperoleh dengan rata-rata error 86,54 % dengan melakukan 5 kali pengujian secara berulang.

Tabel 5 Hasil Pengujian *Toggle Switch* Kondisi *Abnormal Crust Breaker*

| <b>Nomor Tungku</b>        | <b>Setting Time (15 Detik)</b> | <b>Setting Time (30 Detik)</b> | <b>Setting Time (60 Detik)</b> | <b>Relay Status</b> | <b>Notifikasi Telegram</b> |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| Tungku 1                   | 16.20 detik                    | 34.27 detik                    | 64.21 detik                    | Aktif               | Terkirim                   |
| Tungku 2                   | 16.13 detik                    | 33.43 detik                    | 63.56 detik                    | Aktif               | Terkirim                   |
| Tungku 3                   | 17.32 detik                    | 34.75 detik                    | 63.21 detik                    | Aktif               | Terkirim                   |
| Tungku 4                   | 17.16 detik                    | 33.20 detik                    | 64.79 detik                    | Aktif               | Terkirim                   |
| Tungku 5                   | 17.59 detik                    | 33.47 detik                    | 63.42 detik                    | Aktif               | Terkirim                   |
| <i>Error (%)</i>           | 88,86 %                        | 88,69 %                        | 93,98 %                        | -                   | -                          |
| Rata-Rata <i>Error (%)</i> |                                |                                | 90.51 %                        |                     |                            |

Berdasarkan hasil pengujian di atas terdapat 3 pengujian waktu yang berbeda, pada pengujian dengan kondisi *crust breaker ini* diasumsikan abnormal karena melebihi waktunya, dengan waktu normal dari *crust breaker* aktif adalah 5 detik di atas waktu tersebut sudah dianggap sebagai abnormal berdasarkan hasil tabel 5 didapatkan rata-rata error pada 3 pengujian waktu yang berbeda adalah 90.51% dan kondisi dari *relay status* dan notifikasi *crust breaker* abnormal berhasil terkirim.

### 3.2 Hasil Pengujian Peralatan Implementasi di Tungku Reduksi



Gambar 8 Pengujian pada Tungku Reduksi

Gambar 8 merupakan pengujian langsung untuk mengetahui *crust breaker* yang abnormal terdapat kotak panel kontrol untuk memonitor aktivitas dari *crust breaker* dan juga solenoid serta lampu indikator dan *buzzer* yang terpasang pada panel alarm.

Tabel 6 Hasil Pengujian *Crust Breaker Abnormal* pada Tungku Reduksi

| Setting Waktu | Tungku 1<br>(Kejadian Abnormal) | Tungku 2<br>(Kejadian Abnormal) | Tungku 3<br>(Kejadian Abnormal) | Tungku 4<br>(Kejadian Abnormal) | Tungku 5<br>(Kejadian Abnormal) | Lampu Indikator & Buzzer | Notifikasi Telegram |
|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------|
| 30 Detik      | 0                               | 0                               | 56                              | 0                               | 0                               | Aktif                    | Terkirim            |
| 1 Menit       | 1                               | 0                               | 5                               | 5                               | 0                               | Aktif                    | Terkirim            |
| 5 Menit       | 0                               | 17                              | 17                              | 4                               | 0                               | Aktif                    | Terkirim            |
| 6 Menit       | 0                               | 0                               | 12                              | 0                               | 0                               | Aktif                    | Terkirim            |
| 7 Menit       | 0                               | 0                               | 0                               | 0                               | 0                               | Tidak Aktif              | Tdk Terkirim        |
| 8 Menit       | 0                               | 0                               | 6                               | 0                               | 0                               | Aktif                    | Terkirim            |
| 9 Menit       | 0                               | 0                               | 1                               | 0                               | 0                               | Aktif                    | Terkirim            |
| 10 Menit      | 0                               | 0                               | 0                               | 0                               | 0                               | Tidak Aktif              | Tdk Terkirim        |
| 15 Menit      | 0                               | 0                               | 0                               | 0                               | 0                               | Tidak Aktif              | Tdk Terkirim        |
| 20 Menit      | 0                               | 0                               | 0                               | 0                               | 0                               | Tidak Aktif              | Tdk Terkirim        |

Berdasarkan Tabel 6, terdapat kejadian abnormal *crust breaker* yang sering terjadi pada tungku 3 yaitu pada pengaturan batas waktu 30 detik menghasilkan 56 kejadian abnormal, pada pengaturan batas waktu 1 menit menghasilkan 5 kejadian abnormal, pada pengaturan batas waktu 5 menit menghasilkan 17 kejadian abnormal, pada pengaturan batas waktu 6 menit menghasilkan 12 kejadian abnormal, pada pengaturan batas waktu 8 menit menghasilkan 6 kejadian abnormal dan pada pengaturan batas waktu 9 menit menghasilkan 1 kejadian abnormal, setelah dilakukan observasi secara langsung ditemukan *crust breaker* yang mengalami *elephant leg* yaitu terjadinya kondisi penumpukan kerak pada bagian *teeth* sehingga menyebabkan saat *crust breaker* dalam kondisi tidak aktif mengakibatkan *crust breaker*

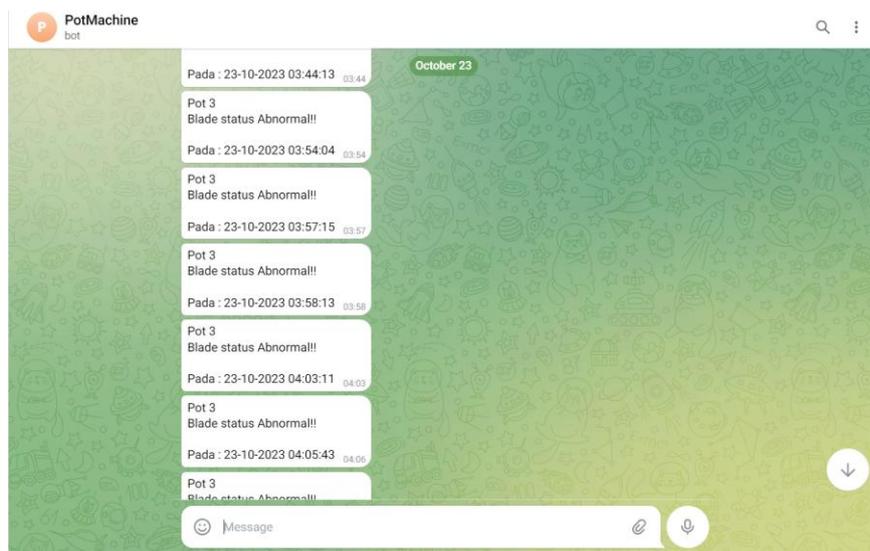
dideteksi abnormal seolah mendapatkan tegangan dari tungku sehingga sistem mendeteksi abnormal. Berikut pada gambar 9 kondisi *crust breaker* yang mengalami *elephant leg* dan kondisi *crust breaker* menyentuh dengan anoda.



Gambar 9 *Elephant Leg* pada *Crust Breaker* dan *Crust Breaker* menyentuh Anoda

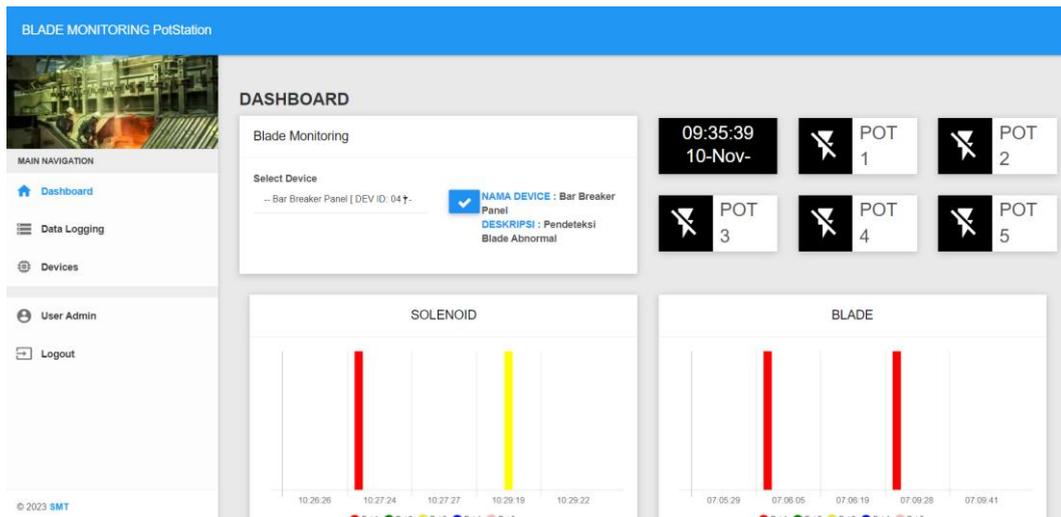
### 3.3 Hasil Pengujian Tampilan *Website* dan Notifikasi Telegram

Berdasarkan hasil implementasi dan integrasi *software* dan *hardware*, sistem dapat mengirimkan notifikasi melalui Aplikasi Telegram sebagaimana Gambar 10. Tampilan *dashboard* pun dapat dirancang dan menampilkan data secara *real-time* dengan waktu tertentu sebagaimana Gambar 11.



Gambar 10 Notifikasi Telegram *Crust Breaker Abnormal*

## Monitoring dan Notifikasi *Crust Breaker* pada Tungku Reduksi



Gambar 11 Halaman *Dashboard Monitoring Crust Breaker*

## 4 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan data yang telah dilakukan, sistem yang dibuat dengan memanfaatkan pendeteksian tegangan dari tungku reduksi berhasil mendeteksi saat terjadi *crust breaker* abnormal. Pada pengujian melalui *toggle switch*, didapatkan respons rata-rata pendeteksian *Crust Breaker* normal adalah 86,54% dan pengujian *Crust Breaker* abnormal yakni 90,51%. Hasil pengujian implementasi pada tungku reduksi ditemukan pada pengaturan batas waktu di bawah 10 menit *crust breaker* mengalami *elephant leg* dan *crust breaker* menyentuh anoda, sementara kondisi aktual *crust breaker* tidak menyentuh dengan *electrolyte* sehingga dikategorikan *crust breaker* abnormal. Sedangkan untuk pengujian di atas 10 sampai dengan 20 menit, tidak ditemukan abnormal pada *crust breaker* yang bersentuhan langsung dengan *electrolyte*. Oleh karena itu, pengaturan waktu yang dapat digunakan pada implementasi ini adalah  $\geq 10$  menit.

## 5 REFERENSI

- [1] Ahmad Dahlan dan Rusiyanto, "Pengaruh Penambahan unsur Aluminium Murni pada bahan Aluminium Scrap terhadap ketangguhan Impak dan Struktur Mikro hasil Pengecoran Velg Motor Honda", *Journal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, Volume 6 Nomor 1, ISSN 2548-7590, (2021).
- [2] Afif Ardian Aziz, Kiryanto, Ari Wibawa Budi Santosa, "Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk, Komposisi dan Cacat Pengecoran Paduan Aluminium *Flat Bar* dan Limbah Kampas Rem dengan Menggunakan Cetakan Pasir dan Cetakan Hidrolik sebagai Bahan Komponen Jendela Kapal, *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 05, No.1, ISSN 2338-0322, (2017).
- [3] Nia Artauli Sinaga, "Pemanfaatan Limbah Aluminium sebagai Bahan Baku Aksesoris, *e-Proceeding of Art & Design* : Vol.3, No.2, ISSN : 2355-9349, (2016).
- [4] "Indonesia Menuju Industri Aluminium Berdikari", Tahun 2022, Available [Online], [indonesia.go.id/kategori/editorial/4681/indonesia-menuju-industri-aluminium-berdikari?lang=1](https://indonesia.go.id/kategori/editorial/4681/indonesia-menuju-industri-aluminium-berdikari?lang=1).
- [5] Houshang Alamdari, "Aluminium Production Process : Challenges and Opportunities", *Metals* 2017,7,133, doi:10.3390/met7040133, (2017)
- [6] Irawan Rahardjo, "Kebutuhan dan Penyediaan Energi di Industri Smelter Aluminium", *Prosiding Seminar dan Peluncuran Buku Outlook Energi Indonesia 2013*, (2014).

- [7] Qiu Zhu-Xian, Wei Ching-Bin, Chang Ming-ji, "Studies on Anode Effect in Aluminium Electrolysis", Essential Readings in Light Metals. Springer, Cham.
- [8] Lars Goran Sander, "Method and Device for Controlling the Movement of a Feeding and Breaking Chisel in an Aluminium Production Cell", US Patent 6,436,270 B1, (2002).
- [9] A.K. Shestakov, R.M. Sadykov, P.A. Petrov, "Multifunctional *Crust Breaker* for Automati Alumina Feeding System of Aluminium Reduction Cell", E32 Web of Conferences 266, 09002, (2021).
- [10] Qing Wei, Zhuan Song, Jun Wu, Xu Yang, Caiqun Zhou, "Development and Application of Intelligent Control System of *Crust Breaker* in Aluminium Reduction Cell", TRAVAUX 49, Proceedings of the 38th ICSOBA Conference, (2020).
- [11] Nicolas Dupas, "Increasing Electrolysis Pot Performances through New Crustbreaking and Feeding Solutions", TMS Light Metal, (2009).
- [12] Gilles Beaulieu, "Piston Rod and Cylinder Seal Device for Aluminium bath Crust Breaker", US Patent 8,753,564 B2, (2014).
- [13] Gilles Beaulieu, "Pneumatic System for Controlling Aluminium Bath Crust Breker", US Patent 8,910,562 B2, (2014)
- [14] Gilles Beaulieu, "*Crust Breaker* Aluminium Bath Detection System", US Patent 8,932,515 B2, (2015).
- [15] Konstantin Nikandrov, Abdalla Zarouni, Sergey Akhmetov, Nadia Ahli, "Evolution of CrustBreaker Control for DX+ and DX+ Ultra Technologies, TMS Light Metal, (2016).
- [16] Febriyanti Panjaitan, Rusmin Syafari, "Pemanfaatan Notifikasi Telegram untuk Monitor Jaringan", Jurnal SIMETRIS, Vol.10 No.2, P-ISSN: 2252-4983, (2019).
- [17] Syauqi Hisyam Shafiyullah, Ahmad Thoriq, "Rancang Bangun Alat Monitoring Otomatis berbasis Web pada Budidaya Stroberi", Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem 9(3), (2021).
- [18] Agus Prayitno, Yulia Safitri, "Pemanfaatan Sistem Informasi Perpustakaan Digital berbasis Website untuk Para Penulis", IJSE-Indonesian Journal on Software Engineering, (2015).
- [19] Deni Adi Putra, Riki Mukhaiyar, "Monitoring Daya Listrik Secara Real Time", P-ISSN : 2302-3295, (2020).