

Overload Monitoring and Warning System for 3-Phase Electric Motor Based on IoT

[Sistem Pemantauan dan Peringatan Beban Berlebih Motor Listrik 3-Fase Berbasis IoT]

Yogi Adhimanata ¹⁾, Indah Sulistiyowati ²⁾, Arief Wisaksono ³⁾ Shazana Dhiya Ayuni ⁴⁾

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

³⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

⁴⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: indah_sulistiyowati@umsida.ac.id

Abstract. *This research aims to develop and test a Telegram-based monitoring and overload warning system for three-phase motors, utilizing the PZEM-004T sensor and ESP8266 WiFi microcontroller, which is able to measure electrical parameters such as current, voltage, and power in real-time. The method used is a quantitative approach with an experimental method, where this system provides automatic notifications via the Telegram application in the event of an overload with a current limit of 20A, and is able to automatically cut off electricity to prevent more serious damage. Given the risk of overload that can cause production damage and costly downtime to the industry, the results show the effectiveness of the system in recording data and detecting overload conditions, although there are power measurement discrepancies that indicate the need for further calibration. Recommendations from this research include developments to improve measurement accuracy, standardization of procedures, and integration with relevant industry standards, as well as additional trials with different load variations to validate the system's performance in various scenarios.*

Keywords - System monitoring, Three-phase electric motor, Overload, Telegram, Internet of Things (IoT), PZEM-004T, ESP8266, Motor protection, Remote monitoring, Energy efficiency.

Abstrak. *Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji sistem monitoring dan peringatan beban berlebih pada motor tiga fasa berbasis Telegram, dengan memanfaatkan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler WiFi ESP8266, yang mampu mengukur parameter kelistrikan seperti arus, tegangan, dan daya secara real-time. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen, dimana sistem ini memberikan notifikasi otomatis melalui aplikasi Telegram apabila terjadi beban lebih dengan batas arus 20A, dan mampu memutus aliran listrik secara otomatis untuk mencegah terjadinya kerusakan yang lebih serius. Mengingat risiko overload yang dapat menyebabkan kerusakan produksi dan downtime yang merugikan industri, hasil penelitian menunjukkan keefektifan sistem dalam merekam data dan mendeteksi kondisi overload, meskipun terdapat ketidaksesuaian pengukuran daya yang mengindikasikan perlunya kalibrasi lebih lanjut. Rekomendasi dari penelitian ini meliputi pengembangan untuk meningkatkan akurasi pengukuran, standarisasi prosedur, dan integrasi dengan standar industri yang relevan, serta uji coba tambahan dengan variasi beban yang berbeda untuk memvalidasi kinerja sistem dalam berbagai skenario.*

Kata Kunci - Pemantauan sistem, Motor listrik tiga fasa, Kelebihan beban, Telegram, Internet of Things (IoT), PZEM-004T, ESP8266, Perlindungan motor, Pemantauan jarak jauh, Efisiensi energi.

I. PENDAHULUAN

Motor listrik adalah jenis mesin yang menggunakan listrik untuk menghasilkan energi gerak, yang menghasilkan kembali gerakan putar pada poros motor [1] [2]. Salah satu varian motor AC yang umum digunakan adalah motor induksi, yang juga dikenal sebagai motor asinkron [3]. Istilah “asinkron” mengacu pada perbedaan antara kecepatan putaran poros motor dan medan magnet stator. Dengan kata lain, ada perbedaan kecepatan yang disebut slip antara putaran rotor dan medan magnet, itulah sebabnya motor ini disebut asinkron [4].

Dengan meningkatnya penggunaan motor tiga fasa di industri, berbagai masalah muncul di lapangan. Meskipun telah dilengkapi dengan sistem proteksi, panel listrik tetap berpotensi mengalami kerusakan [5][6]. Beberapa penyebab kerusakan panel listrik adalah korsleting, panas berlebih, atau kelebihan beban [7][8]. Salah satu masalah yang umum terjadi adalah bagaimana memberikan perlindungan jika terjadi gangguan yang mengharuskan motor berhenti secara tiba-tiba, termasuk perlindungan terhadap motor itu sendiri, beban yang sedang dijalankan oleh motor, dan keselamatan operator [9][10]. Perlindungan semacam ini dikenal dengan istilah emergency stopping, oleh karena itu, dengan kemajuan dan penggunaan teknologi, sumber energi listrik dapat dikontrol sesuai dengan kebutuhan dan keinginan pengguna [11][12].

Pentingnya penggunaan motor listrik tiga fasa dalam berbagai aplikasi industri dan komersial membawa risiko kelebihan beban yang dapat menyebabkan kerusakan serius dan waktu henti produksi yang mahal [13][14]. Overload Relay / Thermal Relay Overload relay adalah sebuah alat yang membuka atau menutup kontak pada kontaktor jika arus melebihi batas yang telah ditentukan [15][16]. Merupakan komponen kontrol kelistrikan yang bertugas memutuskan aliran listrik jika beban melebihi batas aman [17][18]. Untuk mengatasi resiko tersebut, kebutuhan akan sistem monitoring yang dapat memonitoring kondisi motor tiga fasa secara real-time menjadi semakin penting [19][20]. Sensor canggih dan teknologi pemantauan memungkinkan sistem untuk mendeteksi potensi kelebihan beban secara dini, sehingga memungkinkan penanggulangan yang tepat waktu untuk mencegah kerusakan [21] [22].

Proteksi pada motor tiga fasa sangat penting dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan atau kejadian yang tidak diinginkan yang dapat membahayakan sistem [23][24]. Untuk mengatasi resiko tersebut, kebutuhan akan sistem monitoring yang mampu memantau kondisi motor secara real-time menjadi semakin relevan [25][26]. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem berbasis Internet of Things (IoT) dan teknologi sensor canggih untuk memonitor kondisi tegangan, arus, dan beban motor [27][28]. Sebagai contoh, beberapa penelitian telah menunjukkan kemampuan sistem IoT untuk mendeteksi ketidakseimbangan fasa atau beban berlebih yang dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada motor [29] [30].

Untuk mengatasi risiko tersebut, kebutuhan akan sistem monitoring yang dapat memonitor kondisi motor tiga fasa secara real time menjadi semakin penting [31]. Dengan menggunakan teknologi sensor dan pemantauan yang canggih, sistem ini mampu merespon peringatan dini terhadap potensi kelebihan beban, sehingga tindakan pencegahan yang tepat dapat dilakukan sebelum terjadi kerusakan [32][33].

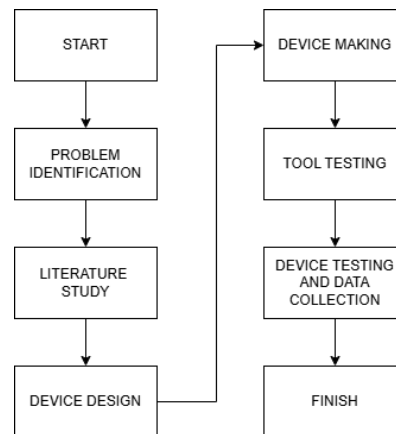
Penelitian ini mengusulkan sistem pemantauan berbasis IoT yang mengintegrasikan teknologi sensor canggih dengan pembelajaran mesin untuk mendeteksi anomali secara proaktif [34] [35]. Sistem ini juga memanfaatkan aplikasi Telegram sebagai platform notifikasi waktu nyata, yang memungkinkan teknisi untuk menerima peringatan secara instan, kapan saja dan di mana saja [36][37]. Dengan pendekatan ini, sistem diharapkan dapat mengatasi keterbatasan penelitian sebelumnya, seperti respon yang lambat terhadap perubahan kondisi motor atau kurangnya analisis prediktif yang dapat diandalkan [38] [39]. Sistem yang diusulkan dirancang untuk mendukung analisis prediktif dengan menggunakan model pembelajaran mesin.

Hal ini memungkinkan identifikasi dini terhadap tanda-tanda potensi kerusakan, seperti ketidakseimbangan fasa atau lonjakan arus yang tidak normal [40][41]. Teknologi IoT yang telah terintegrasi dengan sistem berbasis jaringan memberikan kontribusi yang signifikan dalam mempermudah pemantauan, sehingga teknisi atau operator dapat segera mengambil tindakan sebelum masalah berkembang menjadi lebih serius [42][43]. Salah satu terobosan yang diusulkan dalam penelitian ini adalah implementasi sistem monitoring, yang memungkinkan dilakukannya analisis prediktif untuk mendeteksi secara dini tanda-tanda potensi kerusakan pada motor [44]. Analisis prediktif ini bertujuan untuk memberikan solusi proaktif dalam manajemen pemeliharaan motor, mengurangi risiko downtime dan memperpanjang usia peralatan [45][46].

Penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan dengan mengisi kesenjangan dalam literatur yang ada. Pertama, dengan memanfaatkan teknologi IoT yang lebih terintegrasi dan pembelajaran mesin yang lebih canggih, sistem ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi deteksi anomali. Kedua, sistem ini menawarkan antarmuka yang lebih ramah pengguna melalui integrasi dengan aplikasi populer seperti Telegram, sehingga meningkatkan daya tanggap dan kemudahan penggunaan [47] [48]. Dengan menggabungkan teknologi-teknologi tersebut, penelitian ini berfokus untuk mengatasi kekurangan dari sistem sebelumnya, seperti keterbatasan dalam deteksi dini atau respon yang lambat terhadap perubahan kondisi motor. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk meningkatkan efektivitas pemantauan dan perlindungan motor induksi, sekaligus menawarkan solusi yang lebih efisien dalam manajemen aset industri.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen. Tujuannya adalah untuk menguji kinerja sistem pemantauan dan peringatan beban berlebih pada panel motor listrik 3 fasa yang dikembangkan, dengan menggunakan platform Telegram sebagai media peringatan.



Gambar 1. Blok diagram sistem

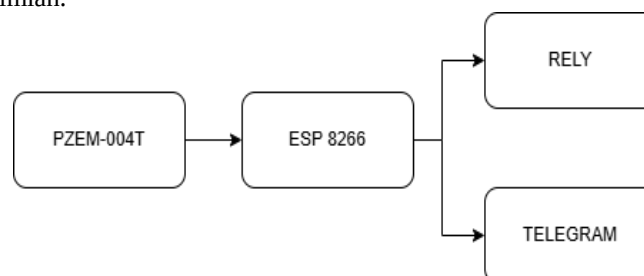
Prosedur eksperimen diawali dengan tahap identifikasi masalah untuk mengidentifikasi kebutuhan dan parameter sistem monitoring beban lebih pada panel motor listrik 3 fasa [49]. Dilanjutkan dengan studi literatur untuk mengumpulkan referensi terkait sistem monitoring dan integrasi dengan platform telegram [50]. Tahap perancangan alat meliputi perancangan skematik rangkaian, pemilihan komponen, dan perancangan arsitektur sistem komunikasi. Kemudian pada tahap pembuatan alat dilakukan perakitan perangkat keras, pemrograman mikrokontroler, dan integrasi dengan Telegram Bot. Tahap terakhir adalah Pengujian Alat yang meliputi kalibrasi sensor, dan pengujian komunikasi.

2.1 Identifikasi masalah

Identifikasi masalah dilakukan dengan mengamati pentingnya pengembangan sistem monitoring dan proteksi yang lebih canggih untuk motor listrik tiga fasa, terutama dalam konteks industri yang membutuhkan keandalan dan efisiensi operasional yang tinggi.

2.2 Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan konsep dasar sistem kerja perangkat keras dan perangkat lunak dari alat yang diusulkan. Beberapa hal yang menjadi perhatian adalah proses perancangan perangkat keras menggunakan kombinasi komponen elektronika yang tersedia. Sedangkan proses perancangan perangkat lunak menggunakan kombinasi komponen elektronika yang tersedia di pasaran. Literatur yang diambil berasal dari beberapa artikel jurnal ilmiah dan seminar ilmiah.

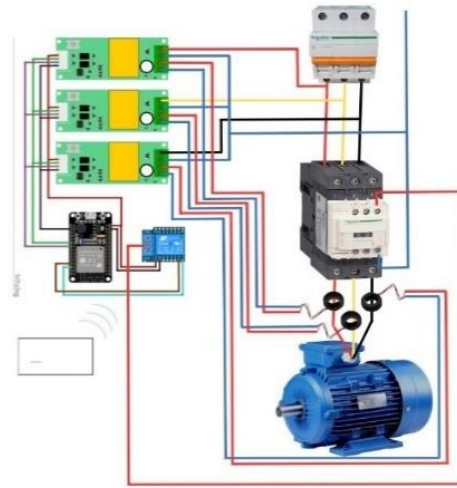


Gambar 2. Gambar diagram alat

Gambar 2 menunjukkan diagram blok desain sistem. Sistem ini terdiri dari PZEM-004t yang mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya. Data dari PZEM-004t kemudian dikirim ke mikrokontroler WiFi ESP8266 yang menghasilkan pembacaan tegangan AC dan arus AC sesuai dengan standar alat ukur. Jika tegangan yang terbaca pada salah satu fasa tegangan adalah 190 V dan arus melebihi 19 A atau tegangan melebihi 240 V dan arus yang terbaca normal sekitar di bawah 19 A dengan ketentuan dalam program yang dijalankan, maka relay akan secara otomatis memerintahkan saklar untuk mati.

2.3 Desain sistem

Secara umum, alurnya adalah dari mikrokontroler yang mengumpulkan data dari sensor dan status motor, kemudian mengirimkannya sebagai notifikasi atau laporan melalui Telegram. Hal ini memungkinkan pemantauan dan kontrol jarak jauh dari pengoperasian motor dan sistem secara keseluruhan.



Gambar 3. Gambar rangkaian

Dari Gambar 3, diperoleh penjelasan mengenai sistem pemantauan perangkat. Berikut ini adalah penjelasan dari rangkaian di atas:

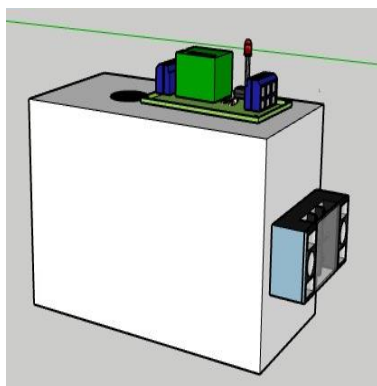
Sistem ini dirancang untuk mengontrol dan memonitoring motor listrik tiga fasa secara otomatis. Arus listrik dari tiga fasa utama melewati pemutus arus, kemudian dikontrol oleh kontaktor. Tiga modul PZEM-004T dipasang untuk mendeteksi tegangan dan arus pada setiap fasa, yang datanya dikirim ke mikrokontroler untuk dianalisis. Jika mikrokontroler mendeteksi kelebihan beban, relai diaktifkan untuk memutus daya ke kontaktor, sehingga motor akan mati untuk mencegah kerusakan. Selain itu, mikrokontroler mengirimkan data kondisi motor secara real-time ke aplikasi Telegram, sehingga pengguna dapat menerima pemberitahuan mengenai tegangan, arus, dan status motor. Sistem ini meningkatkan keamanan dengan deteksi dini kelebihan beban dan memudahkan untuk memantau dan memelihara motor dari jarak jauh.

Untuk memastikan sensor PZEM-004T berfungsi dengan akurat, diperlukan proses kalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan mengatur nilai tegangan pada regulator hingga mencapai tegangan tiga fasa yang sesuai dengan cara menghubungkan masing-masing sensor PZEM-004T ke masing-masing fasa (R, S, T) pada motor tiga fasa.

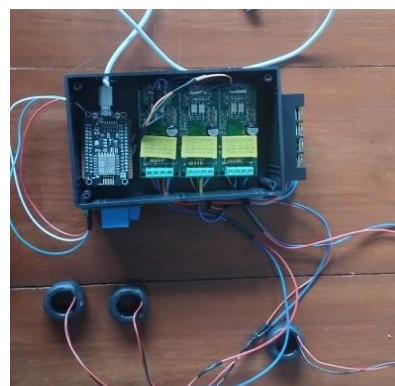
III. Hasil dan Pembahasan

3.1 Desain Prototipe

Desain 3D dari sistem pemantauan dan peringatan beban berlebih berbasis Telegram untuk motor listrik 3-fase didasarkan pada konsep desain yang telah dibuat. Berikut ini adalah gambar de-desain 3D yang berbeda yang digunakan untuk sistem pemantauan dan peringatan beban berlebih untuk motor listrik 3 fasa.



(A)

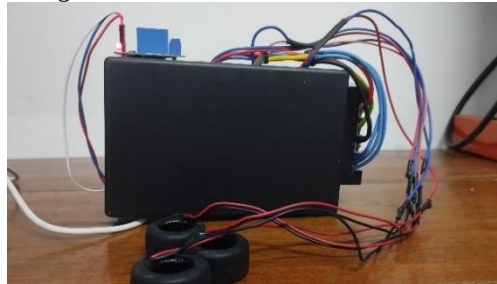


(B)

Gambar 4. (a) Desain 3D pemantauan dan peringatan kelebihan beban berbasis Telegram, (b) prototipe alat pemantauan dan peringatan kelebihan beban berbasis Telegram.

3.2 Merancang sistem pemantauan dan peringatan beban yang lebih berbasis Telegram

Alat ini telah disempurnakan dengan hasil rancangan yang sudah ada. Sistem monitoring dan peringatan kelebihan beban berbasis Telegram dapat diimplementasikan dengan menggunakan sensor Pzem-004T, mikrokontroler dengan konektivitas WiFi, dan integrasi bot Telegram.



Gambar 5. Alat pemantauan dan peringatan berbasis Telegram.

Sistem ini dirancang untuk mengukur arus listrik secara real-time, menghitung daya, dan mengirimkan peringatan melalui Telegram ketika beban melebihi ambang batas yang ditentukan. Relay akan memutuskan sumber tegangan yang terhubung ke A1 pada kontaktor sehingga sirkuit akan berhenti secara otomatis dan memberi tahu bahwa arus melebihi 20A.



Gambar 6. Posisi pemasangan alat

Pengembangan rangkaian pengukuran dan pengaman motor listrik menggunakan Pzem-004T diawali dengan persiapan komponen-komponen utama, antara lain Pzem-004T, relay pengaman, kontaktor, dan motor listrik, serta kabel RST untuk koneksi tiga fasa. Langkah selanjutnya adalah pengukuran tegangan, di mana kabel RST dihubungkan ke input Pzem-004T sebelum masuk ke konektor motor, sehingga memungkinkan pembacaan tegangan rangkaian yang sedang bekerja. Untuk pengukuran arus, sensor Pzem-004T dipasang pada kabel RST yang menuju ke motor listrik, dengan kabel yang dilewatkan melalui loop sensor untuk mendapatkan pembacaan yang akurat.

Konfigurasi relay pengaman dilakukan dengan menghubungkannya ke output Pzem-004T dan mengaturnya untuk memutuskan sirkuit listrik pada sumber tegangan yang terhubung ke A1 pada kontaktor jika terdeteksi kondisi yang tidak aman. Integrasi dengan Telegram memungkinkan pemantauan jarak jauh, dengan Pzem-004T yang dikonfigurasi untuk mengirim data pembacaan ke aplikasi. Setelah itu, pengujian sistem dilakukan untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik, termasuk verifikasi pembacaan tegangan dan arus pada Telegram serta uji fungsi relay keselamatan.

Tahap terakhir melibatkan kalibrasi dan penyesuaian, di mana Pzem-004T dikalibrasi jika diperlukan untuk meningkatkan akurasi pembacaan, dan pengaturan ambang batas pada relay pengaman disesuaikan dengan spesifikasi motor dan kebutuhan keselamatan. Dengan mengimplementasikan rangkaian ini secara sistematis, pemantauan tegangan dan arus secara real-time melalui Telegram dapat dilakukan, serta perlindungan otomatis melalui relay pengaman yang terhubung ke kontaktor, memastikan pengoperasian motor listrik yang aman dan efisien.



Gambar 7. Monitoring telegram

Gambar 7 di atas adalah kondisi monitor pada Telegram. Telegram adalah platform komunikasi yang dapat digunakan untuk mengontrol perangkat keras, menampilkan, memproses, menyimpan, dan memvisualisasikan data sensor yang dapat dibaca. Pada percobaan ini, kita dapat melihat pembacaan RST masing-masing tegangan, arus, dan daya.

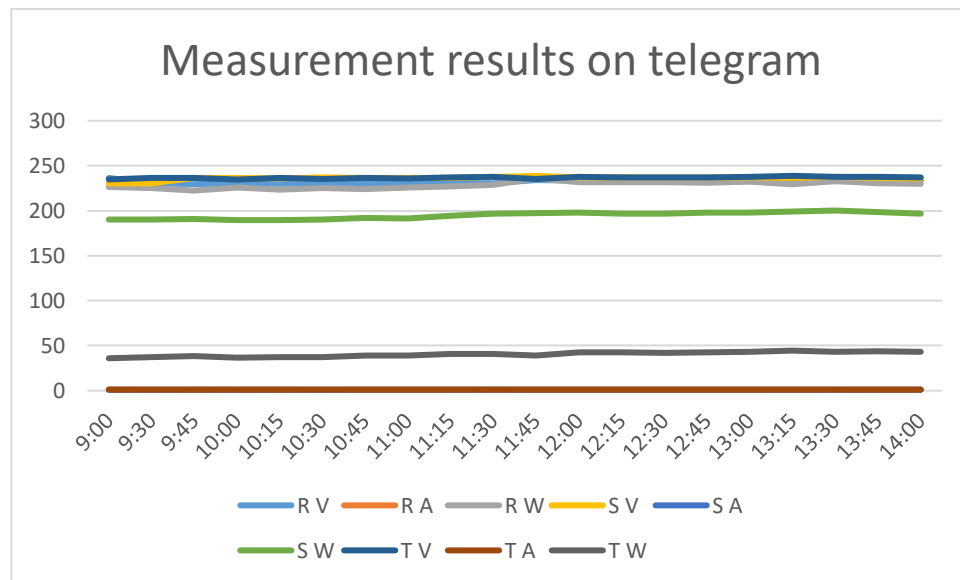
3.3 Hasil

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen untuk menguji kinerja sistem monitoring dan peringatan beban lebih pada panel motor listrik 3 fasa yang dikembangkan, dengan platform Telegram sebagai media peringatan. Uji fungsional dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam memonitoring arus, tegangan, dan daya secara real-time, dan membandingkan hasilnya dengan pengukuran menggunakan alat standar yaitu multimeter.

Tabel. 1. Hasil pembacaan pada telgram

Time	R			S			T		
	V	A	W	V	A	W	V	A	W
9:00	236.4	1.3	226.4	230.4	1	190	234.8	1.11	36
9:30	230.5	1.03	225.4	230.5	1	190.3	236.6	1.11	37
9:45	229.6	1.01	222.4	236.3	1.01	190.8	236.5	1.11	38.4
10:00	230.6	1.02	226	236.7	1	189.6	234.9	1.1	36.5
10:15	229.7	1.02	223.2	236	1.01	189.6	236.3	1.11	35.4
10:30	230.5	1.02	225.2	236.9	1	190	235	1.11	37.1
10:45	230	1.02	224.2	236.5	1.01	191.8	236.6	1.12	39.1
11:00	231.1	1.02	226	236.3	1.01	191.2	236	1.11	38.9
11:15	231	1.03	227	236.3	1.02	194.4	237.1	1.12	40.8
11:30	230.8	1.03	228.7	237.6	1.03	196.7	237.8	1.14	40.9
11:45	234	1.06	235.9	238.7	1.03	197.4	235.5	1.13	39.1
12:00	233.3	1.04	231.8	237.1	1.04	197.9	237.7	1.13	42.5

12:15	2370	1.04	231.8	237	1.04	197	237	1.13	42.5
12:30	233.5	1.04	231.8	237.3	1.04	197	237.3	1.12	41.8
12:45	232.9	1.04	231.1	236.9	1.04	198	237.2	1.13	42.7
13:00	233.7	1.04	232.1	236.8	1.04	198.2	237.6	1.13	43.2
13:15	232.8	1.03	229.6	236.6	1.05	199.4	238.8	1.13	44.5
13:30	233.2	1.05	233	237.5	1.05	200.2	237.8	1.14	43.4
13:45	233.7	1.03	230.5	236.3	1.04	198.5	237.4	1.13	44
14:00	233.4	1.03	230	236	1.04	196.9	236.8	1.12	42.9



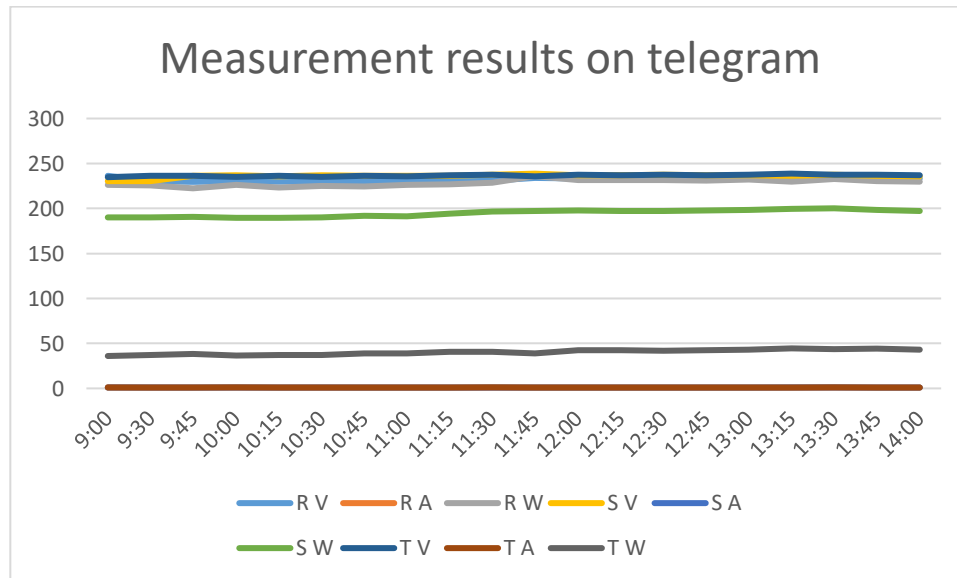
Gambar 8. Grafik Hasil pengukuran pada telegram

Pengujian sistem pemantauan yang terhubung dengan Telegram dilakukan dengan merekam tegangan, arus, dan daya pada fase R, S, dan T. Tegangan pada ketiga fase tersebut relatif stabil, dengan fluktuasi kecil, berkisar antara 229,6 V hingga 239,3 V. Arus yang terukur juga konsisten, berkisar antara 1,00 A hingga 1,14 A pada semua fase. Arus yang diukur juga konsisten, berkisar antara 1,00 A hingga 1,14 A pada semua fase. Namun, pengukuran daya menunjukkan ketidakseimbangan beban, dengan fase T tercatat memiliki daya yang jauh lebih rendah (36 W hingga 44,5 W) dibandingkan dengan fase R (222,4 W hingga 235,9 W) dan fase S (189,6 W hingga 200,2 W).

Table 2. Measurement results on the Multitester

waktu	R			S			T		
	V	A	W	V	A	W	V	A	W
9:00	229	1	229	236	1.02	240.72	236	1.11	261.96
9:30	230	1	230	236	1.01	238.36	235	1.11	260.85
9:45	230	0.99	227.7	235	1.02	239.7	235	1.1	258.5
10:00	230	1	230	236	1.01	238.36	236	1.11	261.96
10:15	231	1	231	236	1.02	240.72	236	1.11	261.96
10:30	230	1	230	236	1	236	237	1.11	263.07
10:45	231	1	231	236	1	236	237	1.12	265.44
11:00	231	1.01	233.31	236	1.02	240.72	239	1.13	270.07
11:15	233	1.02	237.66	237	1.04	246.48	237	1.14	270.18
11:30	233	1.02	237.66	238	1.05	249.9	236	1.14	269.04
11:45	233	1.03	239.99	236	1.07	252.52	238	1.14	271.32
12:00	233	1.03	239.99	237	1.03	244.11	237	1.14	270.18

12:15	233	1.03	239.99	237	1.03	244.11	237	1.12	265.44
12:30	233	1.04	242.32	237	1.04	246.48	237	1.13	267.81
12:45	233	1.04	242.32	237	1.03	244.11	238	1.13	268.94
13:00	233	1.05	244.65	237	1.04	246.48	238	1.14	271.32
13:15	233	1.05	244.65	237	1.04	246.48	237	1.14	270.18
13:30	234	1.05	245.7	237	1.04	246.48	237	1.14	270.18
13:45	233	1.04	242.32	236	1.03	243.08	237	1.13	267.81
14:00	233	1.03	239.99	236	1.02	240.72	236	1.12	264.32



Gambar 9. Grafik Hasil pengukuran pada telegram

Pengukuran multimeter juga dilakukan pada fase R, S, dan T dengan parameter yang sama: tegangan, arus, dan daya. Tegangan yang diukur melalui multimeter menunjukkan kestabilan yang sama dengan pengukuran Telegram, berkisar antara 229 V hingga 238 V. Arus yang diukur berada dalam kisaran yang sama, berkisar antara 0,99 A hingga 1,14 A. Namun, arus yang diukur berada dalam kisaran yang sama. Arus yang diukur berada dalam kisaran yang sama, antara 0,99 A hingga 1,14 A. Namun demikian, daya yang diukur melalui multimeter menunjukkan distribusi yang lebih merata di antara ketiga fase. Pada fase T, daya yang terekam berkisar antara 258,5 W hingga 271,32 W, yang lebih tinggi dan lebih seimbang dibandingkan dengan pengukuran melalui Telegram.



Gambar 8. Notifikasi apabila terjadinya pemutusan

Dari hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring yang terhubung dengan Telegram mampu merekam parameter listrik dengan baik, terutama untuk tegangan dan arus, yang menunjukkan konsistensi pada kedua metode pengukuran. Namun terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada pengukuran daya, dimana sistem yang terhubung dengan Telegram mencatat ketidakseimbangan daya yang besar pada fase T, sedangkan pengukuran menggunakan multimeter menunjukkan distribusi daya yang lebih merata dan seimbang. Perbedaan ini bisa disebabkan oleh kalibrasi sistem pemantauan atau perbedaan metode pengukuran. Oleh karena itu, kalibrasi ulang dan pengujian lebih lanjut diperlukan untuk memastikan keakuratan dan keandalan sistem, khususnya dalam hal pengukuran daya.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring beban lebih berbasis IoT pada motor listrik 3 fasa menggunakan sensor PZEM-004T dan integrasi dengan platform Telegram yang mampu memonitoring parameter kelistrikan secara real-time, mengirimkan notifikasi otomatis, dan memutus aliran listrik secara otomatis ketika terdeteksi kondisi yang tidak aman. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan tegangan cukup akurat dengan

selisih rata-rata 1,235V (fasa R), 1,025V (fasa S), dan 1,075V (fasa T) dibandingkan dengan pengukuran multimeter, begitu juga dengan pembacaan arus yang relatif akurat dengan rata-rata error 0,0275A (fasa R), 0,012A (fasa S), dan 0,006A (fasa T), meskipun terdapat perbedaan yang cukup besar pada pembacaan daya, terutama pada fasa T dengan rata-rata error mencapai 226,3385W. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengintegrasikan teknik pembelajaran mesin untuk analisis prediktif kegagalan motor, memperluas pengujian dengan berbagai jenis beban industri (beban dinamis, beban impulsif, dan beban non-linier), dan mengembangkan sistem redundansi untuk meningkatkan keandalan. Meskipun sistem telah berhasil menjalankan fungsi monitoring dan proteksi, masih diperlukan kalibrasi ulang untuk meningkatkan akurasi pengukuran daya, pengujian lebih lanjut untuk memastikan keandalan sistem, serta penyempurnaan pada aspek pembacaan daya yang masih menunjukkan ketidakseimbangan yang cukup signifikan, namun secara keseluruhan sistem ini memberikan kontribusi yang penting dalam meningkatkan keamanan dan efisiensi monitoring motor listrik 3 fasa di industri.

REFERENSI

- [1] S. Sharma, M. V Aware, and A. Bhowate, "Integrated Battery Charger for EV by Using Three-Phase Induction Motor Stator Windings as Filter," *IEEE Trans. Transp. Electr.*, vol. 6, no. 1, pp. 83–94, 2020, doi: 10.1109/TTE.2020.2972765.
- [2] I. Sulistiyowati, J. Jamaaluddin, I. Anshory, Y. W. Pratama, and S. Romadhoni, "Optimal Power Distribution Strategy for Intermittent Solar-Powered Hybrid Energy Storage Systems," *Acad. Open*, vol. 8, no. 1, pp. 1–15, 2023, doi: 10.21070/acopen.8.2023.7283.
- [3] A. Masoom, J. Gholinezhad, T. Ould-Bachir, and J. Mahseredjian, "Electromagnetic Transient Modeling of Power Electronics in Modelica, Accuracy and Performance Assessment," *Lect. Notes Electr. Eng.*, vol. 993 LNEE, no. September, pp. 275–288, 2023, doi: 10.1007/978-3-031-24837-5_21.
- [4] H. Ali, Y. Jie, and L. Weiqiang, "Research on rotor fault diagnosis technology of three-phase asynchronous motor based on NA-MEMD mutual information and SVM," *Meas. Control (United Kingdom)*, 2024, doi: 10.1177/00202940241236649.
- [5] A. Sivakumar, M. Thiyagarajan, and K. Kanagarathinam, "Mitigation of supply current harmonics in fuzzy-logic based 3-phase induction motor," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 14, no. 1, pp. 266–274, 2023, doi: 10.11591/ijpeds.v14.i1.pp266-274.
- [6] X. He, "Hybrid ADRC and PI Controller Design for Three-Phase Inverter with Nonlinear Loads," *IEEE Access*, vol. 12, no. September, pp. 1–1, 2024, doi: 10.1109/access.2024.3456110.
- [7] Z. Wu, Y. Hu, J. X. Wen, F. Zhou, and X. Ye, "A Review for Solar Panel Fire Accident Prevention in Large-Scale PV Applications," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 132466–132480, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3010212.
- [8] V. Madonna, P. Giangrande, L. Lusuardi, A. Cavallini, C. Gerada, and M. Galea, "Thermal Overload and Insulation Aging of Short Duty Cycle, Aerospace Motors," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 67, no. 4, pp. 2618–2629, 2020, doi: 10.1109/TIE.2019.2914630.
- [9] L. Xiao, L. Zhang, F. Gao, and J. Qian, "Robust fault-tolerant synergetic control for dual three-phase PMSM drives considering speed sensor fault," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 78912–78922, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2989821.
- [10] A. Isakov, A. Rakhmatov, and B. Tukhtamishv, "Parameter Reliability Assessment of Electric Motors," *Medicon Agric. Environ. Sci.*, vol. 6, no. 4, pp. 3–8, 2024, doi: 10.55162/mcaes.06.168.
- [11] E. G. Abid, E. S. A. Shaikh, E. M. Fawad Shaikh, E. S. H. Rajput, E. U. Abdul Majeed, and E. A. M. Shaikh, "IOT based Smart Industrial panel for controlling Three-phase Induction motor," *2020 3rd Int. Conf. Comput. Math. Eng. Technol. Idea to Innov. Build. Knowl. Econ. iCoMET 2020*, no. May, 2020, doi: 10.1109/iCoMET48670.2020.9073809.
- [12] R. Khan *et al.*, "Energy Sustainability–Survey on Technology and Control of Microgrid, Smart Grid and Virtual Power Plant," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 104663–104694, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3099941.
- [13] S. Rubino, I. R. Bojoi, F. Mandrile, and E. Armando, "Modular Stator Flux and Torque Control of Multi-Three-Phase Induction Motor Drives," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 56, no. 6, pp. 6507–6525, 2020, doi: 10.1109/TIA.2020.3022338.
- [14] K. B. Tawfiq *et al.*, "A Comprehensive Study of Thermal and Performance Characteristics in Revamped Multiphase Synchronous Reluctance Machines," *IEEE Trans. Transp. Electr.*, vol. PP, p. 1, 2024, doi: 10.1109/TTE.2024.3468373.

- [15] T. Nurwati, B. Ardiansyah, M. Dhofir, R. N. Hasanah, W. M. H. Mehanny, and M. Markovic, "Simulation of Thermal Distribution on a Ferrofluid Bimetallic Overload Relay," in *2020 FORTEI-International Conference on Electrical Engineering (FORTEI-ICEE)*, 2020, pp. 91–95. doi: 10.1109/FORTEI-ICEE50915.2020.9249862.
- [16] R. Santhosh, Sailakshmi, V. S. M., S. Yadav, M. N., and P. S., "No-Load and Over Load Protection for Single Phase Induction Motors," in *2021 2nd International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)*, 2021, pp. 462–466. doi: 10.1109/ICOSEC51865.2021.9591938.
- [17] L. B. -, P. P. -, and D. S. -, "Temperature Fluctuations in Power conductors: Analysis and Overcurrent Relay Adaptation Strategies for Mitigation," *Int. J. Multidiscip. Res.*, vol. 6, no. 3, 2024, doi: 10.36948/ijfmr.2024.v06i03.19641.
- [18] M. Aparna, R. R. Errabelly, and R. Thota, "STUDY THE PERFORMANCE OF POWER SYSTEM PROTECTION USING WIDE AREA," vol. 6, no. 3, pp. 18–29, 2021.
- [19] M. S. Moiz *et al.*, "Health Monitoring of Three-Phase Induction Motor Using Current and Vibration Signature Analysis," *2019 Int. Conf. Robot. Autom. Ind. ICRAI 2019*, no. November 2023, 2019, doi: 10.1109/ICRAI47710.2019.8967356.
- [20] T. A. Khan, F. A. Shaikh, S. Khan, and M. F. Siddiqui, "Real-Time Wireless Monitoring for Three Phase Motors in Industry: A Cost-Effective Solution using IoT," *2019 IEEE 6th Int. Conf. Smart Instrumentation, Meas. Appl. ICSIMA 2019*, no. May 2020, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/ICSIMA47653.2019.9057343.
- [21] W. Villegas-Ch, J. Garcia-Ortiz, and S. Sanchez-Viteri, "Toward Intelligent Monitoring in IoT: AI Applications for Real-Time Analysis and Prediction," *IEEE Access*, vol. 12, no. March, pp. 40368–40386, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3376707.
- [22] A. Dawood, B. M. Hasaneen, and A. M. Abdel-Aziz, "Design of an efficient neural network model for detection and classification of phase loss faults for three-phase induction motor," *Neural Comput. Appl.*, vol. 36, no. 11, pp. 5827–5845, 2024, doi: 10.1007/s00521-023-09387-y.
- [23] Z. Liang, D. Liang, P. Kou, and S. Jia, "Postfault Control and Harmonic Current Suppression for a Symmetrical Dual Three-Phase SPMSM Drive under Single-Phase Open-Circuit Fault," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 67674–67686, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2986790.
- [24] J. H. Im, J. K. Kang, Y. K. Lee, and J. Hur, "Shaft Voltage Elimination Method to Reduce Bearing Faults in Dual Three-Phase Motor," *IEEE Access*, vol. 10, no. July, pp. 81042–81053, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3195041.
- [25] G. Marques and R. Pitarma, "A Real-Time Noise Monitoring System Based on Internet of Things for Enhanced Acoustic Comfort and Occupational Health," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 139741–139755, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3012919.
- [26] J. Zhao *et al.*, "Roles of Dynamic State Estimation in Power System Modeling, Monitoring and Operation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 36, no. 3, pp. 2462–2472, 2021, doi: 10.1109/TPWRS.2020.3028047.
- [27] M. Q. Tran, M. Elsis, K. Mahmoud, M. K. Liu, M. Lehtonen, and M. M. F. Darwish, "Experimental Setup for Online Fault Diagnosis of Induction Machines via Promising IoT and Machine Learning: Towards Industry 4.0 Empowerment," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 115429–115441, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3105297.
- [28] A. A. K. Majhi and S. Mohanty, "A Comprehensive Review on Internet of Things Applications in Power Systems," *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 21, pp. 34896–34923, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2024.3447241.
- [29] W. Lang, Y. Hu, C. Gong, X. Zhang, H. Xu, and J. Deng, "Artificial Intelligence-Based Technique for Fault Detection and Diagnosis of EV Motors: A Review," *IEEE Trans. Transp. Electr.*, vol. 8, no. 1, pp. 384–406, 2022, doi: 10.1109/TTE.2021.3110318.
- [30] A. Dawood, M. A. Ismeil, H. S. Hussein, B. M. Hasaneen, and A. M. Abdel-Aziz, "An Efficient Protection Scheme Against Single-Phasing Fault for Three-Phase Induction Motor," *IEEE Access*, vol. 12, no. January, pp. 6298–6317, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3351106.
- [31] M. Yousuf, T. Alsuwian, A. A. Amin, S. Fareed, and M. Hamza, "IoT-based health monitoring and fault detection of industrial AC induction motor for efficient predictive maintenance," *Meas. Control (United Kingdom)*, vol. 57, no. 8, pp. 1146–1160, 2024, doi: 10.1177/00202940241231473.

- [32] Q. Yu, Z. Jiang, Y. Liu, G. Long, M. Guo, and D. Yang, "Research of Early Warning of Failure with Load Tendency Based on Non-intrusive Load Monitoring in Microgrid," in *2020 IEEE 6th International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE)*, 2020, pp. 232–236. doi: 10.1109/ICCSSE50399.2020.9171952.
- [33] L. Zhu, S. Xue, Z. Chen, B. Bai, Y. Mei, and L. Chen, "Research on Overload Early Warning System for Railcars," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2755, no. 1, 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2755/1/012034.
- [34] R. Raman and U. K. Mookherjee, "Smart Condition Monitoring of Industrial Motors with SVM Algorithm and IoT Connectivity," in *2023 10th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON)*, 2023, pp. 1094–1098. doi: 10.1109/UPCON59197.2023.10434409.
- [35] G. Nagasubramanian, R. K. Sakthivel, R. Patan, M. Sankayya, M. Daneshmand, and A. H. Gandomi, "Ensemble Classification and IoT-Based Pattern Recognition for Crop Disease Monitoring System," *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 16, pp. 12847–12854, 2021, doi: 10.1109/JIOT.2021.3072908.
- [36] A. Wisaksono and M. N. Novian, "Earthquake monitoring system based on Wemos D1 Mini with notification via WhatsApp," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1104, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1104/1/012029.
- [37] S. D. Ayuni, S. Syahririni, and J. Jamaaluddin, "Lapindo Embankment Security Monitoring System Based on IoT," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.)*, vol. 6, no. 1, pp. 40–48, 2021, doi: 10.21831/elinvo.v6i1.40429.
- [38] M. F. Elmorshedy, W. Xu, F. F. M. El-Sousy, M. R. Islam, and A. A. Ahmed, "Recent Achievements in Model Predictive Control Techniques for Industrial Motor: A Comprehensive State-of-the-Art," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 58170–58191, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3073020.
- [39] D. F. Valencia, R. Tarvirdilu-Asl, C. Garcia, J. Rodriguez, and A. Emadi, "A Review of Predictive Control Techniques for Switched Reluctance Machine Drives. Part II: Torque Control, Assessment and Challenges," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 36, no. 2, pp. 1323–1335, 2021, doi: 10.1109/TEC.2020.3047981.
- [40] D. Kumar, A. Basit, A. Saleem, and E. G. Abbas, "PLC based monitoring protection of 3-phase induction motors against various abnormal conditions," *2019 2nd Int. Conf. Comput. Math. Eng. Technol. iCoMET 2019*, no. January 2019, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/ICOMET.2019.8673497.
- [41] P. D. K. Bhingare, D. Bhojar, S. Ninawe, and K. Kathane, "Review on 3 Phase Induction Motor Monitoring and Protection System," vol. 15, no. 01, pp. 159–164, 2024.
- [42] A. Ayub Khan, A. A. Laghari, Z. A. Shaikh, Z. Dacko-Pikiewicz, and S. Kot, "Internet of Things (IoT) Security With Blockchain Technology: A State-of-the-Art Review," *IEEE Access*, vol. 10, no. November, pp. 122679–122695, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3223370.
- [43] B. Dewantara, I. Sulistiyowati, and J. Jamaaluddin, "Automatic Fish Feeder and Telegram Based Aquarium Water Level Monitoring," *Bul. Ilm. Sarj. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 98–107, 2023, doi: 10.12928/biste.v5i1.7575.
- [44] K. Laadjal, H. R. P. Antunes, M. Sahraoui, F. Bento, and A. J. M. Cardoso, "Online Diagnosis and Discrimination of Stator Faults in Six-Phase Induction Motors Based on Voltage Symmetrical Components," *IEEE Trans. Transp. Electr.*, vol. 9, no. 2, pp. 3115–3126, 2023, doi: 10.1109/TTE.2022.3219722.
- [45] M. S. Diab, X. Yuan, and S. Member, "IEEE POWER ELECTRONICS LETTERS A Quasi - Three - Level PWM Scheme to Combat Motor Overvoltage in SiC - Based Single - Phase Drives," 2020.
- [46] M. H. Nguyen, S. Kwak, and S. Choi, "Model Predictive Based Direct Power Control Method Using Switching State Preference for Independent Phase Loss Decrease of Three-Phase Pulsewidth Modulation (PWM) Rectifiers," *IEEE Access*, vol. 12, no. January, pp. 5864–5881, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3350191.
- [47] M. A. Al-Garadi, A. Mohamed, A. K. Al-Ali, X. Du, I. Ali, and M. Guizani, "A Survey of Machine and Deep Learning Methods for Internet of Things (IoT) Security," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 22, no. 3, pp. 1646–1685, 2020, doi: 10.1109/COMST.2020.2988293.
- [48] Z. Lv, Y. Han, A. K. Singh, G. Manogaran, and H. Lv, "Trustworthiness in Industrial IoT Systems Based on Artificial Intelligence," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 17, no. 2, pp. 1496–1504, 2021, doi: 10.1109/TII.2020.2994747.
- [49] E. Muschter *et al.*, "Perceptual Quality Assessment of Compressed Vibrotactile Signals Through Comparative Judgment," *IEEE Trans. Haptics*, vol. 14, no. 2, pp. 291–296, 2021, doi: 10.1109/TOH.2021.3077191.

- [50] B. Nizomutdinov, A. Chugunov, and G. Khudiakov, "Development of a Methodology for Assessing the Quality and Communication Capabilities of Government Telegram Bots," in *2024 Communication Strategies in Digital Society Seminar (ComSDS)*, 2024, pp. 96–100. doi: 10.1109/ComSDS61892.2024.10502066.