

Penghematan Daya Pada Sensor Node Sistem Monitoring Kualitas Udara

Heri Subagiyo*¹, Rahmad Rhamadani², Retno Tri Wahyuni³

^{1,2,3} Prodi Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Politeknik Caltex Riau, Pekanbaru, Indonesia

e-mail: *¹heri@pcr.ac.id, ²rahmadrhamadani@alumni.pcr.ac.id, ³retnotri@pcr.ac.id

Abstrak

Sistem monitoring kualitas udara merupakan sistem yang digunakan untuk mengetahui indeks kualitas udara disuatu wilayah. Sensor node merupakan perangkat pengumpulan data berbasis mikroprosesor yang ditempatkan di wilayah yang dimonitor. Terkadang lokasinya berupa area terpencil dengan ketersediaan daya listrik minimal. Padahal sensor node memerlukan daya yang cukup besar terutama saat pengambilan dan pengiriman data. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem penghematan daya. Pada makalah ini dipaparkan sebuah rancangan sistem penghematan daya pada sensor node dengan cara memutus arus ke modul sensor pada saat tidak digunakan untuk pengambilan dan pengiriman data. Rangkaian pensaklaran MOSFET digunakan untuk memutus arus. Pengaturan jeda waktu pengambilan, pengiriman data, dan pengaktifan hemat daya, dilakukan oleh mikrokontroler. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi penghematan pemakaian energi pada sensor node sebesar 64 %. Total pemakaian energi yang digunakan selama 5 jam juga terjadi pengurangan, dari yang sebelumnya menggunakan energi sebesar 76.620 Wdtk menjadi sebesar 27.360 Wdtk.

Kata kunci— sensor node, penghematan daya, pemutus arus, mikrokontroler

Abstract

Sensor nodes in the air quality monitoring system are microcontroller-based air quality data collection devices placed in an area. Sometimes the location is a remote area with minimal power availability. In fact, sensor nodes require adequate power, especially when capturing and sending data. Therefore, we need a power saving system. In this paper, a power saving system design is presented at the sensor node by cutting off the current to the sensor module when it is not used for measurement and data transmission. The MOSFET switching circuit is used to break the current. Setting the measurement interval, sending data, and activating power saving, is done by the microcontroller. The test results show that there is a savings in energy consumption at the sensor node by 64%. The total energy consumption used for 5 hours has also decreased, from previously using energy of 76,620 Wsec to 27,360 Wsec.

Keywords— sensor node, power saving, current breaker, microcontroller

1. PENDAHULUAN

Wireless Sensor Network (WSN) adalah teknologi jaringan dua atau lebih sensor node yang tersebar dan dikoordinasikan oleh sebuah sistem menggunakan jaringan nirkabel. WSN dapat diaplikasikan dalam sistem pengukuran di berbagai berbagai bidang yang membutuhkan

monitoring secara terus-menerus seperti industri proses, keamanan, transportasi, pertanian dan lainnya. Salah satu contoh pemanfaatan teknologi WSN adalah dapat diaplikasikan untuk monitoring kualitas udara. Sensor node merupakan salah satu penyusun utama sistem WSN yang merepresentasikan satu titik pengukuran. Komponen utama sensor node adalah mikrokontroler, transceiver, sumber daya dan satu atau lebih sensor [1]. Pada satu sensor node memiliki kemampuan untuk akuisisi data, pengolahan sederhana dan pengiriman data.

Salah satu aplikasi teknologi WSN adalah monitoring kualitas udara di daerah perkotaan untuk mendukung pengembangan smart city. Dalam [2] disebutkan bahwa monitoring udara dan air merupakan penerapan teknologi WSN dan *Internet of Things* (IoT) yang memberikan dampak ekonomi tinggi. Monitoring kualitas udara telah menjadi perhatian serius dalam beberapa tahun belakangan ini, terutama terkait dengan isu lingkungan hidup. Polusi udara dianggap sebagai ancaman kesehatan lingkungan terbesar di dunia, menyebabkan tujuh juta kematian di seluruh dunia setiap tahun. Laporan kualitas udara dunia tahun 2021 menunjukkan bahwa hanya tiga persen kota yang memenuhi standar kualitas udara tahunan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) terbaru. Laporan tersebut menganalisis pengukuran polusi udara PM2.5 dari stasiun pemantauan udara di 6.475 kota di 117 negara [3].

Penelitian sistem monitoring kualitas udara lingkungan terbuka (*ambient*) telah dilaporkan oleh beberapa peneliti, diantaranya adalah [4] dan [5]. Dalam [4] dilakukan pengukuran terhadap parameter kandungan partikulat di udara (PM1, PM2.5, dan PM10), konsentrasi gas CO, CO₂, VOCs, suhu, dan kelembaban. Pada penelitian ini, sistem monitoring dikembangkan menggunakan aplikasi smartphone. Sementara itu, [5] mengembangkan sistem monitoring dengan teknologi WSN berbasis web dengan parameter yang diukur adalah gas karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), hidrokarbon (HC), debu, suhu dan kelembaban udara. Sistem monitoring kualitas udara terus mengalami perkembangan. Diantaranya adalah monitoring berbasis teknologi IoT yang telah dikembangkan oleh [6] dengan parameter pengukuran gas CO dan nitrogen dioksida (NO₂). Termasuk juga pengembangan sistem berbiaya rendah seperti dilaporkan dalam [7].

Meski jumlah parameter yang diukur cukup banyak dalam beberapa penelitian diatas, namun bila diaplikasikan untuk wilayah udara di Indonesia, belum memenuhi keseluruhan parameter yang diperlukan untuk menentukan ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara). Padahal, ISPU digunakan untuk menggambarkan tingkat kebersihan atau tercemarnya udara di suatu lokasi [8].

Penelitian sensor node untuk sistem monitoring kualitas udara secara lengkap sesuai standar ISPU telah dikembangkan oleh [9]. Parameter udara yang diukur telah lengkap sesuai dengan ISPU, berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia, nomor KEP-45/MENLH/10/1997 yaitu karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), oksidan dalam bentuk ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂), dan partikulat berukuran 10 µm (PM10). Dua buah sensor node pada penelitian tersebut juga telah diintegrasikan dalam suatu sistem monitoring udara berbasis web.

Namun demikian, faktor efisiensi penggunaan daya belum mendapatkan perhatian pada sistem dengan pengukuran parameter lengkap sesuai ISPU tersebut. Dari pengujian yang dilakukan oleh [9], sensor node tersebut hanya memiliki waktu hidup (life time) 5 jam saja dengan kondisi node sensor selalu aktif. Padahal, suatu node sensor diharapkan tetap terus bekerja menjalankan berbagai proses secara terus-menerus, bukan hanya 5 jam saja. Maka dari itu dibutuhkan sistem untuk mengatasi masalah konsumsi daya sensor node yang tidak efisien pada sistem monitoring kualitas udara ini.

Pada umumnya, solusi yang dilakukan adalah dengan menambahkan sistem sel surya sebagai penyedia energi. Namun demikian, jika waktu hidup hanya 5 jam saja, maka tentu sensor node tidak akan dapat terus beroperasi terutama saat malam hari telah lewat 5 jam. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya penghematan daya pada sistem sensor node tersebut. Paling tidak,

diharapkan memiliki waktu hidup 24 jam agar tetap terus beroperasi pada malam hari atauantisipasi saat matahari terhalang awan atau mendung.

Konsumsi energi utama pada suatu sistem WSN adalah saat pengumpulan, pengiriman, dan pemrosesan data [10], yang kemudian menjadi fokus dalam optimisasi energi dalam rangka penghematan daya. Efisiensi energi untuk penghematan daya pada tahap pengumpulan data dilakukan pada sensor node. Sedangkan efisiensi energi pada proses pengiriman dan pemrosesan data dilakukan dengan cara optimasi jalur pengiriman data (*routing*) antar titik-titik (*nodes*) ataupun dengan teknik clustering titik-titik (*nodes*) pada WSN. Beberapa makalah yang membahas optimasi jalur pengiriman data (*routing*) yaitu [11]–[13]. Pembahasan teknik clustering dapat ditemukan pada [14], [15].

Penghematan daya pada sensor node untuk aplikasi *structural health monitoring* jembatan telah dikembangkan oleh [16]. Penghematan daya pada sensor node dilakukan dengan penggunaan metode *sleep/wake-up*. Terdapat 3 mode yang dicoba, yaitu mode tanpa *sleep* (selalu aktif), mode *sleep/wake-up* dengan periode 1 detik dan mode *sleep/wake-up* dengan periode 4,1 detik. Dari hasil pengukuran didapatkan lifetime mode *sleep/wake-up* dengan periode 4,1 detik lebih lama 1 jam dibanding dengan mode lainnya. Artinya penghematan daya sebanding dengan waktu periode *sleep/wake-up*. Namun demikian, penggunaan mode *sleep* dengan memanfaatkan timer internal pada penelitian ini memiliki keterbatasan pada kapasitas *timer* internal mikrokontroler sehingga maksimal periodenya hanya 4,1 detik.

Efisiensi energi dengan pengaturan rute dan penjadwalan pengiriman data oleh node sensor untuk mencegah tabrakan juga dipaparkan pada [17] dan [18]. Teknik penghematan daya dengan melakukan kompresi terhadap data pengukuran juga dilakukan pada [19]. Namun, proses rekonstruksi data terkompres tidak mudah dilakukan dan cukup kompleks.

Suatu teknik efisiensi energi yang telah diimplementasikan pada sensor node dengan satu sensor, mikrokontroler, LCD dan modul komunikasi LoRa dibahas dalam [20]. Teknik yang digunakan adalah dengan mengatur mode *sleep* dari modul yang terdapat pada sensor node. Suatu algoritma perhitungan waktu mode *sleep* berdasarkan informasi kapasitas baterai yang tersedia digunakan untuk menentukan lama waktu *sleep* modul-modul pada sensor node tersebut. Teknik ini mampu menurunkan konsumsi daya dari 12,52% menjadi 2,84%. Pengaturan waktu aktif/sleep menggunakan algoritma genetika dengan mutasi dither creeping dibahas dalam [21]. Pada teknik ini hanya sebagian kecil sensor yang diaktifkan dengan tetap menjamin jangkauan semua target beserta komunikasi antara sensor node dan stasiun penerima. Dalam teknik yang diusulkan ini, probabilitas mutasi dihasilkan secara acak. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa waktu hidup meningkat 53,27%.

Namun demikian, penggunaan lama waktu *sleep* yang bervariasi ini tidak dapat diterapkan pada *sensor node* yang perlu melakukan pengambilan dan pengiriman data dengan interval waktu yang sama, seperti pada sistem monitoring kualitas udara.

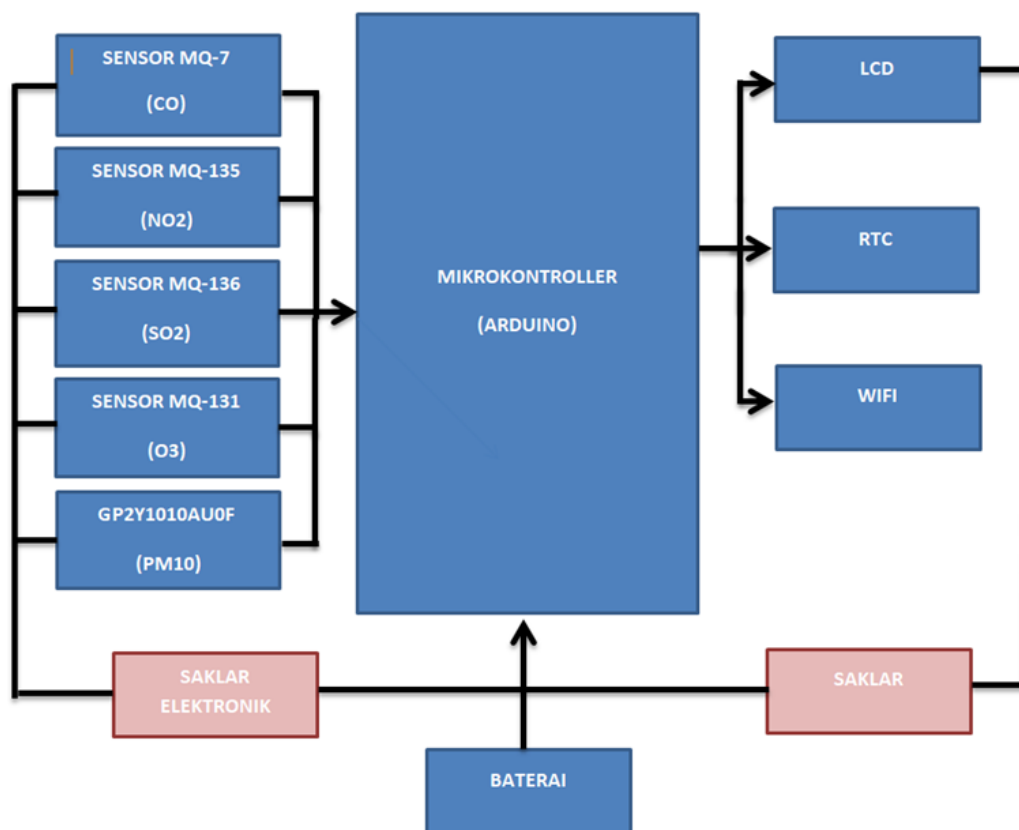
Oleh karena itu, pada makalah ini dipaparkan hasil penelitian sistem penghematan daya pada sensor node sistem monitoring kualitas udara. Penghematan daya pada penelitian ini menggunakan teknik pemutusan arus pada seluruh sensor dan modul pendukung lain saat tidak diperlukan untuk pengambilan dan pengiriman data. Teknik penghematan daya pada makalah penelitian ini menggunakan saklar elektronik berupa Mosfet yang digunakan untuk memutus arus ke modul sensor dan modul pendukung lainnya. Fitur pemutus arus yang diatur oleh program mikrokontroler dalam makalah ini selanjutnya disebut fitur *Low Power*.

Kontribusi utama makalah ini adalah penambahan konfigurasi rangkaian pemutus arus dan fitur *low power* program mikrokontroler pada sensor node. Dengan konfigurasi rangkaian tambahan dan fitur *Low Power* pada mikrokontroler ini maka modul sensor tidak mengkonsumsi energi listrik saat tidak diperlukan. Sehingga terjadi pengurangan total pemakaian energi atau penghematan daya pada operasi sensor node.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Perancangan Sistem

Tahapan awal dalam penelitian ini adalah perancangan sensor node yang dilengkapi dengan fitur *Low Power*. Fitur mode *Low Power* atau mode daya rendah ini berfungsi untuk mengatur sistem agar berjalan dengan daya yang rendah pada saat *sensor node* sedang tidak melakukan pengambilan dan pengiriman data. Komponen atau modul yang digunakan dalam membangun sistem ini meliputi keseluruhan komponen atau modul sensor node seperti diuraikan pada penelitian sebelumnya [9], ditambah dengan komponen untuk pengaturan fitur *Low Power*, yaitu Mosfet sebagai saklar elektronik. Secara lengkap, keseluruhan komponen atau modul beserta hubungan fungsional dan penjelasannya ditampilkan dalam bentuk diagram blok pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram blok sensor node yang sudah dilengkapi dengan fitur *Low Power*

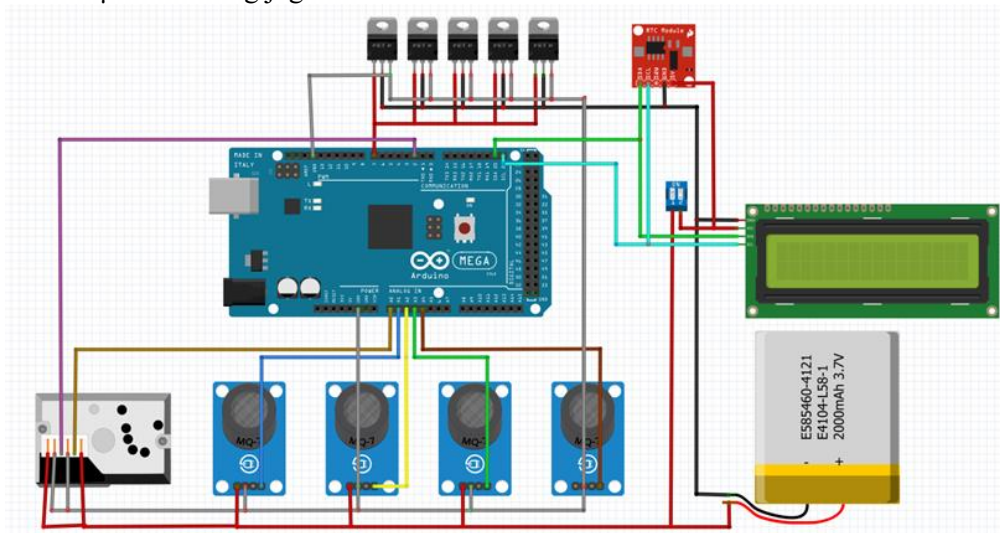
Lima buah sensor berfungsi untuk melakukan pengukuran atau pengambilan data lima parameter kualitas udara. Kelima sensor tersebut adalah MQ7 untuk mengukur kadar gas Karbon Monoksida (CO), MQ135 untuk mengukur kadar gas Nitrogen Dioksida (NO₂), MQ136 untuk mengukur kadar gas Sulfur Dioksida (SO₂), MQ131 untuk mengukur kadar gas Ozon (O₃) dan GP2Y1010AU0F untuk mengukur partikel debu (PM₁₀).

Arduino berfungsi sebagai mikrokontroler yang mengatur keseluruhan jalannya sistem meliputi penerima dan pengolah data output dari lima buah sensor. Selain itu mikrokontroler juga berfungsi mengatur dan menampilkan hasil pengukuran ke *Liquid-Crystal Display* (LCD), mengatur dan mengambil data tanggal dan waktu dari RTC, mengirim data ke server database melalui modul Wifi. LCD 16x2, sebagai indikator tampilan data yang diterima dan juga sebagai penampil waktu, tanggal, dan data kadar konsentrasi CO, NO₂, SO₂, O₃, dan PM₁₀.

Real Time Clock (RTC) berfungsi mengupdate tanggal dan waktu secara berkala, sehingga kita dapat menerima tanggal dan waktu yang akurat. WiFi berfungsi sebagai perangkat tambahan mikrokontroler Arduino agar dapat terhubung langsung dengan jaringan wifi dan membuat koneksi TCP/IP. Baterai Lippo berfungsi sebagai sumber daya pada rangkaian. Saklar Elektronik berupa Mosfet berfungsi sebagai pemutus arus dari baterai menuju sensor. Saklar berfungsi sebagai pemutus arus dari baterai menuju LCD.

2.2 Diagram Skematik Rangkaian

Skematik rangkaian sensor node ini diperlihatkan pada Gambar 2. Kaki VCC setiap modul saling terhubung ke Vcc Baterai dan GND setiap modul saling terhubung ke GND Arduino. Pin A0 sensor MQ7 terhubung dengan pin A1 Arduino, Pin A0 sensor MQ135 terhubung dengan pin A2 Arduino, Pin A0 sensor MQ136 terhubung dengan pin A3 Arduino, Pin A0 sensor MQ131 terhubung dengan pin A4 Arduino. GP2Y1010AU0F pin 6 (VCC) terhubung Vcc Baterai, pin 5 terhubung pin A0 arduino, pin 4 terhubung dengan GND, pin 3 terhubung pin 2 arduino, pin 2 terhubung dengan GND dan (-) kapasitor 220 μ F, pin 1 terhubung 5 V dan (+) kapasitor 220 μ F terhubung juga ke resistor 150 Ω .

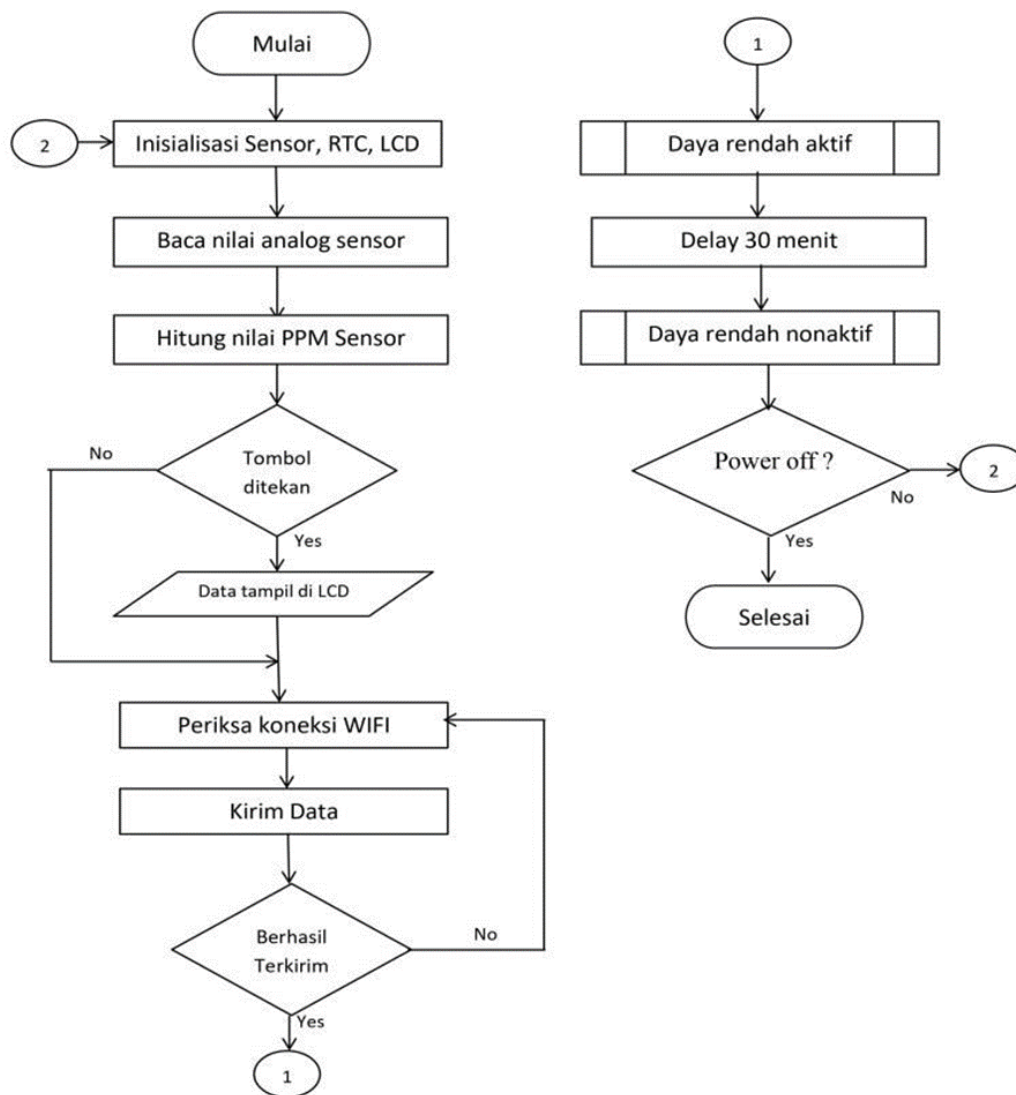


Gambar 2 Diagram skematik rangkaian Sensor Node

LCD pin VCC terhubung pin Vcc Baterai, pin GND terhubung gnd arduino, pin SCL terhubung scl arduino dan pin SDA terhubung sda arduino. RTC pin VCC terhubung pin Vcc Baterai, pin GND terhubung gnd arduino, pin SCL terhubung scl arduino dan pin SDA terhubung sda Arduino. Mosfet terhubung dengan pin 7 arduino, pin 7 arduino ini akan memberikan 5 V saat pengambilan dan pengiriman data dan akan berhenti memberikan 5 V setelah selesai melakukan pengambilan dan pengiriman data, mosfet berfungsi untuk memutuskan GND dari tiap sensor apabila pin 7 tidak diaktifkan.

2.3 Diagram Alir Program

Program yang ditanamkan dalam mikrokontroler arduino pada sensor node dapat dikelompokkan dalam 2 bagian utama. Bagian pertama yaitu program pengambilan dan pengiriman nilai parameter kualitas udara, sedangkan bagian kedua merupakan program pengaturan fitur *Low Power*. Tujuan pemrograman bagian pertama adalah untuk mengetahui seberapa besar nilai kadar gas dan partikulat di udara yang merupakan parameter kualitas udara, menampilkan data pada LCD, dan mengirim data ke server database. Bagian kedua bertujuan untuk mengatur fitur *Low Power* pada *sensor node*. Proses kerja keseluruhan program ini digambarkan sesuai flowchart utama pada Gambar 3.



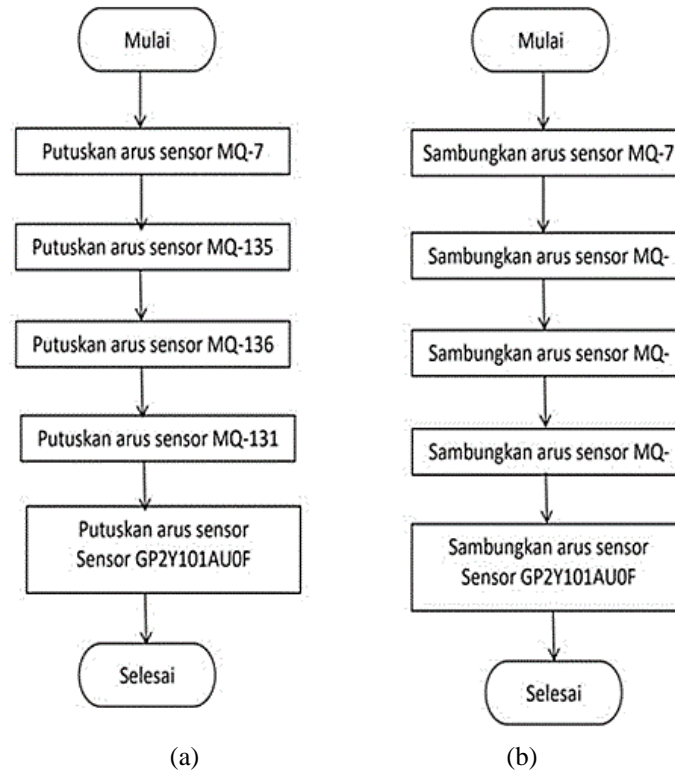
Gambar 3 Diagram skematik rangkaian Sensor Node

Proses kerja pada pemrograman diatas pada sensor dan komponen lainnya dimulai dengan inisialisasi sensor MQ7, MQ136, MQ135, MQ131, GP2Y1010AU0F, RTC dan LCD. Setelah itu, kelima modul sensor memberikan keluaran tegangan analog. Kemudian dari nilai tegangan analog yang sudah terbaca oleh ADC mikrokontroler akan dihitung nilai kadar gas (dalam satuan ppm) dan partikulat PM10 (dalam satuan $\mu\text{gram}/\text{m}^3$) sesuai dengan karakteristik masing-masing sensor. Setelah nilai parameter kualitas udara dari setiap sensor didapatkan, maka data tersebut akan di tampilkan pada LCD. Jika ingin menampilkan data pada LCD harus menekan tombol terlebih dahulu dan jika tombol tidak ditekan LCD tidak menampilkan data. selanjutnya pemeriksaan koneksi jaringan WiFi.

Apabila koneksi WiFi tersambung, data akan terkirim dan apabila data tidak berhasil terkirim maka periksa koneksi WiFi kembali sampai data berhasil terkirim. Setelah data berhasil terkirim maka mode daya rendah diaktifkan. Selanjutnya terjadi tunda (*delay*) selama 30 menit, hingga daya rendah di-*nonaktif*-kan. Proses akan mengulang dari awal kembali, proses akan terus berjalan.

Pada diagram alir utama tersebut di atas terdapat dua buah sub-proses, yaitu Daya rendah

aktif dan Daya rendah nonaktif. Kedua sub-proses ini merupakan tambahan dibandingkan dengan diagram pada penelitian sebelumnya, dan digunakan sebagai fitur *Low Power* pada *sensor node* ini. Urutan proses yang terjadi pada masing-masing sub-proses digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram alir untuk sub-process: (a) Daya rendah aktif, (b) Daya rendah nonaktif

Proses kerja pada Sub-process Daya rendah aktif (Gambar 4.a) dimulai dengan memutuskan arus sensor MQ7, MQ136, MQ135, MQ131, dan PM10 sehingga Daya rendah aktif dan akhirnya kembali ke program utama. Pada Sub-process Daya rendah non-aktif (Gambar 4.b) dimulai dengan menyambungkan arus sensor MQ7, MQ136, MQ135, MQ131, PM10 dan selanjutnya kembali ke program utama.

Periode waktu Daya rendah aktif dapat diatur dari waktu delay pada program mikrokontroler. Dalam eksperimen penelitian ini digunakan periode waktu 30 menit sesuai dengan periode jeda waktu pengiriman data dari sensor node. Selama waktu 30 menit itu aliran arus ke semua modul sensor diputus menggunakan saklar elektronik berupa rangkaian mosfet. Dengan demikian, diharapkan akan terjadi penghematan daya selama periode tersebut.

2.4 Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengukur efektifitas teknik penghematan daya yang diusulkan dalam penelitian ini. Tahapan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menjalankan *sensor node* sistem monitoring kualitas udara yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya (tanpa fitur *Low Power*) dan mengukur pemakaian energi alat tersebut.
2. Menjalankan *sensor node* yang telah dilengkapi fitur *Low Power* dan mengukur besarnya pemakaian energi alat tersebut.
3. Membandingkan hasil perhitungan pemakaian energi pada *sensor node* yang menggunakan fitur dengan tanpa fitur *Low Power*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengukuran Pemakaian Energi pada Sensor Node tanpa Fitur Low Power

Untuk melihat pengaruh penggunaan daya tanpa menggunakan fitur *Low Power*, dilakukan pengukuran penggunaan daya baterai pada *sensor node* tanpa fitur *Low Power*. Dalam hal ini digunakan sensor node hasil penelitian sebelumnya [9].

Pada pengujian daya baterai pertama, diperoleh tegangan awal 8,39 volt dan arus yang terukur pada saat pengambilan dan pengiriman data sebesar 0,638 A. Sedangkan arus yang terukur pada saat *sensor node* tidak melakukan pengambilan dan pengiriman data adalah sebesar 0,537 A. Hasil ini digunakan untuk menghitung pemakaian daya oleh *sensor node*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pemakaian daya pada saat pengambilan dan pengiriman data yaitu 5,3 W. Sedangkan pada saat tidak melakukan pengambilan dan pengiriman data, daya terpakai sebesar 4,51 W.

Dalam pengujian ini, baterai digunakan selama 5 jam dengan periode pengambilan data parameter kualitas udara oleh sensor-sensor dan pengiriman data setiap 30 menit sekali. Dalam 30 menit, waktu yang digunakan untuk pengambilan dan pengiriman data 10 detik dan waktu yang tersisa atau waktu pada saat node sensor tidak melakukan pengambilan dan pengiriman data adalah 1.790 detik. Dengan data ini dapat dihitung berapa energi yang terpakai. Tabel 1 menunjukkan data hasil pengujian pada *sensor node* sebelum adanya fitur *Low Power*.

Tabel 1 Data Pengujian Pemakaian Daya dan Energi pada *Sensor Node* yang tidak dilengkapi fitur *Low Power*

No	Pukul	Tegangan Baterai (V)	Arus (A)		Daya (W)		Pemakaian Energi (Wdtk)	
			Saat Ambil & Kirim Data	Saat Tidak Ambil & Kirim Data	Saat Ambil & Kirim Data	Saat Tidak Ambil & Kirim Data	Saat Ambil & Kirim Data	Saat Tidak Ambil & Kirim Data
1	8:00	8,39	0,638	0,537	5,35	4,51	53,53	8.064,72
2	8:30	8,33	0,635	0,535	5,29	4,46	52,90	7.977,22
3	9:00	8,26	0,631	0,533	5,21	4,40	52,12	7.889,62
4	9:30	8,18	0,628	0,529	5,14	4,33	51,37	7.745,72
5	10:00	8,1	0,624	0,528	5,05	4,28	50,54	7.655,47
6	10:30	8,02	0,621	0,526	4,98	4,22	49,80	7.551,15
7	11:00	7,92	0,619	0,524	4,90	4,15	49,02	7.428,64
8	11:30	7,87	0,616	0,523	4,85	4,12	48,48	7.367,88
9	12:00	7,79	0,612	0,521	4,77	4,06	47,67	7.264,88
10	12:30	7,73	0,608	0,519	4,70	4,01	47,00	7.181,25
Jumlah Energi Tiap Kondisi							502	76.117
Total Pemakaian Energi Selama 5 Jam							76.620	

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa pemakaian energi yang digunakan selama 5 jam adalah 76.620 Wdtk. Dari data tersebut dapat diketahui pemakaian energi yang digunakan perjamnya adalah 15.324 Wdtk.

Hasil pengujian tersebut merupakan hasil pemakaian energi baterai yang tidak menggunakan fitur *Low Power* atau alat secara terus menerus aktif. Arus yang dialirkan pada saat pengambilan dan pengiriman data dan pada saat tidak melakukan pengambilan dan pengiriman data tidak menunjukkan penurunan secara signifikan sehingga pemakaian energi yang digunakan sensor node menunjukkan hasil yang relatif tinggi.

3.2 Pengukuran pemakaian energi pada Sensor Node dengan fitur Low Power

Pada pengujian kedua, dilakukan pengukuran penggunaan daya dan pemakaian energi terhadap *sensor node* hasil penelitian ini. Pada *sensor node* ini telah ditambahkan rangkaian saklar elektronik berupa rangkaian Mosfet. Rangkaian ini diatur oleh mikrokontroler untuk memutus arus ke modul sensor saat modul sensor tidak diperlukan.

Pengukuran pemakaian energi dengan sistem penghematan daya (fitur *Low Power*), diperoleh tegangan yang terukur yaitu 8,46 V. Arus yang terukur pada saat pengambilan dan pengiriman data adalah sebesar 0,894 A, sedangkan arus pada saat tidak melakukan pengambilan dan pengiriman data hanya sebesar 0,183 A. Terdapat selisih sebesar 0,711 A, dikarenakan pada saat *sensor node* tidak melakukan pengambilan dan pengiriman data, mikrokontroler mengatur rangkaian Mosfet agar memutus aliran arus ke semua sensor sehingga tidak terhubung dengan baterai. Akibatnya, terdapat perbedaan yang signifikan diantara kedua kondisi tersebut.

Seperti halnya pada bagian 3.1, pada *sensor node* dengan fitur *Low Power* ini juga dilakukan pengukuran selama 5 jam, dengan interval waktu pengukuran 30 menit. Tabel 2 menunjukkan data hasil pengukuran penggunaan daya pada *sensor node* setelah dilengkapi dengan fitur *Low Power*.

Tabel 2 Data Pengujian Pemakaian Daya dan Energi pada *Sensor Node* yang dilengkapi fitur *Low Power*

No	Pukul	Tegangan Baterai (V)	Arus (A)		Daya (W)		Pemakaian Energi (Wdtk)	
			Saat Ambil & Kirim Data	Saat Tidak Ambil & Kirim Data	Saat Ambil & Kirim Data	Saat Tidak Ambil & Kirim Data	Saat Ambil & Kirim Data	Saat Tidak Ambil & Kirim Data
1	8:00	8.46	0,894	0,183	7,56	1,55	75,63	2.771,24
2	8:30	8.38	0,890	0,183	7,46	1,53	74,58	2.745,04
3	9:00	8.34	0,887	0,183	7,40	1,53	73,98	2.731,93
4	9:30	8.26	0,884	0,182	7,30	1,50	73,02	2.690,94
5	10:00	8.21	0,878	0,182	7,21	1,49	72,08	2.674,65
6	10:30	8.16	0,875	0,182	7,14	1,49	71,40	2.658,36
7	11:00	8.08	0,873	0,182	7,05	1,47	70,54	2.632,30
8	11:30	7.99	0,870	0,182	6,95	1,45	69,51	2.602,98
9	12:00	7.94	0,867	0,181	6,88	1,44	68,84	2.572,48
10	12:30	7.91	0,862	0,181	6,82	1,43	68,18	2.562,76
Jumlah Energi Tiap Kondisi							718	26.643
Total Pemakaian Energi Selama 5 Jam							27.360	

Dari data Tabel 2 dapat dilihat pemakaian energi pada saat melakukan pengambilan dan pengiriman data sebesar 718 Wdtk. Sementara Pemakaian energi pada saat node sensor tidak melakukan pengambilan dan pengiriman data 26.643 Wdtk. Jadi total pemakaian energi selama 5 jam adalah sebesar 27.360 Wdtk. Dari data tersebut dapat diketahui pemakaian energi yang digunakan perjamnya adalah 5.472 Wdtk.

3.3 Perbandingan Pemakaian Energi pada Sensor Node Tanpa dan Dengan fitur Low Power

Pada bagian ini, dipaparkan perbandingan pemakaian energi yang digunakan pada *sensor node* sistem monitoring kualitas udara tanpa fitur *Low Power* (sensor selalu aktif) dan *sensor node* dengan fitur *Low Power* (terdapat penambahan Mosfet sebagai pemutus arus menuju modul sensor pada saat tidak melakukan pengambilan dan pengiriman data). Tabel 3 menunjukkan perbandingan pemakaian energi node sensor sistem monitoring kualitas udara tanpa menggunakan fitur low power dan dengan menggunakan fitur low power.

Tabel 3 Perbandingan Pemakaian Energi pada *Sensor Node* Tanpa dan Dengan fitur *Low Power*

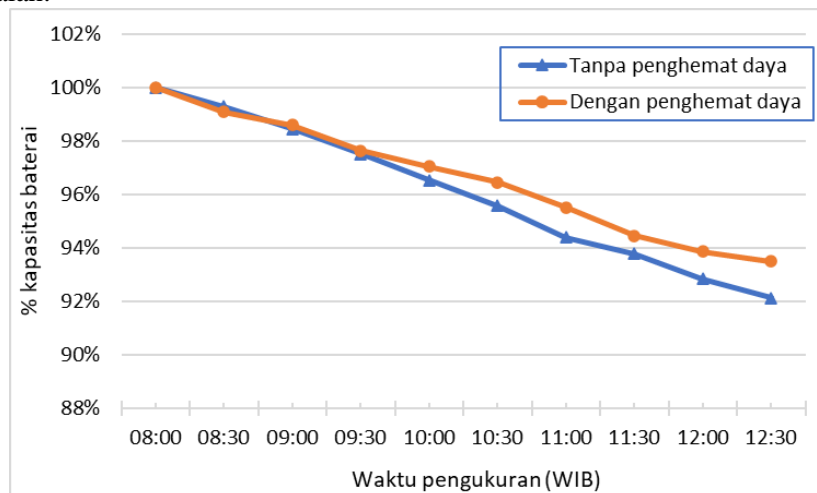
No	Pemakaian Energi A (Wdtk)		Total A	Pemakaian Energi B (Wdtk)		Total B	Selisih (A – B)
	Saat Ambil & Kirim Data	Saat Tidak Ambil & Kirim Data		Saat Ambil & Kirim Data	Saat Tidak Ambil & Kirim Data		
1	53,53	8.064,72	8.118,25	75,63	2.771,24	2.846,87	5.271,37
2	52,90	7.977,22	8.030,12	74,58	2.745,04	2.819,62	5.210,50
3	52,12	7.880,62	7.932,74	73,98	2.731,93	2.805,91	5.126,83
4	51,37	7.745,72	7.797,09	73,02	2.690,94	2.763,96	5.033,13
5	50,54	7.655,47	7.706,02	72,08	2.674,65	2.746,74	4.959,28
6	49,80	7.551,15	7.600,96	71,40	2.658,36	2.729,76	4.871,19
7	49,02	7.428,64	7.477,67	70,54	2.632,30	2.702,84	4.774,83
8	48,48	7.367,66	7.416,14	69,51	2.602,98	2.672,50	4.743,64
9	47,67	7.264,88	7.312,55	68,84	2.572,48	2.641,32	4.671,23
10	47,00	7.181,25	7.228,25	68,18	2.562,76	2.630,95	4.597,30
Total	502	76.117	76.620	718	26.643	27.360	49.259

Ket: A: Sensor node tanpa fitur low power; B: Sensor node dengan fitur low power

Dari tabel perbandingan dapat kita lihat bahwa pemakaian energi selama 5 jam yang digunakan oleh node sensor tanpa fitur low power dan pemakaian energi yang digunakan oleh sensor node dengan fitur low power menunjukkan selisih sebesar 49.259 Wdtk.

Dengan adanya fitur low power ini, kebutuhan daya dan pemakaian energi lebih rendah sebesar 64 % daripada sensor node tanpa fitur low power. Ini diakibatkan oleh penggunaan komponen mosfet yang dapat memutuskan arus pada saat node sensor tidak melakukan pengambilan dan pengiriman data sehingga menurunkan arus secara signifikan pada saat sensor node tidak melakukan pengambilan dan pengiriman data.

Pengukuran kapasitas baterai tersimpan pada kedua kondisi juga memperlihatkan bahwa dalam pemakaian selama 5 jam, terdapat selisih kapasitas baterai yang masih tersimpan, seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Kapasitas tersimpan pada baterai sensor node yang memiliki fitur *Low Power* (penghemat daya) lebih tinggi dibandingkan tanpa penghemat daya seiring dengan lama pemakaian.



Gambar 5 Penurunan persentase kapasitas baterai tersimpan saat pemakaian

Dari hasil pengujian *sensor node* tanpa fitur low power (Tabel 1), diperoleh energi terpakai selama 5 jam adalah 76.620 Wdtk (Watt-detik). Artinya daya yang terpakai selama 1 jam (3600 detik) adalah $\left(\frac{76.620 \text{ Wdtk}}{5 \times 3600 \text{ detik}}\right) = 4,26 \text{ W}$. Dengan rata-rata tegangan sebesar 8,059 V, diperoleh

rata-rata arus sebesar $\left(\frac{4,26 \text{ W}}{8,059 \text{ V}}\right) = 0,528 \text{ A}$. Jika baterai yang digunakan memiliki spesifikasi kapasitas 5,2 Ah, maka baterai tersebut dapat dipakai hingga $\left(\frac{5,2 \text{ Ah}}{0,528 \text{ A}}\right) = 9,85 \text{ jam}$ atau 9 jam 51 menit.

Dari hasil pengujian sensor node dengan fitur low power (Tabel 2), diperoleh energi terpakai selama 5 jam adalah 27.360 Wdtk (Watt-detik). Artinya daya yang terpakai selama 1 jam (3600 detik) adalah $\left(\frac{27.360 \text{ Wdtk}}{5 \times 3600 \text{ detik}}\right) = 1,52 \text{ W}$. Dengan rata-rata tegangan sebesar 8,173 V, diperoleh rata-rata arus sebesar $\left(\frac{1,52 \text{ W}}{8,173 \text{ V}}\right) = 0,186 \text{ A}$. Jika baterai yang digunakan memiliki spesifikasi kapasitas yang sama yaitu 5,2 Ah, maka baterai tersebut dapat dipakai hingga $\left(\frac{5,2 \text{ Ah}}{0,186 \text{ A}}\right) = 27,96 \text{ jam}$ atau 27 jam 57 menit. Jika dibandingkan dengan tanpa fitur low power, terdapat peningkatan daya tahan baterai hingga 18 jam 6 menit.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa secara keseluruhan teknik penghematan daya pada sensor node sistem monitoring kualitas udara yang diusulkan pada makalah ini dapat berjalan dengan baik. Penambahan fitur low power, dengan cara memutuskan arus menuju modul sensor menggunakan mosfet sebagai saklar elektronik, telah terjadi pengurangan total pemakaian energi yang digunakan selama 5 jam dari yang sebelumnya sebesar 76.620 Wdtk menjadi 27.360 Wdtk.. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi penghematan pemakaian energi node sensor sistem monitoring kualitas udara sebesar 64 %. Daya tahan baterai yang digunakan akan lebih lama 18 jam 6 menit, dari yang sebelumnya 9 jam 51 menit menjadi 27 jam 57 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Badan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (BP2M) Politeknik Caltex Riau yang mendanai penelitian ini melalui program Hibah Penelitian Internal tahun anggaran 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Yinbiao *et al.*, "Internet of Things: Wireless Sensor Networks," *International Electrotechnical Commission*, no. 12. 2014. Accessed: Jan. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.iec.ch/basecamp/internet-things-wireless-sensor-networks>
- [2] R. Mondal and T. Zulfi, "Internet of Things and Wireless Sensor Network for Smart Cities," *International Journal of Computer Science Issues*, vol. 14, no. 5, pp. 50–55, Sep. 2017, doi: 10.20943/01201705.5055.
- [3] IQAir, "World air quality report 2021," 2022. Accessed: Jan. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.iqair.com/world-air-quality-report>
- [4] Y. Sung, S. Lee, Y. Kim, and H. Park, "Development of a Smart Air Quality Monitoring System and its Operation," *Asian Journal of Atmospheric Environment*, vol. 13, no. 1, pp. 30–38, Mar. 2019, doi: 10.5572/ajae.2019.13.1.030.
- [5] Medina Nadila Prima Putri, A. S. Handayani, and M. M. Rose, "Sistem Monitoring Kualitas Udara dengan Platform Web," *Explore IT! : Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik Informatika*, vol. 12, no. 2, pp. 54–61, Sep. 2020, doi: 10.35891/explorit.v12i2.2262.
- [6] T. P. Truong, D. T. Nguyen, and P. V. Truong, "Design and Deployment of an IoT-Based Air Quality Monitoring System," *International Journal of Environmental Science and Development*, vol. 12, no. 5, pp. 139–145, May 2021, doi: 10.18178/ijesd.2021.12.5.1331.

- [7] A. Hilary Kelechi *et al.*, “Design of a Low-Cost Air Quality Monitoring System Using Arduino and ThingSpeak,” *Computers, Materials & Continua*, vol. 70, no. 1, pp. 151–169, 2022, doi: 10.32604/cmc.2022.019431.
- [8] R. Arissa and A. A. Kiswando, “Kajian Indeks Standar Polusi Udara (ISPU) Pm10, So2, O3, Dan No2 Di Kota Bandar Lampung,” *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, vol. 2, no. 2, pp. 38–46, 2017, doi: 10.23960/aec.v2i2.2017.p.
- [9] H. Subagiyo, R. Tri Wahyuni, M. Akbar, and F. Ulfa, “Rancang Bangun Sensor Node untuk Pemantauan Kualitas Udara,” *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 18, no. 1, p. 72, Jan. 2021, doi: 10.24014/sitekin.v18i1.11461.
- [10] J. Li, J. Lv, P. Zhao, Y. Sun, H. Yuan, and H. Xu, “Research and Application of Energy-Efficient Management Approach for Wireless Sensor Networks,” *Sensors 2023, Vol. 23, Page 1567*, vol. 23, no. 3, p. 1567, Feb. 2023, doi: 10.3390/S23031567.
- [11] R. Dogra, S. Rani, Kavita, J. Shafi, S. K. Kim, and M. F. Ijaz, “ESEERP: Enhanced Smart Energy Efficient Routing Protocol for Internet of Things in Wireless Sensor Nodes,” *Sensors 2022, Vol. 22, Page 6109*, vol. 22, no. 16, p. 6109, Aug. 2022, doi: 10.3390/S22166109.
- [12] L. L. Hung, F. Y. Leu, K. L. Tsai, and C. Y. Ko, “Energy-efficient cooperative routing scheme for heterogeneous wireless sensor networks,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 56321–56332, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2980877.
- [13] M. Baniata, H. T. Reda, N. Chilamkurti, and A. Abuadbba, “Energy-efficient hybrid routing protocol for IoT communication systems in 5G and beyond,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 2, pp. 1–21, Jan. 2021, doi: 10.3390/S21020537.
- [14] A. K. Rai and A. K. Daniel, “FECC: fuzzy based energy efficient clustering protocol for WSN,” *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, vol. 14, no. 1, pp. 297–307, Feb. 2023, doi: 10.1007/S13198-022-01796-X/METRICS.
- [15] K. Debasis, L. D. Sharma, V. Bohat, and R. S. Bhadoria, “An Energy-Efficient Clustering Algorithm for Maximizing Lifetime of Wireless Sensor Networks using Machine Learning,” *Mobile Networks and Applications*, pp. 1–15, Feb. 2023, doi: 10.1007/S11036-023-02109-7/METRICS.
- [16] A. P. Wirawan, M. A. Saktiono, and A. A. Wahab, “Penghematan Konsumsi Daya Node Sensor Nirkabel untuk Aplikasi Structural Health Monitoring Jembatan,” *SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI INFORMASI, KOMUNIKASI DAN APLIKASINYA*, vol. 3, 2015, Accessed: Jan. 30, 2023. [Online]. Available: <http://jurnal.stiki.ac.id/SNATIKA/article/view/305>
- [17] L. Anchora, A. Capone, V. Mighali, L. Patrono, and F. Simone, “A novel MAC scheduler to minimize the energy consumption in a Wireless Sensor Network,” *Ad Hoc Networks*, vol. 16, pp. 88–104, May 2014, doi: 10.1016/j.adhoc.2013.12.002.
- [18] RA Fattah Adriansyah and Reza Firsandaya Malik, “Penjadwalan Berbasis MAC 802.11 dan Routing ACO pada Wireless Sensor Network,” *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 3, no. 3, pp. 479–487, Dec. 2019, doi: 10.29207/resti.v3i3.1435.
- [19] S. Mochizuki and N. Komuro, “Power Saving Method using Compressed Sensing Technique for IoT-based Time-series Environment Monitoring System,” in *2021 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)*, IEEE, Sep. 2021, pp. 1–2. doi: 10.1109/ICCE-TW52618.2021.9603152.
- [20] H. Vo, “Implementing Energy Saving Techniques for Sensor Nodes in IoT Applications,” *EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems*, vol. 5, no. 17, p. 156076, Dec. 2018, doi: 10.4108/eai.19-12-2018.156076.
- [21] A. S. Shinde and R. S. Bichkar, “Energy efficient active/sleep scheduling of sensor nodes in target based WSN using genetic algorithm with dither creeping mutation,” *J Ambient Intell Humaniz Comput*, pp. 1–14, Mar. 2023, doi: 10.1007/S12652-023-04576-Y/METRICS.