

PSMARTAIRIQ: PERISIAN PEMANTAUAN KUALITI UDARA MENGUNAKAN RANGKAIAN PENDERIA NIRWAYAR UNTUK ANALISIS DATA PERSEKITARAN MASA NYATA

ADRIAN ZACHARY BIN IAN

PROF. MADYA DR. YAZRINA BINTI YAHYA

*Fakulti Teknologi & Sains Maklumat, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi,
Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

ABSTRAK

Mengikut perubahan terkini dalam era teknologi, pembangunan dan pelaksanaan teknologi dalam sains alam sekitar bergerak pada kadar yang wajar namun pelaksanaan aplikasi berkaitan alam sekitar masih belum setanding. Projek ini bertujuan untuk membantu pengguna melihat Indeks Pencemaran Udara (IPU) semasa dan meramalkan arah aliran yang akan datang untuk IPU kawasan tersebut. Sistem ini direka bentuk untuk memantau dan menganalisis kualiti udara seperti dalam bahan zarah (PM2.5, PM10), karbon dioksida (CO₂), dan bahan pencemar berbahaya lain dalam persekitaran bandar. Memandangkan aplikasi akan dapat meramalkan arah aliran yang akan datang, ia juga akan mempunyai beberapa ciri yang akan membantu pengguna untuk bersedia menghadapi senario terburuk semasa keadaan tertentu. Memandangkan keadaan jerebu semasa di Malaysia, sebilangan orang tidak menyedari nombor IPU yang tinggi kerana mereka tidak menonton berita. Dengan mempunyai aplikasi ini, ia boleh menghantar makluman kepada telefon orang itu apabila API tinggi dan menunjukkan langkah balas untuk masa itu. Ini mendapat inspirasi daripada aplikasi yang telah diterbitkan (MyIPU), tetapi masalah terbesar aplikasi itu ialah ia tidak mempunyai keupayaan untuk menunjukkan tindakan balas dan juga keupayaan untuk meramalkan arah aliran masa depan. Aplikasi ini akan membantu untuk menyedari kepentingan pelaksanaan teknologi ke dalam aplikasi harian, dan ini akan membantu untuk menggalakkan gaya hidup yang lebih sihat di kawasan bandar.

PENGENALAN

Bagi masyarakat, pencemaran udara diketahui sebagai salah satu ancaman terbesar kepada kesihatan. Punca utama yang difahami oleh mereka mengenai pencemaran udara adalah hasil sampingan dari kilang serta gas karbon monoksida (CO). Menurut Pertubuhan Kesihatan Sedunia (WHO), pencemaran udara adalah pencemaran persekitaran dalaman atau luaran oleh sebarang agen kimia, fizikal, atau biologi yang mengubah ciri semula jadi atmosfera. Berdasarkan data statistik dari Our World in Data, pencemaran udara dibahagikan kepada dua kategori utama, iaitu pencemaran udara dalaman dan pencemaran udara luaran. Pencemaran udara dalaman biasanya berpunca daripada penggunaan bahan api pepejal untuk memasak, manakala pencemaran udara luaran cenderung meningkat seiring dengan perindustrian sesebuah negara. Kualiti udara yang buruk ini menjadi penyumbang utama kepada penyakit pernafasan, masalah kardiovaskular, serta peningkatan kadar kematian. Oleh kerana kaedah

tradisional untuk memantau kualiti udara adalah tidak praktikal serta melibatkan sistem yang mahal dan berpusat yang hanya merangkumi kawasan terhad, ia menyukarkan pemantauan data masa nyata.

Projek yang bertajuk "Perisian Pemantauan Kualiti Udara Menggunakan Rangkaian Sensor Tanpa Wayar untuk Analisis Data Alam Sekitar Masa Nyata" bertujuan untuk mengatasi semua keterbatasan ini dengan menggunakan rangkaian sensor tanpa wayar untuk memantau kualiti udara secara berterusan di kawasan bandar. Dengan mengumpulkan data mengenai bahan pencemar seperti karbon monoksida (CO), zarah halus (PM), ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂) serta menganalisisnya secara masa nyata, sistem ini menyediakan penyelesaian yang menyeluruh dan kos efektif untuk kerajaan tempatan, penyelidik, dan orang awam dalam memantau pencemaran udara. Pendekatan ini membolehkan pengguna mendapatkan data terkini dengan lebih pantas serta mengambil langkah berjaga-jaga seperti yang disarankan oleh sistem berdasarkan kualiti udara yang dikesan.

METODOLOGI KAJIAN

Penyelesaian yang dicadangkan untuk projek ini menggunakan metodologi Waterfall. Ini kerana pendekatan yang diterangkan mencerminkan aliran kerja yang jelas dan berstruktur, di mana setiap fasa dilaksanakan secara berurutan. Proses bermula dengan analisis keperluan, yang merangkumi penentuan parameter kualiti udara yang perlu dipantau, keperluan pengguna, dan spesifikasi sistem yang mesti dipenuhi. Setelah itu, reka bentuk sistem dilaksanakan dengan merancang seni bina Rangkaian Sensor Tanpa Wayar (WSN) dan memilih komponen yang sesuai seperti sensor, mikropengawal, dan protokol komunikasi. Fasa seterusnya adalah integrasi komponen, di mana perkakasan dipasang dan diselaraskan dengan perisian pemprosesan data untuk memastikan pengumpulan, pemprosesan, dan penghantaran data yang berkesan. Kemudian, dalam pembangunan perisian, algoritma analisis data akan dibangunkan dan papan muka berasaskan web untuk pemantauan kualiti udara secara visual dan interaktif. Selepas itu, sistem akan melalui ujian dan pengesahan untuk memastikan ketepatan, kebolehpercayaan, dan prestasi yang optimum. Akhirnya, dalam fasa pelaksanaan dan penilaian, sistem akan digunakan dalam situasi sebenar dan dinilai untuk mengukur kesannya terhadap pihak berkepentingan serta mengumpulkan maklum balas untuk penambahbaikan di masa hadapan.

Metodologi Waterfall sesuai digunakan kerana ia mengikut urutan yang jelas dan tidak melibatkan perubahan besar dalam setiap fasa selepas ia dimulakan. Jika projek ini memerlukan penyesuaian berterusan atau maklum balas yang lebih fleksibel sepanjang proses pembangunan, maka Agile mungkin akan lebih sesuai. Namun, berdasarkan aliran yang diterangkan, Waterfall adalah metodologi yang lebih tepat untuk projek ini.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Projek SmartAirIQ telah berjaya membangunkan sistem pemantauan kualiti udara berasaskan rangkaian penerima nirwayar yang boleh mengumpul dan menganalisis data secara masa nyata. Sistem ini bertujuan untuk memberikan maklumat penting mengenai kualiti udara di kawasan tertentu dan memberi cadangan langkah berjaga-jaga kepada pengguna berdasarkan bacaan Indeks Pencemaran Udara (IPU). Keputusan yang diperoleh daripada ujian dan penggunaan aplikasi menunjukkan kejayaan yang signifikan, namun terdapat beberapa cabaran yang perlu ditangani untuk meningkatkan keberkesanan sistem ini.

Sistem ini berfungsi dengan memantau tahap kualiti udara dalam masa nyata, dan keputusan menunjukkan bahawa aplikasi ini dapat memberikan bacaan yang tepat dalam kebanyakan keadaan. Data yang dipaparkan adalah berdasarkan bacaan yang diperoleh daripada sensor yang digunakan dalam rangkaian tanpa wayar. Dengan menggunakan sistem ini, pengguna dapat mengakses maklumat mengenai kualiti udara di kawasan yang mereka pilih. Selain itu, aplikasi ini juga menyediakan cadangan langkah berjaga-jaga kepada pengguna apabila bacaan IPU melebihi tahap yang selamat. Sebagai contoh, apabila IPU mencapai tahap berbahaya, aplikasi akan mengingatkan pengguna untuk mengenakan pelitup muka atau mengurangkan aktiviti luar. Ini menunjukkan bahawa sistem ini berfungsi dengan baik dalam memberikan amaran awal kepada masyarakat yang terdedah kepada pencemaran udara.

Selain daripada itu, sistem juga diuji dari segi kebolehgunaan oleh pengguna. Ujian kebolehgunaan menunjukkan bahawa aplikasi ini mudah digunakan, dengan antara muka yang mesra pengguna. Pengguna memberi skor kepuasan yang tinggi berkenaan kemudahan navigasi dan kefahaman antara muka aplikasi. Walaupun begitu, terdapat beberapa cadangan penambahbaikan dalam paparan visual aplikasi, terutamanya mengenai susunan maklumat di halaman utama agar lebih mudah diakses oleh pengguna.

Bagi aspek kebolehpercayaan, sistem ini menunjukkan prestasi yang baik, dengan data yang dapat diperoleh secara stabil dalam kebanyakan keadaan. Walau bagaimanapun, terdapat sedikit isu yang timbul apabila sistem digunakan di kawasan dengan sambungan internet yang lemah, yang menyebabkan penurunan kelajuan pemprosesan data. Selain itu, ketepatan sensor juga menunjukkan sedikit kekurangan apabila terdedah kepada cuaca ekstrem, seperti hujan lebat atau suhu yang sangat tinggi. Ini adalah cabaran yang perlu diatasi untuk memastikan sistem dapat berfungsi secara optimum dalam semua keadaan.

Berdasarkan keputusan yang diperoleh, beberapa isu penting perlu dibincangkan untuk memahami kekuatan dan kelemahan sistem serta cabaran yang dihadapi dalam penggunaan aplikasi ini.

Salah satu kelebihan utama sistem ini adalah kosnya yang rendah berbanding dengan sistem pemantauan udara tradisional yang memerlukan peralatan mahal. Sistem ini lebih mampu milik dan boleh digunakan oleh orang ramai serta pihak berkepentingan kecil seperti badan kerajaan tempatan atau penyelidik. Dengan penggunaan teknologi sensor kos rendah, sistem ini membolehkan pemantauan kualiti udara yang lebih meluas dan terjangkau, terutamanya di kawasan bandar dan luar bandar.

Sistem ini juga membolehkan pemantauan kualiti udara secara masa nyata, yang membolehkan pengguna mengambil tindakan segera apabila kualiti udara mencapai tahap berbahaya. Ini adalah ciri yang sangat berguna, terutamanya di kawasan dengan tahap pencemaran udara yang tinggi, kerana ia memberi pengguna peluang untuk melindungi kesihatan mereka dan mengambil langkah berjaga-jaga dengan segera. Penggunaan aplikasi ini juga meningkatkan kesedaran awam tentang pentingnya pemantauan kualiti udara dan membantu mengurangkan pendedahan kepada bahan pencemar udara yang boleh membahayakan kesihatan.

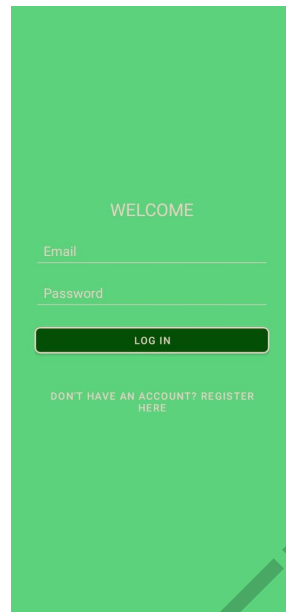
Walaupun sistem ini menggunakan sensor kos rendah yang memberikan bacaan tepat dalam kebanyakan keadaan, terdapat beberapa cabaran yang perlu diatasi untuk meningkatkan ketepatan bacaan sensor. Salah satu cabaran utama adalah keupayaan sensor untuk berfungsi dengan baik dalam cuaca ekstrem seperti hujan lebat atau suhu yang sangat tinggi. Dalam keadaan tersebut, ketepatan bacaan sensor berkurang, yang boleh menyebabkan data yang diperoleh tidak sepenuhnya tepat. Oleh itu, usaha perlu dilakukan untuk meningkatkan ketahanan dan kebolehpercayaan sensor, supaya ia dapat berfungsi dengan lebih baik di pelbagai persekitaran.

Selain itu, terdapat juga cabaran berkaitan dengan kestabilan rangkaian komunikasi di kawasan dengan sambungan internet yang tidak stabil. Walaupun sistem ini direka untuk berfungsi dalam keadaan yang berbeza-beza, ketidakstabilan sambungan internet boleh menyebabkan kesukaran dalam penghantaran data dan kelajuan pemprosesan data yang lebih lambat. Oleh itu, rangkaian komunikasi perlu dioptimumkan untuk memastikan kelancaran penghantaran data, terutama di kawasan yang padat dengan bangunan tinggi atau kawasan luar bandar yang terhad infrastruktur internet.

Salah satu aspek yang perlu diberi perhatian adalah reka bentuk antaramuka pengguna (UI). Walaupun antara muka semasa adalah mesra pengguna, beberapa pengguna mencadangkan agar susunan maklumat di halaman utama dipermudahkan supaya lebih mudah diakses dan difahami. Pengalaman pengguna yang baik akan meningkatkan tahap kepuasan pengguna dan keberkesanan sistem dalam menyediakan maklumat yang tepat pada masanya. Oleh itu, penambahbaikan dalam reka bentuk UI, terutamanya dalam visualisasi data dan penyusunan maklumat, adalah satu cadangan yang bernilai untuk meningkatkan kualiti aplikasi ini.

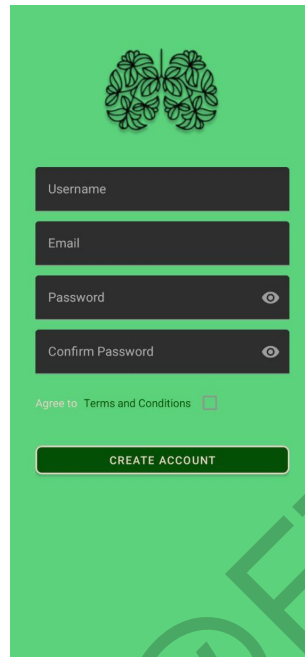
Projek ini juga menunjukkan potensi yang besar untuk diperluas ke kawasan yang lebih luas dan melibatkan lebih ramai pengguna. Dengan penambahbaikan dalam rangkaian komunikasi dan penggunaan sensor yang lebih canggih, sistem ini boleh dikembangkan untuk digunakan di kawasan yang lebih besar, termasuk kawasan luar bandar dan kawasan industri yang memerlukan pemantauan kualiti udara yang lebih intensif. Di samping itu, dengan mengintegrasikan sistem ramalan untuk meramalkan tahap IPU di masa depan, aplikasi ini dapat memberikan lebih banyak manfaat kepada pengguna, kerana mereka dapat merancang aktiviti mereka berdasarkan ramalan kualiti udara yang lebih tepat.

Secara keseluruhannya, projek SmartAirIQ telah berjaya membangunkan sebuah aplikasi pemantauan kualiti udara yang berfungsi dengan baik, menyediakan maklumat masa nyata mengenai kualiti udara dan memberikan cadangan langkah berjaga-jaga kepada pengguna. Walaupun terdapat beberapa cabaran teknikal, seperti ketepatan sensor dan kestabilan rangkaian, aplikasi ini memberikan solusi yang praktikal dan mudah digunakan untuk meningkatkan kesedaran masyarakat tentang kualiti udara dan kesihatan. Dengan penambahbaikan yang dicadangkan dalam reka bentuk aplikasi dan ketahanan sensor, sistem ini mempunyai potensi yang besar untuk digunakan dalam skala yang lebih besar dan memberi impak yang lebih luas terhadap kesihatan awam dan kelestarian alam sekitar.



Rajah 1 Antara Muka Log Masuk

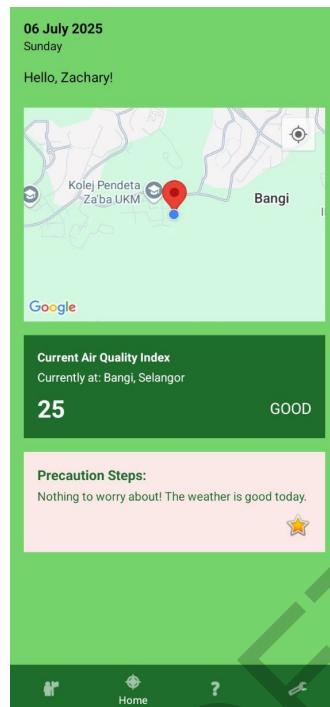
Fungsi log masuk dalam aplikasi **SMARTAIRIQ** adalah salah satu komponen kritikal yang memastikan hanya pengguna berdaftar dapat mengakses data pemantauan kualiti udara. Kod bagi fungsi ini, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.1, menggunakan **Firestore Authentication** untuk memverifikasi emel dan kata laluan pengguna. Data pengguna yang berdaftar, yang termasuk maklumat asas dan keizinan akses, disimpan dalam **Firestore** seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.2. Antara muka fungsi log masuk, yang dipaparkan dalam Rajah 4.3, membolehkan pengguna memasukkan emel dan kata laluan mereka untuk memulakan sesi pemantauan kualiti udara secara masa nyata



The image shows a registration form for the SMARTAIRIQ application. At the top, there is a green brain icon. Below it, there are four input fields: Username, Email, Password, and Confirm Password. The Password and Confirm Password fields have eye icons to toggle visibility. Below the input fields, there is a checkbox labeled 'Agree to Terms and Conditions'. At the bottom, there is a green button labeled 'CREATE ACCOUNT'.

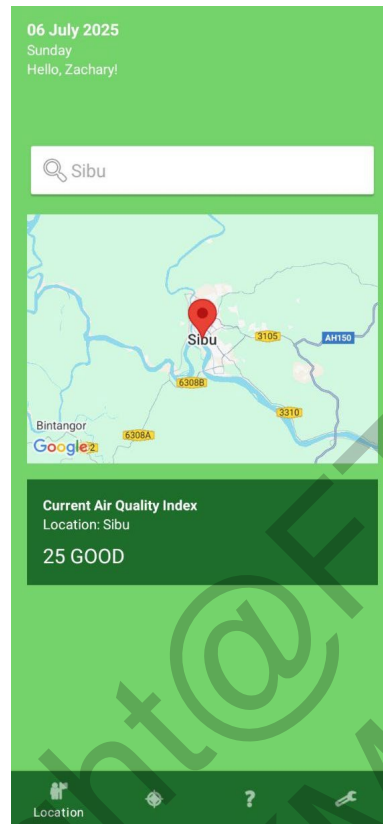
Rajah 2 Antara Muka Pendaftaran

Fungsi pendaftaran pengguna dalam aplikasi SMARTAIRIQ adalah salah satu bahagian penting yang memastikan pengguna baru boleh mendaftar dan mengakses aplikasi dengan selamat. Kod untuk pendaftaran pengguna dimulakan dengan pengesahan input daripada pengguna, seperti memeriksa panjang username, kesahan emel, serta kekuatan kata laluan yang harus memenuhi syarat tertentu. Jika semua maklumat yang diberikan adalah sah, aplikasi akan meneruskan proses pendaftaran dengan Firebase Authentication untuk membuat akaun baru menggunakan emel dan kata laluan yang diberikan. Setelah pendaftaran berjaya, data pengguna, termasuk nama pengguna dan emel, akan disimpan dalam Firestore untuk memastikan maklumat tersebut tersedia dan dapat diakses dengan mudah. Pendaftaran pengguna hanya akan diluluskan jika pengguna bersetuju dengan terma dan syarat yang ditetapkan, yang mana pengesahan dilakukan melalui CheckBox. Setelah berjaya, pengguna akan diarahkan ke halaman log masuk untuk memulakan sesi mereka dalam aplikasi.



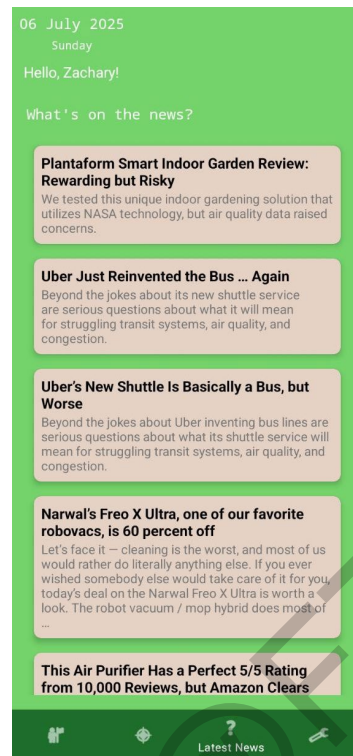
Rajah 3 Antara Muka Halaman Utama

Dalam Halaman Utama, pengguna akan disambut dengan antara muka utama yang memaparkan maklumat seperti tarikh semasa, hari, dan nama pengguna yang diambil daripada Firestore. Sistem akan memeriksa jika pengguna telah log masuk, dan jika belum, mereka akan diarahkan ke skrin log masuk. Aplikasi ini juga dilengkapi dengan Google Maps yang menunjukkan lokasi semasa pengguna melalui FusedLocationProviderClient. Peta ini membolehkan pengguna melihat kedudukan semasa mereka dan menambah penanda lokasi pada peta. Selain itu, Bottom Navigation menyediakan akses mudah ke pelbagai bahagian aplikasi, termasuk halaman NewsActivity, ProfileActivity, dan LocationActivity. Di bahagian bawah skrin, pengguna boleh menavigasi antara halaman utama, berita terkini, tetapan, dan lokasi mereka. Kod ini memastikan bahawa aplikasi menyelaraskan pengalaman pengguna secara efisien dengan integrasi lokasi masa nyata dan maklumat yang relevan.



Rajah 4 Antara Muka Halaman Lokasi

Dalam LocationActivity, pengguna dapat mencari lokasi melalui medan carian, dan aplikasi akan mengubah nama lokasi kepada koordinat latitud dan longitud. Apabila lokasi ditemui, peta akan dikemas kini untuk memaparkan lokasi baru dengan penanda pada peta. Pengguna juga dapat melihat kualiti udara bagi lokasi tersebut melalui data yang diambil menggunakan Retrofit dari API. Selain itu, aplikasi juga memaparkan tarikh dan hari semasa, serta nama pengguna yang diambil daripada Firestore untuk memberi maklumat yang lebih peribadi. Fungsi ini memastikan pengguna dapat melihat maklumat lokasi secara tepat serta memperoleh data kualiti udara terkini berdasarkan lokasi yang dicari. Jika pengguna tidak log masuk, mereka akan diarahkan ke halaman log masuk.



Rajah 5 Antara Muka Berita Semasa

Dalam Halaman Berita Semasa, pengguna akan melihat berita terkini mengenai topik yang dipilih, seperti kualiti udara, yang ditarik dari NewsAPI menggunakan Retrofit. Aktiviti ini menggunakan RecyclerView untuk memaparkan senarai artikel berita, dengan setiap artikel diambil melalui panggilan API. Di samping itu, maklumat seperti tarikh semasa, hari, dan nama pengguna juga dipaparkan pada antara muka. Nama pengguna diperoleh daripada Firestore berdasarkan ID pengguna yang telah log masuk melalui Firebase Authentication. Aplikasi juga dilengkapi dengan Bottom Navigation yang membolehkan pengguna menavigasi antara halaman utama, berita, lokasi, dan tetapan. Jika pengguna belum log masuk, mereka akan diarahkan ke halaman log masuk. Kod ini memastikan aplikasi menyajikan berita yang relevan kepada pengguna berdasarkan kata kunci yang dimasukkan, dengan pengemaskinian dinamik pada RecyclerView yang memaparkan artikel-artikel terkini.



Rajah 6 Antara Muka Navigasi Aplikasi

Dalam aplikasi SMARTAIRIQ, Bottom Navigation digunakan untuk memudahkan navigasi antara beberapa aktiviti utama seperti Halaman Berita Semasa, Halaman Utama, Halaman Lokasi, dan Halaman Pengguna. Pengguna boleh dengan mudah beralih antara halaman Berita, Halaman Utama, Lokasi, dan Tetapan melalui butang navigasi di bahagian bawah skrin. Halaman Berita Semasa dipaparkan secara laai, manakala pengguna boleh memilih untuk pergi ke Halaman Utama untuk melihat maklumat utama, Halaman Lokasi untuk melihat lokasi semasa dan kualiti udara, atau Halaman Pengguna untuk mengakses tetapan profil mereka. Fungsi ini memastikan pengalaman pengguna yang lancar dengan navigasi yang mudah dan cepat antara pelbagai bahagian aplikasi.

Cadangan Penambahbaikan

Bagi meningkatkan keberkesanan dan prestasi aplikasi SmartAirIQ pada masa hadapan, beberapa cadangan penambahbaikan adalah seperti berikut:

- i. Penambahbaikan Teknologi Sensor: Menggunakan sensor yang lebih tepat dan kos rendah untuk meningkatkan kebolehpercayaan data yang diperolehi. Ini akan membolehkan aplikasi memberikan bacaan kualiti udara yang lebih tepat dan konsisten.
- ii. Peningkatan Antara Muka Pengguna (UI/UX): Menambah ciri interaktif dan mudah alih untuk meningkatkan pengalaman pengguna, termasuk menyediakan graf dan visualisasi yang lebih menarik bagi menunjukkan data IPU.
- iii. Pengoptimuman Sistem Komunikasi: Menggunakan protokol komunikasi yang lebih cekap dan berkuasa rendah seperti LoRaWAN untuk meningkatkan kestabilan sambungan dalam kawasan dengan kesesakan rangkaian.
- iv. Sokongan Multiplatform: Membangunkan aplikasi untuk platform lain seperti iOS dan sistem desktop untuk membolehkan lebih ramai pengguna mengakses aplikasi ini tanpa had peranti.
- v. Pengujian Lebih Terperinci: Melakukan lebih banyak ujian melibatkan pelbagai senario kehidupan sebenar bagi memastikan kestabilan dan ketepatan aplikasi di pelbagai persekitaran.

KESIMPULAN

Secara keseluruhannya, projek SmartAirIQ telah mencapai objektif utama iaitu membangunkan aplikasi yang mampu memantau kualiti udara secara masa nyata dengan menggunakan teknologi IoT dan rangkaian sensor tanpa wayar. Walaupun menghadapi beberapa kekangan teknikal dan sumber, aplikasi ini berjaya menyediakan penyelesaian praktikal yang berguna kepada pengguna dalam memantau kualiti udara dan meningkatkan kesedaran terhadap pencemaran udara. Cadangan penambahbaikan dan pengembangan aplikasi ini pada masa hadapan akan membantu memastikan aplikasi ini lebih berkesan, mesra pengguna, dan boleh diakses oleh lebih ramai individu.

PENGHARGAAN

Bersyukur keatas Tuhan dengan keberkatan yang diberi saya mampu menyiapkan kajian ilmiah saya yang bertajuk “SmartAirIQ: Perisian Pemantauan Kualiti Udara Menggunakan Rangkaian Penderia Nirwayar Untuk Analisis Data Persekitaran Masa Nyata” pada masa yang diberikan.

Ucapan terima kasih tidak terhingga saya berikan kepada penyelia saya, Prof. Madya Yazrina Binti Yahya atas bantuan, bimbingan dan teguran yang berguna sepanjang tempoh pembangunan projek ini. Beliau juga telah banyak membantu saya dari segi nasihat dan tunjuk ajar dalam proses melaksanakan projek ini.

Tidak dilupakan juga ucapan terima kasih saya kepada keluarga dan rakan-rakan seperjuangan saya yang turut memberikan sokongan, semangat dan dorongan untuk saya meneruskan projek ini walaupun terdapat banyak cabaran dalam menyiapkan projek ini. Doa dan kata-kata semangat selalu mereka berikan kepada saya.

Akhir sekali, saya juga sangat berterima kasih kepada semua pihak yang turut membantu saya sama ada secara langsung atau secara tidak langsung dalam menyiapkan projek ini. Dengan sokongan dan bantuan yang diberikan, saya dapat menyelesaikan projek ini dengan jayanya.

RUJUKAN

- Barcelo, D. (2019). Current advances in air quality monitoring using sensors and wireless technology. *Environmental Science and Technology*, 53(5), 23-29.
- Chen, X., & Lee, Y. (2019). Distributed Sensor Networks for Air Pollution Monitoring: A Case Study in Urban Environments. *Environmental Sensors Journal*, 45(6), 78-95.
- Kumar, P., & Gupta, A. (2019). Real-time air quality monitoring using IoT and wireless sensor networks. *Journal of Environmental Monitoring Technology*, 22(4), 45-58.
- Kumar, R., & Sharma, S. (2024). Wireless sensor networks for real-time air quality monitoring: Design and implementation. *Journal of Smart Systems and Technologies*, 15(2), 77-92.
- Lopez, M., & Zhang, T. (2021). IoT-enabled real-time environmental monitoring systems: Advances and challenges. *Smart Sensor Networks Journal*, 10(4), 55-70.
- Malaysia Department of Environment. (2024). Air pollution sources in Malaysia. Retrieved from <https://www.doe.gov.my>
- Nguyen, P., & Tran, V. (2022). Machine learning approaches for predictive air pollution analysis: A case study in Southeast Asia. *AI for Environmental Sciences*, 12(1), 88-104.
- Park, M., et al. (2020). Enhancing Data Accuracy in Low-Cost Sensor Networks Using Calibration Algorithms. *Proceedings of the International Conference on IoT and Environmental Monitoring*.
- Ritchie, H., & Roser, M. (n.d.). Air pollution. *Our World in Data*. Retrieved from <https://ourworldindata.org/air-pollution>
- Smith, J., & Doe, A. (2018). Low-Cost Air Quality Monitoring Systems: A Study on PM2.5 Measurement Accuracy. *Journal of Environmental Monitoring*, 32(4), 123-140.
- Wang, Y., & Li, D. (2021). A comprehensive review on wireless sensor networks for environmental monitoring. *Journal of Environmental Management*, 292, 112752.
- World Health Organization (WHO). (n.d.). Air pollution. Retrieved from <https://www.who.int/topics/air-pollution/en/>
- Wu, F., & Zhang, X. (2022). IoT-based air pollution monitoring systems: Challenges and future directions. *Journal of Environmental Engineering*, 148(10), 04022075.
- Zhang, L., & Liu, J. (2023). Real-time air quality monitoring and prediction using machine learning models. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(7), 1-15.
- Zhou, J., Zhang, X., & Liu, Y. (2016). Wireless sensor networks for environmental monitoring. *International Journal of Wireless and Mobile Computing*, 14(3), 223-233.

Adrian Zachary bin Ian (A194914)
Prof. Madya Dr. Yazrina Binti Yahya
 Fakulti Teknologi & Sains Maklumat
 Universiti Kebangsaan Malaysia