

# PENGEMBANGAN *MOBILE APP* UNTUK TUNANETRA MEMANFAATKAN BLUETOOTH BEACON DI SLBN A BANDUNG DALAM BERNAVIGASI DENGAN METODE *PROTOTYPING*

1<sup>st</sup> Aksanardian Alberami  
School of Industrial Engineering  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
aksanardian@student.telkomuniversity.  
ac.id

line 1 Ahmad Musnansyah  
School of Industrial Engineering  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
ahmadanc@telkomuniversity.ac.id

line 1: Ilham Perdana  
School of Industrial Engineering  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
ilhamp@telkomuniversity.ac.id

Penyandang disabilitas netra masih menghadapi hambatan signifikan dalam bernavigasi di ruang publik, khususnya ketika tidak tersedia sistem penunjuk arah yang mudah diakses dan memberikan informasi yang jelas. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun aplikasi navigasi berbasis perangkat mobile yang memanfaatkan teknologi Bluetooth Low Energy (BLE) beacon. Aplikasi ini ditujukan untuk mendukung kemandirian tunanetra saat berpindah tempat di lingkungan sekitar. Proses pengembangan menggunakan metode *prototyping* dalam dua siklus iteratif. Siklus pertama difokuskan pada perancangan fitur utama seperti pemindaian beacon, navigasi berbasis suara, dan pemilihan tujuan. Siklus kedua dilakukan untuk menyempurnakan sistem dengan menambahkan fitur pengelolaan rute dan beacon oleh admin serta meningkatkan aspek aksesibilitas antarmuka berdasarkan umpan balik awal. Evaluasi sistem dilakukan melalui pengujian langsung bersama pengguna menggunakan dua instrumen, yaitu *System Usability Scale* (SUS) dan *Single Ease Question* (SEQ). Hasil menunjukkan adanya peningkatan skor SUS dari 65 menjadi 78 pada pengguna, sedangkan skor admin tetap berada pada kisaran tinggi, yakni di atas 85. Berdasarkan temuan tersebut, sistem dinilai bermanfaat, praktis digunakan, dan memiliki potensi besar untuk diterapkan secara lebih luas dalam mendukung mobilitas mandiri bagi tunanetra. Dengan pendekatan yang berorientasi pada inklusivitas, pengembangan ini menjadi salah satu langkah konkret dalam penerapan teknologi bantu berbasis BLE.

**Kata kunci**— bluetooth beacon; tunanetra; navigasi dalam ruangan; *prototyping*; aksesibilitas; *usability testing*

## I. PENDAHULUAN

Akses terhadap layanan dan fasilitas publik merupakan hak fundamental bagi seluruh warga negara, termasuk individu dengan disabilitas. Namun, realitas di lapangan menunjukkan bahwa tunanetra masih menghadapi berbagai kendala, terutama saat harus menavigasi ruang-ruang publik seperti sekolah, stasiun, atau fasilitas layanan kesehatan. Meskipun pemerintah telah menyediakan panduan fisik seperti tactile paving untuk menunjang mobilitas, sistem tersebut umumnya hanya memberikan arah dasar dan belum

memberikan informasi rinci seperti lokasi ruangan tertentu atau fasilitas penting lainnya.

Sebagaimana diamanatkan oleh Undang-Undang Nomor 8 Tahun 2016 Pasal 105, penyedia layanan publik berkewajiban untuk menyelenggarakan sarana dan prasarana yang inklusif dan ramah difabel, termasuk sistem navigasi yang dapat diakses secara mandiri [2]. Namun demikian, penerapan sistem navigasi mandiri khusus bagi tunanetra di Indonesia masih belum merata dan cenderung terbatas. Kondisi ini mempengaruhi tingkat kemandirian dan partisipasi aktif penyandang disabilitas dalam aktivitas sehari-hari di luar rumah.

Salah satu solusi teknologi yang memiliki prospek menjanjikan dalam konteks ini adalah penggunaan BLE beacon, sebuah perangkat pemancar sinyal berbasis Bluetooth dengan konsumsi daya rendah. Teknologi ini mampu mengirimkan informasi lokasi secara real-time ke perangkat seluler pengguna dalam jarak dekat [3]. Penggunaannya dalam sistem pelokalan dalam ruangan telah dibuktikan efektif dalam berbagai studi dan implementasi nyata, termasuk pada aplikasi NavCog yang digunakan di lingkungan bandara [4].

Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi mobile navigasi berbasis BLE beacon yang dapat digunakan oleh tunanetra dalam menavigasi area publik secara mandiri. Proses pengembangan dilakukan menggunakan metode *prototyping* secara iteratif, di mana pengguna dilibatkan dalam pengujian setiap tahap pengembangan untuk memastikan bahwa fitur-fitur yang dikembangkan benar-benar sesuai dengan kebutuhan dan kenyamanan mereka. Diharapkan, aplikasi ini dapat menjadi solusi navigasi yang bersifat inklusif, mudah digunakan, serta dapat direplikasi pada berbagai jenis fasilitas publik lainnya secara berkelanjutan.

## II. KAJIAN TEORI

Bab ini membahas konsep-konsep utama yang menjadi dasar dalam pengembangan sistem, mulai dari teknologi

mobile hingga instrumen evaluasi yang digunakan dalam penelitian. Seluruh bagian disusun dalam urutan alfabetis sesuai dengan struktur variabel dan pendekatan yang digunakan.

#### A. Mobile App

Aplikasi mobile merujuk pada perangkat lunak yang dirancang untuk dijalankan pada sistem operasi ponsel pintar, seperti Android dan iOS. Dalam konteks disabilitas, aplikasi ini tidak sekadar menjadi alat bantu fungsional, tetapi juga berperan penting dalam menunjang kemandirian, seperti navigasi, pembacaan dokumen, hingga komunikasi [12]. Penelitian oleh Wobbrock et al. (2011) mengungkapkan bahwa aplikasi yang dirancang dengan mempertimbangkan prinsip aksesibilitas—seperti keterbacaan teks tinggi, kontras visual yang memadai, dan navigasi berbasis suara—dapat memberikan dampak signifikan terhadap kenyamanan dan kepercayaan diri pengguna dengan disabilitas [13]. Sayangnya, di Indonesia, pengembangan aplikasi semacam ini masih belum optimal, terutama untuk skenario penggunaan di ruang publik. Padahal, dengan tersedianya teknologi BLE beacon dan framework lintas platform seperti Flutter, terbuka peluang besar untuk menghadirkan solusi yang inklusif dan terjangkau secara teknis maupun ekonomis.

#### B. Difabel Netra

Difabel netra adalah individu dengan hambatan penglihatan, baik secara total maupun sebagian. Dalam aktivitas sehari-hari, terutama dalam mobilitas, mereka sering kali bergantung pada sistem pandu fisik maupun bantuan orang lain [5]. Salah satu sarana yang umum digunakan untuk membantu navigasi adalah *tactile paving* atau guiding block. Meski keberadaannya cukup membantu dalam memberikan arah dasar, alat ini masih memiliki keterbatasan karena tidak menyediakan informasi kontekstual seperti posisi ruangan atau arah belokan tertentu [6]. Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi difabel netra dalam mengakses ruang publik secara mandiri dan efisien.

#### C. Bluetooth Beacon

BLE beacon adalah perangkat nirkabel berdaya rendah yang memancarkan sinyal secara berkala dalam bentuk *advertising packet*. Sinyal ini dapat diterima oleh perangkat mobile dalam jangkauan tertentu, memungkinkan sistem mengetahui posisi relatif pengguna [7]. Jika dibandingkan dengan Bluetooth klasik, BLE jauh lebih hemat daya dan sangat ideal untuk sistem pelokalan dalam ruangan. Dalam beberapa studi terdahulu, teknologi ini terbukti efektif dalam membantu mobilitas tunanetra, misalnya pada aplikasi *NavCog* dan *RightHear*, yang mengintegrasikan beacon untuk memberikan panduan arah berbasis lokasi [4][8].

#### D. Metode Prototyping

*Prototyping* merupakan pendekatan pengembangan sistem yang berfokus pada penciptaan produk awal yang dapat diuji coba, diperbaiki, dan disempurnakan melalui masukan langsung dari pengguna. Metode ini bersifat iteratif, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi yang ditujukan bagi pengguna dengan kebutuhan khusus seperti difabel [9]. Melalui metode ini, pengembang dapat mengadaptasi antarmuka dan fungsionalitas berdasarkan pengalaman aktual pengguna, sehingga sistem yang dihasilkan lebih relevan dan responsif terhadap kondisi lapangan.

#### E. Usability Testing

Usability testing adalah proses evaluasi yang dilakukan untuk mengukur seberapa efektif dan efisien suatu sistem

digunakan dalam menyelesaikan tugas tertentu. Proses ini dilakukan dengan mengamati langsung interaksi pengguna terhadap sistem untuk mengidentifikasi hambatan, kemudahan, dan kepuasan selama penggunaan [14]. Dalam pengembangan teknologi bantu bagi tunanetra, pengujian ini menjadi sangat krusial, karena sistem perlu bekerja secara intuitif meskipun digunakan tanpa bantuan visual.

#### F. System Usability Scale (SUS)

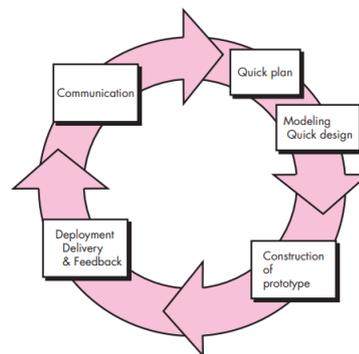
*System Usability Scale* (SUS) merupakan salah satu instrumen evaluasi yang paling banyak digunakan dalam mengukur persepsi kegunaan sistem secara keseluruhan. Instrumen ini terdiri dari 10 butir pernyataan yang dinilai menggunakan skala Likert 1 hingga 5 [10]. Hasil pengukuran SUS dapat diterjemahkan ke dalam nilai skala 0–100, di mana skor di atas 70 umumnya dianggap menunjukkan tingkat kegunaan yang baik [15]. Meskipun sederhana, SUS telah terbukti mampu memberikan gambaran kuantitatif yang valid mengenai persepsi pengguna terhadap suatu sistem.

#### G. Single Ease Question (SEQ)

*Single Ease Question* (SEQ) merupakan alat ukur yang digunakan untuk menilai kemudahan pengguna dalam menyelesaikan satu tugas atau aksi tertentu. Biasanya, pertanyaan SEQ diberikan segera setelah pengguna menyelesaikan suatu skenario, seperti login atau memilih rute, dan dinilai menggunakan skala Likert 1 hingga 7 [11]. Karena formatnya yang ringkas dan langsung, SEQ sangat cocok digunakan dalam pengujian berbasis skenario, terutama ketika sistem diuji oleh pengguna dengan kebutuhan aksesibilitas khusus.

### III. METODE

Penelitian ini menerapkan pendekatan *prototyping*, sebuah metode pengembangan sistem yang bersifat iteratif dan menempatkan pengguna sebagai bagian integral dari proses evaluasi dan penyempurnaan aplikasi. Pendekatan ini dinilai paling relevan untuk sistem bantu navigasi bagi tunanetra, karena memungkinkan penyesuaian desain dan fungsionalitas berdasarkan pengalaman dan kebutuhan nyata dari pengguna dengan hambatan visual.



Gambar III-1  
Metode Prototyping.

Pada Gambar III-1, Tahap awal dimulai dengan proses eksplorasi kebutuhan melalui observasi lapangan dan wawancara bersama siswa tunanetra serta tenaga pengajar di SLBN A Bandung. Tujuan dari tahap ini adalah untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai tantangan mobilitas yang dihadapi pengguna dalam aktivitas sehari-hari di lingkungan sekolah. Hasil dari eksplorasi ini menjadi dasar dalam merancang arsitektur sistem awal, yang

divisualisasikan melalui pemodelan menggunakan diagram UML, termasuk *use case diagram*, *activity diagram*, dan *sequence diagram*. Diagram ini membantu memetakan skenario penggunaan secara terstruktur dan logis.

Dalam pengembangan aplikasinya, digunakan *framework* Flutter yang kompatibel dengan sistem operasi Android, serta mendukung pembuatan antarmuka yang responsif dan aksesibel. Untuk sisi *backend*, sistem memanfaatkan Firebase sebagai layanan autentikasi pengguna, penyimpanan data beacon, dan pengelolaan informasi rute. Teknologi Bluetooth Low Energy (BLE) beacon digunakan sebagai pemancar lokasi, yang sinyalnya diterima oleh aplikasi dan diolah untuk memberikan informasi navigasi berupa arahan suara.

Pengembangan dilakukan melalui dua siklus iteratif. Iterasi pertama berfokus pada fitur dasar, seperti login, registrasi akun, deteksi beacon, dan pemberian instruksi arah berbasis suara. Prototipe awal kemudian diuji oleh lima pengguna tunanetra dan tiga admin. Umpan balik yang dikumpulkan pada fase ini digunakan sebagai dasar penyempurnaan sistem pada iterasi kedua. Perbaikan dilakukan pada beberapa aspek, seperti penyederhanaan kalimat instruksi suara, perbaikan tampilan antarmuka agar lebih intuitif, serta penambahan fitur administrasi untuk mengelola beacon dan rute secara langsung.

Evaluasi sistem dilakukan dengan pendekatan kuantitatif menggunakan dua instrumen utama, SUS untuk mengukur persepsi kemudahan sistem secara keseluruhan, dan SEQ untuk menilai kemudahan pengguna dalam menyelesaikan setiap skenario tugas yang diberikan. Kombinasi kedua alat ukur ini memberikan gambaran yang menyeluruh, tidak hanya dari segi teknis, tetapi juga dari perspektif pengalaman pengguna secara langsung, yang sangat penting dalam pengembangan aplikasi untuk kelompok pengguna dengan kebutuhan aksesibilitas khusus.

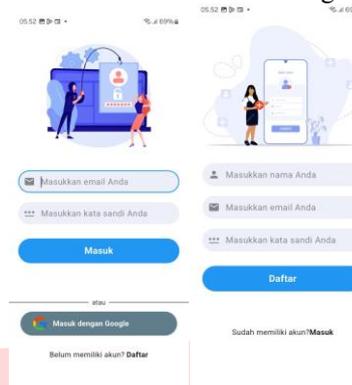
#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi navigasi berbasis teknologi Bluetooth Low Energy (BLE) beacon yang dikembangkan dalam studi ini telah berhasil diimplementasikan serta diuji langsung di lingkungan Sekolah Luar Biasa Negeri (SLBN) A Bandung. Proses pengembangan dilakukan melalui dua siklus pengujian yang bersifat iteratif, di mana pengguna akhir, yakni siswa tunanetra, dan pihak pengelola (admin) terlibat aktif dalam memberikan umpan balik terhadap fungsionalitas dan kenyamanan sistem..

Pada iterasi pertama, fitur-fitur utama seperti login, deteksi beacon, dan instruksi arah berbasis suara berhasil dijalankan sesuai tujuan. Namun demikian, pengujian juga mengungkap sejumlah aspek yang masih perlu ditingkatkan. Salah satunya adalah panjangnya narasi suara yang disampaikan melalui screen reader. Kalimat-kalimat arahan yang terlalu panjang membuat pengguna kesulitan dalam memahami informasi secara cepat dan efisien. Menyikapi hal ini, pada iterasi kedua, konten arahan disederhanakan menjadi frasa-frasa pendek seperti “20 meter ke ruang guru” atau “belok kiri menuju toilet,” sehingga lebih mudah diproses secara auditori oleh pengguna.

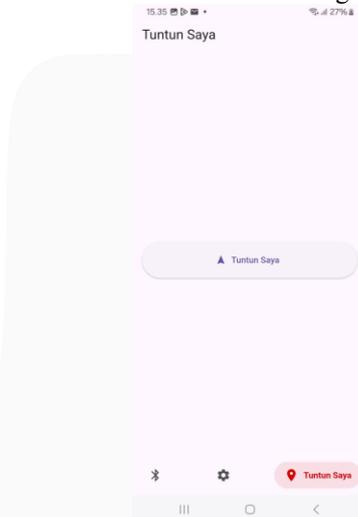
Perhatian khusus juga diberikan pada desain antarmuka aplikasi. Gambar IV-1 menampilkan halaman awal berupa tampilan login dan registrasi yang dirancang dengan prinsip aksesibilitas, seperti penggunaan warna kontras tinggi dan

ukuran teks yang besar. Tombol-tombol penting telah dilengkapi dengan label semantik agar dapat dikenali oleh pembaca layar dan memudahkan pengguna tunanetra maupun low vision dalam melakukan navigasi.



Gambar IV-1  
Tampilan login dan register

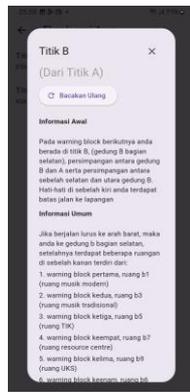
Setelah login berhasil, pengguna diarahkan ke halaman utama yang menawarkan dua fitur utama: eksplorasi beacon dan navigasi menuju titik tujuan. Halaman “Tuntun Saya” akan secara otomatis menampilkan informasi dari beacon terdekat dalam bentuk teks yang langsung dibacakan oleh screen reader. Antarmuka halaman ini didesain sederhana mungkin untuk meminimalisir beban kognitif pengguna.



Gambar IV-2  
Tampilan Halaman Tuntun Saya

Masing-masing beacon yang ditempatkan dalam area sekolah berisi tiga jenis informasi: informasi umum, informasi awal, dan informasi khusus. Seluruh konten tersebut dimasukkan melalui panel admin agar sistem hanya menyampaikan informasi yang sesuai dengan titik asal pengguna. Hal ini bertujuan menciptakan alur verbal yang sistematis dan mudah dipahami.

Pengujian awal juga menunjukkan bahwa deskripsi yang terlalu panjang dan kompleks dapat membingungkan pengguna saat dibacakan secara berurutan. Oleh karena itu, pada versi yang diperbarui, informasi dipotong menjadi frasa ringkas namun tetap informatif, seperti “30 meter ke ruang guru” atau “belok kiri menuju ruang administrasi.” Salah satu tampilan informasi tersebut ditunjukkan pada Gambar IV-3.



Gambar IV-3

Tampilan Informasi Deskriptif yang Disederhanakan

Evaluasi dilakukan melalui pengujian langsung terhadap pengguna dengan menggunakan dua metode utama, SUS dan SEQ. Tujuan dari evaluasi ini adalah untuk menilai sejauh mana aplikasi dapat digunakan secara praktis, nyaman, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Pada iterasi pertama, lima pengguna tunanetra diuji dalam empat skenario utama, yaitu login, registrasi akun, membaca panduan penggunaan, dan eksplorasi beacon. Hasil SEQ menunjukkan bahwa aplikasi dinilai cukup mudah digunakan, dengan skor rata-rata berkisar antara 5,8 hingga 6,8 dari skala maksimum 7. Login menjadi skenario dengan skor tertinggi, sedangkan eksplorasi beacon mendapat skor paling rendah karena masih belum optimal dari segi pengalaman pengguna. Temuan ini terekam dalam Tabel IV-1.

Tabel IV-1

Hasil Kuesioner SEQ Pengguna Iterasi Pertama

Tester	Skenario			
	1	2	3	4
Peng uji 1	7	7	7	6
Peng uji 2	6	7	6	6
Peng uji 3	6	6	6	6
Peng uji 4	7	7	5	6
Peng uji 5	7	7	6	5
Rata - rata	6,6	6,8	6,7	5,8

Admin juga turut diuji dalam dua skenario, yaitu proses login dan pengelolaan beacon. Hasilnya menunjukkan kemudahan penggunaan yang tinggi, dengan rata-rata skor SEQ sebesar 7 untuk login dan 6,67 untuk pengelolaan data. Rincian nilai dapat dilihat pada Tabel IV-2.

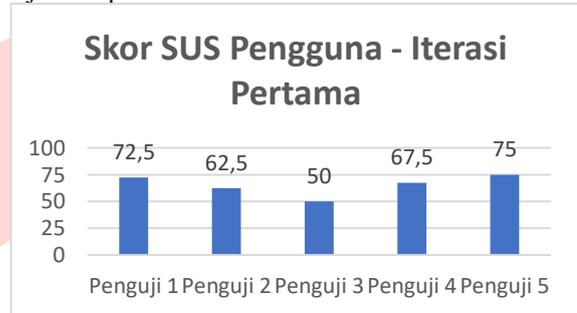
Tabel IV-2

Hasil Kuesioner SEQ Admin Iterasi Pertama

Tester	Skenario	
	1	2
Peng uji 1	7	7
Peng uji 2	7	7

Tester	Skenario	
	1	2
Peng uji 3	7	6
Rata - rata	7	6,67

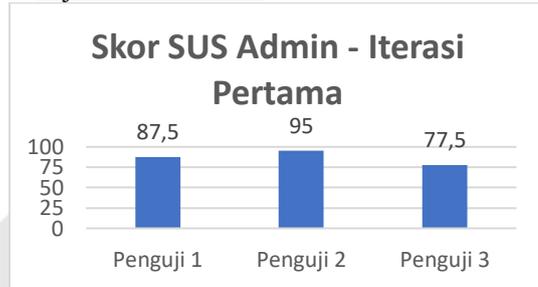
Instrumen SUS juga digunakan untuk menilai persepsi kegunaan sistem secara keseluruhan. Pengguna tunanetra memberikan skor rata-rata sebesar 65. Nilai ini berada dalam kategori “Marginal High” dan dinilai “OK” menurut standar interpretasi SUS. Meski dapat diterima, masih terdapat ruang untuk penyempurnaan lebih lanjut. Visualisasi skor pengguna ditunjukkan pada Gambar IV-4.



Gambar IV-4

Hasil SUS Score per Peng uji Pengguna Iterasi Pertama

Sebaliknya, admin memberikan skor rata-rata 86,67 yang termasuk kategori “Excellent” dan berada dalam kuartil tertinggi. Ini menunjukkan bahwa dari sisi pengelolaan, sistem dianggap sangat baik dan mudah digunakan. Gambar IV-5 menunjukkan visualisasi skor tersebut.



Gambar IV-5

Hasil SUS score per peng uji admin iterasi pertama

Pada iterasi kedua, sejumlah perbaikan diimplementasikan, termasuk pemendekan narasi suara, peningkatan aksesibilitas antarmuka, dan penambahan label semantik. Pengujian SEQ kembali dilakukan, kali ini melibatkan lima skenario. Hasil menunjukkan adanya peningkatan skor yang kini berkisar antara 6,4 hingga 6,8. Seluruh skenario dinilai berada dalam kategori “mudah”. Hasil lengkap ditunjukkan pada Tabel IV-3.

Tabel IV-3

Hasil Kuesioner SEQ Pengguna Iterasi Kedua

Tester	Skenario				
	1	2	3	4	5
Peng uji 1	7	7	7	7	6
Peng uji 2	7	7	6	6	6

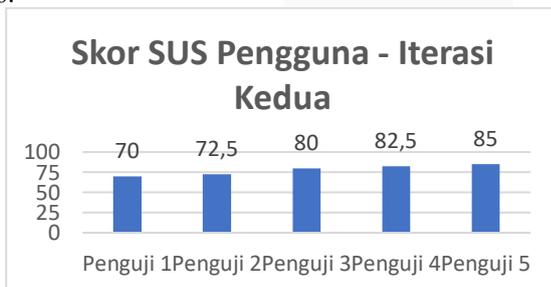
Tester	Skenario				
	1	2	3	4	5
Penguji 3	6	6	7	7	6
Penguji 4	7	7	7	7	7
Penguji 5	7	7	7	6	7
Rata - rata	6,8	6,8	6,8	6,6	6,4

Admin juga menunjukkan hasil yang tetap positif. Skenario login dan pemindaian ulang beacon mendapatkan nilai tertinggi, sementara kelola beacon sedikit lebih rendah (6,3). Meskipun begitu, skor rata-rata tetap menunjukkan bahwa sistem mudah digunakan. Hasil lengkap ditunjukkan pada Tabel IV-4.

Tabel IV-4  
Hasil Kuesioner SEQ Admin Iterasi Kedua

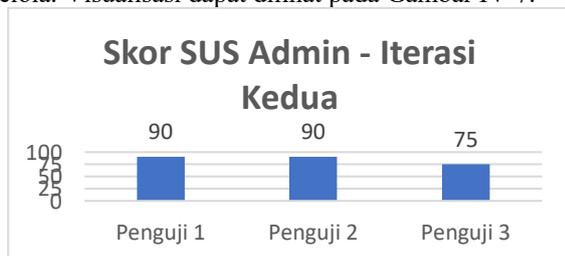
Tester	Skenario			
	1	2	3	4
Penguji 1	7	7	7	7
Penguji 2	7	6	7	7
Penguji 3	7	7	7	5
Rata - rata	7	6,67	7	6,3

Dari pengukuran SUS, pengguna tunanetra memberikan skor rata-rata sebesar 78—menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan sebelumnya. Nilai ini termasuk dalam kategori “Good” dan menunjukkan tingkat kepuasan yang lebih tinggi. Grafik hasil ini ditampilkan dalam Gambar IV-6.



Gambar IV-6  
Hasil SUS score per pengujian pengguna iterasi kedua

Sementara itu, skor admin tetap tinggi dengan rata-rata 85. Meski sedikit menurun dibandingkan iterasi pertama, nilainya tetap berada dalam kategori “Excellent”, mencerminkan stabilitas dalam kualitas sistem dari sisi pengelola. Visualisasi dapat dilihat pada Gambar IV-7.



Gambar IV-7  
Hasil SUS Score per Pengujian Admin Iterasi Kedua

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem yang dikembangkan terbukti mampu memenuhi standar kegunaan baik dari sisi pengguna tunanetra maupun admin. Pendekatan prototyping yang melibatkan pengguna dalam tiap siklus terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas sistem. Ke depannya, sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan fitur seperti navigasi berbasis arah, peta suara interaktif, serta integrasi sensor tambahan guna meningkatkan akurasi pelokalan di lingkungan yang lebih kompleks dan dinamis.

## V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sebuah aplikasi mobile berbasis teknologi Bluetooth Low Energy (BLE) beacon yang ditujukan sebagai alat bantu navigasi bagi penyandang tunanetra, khususnya di lingkungan Sekolah Luar Biasa Negeri (SLBN) A Bandung. Proses pengembangan mengikuti pendekatan *prototyping* dalam dua siklus iteratif, yang memungkinkan penyempurnaan dilakukan secara langsung berdasarkan masukan dari pengguna aktual. Fokus utama dari pengembangan ini adalah memastikan kemudahan penggunaan dan aksesibilitas yang sesuai dengan kebutuhan pengguna dengan keterbatasan penglihatan.

Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam persepsi kegunaan sistem. Berdasarkan pengukuran menggunakan SUS, skor pengguna meningkat dari 65 pada iterasi pertama menjadi 78 pada iterasi kedua. Sementara itu, skor admin tetap tinggi dan konsisten di atas 85, menandakan bahwa fitur pengelolaan sistem juga dianggap mudah digunakan. Temuan ini diperkuat oleh hasil SEQ yang menunjukkan tren positif di semua skenario pengujian, baik untuk pengguna akhir maupun admin.

Perbaikan teknis yang dilakukan pada iterasi kedua, seperti penyederhanaan instruksi suara, peningkatan antarmuka, dan integrasi penuh dengan teknologi pembaca layar, terbukti berdampak langsung terhadap peningkatan kenyamanan dan efisiensi penggunaan. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan desain inklusif yang berbasis pada umpan balik nyata dari pengguna mampu menghasilkan sistem yang lebih responsif dan adaptif.

Secara keseluruhan, aplikasi ini telah berhasil menjawab sebagian dari tantangan aksesibilitas dan kemandirian difabel netra dalam mengakses ruang publik. Dengan menggunakan teknologi BLE yang hemat energi dan kompatibel dengan perangkat seluler, sistem tidak hanya praktis, tetapi juga mudah diimplementasikan dalam skala luas. Di sisi lain, keberadaan fitur kelola beacon dan rute memberikan fleksibilitas bagi admin untuk menyesuaikan konten navigasi sesuai konteks lingkungan.

Sebagai arah pengembangan di masa mendatang, aplikasi ini berpotensi diperluas dengan fitur tambahan seperti navigasi berbasis arah mata angin, umpan balik berupa getaran, dan visualisasi rute suara yang lebih interaktif. Implementasi lebih lanjut juga dapat diarahkan ke area publik lainnya seperti stasiun, terminal, museum, atau rumah sakit. Selain itu, kolaborasi dengan lembaga pendidikan inklusif dan instansi pemerintah menjadi langkah strategis untuk meningkatkan dampak dan kesinambungan dari solusi ini dalam jangka panjang.

## REFERENSI

[1] WHO, *World Report on Disability*, World Health Organization, 2011.

[2] Republik Indonesia, *Undang-Undang No. 8 Tahun 2016 tentang Penyandang Disabilitas*, 2016.

[3] Faragher, G., & Harle, R., "Location Fingerprinting With Bluetooth Low Energy Beacons," *IEEE Journal*, vol. 13(10), 2015.

[4] Guerreiro, H., Ahmetovic, D., Kitani, K. M., & Asakawa, C., "NavCog: A Navigation App for the Blind Based on BLE Beacons," *ASSETS*, 2019.

[5] Brabyn, A., "Assistive Technology for the Visually Impaired," in *Springer Handbook of Assistive Technology*, Springer, 2009.

[6] Astuti, I., "Aksesibilitas Fasilitas Publik Bagi Tunanetra," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 5(2), 2020.

[7] Gomez, K., et al., "A Review on BLE-based Indoor Positioning Systems," *Sensors*, vol. 21(4), 2021.

[8] RightHear, "Accessibility Technology for the Visually Impaired," [Online]. Available: <https://right-hear.com>

[9] Pressman, R. S., *Software Engineering: A Practitioner's Approach*, 8th ed., McGraw-Hill, 2014.

[10] Brooke, J., "SUS: A Quick and Dirty Usability Scale," in *Usability Evaluation in Industry*, 1996.

[11] Sauro, J., "Measuring Usability with the Single Ease Question (SEQ)," *MeasuringU*, 2012.

[12] Yuan, L., "Mobile Applications for the Visually Impaired: A Survey," *International Journal of Computer Applications*, vol. 180(47), 2018.

[13] Wobbrock, J. O., Morris, M. R., & Wilson, A. D., "User-defined gestures for surface computing," in *Proc. of CHI*, 2009, pp. 1083–1092.

[14] Nielsen, J., *Usability Engineering*, Morgan Kaufmann, 1994.

[15] Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J., "Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale," *Journal of Usability Studies*, vol. 4(3), pp. 114–123, 2009.