BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Sebelumnya

Penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan topik ini dapat dikelompokkan ke dalam tiga klaster: (1) analisis data seluler berbasis BTS/Cell ID untuk investigasi, (2) pengembangan sistem berbasis web menggunakan metode DSR, dan (3) evaluasi learnability menggunakan metode Cognitive Walkthrough.

Jovanovic & Cummings [4] melakukan penelitian terhadap metode-metode interpretasi Cell ID yang digunakan sebagai bahan bukti dalam proses peradilan kriminal. Penelitian tersebut membandingkan pendekatan estimasi lokasi yang valid berdasarkan prinsip rekayasa frekuensi radio dengan pendekatan yang tidak memiliki dasar ilmiah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak semua metode geolokasi berbasis Cell ID yang dipraktikkan di lingkungan peradilan didasarkan pada prinsip teknis yang benar, sehingga diperlukan standar interpretasi yang ketat agar estimasi lokasi yang dihasilkan dari data Cell ID dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Okmi dkk. [1] melakukan tinjauan literatur sistematis terhadap studi-studi pemanfaatan data ponsel dalam aplikasi kriminologi yang dipublikasikan dalam rentang 2014–2022. Penelitian tersebut menyusun taksonomi penggunaan data seluler berdasarkan tipe data (CDR tingkat menara, CDR individual, dan CDR agregat) serta perspektif analisis yang digunakan. Hasil tinjauan menunjukkan pertumbuhan yang signifikan dalam pemanfaatan data berbasis tower level termasuk Cell ID untuk menganalisis pola pergerakan, mendeteksi aktivitas mencurigakan, dan merekonstruksi kronologi kejadian. Penelitian ini menegaskan bahwa kemampuan mengolah data seluler berbasis BTS merupakan kebutuhan yang semakin penting dalam investigasi kriminal modern. Riadi dkk. [9] membandingkan dan mengevaluasi sejumlah tools forensik mobile untuk investigasi kejahatan digital, menegaskan pentingnya ketersediaan alat bantu analisis yang andal

dalam proses investigasi. Ellingson [6] mengembangkan metode estimasi lokasi pengguna seluler dari Call Detail Record yang menghasilkan region of plausible locations dengan aggregate error rate 1,3% pada 16 sektor LTE 700 MHz, menegaskan bahwa CDR hanya memungkinkan estimasi area kemungkinan lokasi, bukan penentuan titik presisi.

Rumini & Sulistiyani [10] menerapkan kerangka Design Science Research (DSR) pada konteks pengembangan sistem informasi pengelolaan layanan kelembagaan berbasis web. Penelitian tersebut menjalankan enam tahapan DSR, identifikasi masalah, definisi tujuan solusi, perancangan dan pengembangan, demonstrasi, evaluasi, dan komunikasi secara sistematis untuk menghasilkan artefak sistem yang siap digunakan oleh organisasi mitra. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerangka DSR terbukti sesuai untuk pengembangan sistem informasi berbasis web karena memungkinkan peneliti tidak hanya menghasilkan artefak teknologi yang fungsional, tetapi juga memvalidasi kontribusi ilmiah melalui proses evaluasi yang terstruktur. Noviyanti dkk. [11] menerapkan Design Science Research Methodology dalam pengembangan sistem informasi berbasis web, menunjukkan bahwa DSR efektif sebagai kerangka pengembangan artefak sistem informasi pada domain yang berbeda.

Shintia dkk. [12] mengevaluasi usability sebuah aplikasi pelayanan ritel menggunakan kombinasi metode Cognitive Walkthrough (CW) dan System Usability Scale (SUS). Penelitian tersebut menyusun skenario tugas yang ditelusuri oleh responden, kemudian menganalisis hasil penelusuran berdasarkan kerangka empat pertanyaan evaluatif CW. Hasil evaluasi menunjukkan completion rate sebesar 94% dengan rata-rata waktu penyelesaian tugas 5,155 detik, sementara skor SUS sebesar 61,113 menempatkan aplikasi tersebut pada kategori acceptable. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode Cognitive Walkthrough efektif digunakan untuk mengevaluasi usability aplikasi layanan publik dengan pengguna representatif.

Hidayah & Malik [13] melakukan pengujian usability sebuah situs web kelembagaan dengan menerapkan metode Cognitive Walkthrough.

Penelitian tersebut menyusun skenario tugas terstruktur yang ditelusuri oleh pengguna representatif untuk mengevaluasi kemudahan penggunaan antarmuka sistem pada setiap langkah alur kerja. Hasil penelitian menghasilkan tingkat keberhasilan tugas yang bervariasi antar skenario beserta daftar permasalahan usability yang teridentifikasi dan rekomendasi perbaikan spesifik untuk setiap permasalahan. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode CW sangat sesuai diterapkan pada sistem berbasis web yang memiliki alur penggunaan khusus dan pengguna dengan karakteristik tertentu, sebagaimana konteks sistem analisis investigasi yang memiliki pengguna spesifik dari kalangan penegak hukum. Farzandipour dkk. [14] menerapkan Cognitive Walkthrough untuk mengevaluasi usability sistem informasi keperawatan sebagai sistem profesional terspesialisasi dengan lima evaluator berbasis skenario tugas, menegaskan kesesuaian Cognitive Walkthrough untuk mengevaluasi learnability sistem pada populasi pengguna ahli yang terbatas, sebagaimana konteks penelitian ini.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian tersebut, dapat diidentifikasi posisi penelitian ini di antara studi yang telah ada. Klaster pertama membuktikan bahwa analisis Cell ID berbasis CDR merupakan kebutuhan nyata dalam investigasi digital, namun tools yang digunakan masih bersifat terpisah dan tidak terintegrasi. Klaster kedua menunjukkan bahwa DSR merupakan metodologi yang tepat dan terbukti efektif untuk pengembangan sistem informasi berbasis web. Klaster ketiga membuktikan bahwa Cognitive Walkthrough merupakan metode evaluasi yang sesuai untuk sistem dengan pengguna khusus dan alur penggunaan tertentu. Penelitian ini mengisi celah yang ada dengan mengintegrasikan ketiga klaster tersebut, yaitu mengembangkan sistem berbasis web yang mengintegrasikan proses analisis Cell ID untuk kegiatan investigasi digital menggunakan DSR sebagai kerangka metodologi, kemudian mengevaluasi *usability* sistem tersebut menggunakan Cognitive Walkthrough.

Ringkasan posisi penelitian ini di antara studi-studi sebelumnya disajikan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Studi Sebelumnya

No	Peneliti	Tahun	Metode	Tujuan	Hasil Penelitian
1	Jovanovic & Cummings [4]	2022	Analisis teknis RF Engineering	Menganalisis validitas metode geolokasi berbasis CDR/Cell ID	Tidak semua metode CDR-geolokasi valid secara ilmiah
2	Okmi dkk. [1]	2023	Systematic Literature Review	Mengkaji secara sistematis pemanfaatan data ponsel untuk investigasi kriminal dan pencegahan kejahatan	Data berbasis BTS efektif untuk melacak pergerakan, mendeteksi aktivitas mencurigakan, dan rekonstruksi kronologi kejadian
3	Ellingson [6]	2025	Region of Plausible Locations (RPL) + *drive testing*	Mengembangkan metode estimasi lokasi pengguna seluler dari CDR berdasarkan parameter sektor antena BTS	Aggregate *error rate* 1,3% pada evaluasi 16 sektor jaringan LTE 700 MHz; estimasi lokasi dapat dilakukan dari data CDR secara terstandar
4	Rumini & Sulistiyani [10]	2025	Design Science Research (DSR)	Menerapkan DSR untuk mengembangkan sistem informasi pengelolaan layanan kelembagaan berbasis web	DSR efektif sebagai kerangka pengembangan sistem informasi berbasis web dengan validasi kontribusi ilmiah terstruktur
5	Shintia dkk. [12]	2023	Cognitive Walkthrough + SUS	Mengevaluasi *usability* sebuah aplikasi pelayanan ritel dari sisi	CW: *completion rate* 94%, rata-rata waktu penyelesaian

No	Peneliti	Tahun	Metode	Tujuan	Hasil Penelitian
				kemudahan penggunaan dan kepuasan pengguna	5,155 detik; SUS: skor 61,113 (kategori acceptable)
6	Hidayah & Malik [13]	2023	Cognitive Walkthrough	Pengujian *usability* situs web menggunakan Cognitive Walkthrough	Daftar masalah *usability* + rekomendasi perbaikan

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Investigasi Digital

Investigasi digital merupakan proses sistematis yang mencakup identifikasi, pengumpulan, pengamanan, analisis, dan penyajian bukti-bukti digital untuk mendukung proses penyelidikan hukum maupun administratif. Berbeda dengan investigasi konvensional yang bekerja pada bukti fisik, investigasi digital bekerja pada artefak digital yang bersifat mudah berubah, rentan terhadap manipulasi, dan memerlukan penanganan khusus agar integritas data tetap terjaga sepanjang proses analisis berlangsung [7]. Dalam perkembangannya, cakupan investigasi digital semakin meluas, tidak hanya mencakup perangkat komputer konvensional, tetapi juga mencakup berbagai sumber data digital lainnya termasuk data yang bersumber dari jaringan komunikasi seluler, platform digital, dan infrastruktur teknologi informasi lainnya [7].

Salah satu prinsip mendasar dalam investigasi digital adalah *chain of custody* atau rantai bukti, yaitu prosedur pencatatan dan dokumentasi yang memastikan setiap bukti digital dapat ditelusuri kembali secara kronologis mulai dari tahap pengumpulan hingga penyajian di hadapan proses hukum [7]. Prinsip ini menjadi sangat penting karena bukti digital yang tidak terdokumentasi dengan baik dapat dipermasalahkan keabsahannya dan berisiko ditolak dalam proses pembuktian [8]. Selain itu, fragmentasi data dan proses analisis yang tersebar di berbagai tools yang tidak terintegrasi menjadi tantangan nyata dalam investigasi digital modern, di mana kondisi tersebut dapat menyebabkan proses investigasi menjadi kurang terstruktur dan reproduksibilitas hasil analisis sulit dijamin [7].

Dalam konteks investigasi berbasis data seluler, Jones & Brookman [3] menunjukkan bahwa penggunaan data jaringan seluler dalam investigasi nyata menghadapi sejumlah tantangan tersendiri, termasuk kompleksitas interpretasi data dan kebutuhan akan metode analisis yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Data yang diperoleh dari jaringan seluler, khususnya yang memuat informasi lokasi perangkat berupa Cell ID,

tidak dapat langsung digunakan sebagai bukti tanpa melalui proses interpretasi yang terstandar. Oleh karena itu, sistem yang digunakan dalam mendukung investigasi digital harus dirancang tidak hanya untuk mengolah data secara teknis, tetapi juga untuk mendukung dokumentasi proses analisis secara terstruktur sehingga setiap tahapan analisis dapat diaudit dan dipertanggungjawabkan sesuai dengan prinsip chain of custody [7].

2.2.2 Jaringan Seluler dan Base Transceiver Station (BTS)

Jaringan seluler adalah infrastruktur komunikasi nirkabel yang membagi wilayah layanan menjadi unit-unit geografis kecil yang disebut sel, di mana setiap sel dikelola oleh sebuah Base Transceiver Station (BTS). BTS berfungsi sebagai titik penghubung antara perangkat seluler pengguna dengan jaringan inti operator, bertugas memancarkan dan menerima sinyal radio dalam cakupan wilayahnya. Setiap perangkat yang aktif dalam jaringan akan terhubung secara otomatis ke BTS dengan sinyal terkuat dan merekam sejumlah parameter teknis identitas jaringan yang membentuk rekam jejak koneksi perangkat tersebut [2].

Parameter teknis jaringan seluler yang relevan dalam konteks analisis lokasi terdiri atas empat komponen utama yang membentuk identitas sel secara global. Pertama, Mobile Country Code (MCC) merupakan kode tiga digit yang ditetapkan oleh International Telecommunication Union (ITU) untuk mengidentifikasi negara asal jaringan. Kedua, Mobile Network Code (MNC) adalah kode dua hingga tiga digit yang mengidentifikasi operator jaringan tertentu di dalam suatu negara, ditetapkan oleh otoritas telekomunikasi nasional masing-masing negara. Ketiga, Location Area Code (LAC) merepresentasikan area cakupan layanan dalam suatu wilayah tertentu yang merupakan pengelompokan sejumlah sel dalam area geografis yang sama untuk mengoptimalkan proses signalling. Keempat, Cell ID (CID) merupakan pengenal yang membedakan setiap sel dalam satu area LAC, di mana satu BTS yang memiliki beberapa sektor antena akan memiliki beberapa CID yang berbeda, satu untuk masing-masing sektor. Kombinasi

keempat parameter ini membentuk identitas lengkap suatu sel jaringan yang dikenal sebagai Cell Global Identity (CGI) [2].

Setiap BTS umumnya memiliki satu hingga tiga sektor antena yang membagi area cakupannya ke beberapa arah yang berbeda. Konfigurasi sektor ini ditentukan oleh dua parameter utama, yaitu arah hadap antena dan lebar pancaran antena. Arah hadap antena merupakan sudut arah horizontal antena yang dihitung dari utara dengan rentang 0° hingga 360°, sedangkan lebar pancaran antena merupakan lebar sudut pancaran sinyal horizontal yang umumnya berkisar antara 60° hingga 120° tergantung jenis antena yang digunakan. Dalam analisis geolokasi, informasi sektor antena ini penting karena membantu mempersempit estimasi lokasi perangkat dari seluruh area lingkaran cakupan BTS menjadi hanya area sektor tertentu yang lebih sempit [5]. Pemahaman tentang struktur parameter jaringan dan konfigurasi sektor BTS ini menjadi landasan teknis utama dalam perancangan sistem BTS Tracker yang dikembangkan pada penelitian ini, karena keempat parameter MCC, MNC, LAC, dan Cell ID menjadi data masukan utama yang diolah sistem untuk menghasilkan estimasi lokasi perangkat.

2.2.3. Call Detail Record (CDR)

Call Detail Record (CDR) merupakan catatan metadata komunikasi yang dihasilkan secara otomatis oleh sistem operator telekomunikasi setiap kali perangkat seluler melakukan aktivitas di jaringan, baik berupa panggilan suara, pengiriman pesan singkat, maupun penggunaan layanan data. Penting untuk dipahami bahwa CDR bukan merupakan rekaman isi komunikasi, melainkan catatan administratif yang mendokumentasikan kapan, berapa lama, antara siapa, dan melalui infrastruktur jaringan mana suatu aktivitas komunikasi berlangsung [15]. Karena dihasilkan secara otomatis oleh sistem operator tanpa keterlibatan langsung pengguna perangkat, CDR bersifat objektif dan tidak dapat dimanipulasi secara

langsung oleh pengguna perangkat, sehingga menjadikannya sumber bukti yang memiliki nilai pembuktian tinggi dalam proses investigasi [15].

Struktur data CDR pada umumnya memuat sejumlah elemen informasi yang saling melengkapi. Elemen-elemen tersebut mencakup nomor identitas pemanggil dan penerima, tanggal dan waktu kejadian komunikasi, durasi komunikasi, jenis layanan yang digunakan, serta informasi identitas jaringan dari BTS yang melayani perangkat pada saat komunikasi berlangsung. Informasi identitas jaringan inilah yang secara langsung memuat parameter MCC, MNC, LAC, dan Cell ID, sehingga menjadikan CDR sebagai sumber data primer dalam proses analisis geolokasi berbasis Cell ID [15]. Okmi dkk. [1] mengklasifikasikan CDR ke dalam tiga tipe berdasarkan tingkat agregasinya, yaitu CDR tingkat menara (tower-level CDR) yang mencatat aktivitas seluruh pengguna pada suatu BTS, CDR individual yang mencatat aktivitas spesifik seorang pengguna, dan CDR agregat yang merupakan hasil pengelompokan data dari banyak pengguna. Dalam konteks investigasi digital, CDR individual menjadi tipe yang paling relevan karena memungkinkan penyidik untuk merekonstruksi pergerakan dan kronologi aktivitas komunikasi seseorang secara terperinci berdasarkan jejak BTS yang terekam.

Pemanfaatan CDR dalam investigasi digital telah berkembang pesat dan diakui secara luas. Zawra dkk. [15] menegaskan bahwa analisis CDR berbasis Cell ID memiliki potensi besar dalam mendukung proses investigasi kriminal, khususnya untuk keperluan rekonstruksi kronologi kejadian, identifikasi pola pergerakan, dan analisis jaringan komunikasi antar tersangka. Namun demikian, volume data CDR yang harus dianalisis dalam kasus nyata seringkali sangat besar dan memerlukan pendekatan yang efisien. Dalam konteks sistem BTS Tracker yang dikembangkan pada penelitian ini, data CDR yang diperoleh dari operator telekomunikasi digunakan sebagai sumber masukan utama proses analisis, di mana parameter Cell ID yang terkandung dalam setiap baris data CDR diolah sistem untuk menghasilkan estimasi lokasi perangkat secara kronologis.

2.2.4. Geolokasi dan Triangulasi BTS

Geolokasi berbasis Cell ID merupakan metode penentuan estimasi lokasi perangkat seluler yang memanfaatkan informasi jaringan tanpa bergantung pada data GPS. Metode ini bekerja dengan mencocokkan parameter Cell ID yang diperoleh dari data CDR dengan basis data BTS yang memuat koordinat geografis masing-masing menara, dalam proses yang dikenal sebagai Cell ID *lookup* [4]. Pendekatan ini memiliki relevansi tinggi dalam konteks investigasi digital karena dapat diterapkan bahkan ketika perangkat tidak mengaktifkan fitur GPS, sehingga menjadi alternatif penting bagi penyidik ketika data lokasi berbasis satelit tidak tersedia [4].

SWGDE [5] tidak merumuskan analisis Cell ID sebagai urutan tahapan baku, melainkan memberikan rekomendasi atas sejumlah aspek pelaksanaannya. Empat di antaranya menjadi landasan perancangan sistem pada penelitian ini. Pertama, SWGDE mendefinisikan Automated Cell Site Analysis Mapping Program sebagai perangkat lunak yang mengotomasi analisis dan pemetaan lokasi yang terkandung dalam CDR; sistem BTS Tracker yang dikembangkan pada penelitian ini termasuk dalam kategori artefak tersebut. Kedua, SWGDE membedakan pemrosesan data untuk keperluan lead atau pelaporan pendahuluan dari pemrosesan untuk pembuktian di pengadilan, serta merekomendasikan agar pelaporan pendahuluan disertai keterangan bahwa hasil belum terverifikasi sepenuhnya; sistem ini diposisikan pada kategori pertama. Ketiga, SWGDE merekomendasikan penggunaan arah hadap dan lebar pancaran antena sebenarnya dalam pemetaan sektor, yang menjadi dasar perancangan fitur Sector Calculator. Keempat, SWGDE menegaskan bahwa pendekatan analitis harus terdokumentasi dengan baik dan dapat direproduksi, yang menjadi dasar perancangan fitur History. SWGDE [5] juga menegaskan bahwa informasi cell site dan sektor dalam CDR tidak dapat digunakan untuk menentukan lokasi persis suatu perangkat pada waktu tertentu, sehingga analisis Cell ID hanya menempatkan perangkat dalam area geografis perkiraan.

Triangulasi BTS dalam konteks analisis CDR merupakan teknik estimasi area aktivitas perangkat yang menggabungkan informasi lokasi dari beberapa BTS berbeda yang terekam pada rangkaian event komunikasi. Perlu ditegaskan bahwa istilah triangulasi pada penelitian ini tidak merujuk pada triangulasi sinyal klasik yang membutuhkan pengukuran waktu tempuh atau arah datang sinyal secara simultan, karena data CDR tidak memuat parameter tersebut. Ellingson [6] menegaskan bahwa keterbatasan data CDR menghalangi estimasi lokasi secara presisi, sehingga yang dapat dihasilkan hanyalah area kemungkinan lokasi (region of plausible locations) yang diturunkan dari arah hadap dan lebar pancaran antena sektor serta kerapatan BTS di sekitarnya. Fitur Triangulasi BTS pada sistem ini menggunakan pendekatan yang lebih sederhana, yaitu perhitungan centroid geometris dari koordinat beberapa BTS yang terekam melayani perangkat, disertai rata-rata radius cakupannya sebagai penanda luas area. Pendekatan centroid merupakan aproksimasi geometris murni yang tidak menerapkan prinsip rekayasa frekuensi radio, sehingga keluarannya tidak setara dengan estimasi region of plausible locations sebagaimana dirumuskan Ellingson [6] maupun dengan metode geolokasi yang dinilai sahih secara ilmiah oleh Jovanovic & Cummings [4]. Akurasi hasil estimasi dipengaruhi oleh kepadatan BTS di suatu wilayah, luas area cakupan sel, serta kualitas dan kelengkapan basis data BTS yang digunakan. Jovanovic & Cummings [4] menegaskan bahwa interpretasi data Cell ID yang tidak didasarkan pada prinsip rekayasa frekuensi radio yang benar berpotensi menghasilkan estimasi lokasi yang keliru dan tidak dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah di hadapan hukum. Oleh karena itu, penerapan prosedur yang terstandar menjadi penting dalam analisis geolokasi berbasis Cell ID. Pada sistem BTS Tracker, prinsip tersebut diterapkan pada fitur *lookup* dan Sector Calculator yang mengacu pada rekomendasi SWGDE [5]. Sejalan dengan keterbatasan tersebut, keluaran fitur Triangulasi BTS pada sistem ini diposisikan sebagai penunjuk arah awal (lead) bagi penyidik untuk mempersempit wilayah penelusuran, konsisten dengan kategori pemrosesan data untuk keperluan lead atau pelaporan pendahuluan

sebagaimana dibedakan SWGDE [5] dari pemrosesan untuk pembuktian di pengadilan. Keluaran fitur ini tidak dimaksudkan, dan tidak layak, digunakan sebagai dasar penentuan lokasi untuk kepentingan pembuktian.

2.2.5. Design Science Research (DSR)

Design Science Research (DSR) merupakan paradigma penelitian dalam bidang sistem informasi yang berfokus pada perancangan dan evaluasi artefak sebagai solusi terhadap permasalahan nyata yang ada di lingkungan tertentu. Artefak dalam konteks DSR dapat berupa konstruk, model, metode, maupun instansiasi sistem yang dirancang untuk memberikan nilai praktis dalam konteks penggunaan tertentu. Pendekatan DSR memungkinkan penelitian tidak hanya menghasilkan pengetahuan ilmiah yang bersifat teoritis, tetapi juga produk nyata yang dapat langsung digunakan untuk menyelesaikan masalah di lapangan, sehingga menjadikannya pilihan metodologi yang tepat untuk penelitian yang berorientasi pada pengembangan sistem informasi [16].

Dibandingkan pendekatan penelitian lain yang lazim digunakan pada pengembangan sistem informasi, DSR memiliki keunggulan pada kedudukan artefak di dalam struktur penelitiannya. Pendekatan pengembangan konvensional seperti *System Development Life Cycle* (SDLC) menempatkan sistem sebagai produk akhir tanpa mensyaratkan kontribusi pengetahuan ilmiah, sehingga hasilnya sulit diposisikan sebagai temuan penelitian. Sebaliknya, penelitian deskriptif maupun kualitatif murni mampu menjelaskan permasalahan secara mendalam, tetapi berhenti pada tataran pemahaman dan tidak menghasilkan solusi yang dapat langsung diterapkan di lapangan. *Action research* melibatkan perubahan pada organisasi, namun fokus utamanya terletak pada proses perubahan tersebut dan bukan pada artefak yang dihasilkan. DSR memadukan kedua orientasi tersebut: artefak dirancang sebagai jawaban atas pertanyaan penelitian, sementara tahap evaluasi diwajibkan sebagai bagian tak terpisahkan dari kerangka penelitian sehingga kualitas artefak harus dibuktikan secara sistematis dan tidak cukup diasumsikan [16], [17]. Karakteristik inilah yang menjadikan DSR sesuai bagi

penelitian ini, karena luaran yang dituju bukan sekadar tersedianya sistem BTS Tracker yang berfungsi, melainkan juga bukti empiris mengenai kesesuaian antarmuka sistem tersebut dengan ekspektasi pengguna sasaran.

Kerangka proses DSR yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas enam tahapan yang membentuk siklus penelitian yang sistematis, yaitu: (1) identifikasi masalah dan motivasi, (2) definisi tujuan solusi, (3) perancangan dan pengembangan artefak, (4) demonstrasi, (5) evaluasi, dan (6) komunikasi [17]. Penerapan keenam tahapan tersebut dalam penelitian ini diuraikan secara detail pada subbab 3.1.

Tahap evaluasi dalam DSR merupakan tahapan yang krusial karena menjadi bukti ilmiah bahwa artefak yang dikembangkan benar-benar mampu menyelesaikan permasalahan yang diidentifikasi [16]. Rumini & Sulistiyani [10] membuktikan bahwa penerapan DSR dalam pengembangan sistem informasi berbasis web menghasilkan artefak yang tidak hanya fungsional secara teknis, tetapi juga tervalidasi kontribusi ilmiahnya melalui proses evaluasi yang terstruktur. Dalam penelitian ini, DSR digunakan sebagai kerangka metodologi yang menaungi seluruh proses pengembangan dan evaluasi sistem BTS Tracker, dengan tiga sub-metodologi yang masing-masing diterapkan pada Tahap 3, Tahap 4, dan Tahap 5, yaitu evolutionary prototyping untuk perancangan dan pengembangan, evaluative coding untuk analisis masukan pengguna pada tahap demonstrasi, serta Cognitive Walkthrough untuk evaluasi learnability, sebagaimana diuraikan pada sub-bab berikutnya.

2.2.6. Usability

Usability merupakan atribut kualitas yang menggambarkan seberapa mudah suatu antarmuka digunakan oleh penggunanya. Nielsen [18] menguraikan usability ke dalam lima atribut, yaitu learnability (kemudahan sistem dipelajari oleh pengguna yang baru pertama kali menggunakannya), efficiency (tingkat produktivitas pengguna setelah menguasai sistem), memorability (kemudahan sistem diingat kembali setelah periode tidak

digunakan), errors (frekuensi dan tingkat keparahan kesalahan yang dialami pengguna serta kemudahan pemulihannya), dan satisfaction (tingkat kenyamanan dan kepuasan subjektif pengguna terhadap sistem).

Dalam konteks penelitian ini, atribut learnability menempati posisi paling relevan. Dalam penelitian ini, learnability dioperasionalkan sebagai kesesuaian elemen antarmuka dengan ekspektasi mental pengguna ketika pertama kali menyelesaikan tugas, sejalan dengan fokus pertanyaan penelitian kedua. Sistem BTS Tracker ditujukan bagi penyidik Unit Siber Ditreskrimsus POLDA DIY yang belum pernah menggunakan sistem tersebut sebelumnya dan berlatar belakang operasional penegakan hukum, bukan pengembangan perangkat lunak, sehingga keberhasilan adopsi sistem sangat bergantung pada kemudahan sistem dipelajari tanpa pelatihan formal. Atribut errors juga relevan mengingat kekeliruan pengoperasian pada analisis lokasi perangkat berpotensi menghasilkan interpretasi yang keliru terhadap posisi BTS.

Fokus pada atribut learnability inilah yang mendasari pemilihan Cognitive Walkthrough sebagai metode evaluasi pada penelitian ini, karena metode tersebut secara khusus dirancang untuk mengevaluasi kemudahan pembelajaran sistem melalui penelusuran langkah demi langkah dari sudut pandang pengguna baru [19], sebagaimana diuraikan pada subbab berikutnya.

Temuan yang dihasilkan metode Cognitive Walkthrough dalam penelitian ini tetap dilaporkan menggunakan istilah permasalahan *usability* sesuai taksonomi dan skala keparahan yang dirumuskan Nielsen [18], meskipun evaluasi difokuskan pada atribut *learnability*. Penggunaan istilah tersebut mengikuti konvensi pelaporan yang lazim pada literatur evaluasi berbasis inspeksi dan tidak berarti seluruh atribut *usability* turut dievaluasi dalam penelitian ini.

2.2.7. Cognitive Walkthrough (CW)

Cognitive Walkthrough (CW) merupakan metode evaluasi usability yang mensimulasikan proses kognitif pengguna dalam menyelesaikan tugas-tugas

tertentu pada sebuah sistem. Berbeda dengan metode evaluasi usability lainnya yang bersifat holistik, CW bersifat task-specific, artinya evaluasi dilakukan secara spesifik terhadap setiap langkah dalam alur penyelesaian tugas berdasarkan skenario yang telah ditetapkan sebelumnya [19], [20]. Metode ini berfokus pada kemudahan penggunaan sistem oleh pengguna yang relatif baru, sehingga sangat tepat diterapkan pada sistem dengan alur penggunaan yang spesifik dan pengguna dengan karakteristik tertentu [19]. Aspek kemudahan penggunaan ini menjadi semakin penting pada perangkat forensik digital, mengingat penelitian terdahulu menunjukkan bahwa ketersediaan alat bantu analisis yang andal merupakan faktor penting dalam proses investigasi digital [9], sementara evaluasi usability pada sistem dengan pengguna spesialis menunjukkan bahwa antarmuka yang sulit digunakan berpotensi memunculkan kekeliruan pengoperasian dan pembacaan hasil [21], [22].

Dalam formulasi asli Wharton dkk. [19], analis menelusuri setiap langkah alur tugas sambil mengajukan empat pertanyaan evaluatif yang menjadi inti dari metode CW. Pertama, apakah pengguna mengetahui tindakan apa yang harus dilakukan pada tahapan tersebut. Kedua, apakah tindakan yang benar terlihat jelas dan dapat ditemukan oleh pengguna pada antarmuka sistem. Ketiga, apakah pengguna dapat mengasosiasikan tindakan yang tersedia pada sistem dengan tujuan yang ingin dicapainya. Keempat, apakah pengguna memahami umpan balik yang diberikan sistem setelah suatu tindakan dilakukan [19]. Hasil dari setiap penelusuran langkah ini dikompilasi menjadi daftar permasalahan usability yang teridentifikasi beserta rekomendasi perbaikan yang spesifik pada setiap tahapan alur penggunaan sistem.

Dibandingkan metode evaluasi usability lainnya, CW memiliki beberapa keunggulan yang membuatnya relevan dalam penelitian ini. CW tidak memerlukan sistem yang sepenuhnya selesai dikembangkan sehingga dapat diterapkan lebih awal dalam siklus pengembangan dan memberikan umpan balik perbaikan yang lebih efisien [19], [20]. Shintia dkk. [12] membuktikan efektivitas metode CW dalam mengidentifikasi permasalahan usability pada

aplikasi web, dengan completion rate mencapai 94% pada evaluasi yang dilakukan. Hidayah & Malik [13] menunjukkan bahwa metode CW sangat sesuai diterapkan pada sistem berbasis web yang memiliki alur penggunaan khusus dan pengguna dengan karakteristik tertentu, sebagaimana konteks sistem BTS Tracker dalam penelitian ini yang memiliki pengguna spesifik dari kalangan penegak hukum dengan kebutuhan analisis yang terstandar. Dalam penelitian ini, CW diterapkan pada tahap evaluasi DSR untuk menilai kemudahan penggunaan sistem BTS Tracker oleh penyidik di lingkungan POLDA DIY.

2.2.8. Pendekatan *Prototype*

Pendekatan prototype merupakan metode pengembangan perangkat lunak yang menekankan pada pembuatan model awal sistem yang dapat dioperasikan, sebagai sarana komunikasi antara pengembang dan pengguna untuk menyempurnakan kebutuhan sistem secara iteratif. Pendekatan ini umumnya cocok diterapkan pada sistem yang bersifat customize, yaitu sistem yang dikembangkan berdasarkan kebutuhan dan kondisi spesifik dari pengguna [23]. Karakteristik tersebut sesuai dengan sistem BTS Tracker yang dikembangkan dalam penelitian ini, yang ditujukan untuk konteks operasional spesifik di Unit Siber Ditreskrimsus POLDA DIY.

Terdapat beberapa jenis pendekatan prototype yang umum digunakan dalam pengembangan sistem informasi. Pertama, throwaway prototyping, yaitu pendekatan di mana prototype dibuat hanya untuk keperluan eksplorasi kebutuhan, kemudian dibuang dan sistem dibangun dari awal. Kedua, evolutionary prototyping, yaitu pendekatan di mana prototype awal dikembangkan kemudian disempurnakan secara iteratif berdasarkan umpan balik pengguna hingga menjadi sistem final yang siap digunakan. Pendekatan evolutionary prototyping sangat sesuai dipadukan dengan kerangka DSR karena keduanya menekankan pada iterasi dan umpan balik pengguna sebagai mekanisme penyempurnaan artefak [10], [23].

Dalam penelitian ini, pendekatan *evolutionary prototyping* diterapkan pada Tahap 3 kerangka DSR. Sistem BTS Tracker dikembangkan melalui

beberapa siklus iterasi, di mana setiap iterasi menghasilkan versi sistem yang semakin lengkap dan disempurnakan berdasarkan umpan balik dari pengguna di Unit Siber Ditreskrimsus POLDA DIY, hingga seluruh kebutuhan fungsional yang ditetapkan pada Tahap 2 dapat terpenuhi.

2.2.9. *Evaluative Coding*

Evaluative coding merupakan salah satu teknik pengkodean data kualitatif yang diuraikan oleh Saldaña [24] dengan fokus pada pemberian penilaian terhadap suatu objek, kebijakan, program, atau artefak yang sedang dievaluasi. Berbeda dengan thematic coding yang berorientasi pada identifikasi tema atau pola umum, evaluative coding mengkategorikan tanggapan informan ke dalam dimensi penilaian, umumnya mencakup kategori Positif (apresiasi atau aspek yang sudah baik), Negatif (kritik atau permasalahan), dan Masukan/Perbaikan (saran pengembangan). Teknik ini sangat sesuai diterapkan dalam kerangka Design Science Research, khususnya pada tahap demonstrasi dan evaluasi artefak, karena hasil pengkodean dapat secara langsung diterjemahkan menjadi dasar perbaikan iterasi berikutnya [24]. Dalam penelitian ini, evaluative coding diterapkan pada dua tahap analisis kualitatif, yaitu analisis transkrip wawancara setelah demonstrasi prototype Iterasi 1 dan analisis transkrip wawancara post-task pada akhir sesi evaluasi Cognitive Walkthrough Iterasi 2. Proses pengkodean dilakukan dengan bantuan perangkat lunak QualCoder, yaitu Computer-Assisted Qualitative Data Analysis Software (CAQDAS) yang menyediakan fasilitas pengelolaan transkrip, pemberian kode pada kutipan, serta pengelompokan kode ke dalam kategori. Penggunaan CAQDAS bertujuan menjaga keterlacakan setiap kutipan terhadap kode dan kategori yang diberikan, sehingga hasil analisis dapat diaudit kembali apabila diperlukan.