

## Studi Sistem Peringatan Dini Insiden Tumpahan Minyak Dengan Memanfaatkan *Internet of Things*

Ganjar Adi Pradana<sup>1</sup>, Suzanna Lamria Siregar<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Perangkat Lunak Sistem Informasi, Manajemen Sistem Informasi, Universitas Gunadarma

<sup>1</sup>georgius\_ganjar@yahoo.co.id\*, <sup>2</sup>suzanna.siregar@gmail.com

### Abstract

The impact of oil spill can cause environmental damage and socio-economic losses. Oil spill incidents are important to be known or realized as soon as possible (real-time), so that it can be handled quickly before it spread and contaminate further and wider areas. Internet of Things (IoT) is utilized in various ways, one of which is used for the Early Warning System (EWS). Currently there are not many IoT-based EWS studies specifically for oil spill incidents. This initial research is a descriptive literature study that aims to: 1) Analyze the risks and impacts of oil spills, 2) Analyze IoT-based early warning systems for oil spill incidents, and 3) Analyze the information system development. The study result shows that the risk of oil spills is real, prevention and preparedness is needed for this. Oil spills have a huge impact on the environment (both ecologically and socio-economically). The result of the study also shows that an IoT-based oil spill incident EWS is possible to be developed with the hope of preventing and minimizing the impact of oil spills. This EWS can be developed using the Waterfall model approach due to a new system. The results of this study can be used as a basis for the next technical research, the development of an Oil Spill Early Warning System by utilizing IoT.

Keywords: oil spill, early warning system, IoT, information system.

### Abstrak

Dampak tumpahan minyak dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan kerugian sosial ekonomi. Insiden tumpahan minyak penting untuk diketahui atau disadari sesegera mungkin (real-time), agar dapat ditanggulangi dengan cepat sebelum menyebar dan mencemari wilayah yang lebih jauh dan luas. Teknologi *Internet of Things* (IoT) dimanfaatkan dalam berbagai hal, salah satunya digunakan untuk Sistem Peringatan Dini (SPD). Saat ini belum banyak penelitian SPD berbasis IoT yang khusus untuk insiden tumpahan minyak. Penelitian awal ini adalah suatu studi literatur deskriptif yang bertujuan: 1) Menganalisis risiko dan dampak tumpahan minyak, 2) menganalisis SPD berbasis IoT untuk insiden tumpahan minyak, dan 3) Menganalisis pengembangan sistem informasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa risiko tumpahan minyak benar-benar nyata, diperlukan upaya pencegahan dan kesiapsiagaan untuk hal tersebut. Tumpahan minyak sangat berdampak pada lingkungan (baik secara ekologi ataupun sosial ekonomi). Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa Sistem Peringatan Dini (SPD) insiden tumpahan minyak berbasis IoT memungkinkan untuk dibuat dengan harapan dapat mencegah dan meminimalkan dampak tumpahan minyak. SPD ini dapat dibangun dengan pendekatan model Waterfall karena suatu sistem yang baru. Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar penelitian teknis selanjutnya yaitu pengembangan Sistem Peringatan Dini Tumpahan Minyak dengan memanfaatkan IoT.

Kata kunci: tumpahan minyak, sistem peringatan dini, IoT, sistem informasi.

©This work is licensed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International

### 1. Pendahuluan

Permintaan minyak mentah dan hasil olahannya tidak dapat dipungkiri masih sangat tinggi hingga saat ini. Produk minyak masih menjadi pilihan utama sumber energi untuk transportasi, manufaktur dan berbagai industri lainnya. Ramainya industri yang berkaitan dengan produksi minyak atau transportasi minyak menyebabkan peningkatan risiko insiden tumpahan minyak. Tumpahan minyak berdampak pada kerusakan lingkungan terutama lingkungan laut dan pesisir yang pada akhirnya menimbulkan kerugian sosial ekonomi bagi masyarakat pesisir. Kandungan racun dan logam berat minyak bumi (dan turunannya) dapat membunuh mikroorganisme atau organisme yang lebih besar di kolom perairan, hal ini dapat menurunkan produktifitas dan keanekaragaman hayati di ekosistem laut dan pesisir [1]. Usaha tambak juga terdampak saat kualitas air menurun, sehingga berdampak buruk pada

produksi tambak. Contoh lainnya pada pantai wisata yang terkena polusi juga akan mengurangi pengunjung, sehingga berdampak buruk pada perekonomian sektor wisata [1].

Dampak tumpahan minyak dapat dicegah atau diminimalkan jika tumpahan minyak dapat dideteksi sedini mungkin secara *real-time* [2]. Agar penanggulangan dapat dilakukan sebelum tumpahan minyak menyebar terlalu jauh. Sekaligus mencegah dampak ekologis atau sosial ekonomi di wilayah perairan dan pesisir. Hal ini juga mendukung pihak industri untuk menghindari pelanggaran hukum terkait pencemaran lingkungan. Sistem Informasi Berbasis Teknologi *Internet of Things* (IoT) merupakan titik kunci untuk mengembangkan sistem peringatan dini jarak jauh yang efisien [3]. Teknologi IoT dapat memberikan kecepatan yang lebih tinggi, sehingga memungkinkan untuk menghubungkan beberapa

sensor dalam satu kerangka kerja untuk menganalisis dan menilai suatu masalah secara sintetik.

Studi terbaru menunjukkan bahwa IoT telah banyak digunakan sebagai teknologi pendukung Sistem Peringatan Dini (SPD). Contohnya adalah SPD tanah longsor, banjir untuk sungai, insiden kebakaran, dan lain-lain. SPD menggunakan sensor yang datanya dikirim secara *real time* dengan konsep IoT. Sensor tumpahan minyak *in situ* sudah ada dan beberapa penelitian telah meneliti sensor ini. Namun, saat ini belum banyak penelitian SPD tentang insiden tumpahan minyak yang memanfaatkan IoT.

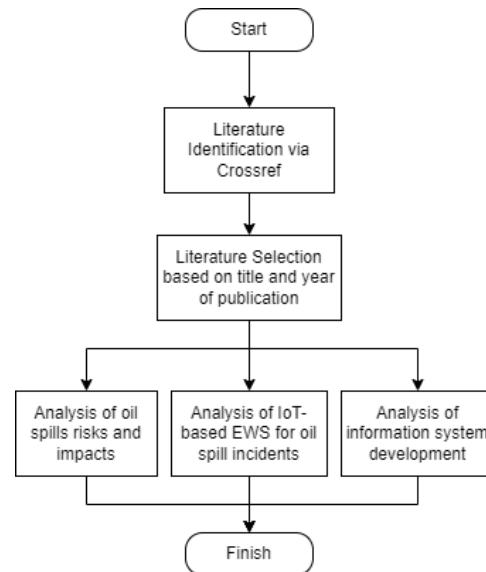
Uraian masalah dan kemungkinan solusi di atas, membuat penulis tertarik untuk menjadikannya sebuah penelitian. Saat ini belum banyak penelitian tentang sistem informasi terkait sistem peringatan dini tumpahan minyak. Penelitian awal ini merupakan studi literatur deskriptif yang bertujuan untuk: 1) menganalisis risiko dan dampak tumpahan minyak, apakah risiko tumpahan nyata dan bagaimana dampaknya? 2) menganalisis SPD berbasis IoT untuk insiden tumpahan minyak, bagaimana IoT diterapkan dalam SPD? dan 3) menganalisis pengembangan sistem informasi, metode apa yang tepat untuk membangun sistem ini? Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menemukan pola dalam penelitian-penelitian pemanfaatan IoT untuk SPD, khususnya apakah dapat diterapkan dalam insiden tumpahan minyak. Hal ini diharapkan dapat menjadi pedoman untuk penelitian teknis selanjutnya, dalam pengembangan SPD. Insiden Tumpahan Minyak dengan memanfaatkan IoT. Hasil penelitian ini secara umum juga diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai referensi ilmiah bagi para pemangku kepentingan khususnya pada industri yang memiliki risiko tumpahan minyak dalam menentukan kebijakan bisnis, agar pencemaran lingkungan dapat dihindari dan diminimalisir.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan studi literatur deskriptif yang merangkum dan menyimpulkan beberapa literatur terkait sistem peringatan dini insiden tumpahan minyak dengan memanfaatkan IoT. Tahapan dalam penelitian adalah sebagai berikut: identifikasi literatur, pemilihan literatur, analisis risiko dan dampak tumpahan minyak, analisis SPD berbasis IoT untuk insiden tumpahan minyak, dan analisis pengembangan sistem informasi. Diagram alir tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Langkah pertama adalah mengidentifikasi literatur melalui pencarian di situs Crossref. Crossref dipilih karena hampir semua jurnal terindeks (memiliki *digital object identifier* - doi) terdaftar disini, baik di Indonesia maupun Internasional. Hal ini memastikan bahwa penelitian-penelitian sebelumnya yang dijadikan referensi berasal dari jurnal terpercaya. Literatur yang dipilih untuk didiskusikan minimal 10 artikel. Kata

kunci yang digunakan dalam pencarian literatur adalah "Dampak Tumpahan Minyak", "Deteksi Tumpahan Minyak", "Sistem Peringatan Dini", "Internet of Things", dan "Pengembangan Sistem Informasi". Setelah literatur terkumpul, dilakukan seleksi literatur. Literatur dipilih berdasarkan relevansi dan tahun publikasi. Judul karya sastra dinilai apakah sesuai dengan tema yang telah disebutkan sebelumnya. Seleksi publikasi literatur dibatasi dari tahun 2003 hingga 2023.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Setelah memilih literatur berdasarkan judul dan tahun publikasi, literatur yang tersisa ditinjau. Tinjauan literatur mencakup kesesuaian dengan penelitian yang dibahas dan ketersediaan artikel teks lengkap. Literatur yang terkumpul akan dibahas dalam penelitian ini dengan klasifikasi berdasarkan: risiko dan dampak tumpahan minyak, penerapan IoT pada SPD, dan tahapan pengembangan sistem informasi, sesuai dengan tujuan penelitian.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Literatur primer relevan yang berhasil dikumpulkan ditunjukkan pada Tabel 1. Literatur ini dipilih karena memenuhi kriteria relevansi dan tahun terbit. Jumlah keseluruhan artikel terpilih adalah 16 artikel.

### 3.1. Risiko dan Dampak Tumpahan Minyak

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dunia, permintaan minyak terus meningkat. Industri perminyakan memberikan keuntungan yang besar dalam bidang ekonomi. Kegiatan industri perminyakan juga semakin meluas, kegiatan tersebut meliputi eksplorasi, produksi, pengolahan, dan pengangkutan minyak mentah dan produk turunannya. Namun tidak dapat dipungkiri bahwa industri perminyakan memiliki resiko yang besar dalam kegiatannya terutama resiko tumpahan minyak [4].

Pelaku industri semakin berusaha untuk meminimalkan risiko ini. Data statistik insiden tumpahan minyak yang disusun oleh ITOPF (International Tanker Owner Pollution Federation) menunjukkan bahwa terjadi penurunan jumlah insiden dari tahun 1970 hingga 2022 (lihat Gambar 2). Meskipun telah terjadi penurunan angka kejadian, namun risiko tersebut tetap tidak dapat dihilangkan 100%. Tumpahan minyak masih dapat terjadi, meskipun berbagai teknologi pencegahan dan standar yang ketat telah diterapkan. Risiko tumpahan minyak juga ada di wilayah Indonesia. Tumpahan minyak besar yang pernah terjadi adalah tumpahan minyak di Balikpapan pada tanggal 31 Maret 2018 di Perairan Teluk Balikpapan akibat kebocoran pipa bawah laut milik PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit (RU) V Balikpapan dari terminal Lawe-lawe, Penajam, Paser Utara hingga RU V di Balikpapan. Ada juga kejadian lain yaitu tumpahan Oli Platform YYA-1 milik PT. Pertamina Hulu Energi Offshore North East Java (PHE ONWJ) yang terjadi pada 12 Juli 2019 [5].

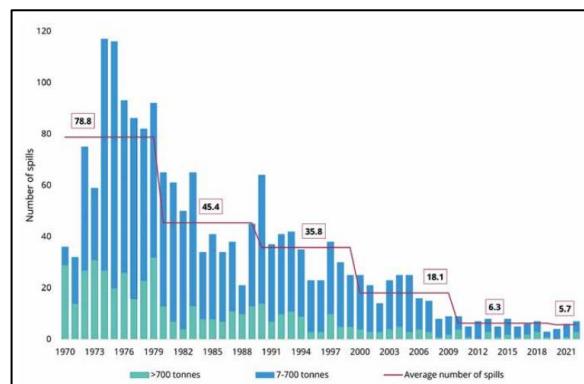
Tabel 1. Literatur Primer Dampak Tumpahan Minyak

Penulis	Insiden (Lokasi)	Dampak Insiden
Barron <i>et al.</i> [6]	Exxon Valdez; Hebei Spirit; Deepwater Horizon	Dampak ekologis jangka panjang dari ketiga tumpahan minyak tersebut
Eklund <i>et al.</i> [7]	Deepwater Horizon	Dampak sosial ekonomi dan kesehatan pada masyarakat dan usaha di pesisir
Oktawati <i>et al.</i> [8]	Teluk Balikpapan, Kecamatan Jenebora	Kerugian yang divalasai hanya pada satu kecamatan mencapai Rp. 41.082.027.068,-/ tahun.

Salah satu insiden tumpahan minyak yang besar Deep Water Horizon pada tahun 2010 sangat berdampak pada aspek sosial ekonomi dan kesehatan masyarakat, terutama yang tinggal di pesisir Teluk Meksiko [7]. Dampak ekologi jangka panjang tumpahan minyak selalu terjadi, khususnya yang berskala besar. Hal ini terlihat dari tiga insiden tumpahan minyak besar, yaitu: insiden Exxon Valdez tahun 1989, Hebei Spirit tahun 2007, dan Deep Water Horizon di 2010 [6]. Dampak tumpahan minyak dipengaruhi oleh sistem ekologi yang terdampak, dinamika insiden, dan penanggulangan yang dilakukan. Adapun studi kasus di Indonesia, dampak tumpahan minyak di Teluk Balikpapan pada tahun 2019 menunjukkan bahwa estimasi kerugian ekonomi hanya untuk satu kecamatan yaitu kecamatan Jenebora, bisa mencapai Rp. 41.082.027.068/tahun, dengan catatan nilai tersebut bukan merupakan nilai total kerugian seluruh wilayah pesisir Teluk Balikpapan yang tercemar [8].

Kandungan racun dan logam berat minyak bumi (dan turunannya) dapat membunuh mikroorganisme atau organisme yang lebih besar di kolom perairan, hal ini dapat menurunkan produktifitas dan keanekaragaman hayati di ekosistem laut dan pesisir. Hal ini adalah penjelasan bagaimana Tumpahan minyak berdampak

pada lingkungan laut dan pesisir secara ekologi [1]. Usaha tambak juga terdampak saat kualitas air menurun, sehingga berdampak buruk pada produksi tambak. Contoh lainnya pada pantai wisata yang terkena polusi juga akan mengurangi pengunjung, sehingga berdampak buruk pada perekonomian sektor wisata. Hal ini adalah penjelasan bagaimana tumpahan minyak berdampak pada lingkungan sosial ekonomi [1]. Fakta di atas menunjukkan bahwa risiko tumpahan minyak memang ada, dan bisa terjadi kapan saja. Maka diperlukan kesiapsiagaan adalah kebutuhan mutlak bagi para pelaku industri. Salah satunya unsur kesiapsiagaan adalah SPD, untuk mencegah dampak yang lebih besar yang diakibatkan oleh suatu insiden tumpahan minyak.



Gambar 2. Jumlah Tumpahan Minyak (1970-2022) [21]

### 3.2. SPD Berbasis IoT untuk Tumpahan Minyak

Penerapan SPD untuk mencegah atau menghindari keadaan darurat dan bencana sudah banyak dikembangkan (tabel 2). Contoh penerapan SPD dapat dilihat pada sistem peringatan dini longsor [3]. Tanah longsor adalah peristiwa berbahaya yang berulang yang terdiri dari pergerakan tanah, batu, dan bahan organik ke bawah. Ada berbagai faktor pemicu tanah longsor, seperti curah hujan dan perubahan ketinggian air tanah, pencairan salju yang cepat, atau gempa bumi, dan oleh karena itu data yang berbeda dapat dipantau untuk mendekripsi dan memprediksi tanah longsor, terutama perpindahan masa tanah serta parameter cuaca dalam curah hujan, yang memicu tanah longsor. Curah hujan adalah faktor pemicu tanah longsor yang sering terjadi, oleh karena itu berguna untuk mengintegrasikan data cuaca yang tersedia atau prakiraan cuaca dengan data yang diperoleh menggunakan sensor di lokasi. Contoh aplikasi SPD berbasis IoT lainnya dapat dilihat pada penelitian tentang SPD Bencana Banjir di Kota Manado [13], dan penelitian tentang Deteksi Dini Kebakaran Berbasis IoT [14].

Berdasarkan penelitian sebelumnya terkait dapat dijelaskan bahwa SPD adalah arsitektur terpadu pemantauan, peramalan dan prediksi bahaya, penilaian risiko bencana, aktivitas komunikasi dan kesiapsiagaan, sistem dan proses yang memungkinkan individu, komunitas, pemerintah, bisnis, dan lainnya mengambil tindakan tepat waktu untuk mengurangi

risiko bencana, sebelum peristiwa berbahaya terjadi. SPD memiliki elemen kunci berikut: (i) pengetahuan risiko dan penilaian risiko, (ii) parameter pemantauan yang dapat meningkatkan atau mengaktifkan prediksi dan prakiraan, (iii) distribusi peringatan secara *real-time*, dan (iv) kesiapsiagaan untuk menanggulangi bencana [12]. Secara khusus, teknologi seperti IoT, *Cloud Computing*, dan *Artificial Intelligent* dapat membantu aspek pemantauan, prakiraan, dan pemicu alarm Peringatan Dini dengan menyediakan alat untuk mendeteksi, menyortir, memproses, dan menganalisis data yang berasal dari lingkungan.

Tabel 2. Literatur Primer SPD berbasis IoT.

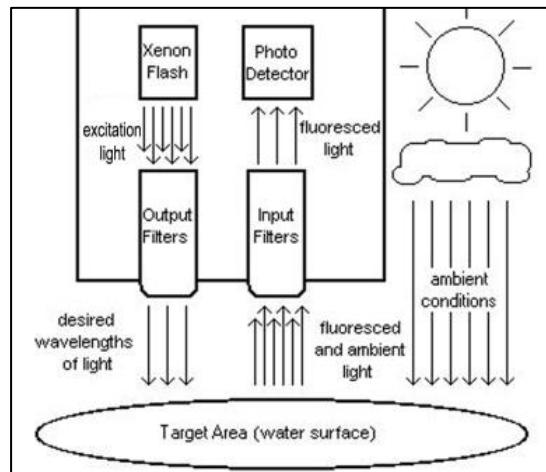
Penulis	Metode	Keunikan / Temuan	Objek Riset
Esposito <i>et al.</i> [12]	Deskriptif	Arsitektur <i>Internet of Things</i>	Banjir, gempa bumi, tsunami, dan tanah longsor
Li <i>et al.</i> [3]	Despkriptif	Komunikasi 5G dan visualisasi tingkat lanjut.	Bencana Tanah longsor
Nainggo lan <i>et al.</i> [13]	Rancang Bangun	Pengujian Sistem dan sensor ketinggian air	Bencana Banjir
Isyanto <i>et al.</i> [14]	Rancang Bangun	teknologi GPS, Arduino	Insiden Kebakaran
Foltýnek <i>et al.</i> [15]	Rancang dan Pengujian	Pengujian Komponen Mikrokontroler	Mikrokontroler ESP 32
Maier <i>et al.</i> [16]	Deskriptif	Komparasi Mikrokontroler	Mikrokontroler ESP 32, Arduino,

Pola atau rumusan yang ditemukan dalam SPD berbasis IoT secara umum adalah sensor-sensor akan dilengkapi dengan mikrokontroler yang akan dihubungkan kepada internet *gateway*. Data akan dikirimkan menuju server (*cloud* atau fisik), untuk dilakukan pengolahan data. Hal ini memungkinkan informasi yang dihasilkan akan dapat diakses atau dikirimkan kepada user secara *real-time* dimana pun mereka berada. Hal ini memungkinkan keadaan darurat atau bencana dapat dihindari sedini mungkin. Dengan mengadopsi konsep ini, SPD juga dapat diterapkan pada insiden tumpahan minyak.

Untuk sistem ini diperlukan sensor yang mampu mendeteksi tumpahan minyak, dengan kata lain mampu membedakan antara air yang tidak tercemar dan air yang mengandung minyak. Sensor dan sistem in-situ berbasis fluoresensi dapat digunakan untuk pemantauan tumpahan minyak secara *real-time*. Deteksi fluorometrik pada dasarnya adalah mengukur fluoresensi pada panjang gelombang yang telah ditentukan [11].

Hasil penelitian yang menganalisis uji laboratorium fluorometrik untuk mendeteksi keberadaan minyak dalam air laut, menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik ditemukan antara nilai indeks fluorometrik untuk air laut yang tidak terkontaminasi

dan air laut yang terpapar berbagai jenis minyak (yaitu minyak mentah, minyak pelumas, dan bahan bakar) [9]. Ilustrasi cara kerja sensor fluorometrik dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Operasi Dasar Sensor Fluorometrik [10]

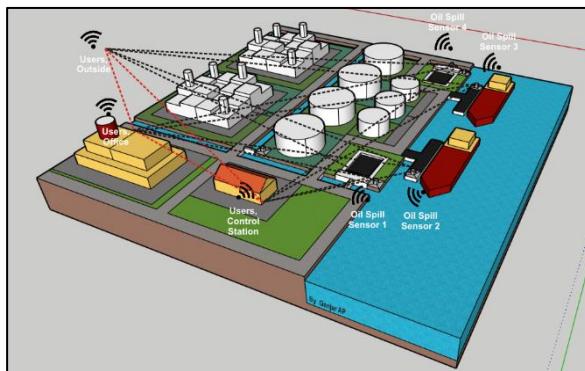
Pada sistem yang ada, ketika terdeteksi adanya tumpahan minyak oleh sensor maka akan menyalaan *warning light* dan *emergency buzzer*. Pengguna secara manual akan mendengar *buzzer* ini dan akan mengambil tindakan untuk mengatasi tumpahan minyak. Sistem ini memiliki jarak yang terbatas, hanya pengguna yang dekat dengan *buzzer* yang akan mendengar atau mengetahui kejadian tumpahan minyak.

Tabel 3. Literatur Primer Deteksi Tumpahan Minyak.

Penulis	Metode Riset	Objek Riset
Baszanowska & Otremba [9]	Uji laboratorium fluorometrik	Air tercemar minyak dan air laut yang tidak terkontaminasi
Chase & Roberts [10]	Deskriptif	Sensor deteksi hidrokarbon optic, non kontak, dan fluorometrik
Part <i>et al.</i> [11]	Uji kelayakan	Sensor Fluorometrik secara <i>real-time</i>

Pada SPD berbasis IoT, ketika terdeteksi tumpahan minyak oleh sensor, mikrokontroler akan secara otomatis menyalaan lampu peringatan dan *buzzer*. Mikrokontroler juga akan mengirimkan data hasil deteksi ini ke sistem perangkat lunak. Komunikasi antara hardware dan *software* ini menggunakan konsep IoT yang memanfaatkan jaringan internet. Sistem perangkat lunak akan mendistribusikan notifikasi kejadian tumpahan minyak ini ke seluruh pengguna sistem secara *real time* melalui aplikasi pesan. Begitu juga jika terjadi kondisi tumpahan minyak yang dilihat langsung oleh salah satu pengguna. Pengguna dapat melaporkan pemberitahuan insiden secara manual dengan aplikasi sistem. Sistem juga akan mendistribusikan notifikasi insiden ke semua pengguna sistem secara *real time*.

Perangkat sensor perlu ditempatkan di tempat-tempat tertentu di kawasan industri yang dapat mendeteksi tumpahan minyak yang dibawa oleh air yang mengalir (misalnya di saluran, kanal, dekat *jetty* atau dermaga tempat bongkar muat minyak). Ketika perangkat sensor mendeteksi adanya tumpahan minyak, maka sistem akan mengirimkan informasi tersebut melalui internet ke smartphone seluruh pengguna sistem dimanapun berada secara *real-time*, agar tumpahan minyak tersebut dapat segera direspon sesuai dengan perannya masing-masing. Ilustrasi SPD tumpahan minyak ini di lingkungan industri (*Refinery Unit*) dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi SPD Tumpahan Minyak di Lingkungan Industri

### 3.3. Pengembangan Sistem Informasi

Sistem Informasi berbasis teknologi Internet of Things (IoT) adalah poin kunci untuk membangun SPD *real-time* yang efisien [3]. Oleh karena itu SPD untuk kejadian tumpahan minyak sangat dibutuhkan saat ini untuk mencegah dan meminimalisir dampak tumpahan minyak. SPD ini dapat dikembangkan dengan metode pengembangan sistem informasi. Pengembangan SPD ini akan kami lakukan pada proyek penelitian selanjutnya.

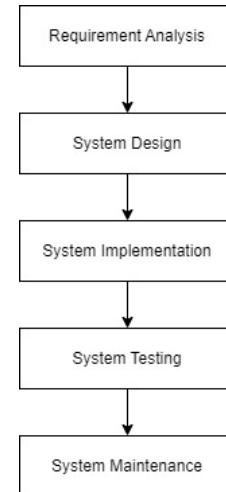
Tabel 4. Literatur Primer SPD berbasis IoT.

Penulis	Keunikan / Temuan	Objek Riset
Budiman [17]	Implementasi dan Pengujian <i>Black Box</i>	Sistem tindak lanjut pelanggan
Fikri <i>et al.</i> [18]	<i>reuse-oriented development model</i>	Sistem Informasi Aspirasi Online Berbasis Web
Handrianto & Sanjaya [19]	Rancang Bangun, <i>waterfall model</i>	Sistem Informasi di PT. Prima Lakto Sehat
Silitonga & Purba [20]	Rancang Bangun, SDLC	Sistem pendaftaran pasien berbasis web

Penelitian terdahulu mengenai pengembangan sistem informasi cukup banyak ditemukan (tabel 4). Beberapa referensi yang diacu menggunakan berbagai macam metode pengembangan. Secara umum, pola yang berhasil diperoleh dari penelitian sebelumnya bahwa pengembangan sistem informasi dapat dilakukan dengan menggunakan standar SDLC (*Software Development Life Cycle*) atau Siklus Hidup Sistem

(*System Life Cycle*), dalam rekayasa sistem dan perangkat lunak. Konsep ini umumnya mengacu pada komputer atau sistem informasi [20] [22]. Beberapa literatur hanya menjelaskan sebagian tahap utama SDLC. Secara konseptual, SDLC berkembang secara sistematis dari satu tahap ke tahap lainnya seperti “air terjun” [23].

Pengembangan sistem informasi yang relatif baru, berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya biasanya menggunakan metode *waterfall*, karena prosesnya harus dilakukan secara berurutan mulai dari tahapan perencanaan konsep, pemodelan (desain), implementasi, pengujian, dan pemeliharaan [19]. Model air terjun sangat populer untuk menyelesaikan proyek pengembangan sistem [17], [18]. Sistem informasi (SPD) yang akan dikembangkan ini tergolong sistem yang baru, oleh karena itu metode pengembangan yang cocok adalah metode *waterfall*.



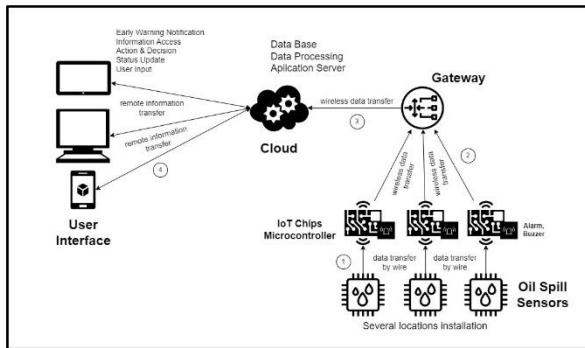
Gambar 5. Metode Waterfall

Secara lengkap dapat dirumuskan tahapan model *Waterfall* terdiri dari: Analisis Kebutuhan Sistem, Perancangan Sistem, Implementasi Sistem, Pengujian Sistem, dan Pemeliharaan Sistem (Gambar 5):

1. Analisis kebutuhan: pada tahap ini dilakukan analisis kebutuhan koneksi jarak jauh antara perangkat keras dan perangkat lunak yang memanfaatkan teknologi IoT, juga fungsi dan proses aplikasi, identifikasi kendala dalam pembuatan sistem, analisis keandalan, kelemahan, dan teknologi yang digunakan.
2. Perancangan Sistem: tahap ini adalah perancangan spesifikasi sistem secara lengkap. Pada tahap ini biasanya dilakukan perancangan sistem yang meliputi: pemodelan proses, pemodelan data, perancangan antarmuka, dan lain-lain.
3. Implementasi Sistem: hasil rancangan sistem harus diterjemahkan ke dalam program perangkat lunak yang terintegrasi dengan perangkat keras dengan teknologi IoT. Hasil dari tahapan ini adalah sistem informasi kejadian tumpahan minyak (baik *software* maupun *hardware*) yang sesuai dengan hasil perancangan sistem yang dibuat pada tahapan perancangan.

4. Pengujian Sistem: pada tahap ini unit individu maupun keseluruhan sistem diuji sebagai sistem yang lengkap untuk memastikan apakah mereka memenuhi persyaratan fungsional sistem.

5. Pemeliharaan sistem: tahap ini mencakup perbaikan kesalahan yang tidak ditemukan pada tahap sebelumnya, peningkatan kualitas implementasi unit sistem, dan peningkatan layanan sistem secara berkelanjutan.



Gambar 6. Arsitektur Sistem

Metode *Waterfall* mengusulkan pendekatan pengembangan atau pengembangan perangkat lunak yang sistematis dan berurutan. Metode ini dapat dipilih karena cocok untuk pengembangan sistem yang relatif baru. Model ini dapat digunakan ketika kebutuhan untuk suatu masalah dipahami dengan baik, dan pekerjaan dapat mengalir secara linier. Dalam model ini fase baru dapat dimulai setelah menyelesaikan fase sebelumnya. Ini berarti bahwa output dari satu fase akan menjadi input ke fase berikutnya. Dengan demikian proses pengembangan dapat dianggap sebagai aliran berurutan seperti "air terjun". Dengan demikian, metode ini dianggap cocok untuk proyek pembuatan sistem baru. Sebagai contoh, desain sistem ini ditunjukkan oleh arsitektur sistem pada Gambar 6. Arsitektur sistem ini mengacu pada arsitektur sistem IoT. Semua tahapan pengembangan ini akan dilakukan dan dibahas dalam proyek penelitian kami berikutnya.

#### 4. Kesimpulan

Risiko tumpahan minyak memang ada dan dapat terjadi dalam kegiatan industri. Meskipun berbagai teknologi pencegahan dan standar yang ketat telah diterapkan, namun risiko tidak dapat dihilangkan 100% dan insiden tumpahan minyak masih dapat terjadi sewaktu-waktu. Kesiapsiagaan diperlukan untuk risiko ini. Kejadian tumpahan minyak dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar, terutama dampak terhadap ekologi dan sosial ekonomi di wilayah pesisir. SPD juga dapat diterapkan dalam insiden tumpahan minyak. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan sensor yang mendeteksi minyak dan memanfaatkan IoT untuk mendistribusikan notifikasi secara real time ke seluruh pengguna sistem dimanapun berada. Kemudian hal ini dapat menjadi solusi bagi para pelaku industri dan pemangku kepentingan untuk mencegah dan meminimalisir dampak pencemaran lingkungan akibat

tumpahan minyak. SPD ini dapat dikembangkan dengan menggunakan model pendekatan *Waterfall*. Pengembangan SPD Insiden Tumpahan Minyak dengan memanfaatkan IoT akan menjadi langkah selanjutnya dari proyek penelitian kami.

Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar penelitian teknis selanjutnya yaitu pengembangan Sistem Peringatan Dini Tumpahan Minyak dengan memanfaatkan IoT. Sistem ini dikembangkan dengan menggabungkan komponen perangkat keras dan perangkat lunak. Karena mengusung konsep sistem informasi, maka dapat dilengkapi dengan fungsi-fungsi seperti notifikasi kejadian secara manual dan pemutakhiran informasi status kejadian oleh pengguna. Sistem ini akan sangat bergantung pada kualitas koneksi jaringan internet, maka perangkat sensor dan pengguna sistem membutuhkan jaringan internet yang stabil agar sistem dapat berjalan dengan baik.

#### Daftar Rujukan

- [1] ITOPF, *Effects of Oil Pollution on the Marine Environment*. Canterbury: Impact PR & Design Limited, 2011.
- [2] Portonews, "Indonesia Darurat Tumpahan Minyak," *Portonews*, 2017. <https://www.portonews.com/2017/oil-and-chemical-spill/indonesia-darurat-tumpahan-minyak/>
- [3] Z. Li, L. Fang, X. Sun, and W. Peng, "5G IoT-based geohazard monitoring and early warning system and its application," *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2021, no. 1, pp. 1–16, 2021, doi: 10.1186/s13638-021-02033-y.
- [4] A. K. Mishra and G. S. Kumar, "Weathering of Oil Spill: Modeling and Analysis," *Aquat. Procedia*, vol. 4, pp. 435–442, 2015, doi: 10.1016/j.aqpro.2015.02.058.
- [5] D. J. Perhubungan Laut, "Penanggulangan Tumpahan Minyak di Laut Harus Cepat, Tepat, dan Terkoordinasi," *Direktorat Jenderal Perhubungan Laut*, 2020. <https://hubla.dephub.go.id/home/post/read/7916/direktur-kplp-penanggulangan-tumpahan-minyak-dilaut-harus-cepat-tepat-dan-terkoordinasi>
- [6] M. G. Barron, D. N. Vivian, R. A. Heintz, and U. H. Yim, "Long-Term Ecological Impacts from Oil Spills: Comparison of Exxon Valdez, Hebei Spirit, and Deepwater Horizon," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 54, no. 11, pp. 6456–6467, Jun. 2020, doi: 10.1021/acs.est.9b05020.
- [7] R. L. Eklund, L. C. Knapp, P. A. Sandifer, and R. C. Colwell, "Oil Spills and Human Health: Contributions of the Gulf of Mexico Research Initiative," *GeoHealth*, vol. 3, no. 12, pp. 391–406, Dec. 2019, doi: 10.1029/2019GH000217.
- [8] N. O. Oktawati, A. N. Fadilah, and Q. Saleha, "Dampak Ekonomi Tumpahan Minyak Di Teluk Balikpapan Pada Pemanfaatan Ekosistem Mangrove Di Jenebra Penajam Paser Utara," *EnviroScientiae*, vol. 18, no. 1, pp. 77–86, 2022, doi: 10.20527/es.v18i1.12981.
- [9] E. Baszanowska and Z. Otremba, "Detecting the Presence of Different Types of Oil in Seawater Using a Fluorometric Index," *Sensors*, vol. 19, no. 17, p. 3774, Aug. 2019, doi: 10.3390/s19173774.
- [10] C. R. Chase and L. G. Roberts, "Advanced Detection Technology for Early Warning – The Key to Oil Spill Prevention," *Int. Oil Spill Conf. Proc.*, vol. 2008, no. 1, pp. 203–209, May 2008, doi: 10.7901/2169-3358-2008-1-203.
- [11] S. Pärt, H. Kankaanpää, J. V. Björkqvist, and R. Uiboupin, "Oil Spill Detection Using Fluorometric Sensors: Laboratory Validation and Implementation to a FerryBox and a Moored SmartBuoy," *Front. Mar. Sci.*, vol. 8, pp. 1–17, 2021, doi: 10.3389/fmars.2021.683201.

- 10.3389/fmars.2021.778136.
- [12] M. Esposito, L. Palma, A. Belli, L. Sabbatini, and P. Pierleoni, "Recent Advances in Internet of Things Solutions for Early Warning Systems: A Review," *Sensors*, vol. 22, no. 6, 2022, doi: 10.3390/s22062124.
- [13] P. J. Nainggolan, M. Najoan, and S. Karaow, "Pengembangan Sistem Informasi Peringatan Dini Banjir di Kota Manado Berbasis Internet of Things," *J. Tek. Inform.*, vol. 15, no. 1, pp. 65–74, 2020, doi: 10.35793/jti.15.1.2020.29064.
- [14] H. Isyanto, D. Almarda, and H. Fahmiansyah, "Perancangan IoT Deteksi Dini Kebakaran dengan Notifikasi Panggilan Telepon dan Share Location," *J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 1–16, 2021, doi: 10.25105/jetri.v18i1.7089.
- [15] P. Foltýnek, M. Babiuch, and P. Šuránek, "Measurement and Data Processing from Internet of Things Modules by Dual-Core Application using ESP32 Board," *Meas. Control*, vol. 52, no. 7–8, pp. 970–984, Jun. 2019, doi: 10.1177/0020294019857748.
- [16] A. Maier, A. Sharp, and Y. Vagapov, "Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things," in *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*, 2017, pp. 143–148. doi: 10.1109/ITECHA.2017.8101926.
- [17] Budiman, "Implementasi dan Pengujian Aplikasi Sistem Tindak Lanjut Pelanggan pada PT. XYZ," *J. Sist. Inf. dan Informatika*, vol. 2, no. 2, pp. 106–111, 2020, doi: 10.37278/sisinfo.
- [18] A. Fikri, I. Aknuranda, and F. Pradana, "Pengembangan Sistem Informasi Aspirasi Online Berbasis Web Menggunakan Pemodelan Reuse-Oriented Development (Studi Kasus : DPM Universitas Brawijaya)," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 2, pp. 1174–1183, 2019, doi: <https://j-ptik.ub.ac.id/index.php/j-ptik/article/view/4323>.
- [19] Y. Handrianto and B. Sanjaya, "Model Waterfall Dalam Rancang Bangun Sistem Informasi Pemesanan Produk Dan Outlet Berbasis Web," *J. Inov. Inform.*, vol. 5, no. 2, pp. 153–160, Sep. 2020, doi: 10.51170/jii.v5i2.66.
- [20] P. D. P. Silitonga and D. E. R. Purba, "Implementasi Sistem Development Life Cycle Pada Rancang Bangun Sistem Pendaftaran Pasien Berbasis Web," *J. Sist. Inf. Kaputama*, vol. 5, no. 2, pp. 196–203, 2021, doi: 10.1234/jzik.v5i2.632.
- [21] ITOPF, *Oil Spill Tanker Statistics 2022*, no. January. Canterbury: Impact PR & Design Limited, 2023.
- [22] F. A. Wenando, R. P. Santi, J. Rahmadoni, L. N. Irsyad, and alsabila R. Putri, "Sistem Informasi Parkir Elektronik pada Kampus Universitas Andalas Berbasis Website," *Fasilkom*, vol. 13, no. 1, pp. 61–71, 2023, doi: <https://doi.org/10.37859/jf.v13i01.4842>.
- [23] H. F. Amran, R. Gunawan, H. F. Amran, and Hendri, "Sistem Informasi Administrasi Sirkulasi Koran Berbasis Web pada PT. Metro Riau Pekanbaru," *Fasilkom*, vol. 13, no. 1, pp. 20–26, 2023, doi: <https://doi.org/10.37859/jf.v13i01.4791>.