

# **BAB I**

## **USULAN GAGASAN**

### **1.1. Deskripsi Umum Masalah**

#### **1.1.1. Latar Belakang Masalah**

Zat radioaktif merupakan suatu unsur yang inti atomnya sulit dikendalikan, menyebabkan zat tersebut memiliki sifat berbahaya. Hal tersebut dikarenakan radiasi yang sangat tinggi yang dihasilkan oleh zat radioaktif. Paparan radiasi dari zat radioaktif tersebut mengandung partikel alfa, beta, sinar-X, gamma, atau neutron dapat menyebabkan gangguan pada organ tubuh manusia. Tidak hanya itu, radiasi yang cepat dapat mempercepat efek korosi pada benda dan mempengaruhi masa pakai suatu benda [1].

Penggunaan zat radioaktif sebenarnya tidak selalu berbahaya, pada saat ini banyak digunakan untuk keperluan industri. Secara luas, zat radioaktif banyak diterapkan dalam industri nuklir karena kemampuannya sangat baik dalam menyediakan pasokan energi yang stabil dan dapat diandalkan. Tidak hanya itu, sifat radioisotopnya juga memiliki berbagai manfaat untuk sektor industri. Contoh manfaatnya yaitu peningkatan kualitas bahan tekstil, pemeriksaan kelayakan peralatan, dan lain sebagainya [2].

Selain bahaya radiasi radioaktif, bahaya dari penggunaan bahan kimia juga harus diwaspadai di sektor industri. Ada berbagai jenis bahan kimia yang digunakan dalam sektor industri, umumnya yang memiliki kandungan berbahaya. Dalam konteks ini, bahan kimia yang digunakan sering kali menghasilkan gas yang bersifat beracun dan mudah terbakar. Hal tersebut sering mengakibatkan kasus kebocoran gas di lingkungan industri yang dapat menimbulkan potensi bahaya serius, seperti: (1) Kebakaran, jika bahan kimia yang mudah terbakar bersentuhan langsung dengan api atau sumber panas, (2) Ledakan, Sebuah reaksi yang sangat cepat lalu menghasilkan sejumlah besar gas, (3) Keracunan, terjadi karena bahan kimia masuk ataupun terhirup ke dalam tubuh, (4) Iritasi, kondisi di mana terjadi kerusakan atau peradangan pada tubuh, seperti kulit, mata, dan saluran pernapasan [3].

Maka dari itu diperlukannya pencegahan atau pengendalian dari bahayanya bahan kimia ataupun radioaktif. Upaya-upaya awal yang dapat dilakukan untuk meminimalisir paparan bahan kimia terjadi, misalnya: (1) Pengendalian teknik,

kontrol secara berkala wadah atau tabung, terutama bahan kimia yang mudah terbakar, (2) Pengendalian administratif, contohnya seperti mengadakan pelatihan bagaimana penanganan setiap bahan kimia, karena setiap bahan kimia atau radioaktif memiliki sifat yang berbeda-beda dalam penanganannya. Selanjutnya, pelatihan penggunaan APAR jika mana terjadi sebuah kebakaran, (3) Penggunaan APD, tentunya ini upaya paling penting bagi keselamatan pekerja itu sendiri [4].

Upaya selanjutnya menggunakan kecanggihan teknologi yaitu robot *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan *Unmanned Ground Vehicle* (UGV). Robot UAV memiliki fleksibilitas yang cukup bagus dalam pemetaan serta pemantauan area, namun memiliki keterbatasan akan daya tahan baterai sehingga membatasi jangkauan dan waktu penerbangannya [5]. Dengan keterbatasan itu, dibutuhkan lah robot UGV yang dapat memetakan area lebih detail setelah dilakukannya pemetaan secara global oleh robot UAV. Selain itu, UGV juga akan mendeteksi gas beracun pada permukaan tanah karena bisa jadi tidak terdeteksi oleh robot UAV dari ketinggian. Maka dari itu kerja sama dari kedua robot ini akan menghasilkan data lebih akurat dan efisien, dibandingkan jika hanya salah satu robot saja yang beroperasi.

### **1.1.2. Analisis Masalah**

Analisis masalah dalam konteks ini akan membahas berbagai hal terkait dengan penggunaan UAV dan UGV untuk pengukuran dan pemetaan distribusi gas dalam ruangan. Beberapa fokus utama dalam analisis masalah dapat mencakup:

- Bagaimana cara integrasi robot UAV dan UGV sehingga dapat bekerja secara simultan dalam pemetaan distribusi gas dalam ruangan?
- Bagaimana mekanisme kerja robot UAV dan UGV dalam mendeteksi sumber gas?
- Bagaimana pengaruh lingkungan ruangan tertutup terhadap efektivitas pengukuran gas menggunakan UAV dan UGV?

### 1.1.3. Tujuan *Capstone*

Tujuan dari melakukan pengukuran dan pemetaan distribusi gas dalam ruangan menggunakan UAV dan UGV adalah sebagai berikut:

- Mengembangkan metode yang efektif dan efisien untuk pengukuran *real-time* distribusi gas di dalam ruangan menggunakan teknologi UAV dan UGV.
- Mengoptimalkan strategi navigasi dan pergerakan UAV dan UGV untuk mencapai lokasi sumber gas secara efisien.
- Meningkatkan pemahaman tentang interaksi antara robot UAV dan UGV dalam konteks deteksi dan pemetaan gas di dalam ruangan.

## 1.2. Analisa Masalah

Dalam pengukuran dan pemetaan distribusi gas dalam ruangan, terdapat tiga aspek utama yang menjadi landasan mengapa permasalahan ini perlu dikaji secara mendalam. Ketiga aspek tersebut didasari oleh kejadian yang sudah terjadi, yang disebabkan oleh kebocoran atau penanganan gas berbahaya yang tidak tepat. Berikut adalah penjelasan mengenai ketiga aspek tersebut:

### 1.2.1. Aspek Kesehatan

Kontaminasi zat berbahaya atau polutan berupa gas beracun atau radioaktif mempunyai dampak signifikan pada aspek kesehatan manusia. Industri pengolahan gas alam menjadi salah satu contoh berbahayanya kebocoran gas alam terhadap kesehatan manusia. Pengolahan Gas *Methyl Isocyanate* (MIC) pada tahun 1984 di Bhopal, India mengalami kebocoran yang menyebabkan para pekerja terpapar gas *Methyl Isocyanate*. Organ utama seperti mata, sistem respirasi, hingga kulit menjadi organ vital yang terdampak oleh paparan gas ini. Gejala yang paling umum adalah batuk, rasa sesak dan tidak nyaman di dada, sesak nafas, iritasi pada tenggorokan, dan rinorea . Pada 7 Mei 2020, 12 orang meninggal akibat kebocoran gas *Styrene Monomer* di Vizag. Kebocoran gas ini juga mempengaruhi ribuan orang dengan radius lima kilometer. Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (EPA) menyatakan bahwa paparan jangka pendek terhadap stirena tingkat rendah pada manusia dapat berdampak buruk gejala *gastrointestinal* serta selaput lendir

dan gangguan mata. Di sisi lain, paparan yang berkepanjangan berdampak pada pusat sistem saraf, mengakibatkan sakit kepala, kelemahan, kelelahan, gangguan pendengaran, kerusakan saraf, dan depresi [6]. Ketika uap stirena dihirup dalam jumlah besar, hal itu menyebabkan iritasi kulit, mata, dan paru-paru dan membuat sulit bernapas. Namun, kelainan ini dapat memburuk pada pengidap *Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD)*. Kejadian kebocoran gas seperti pada dua contoh di atas, terdapat pada sektor industri seperti industri karet, pabrik kimia, kilang minyak, serta industri yang berhubungan dengan bensin.

Kebocoran gas pada beberapa sektor industri memiliki dampak jangka panjang dan jangka pendek. Pemakaian senyawa benzena ( $C_6H_6$ ) pada pembuatan berbagai macam resin contohnya, dapat mengakibatkan pusing, sakit kepala, gemetar, disorientasi, dan ketidaksadaran. Paparan Benzena pada kulit, mata dan tenggorokan pada tingkatan yang tinggi dapat menyebabkan kondisi yang fatal. Pada paparan Benzena dalam jangka panjang dapat menyebabkan anemia yang menyebabkan seseorang merasa lemah dan letih. Selain itu, pertumbuhan trombosit juga berkurang dalam paparan jangka panjang. Hal ini menyebabkan lamanya pembekuan darah dan pengobatan luka. Hingga yang paling fatal adalah pengurangan jumlah produksi sel darah putih. Kurangnya sel darah putih dapat menyebabkan melemahnya tubuh dalam melawan serangan infeksi [6]. Selain benzena, pencemaran timbal akibat kegiatan industri juga menyebabkan risiko kesehatan lain yang diserap melalui makanan yang dikonsumsi sehari-hari [7].

### **1.2.2. Aspek Keselamatan**

Kebocoran gas pada sektor industri khususnya dalam pengolahan gas alam dapat menyebabkan kejadian seperti ledakan. Berdasarkan statistik, terjadi 909 kejadian ledakan gas di China yang mengakibatkan 127 kematian dan 106 luka-luka pada tahun 2016. Sebanyak 75% merupakan peristiwa ledakan terjadi di dalam ruangan. Kemudian pada tahun selanjutnya, 2017, terjadi 702 ledakan yang menyebabkan 126 kematian dan 66% kejadian ledakan terjadi di dalam ruangan [8]. Ledakan gas alam dalam ruangan menjadi penyumbang terbesar korban jiwa dan kerusakan pada bangunan gedung. Oleh karena itu, sektor industri yang berhubungan dengan gas alam yang mudah meledak harus mendapatkan perhatian khusus untuk meminimalisir terjadinya ledakan yang dapat memakan korban jiwa.

### 1.2.3. Aspek Lingkungan

Berdasarkan penyebaran radiasi ke lingkungan, radiasi primordial terbagi dalam dua kelompok yaitu NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material*) dan TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*) [10]. Berdasarkan penyebaran radiasi ke lingkungan, radiasi primordial terbagi dalam dua kelompok yaitu NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material*) dan TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*). NORM, singkatan dari *Naturally Occurring Radioactive Material*, merujuk pada bahan radioaktif yang secara alami ada di lingkungan dan telah menjadi bagian alami dari kehidupan kita. NORM, singkatan dari *Naturally Occurring Radioactive Material*, merujuk pada bahan radioaktif yang secara alami ada di lingkungan dan telah menjadi bagian alami dari kehidupan kita. Komponen penting dari radiasi internal ini berasal dari radionuklida seperti  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{40}\text{K}$ , dan radon. Komponen penting dari radiasi internal ini berasal dari radionuklida seperti  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{40}\text{K}$ , dan radon. Industri yang menggunakan bahan baku dari dalam bumi dapat mengakibatkan peningkatan konsentrasi radionuklida alami. Ini terjadi karena selama proses ekstraksi dan pengolahan bahan baku, radionuklida alami yang ada dalam batuan bumi dapat menjadi lebih bergerak (termobilisasi), menghasilkan produk sampingan berupa bahan radioaktif. Bahan radioaktif ini dikenal sebagai TENORM, yang merupakan singkatan dari *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*. Biasanya, TENORM mengandung radionuklida seperti  $^{40}\text{K}$ , isotop Uranium-238 ( $^{238}\text{U}$ ), dan isotop Thorium ( $^{232}\text{Th}$ ). Radiasi dari TENORM dapat mempengaruhi pekerja dan masyarakat jika fasilitas industri tersebut terkontaminasi oleh bahan-bahan tersebut [9]. Sehingga jika telah terjadi pelepasan zat radioaktif oleh kegiatan industri perlu dilakukan pemantauan kadar zat radioaktif baik dalam medium udara, tanah, maupun air.

Bahan radioaktif mempunyai kecenderungan untuk membuat polusi lingkungan yang menyebabkan ruang lingkup daerahnya menjadi tidak dapat dijadikan tempat hidup. Hal ini terjadi karena terjadinya proses radioaktif, proses meluruhnya sebuah atom dari sebuah bahan yang melepaskan beberapa energi radioaktif, ionisasi, maupun partikel. Ada radiasi Gamma yang tersusun dari foton berenergi tinggi. Radiasi alfa terdiri dari partikel alfa, yang merupakan inti helium

yang terdiri dari dua proton dan dua neutron. Partikel ini besar dan memiliki muatan positif, sehingga dapat dengan mudah diserap oleh materi, sehingga tidak menembus jauh. Radiasi beta, di sisi lain, terdiri dari partikel beta negatif (elektron) atau positron (antimateri dari elektron), yang memiliki muatan negatif atau positif. Partikel beta dapat menembus materi lebih jauh dibandingkan radiasi alfa, tetapi masih memerlukan perisai yang sesuai untuk melindungi dari efek berbahayanya. Keduanya dapat memiliki dampak radiasi yang berbahaya bagi kesehatan manusia, dan penggunaan dan pengelolaan yang benar sangat penting dalam lingkungan nuklir dan medis. Interaksi radiasi pengion dengan bahan biologis menghasilkan ionisasi dan eksitasi molekul dan atom, yang dapat menyebabkan perubahan molekuler pada DNA di inti sel [10].

### **1.3. Analisa Solusi yang Ada**

Dengan berbagai dampak serius yang dapat terjadi akibat kebocoran gas, penting untuk menerapkan langkah-langkah pencegahan terhadap bahaya bahan kimia. Dalam konteks ini, beberapa solusi dipertimbangkan untuk pencegahan kebocoran, yang meliputi:

#### **1.3.1. Portable Handheld Sensor**

Metode pengukuran dan pemetaan yang pertama dan paling sederhana adalah metode manual, yaitu dengan mengirimkan individu yang membawa sensor *portable* atau *handheld* sensor untuk melakukan pembacaan. Produsen sudah dapat mengeluarkan berbagai macam sensor baru dengan harga terjangkau berkat kemajuan pesat dalam teknologi sensor kualitas udara. Sejak tahun 2013, ada produk yang dapat digunakan secara komersial untuk membaca polutan seperti O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PM, VOC, dan polutan lainnya secara individual maupun campuran kompleks [11]. Tentu saja, saat ini lebih banyak polutan yang dapat dideteksi dan lebih kompleks. Sensor polutan udara *portable* atau *handheld* memiliki banyak keuntungan untuk operasi industri atau skala besar, seperti pengukuran sebelum atau setelah bencana. Karena ukuran mereka yang kecil dan mudah dibawa, mereka ideal untuk digunakan dalam operasi industri atau skala besar serta dalam situasi tanggap bencana. Selain itu, sensor *portable*, seperti *Photoionization detector*

(PIDs), alat detektor atau sensor gas yang digunakan untuk mengukur keberadaan senyawa organik volatil (VOC), dapat memberikan informasi *real-time* [11][12]. Sensor portabel atau *handheld* juga dapat memberikan data dengan resolusi tinggi mengenai konsentrasi polutan di lokasi tertentu, yang dapat membantu mengidentifikasi sumber polusi dan pola-pola [12].

Namun, meskipun ada beberapa keuntungan dari sensor portabel atau *handheld*, ada juga beberapa kelemahan dari penggunaan sensor jenis ini. Yang pertama adalah hanya dapat memberikan data dengan resolusi tinggi tentang konsentrasi polutan di lokasi tertentu, yang mungkin tidak cukup untuk operasi skala besar [13]. Selain itu, sensor *portable* atau *handheld* mungkin tidak dapat mencapai area tertentu dalam operasi industri atau skala besar, seperti ruang terbatas atau ketinggian yang tinggi, yang dapat membatasi efektivitas mereka dalam memberikan data kualitas udara yang komprehensif [13]. Dalam beberapa kasus, penggunaan sensor *portable* atau *handheld* untuk pengukuran polutan udara dalam operasi industri atau skala besar dapat menimbulkan bahaya bagi individu, terutama jika tidak terlatih atau dilengkapi dengan baik untuk menangani bahan berbahaya [13].

### **1.3.2. *Wireless Sensor* atau *Wireless Sensor Network***

Metode kedua adalah penggunaan *wireless sensor*, baik secara individu maupun dalam jaringan yang bekerja bersama, yang sering disebut sebagai jaringan sensor nirkabel (*wireless sensor network*). Sensor-sensor ini dapat ditempatkan baik di dalam maupun di luar ruangan dan data yang dihasilkan dapat diakses langsung pada sensor tersebut atau melalui perangkat seluler dengan koneksi internet [14]. Penggunaan *wireless sensor* saat ini sangat luas, digunakan dalam sektor transportasi, *smart cities*, keamanan dan pengawasan (*security and surveillance*), perawatan kesehatan (*healthcare*), dan masih banyak lagi, termasuk pemantauan lingkungan (*environmental monitoring*) [15]. Salah satu produk yang relevan adalah sistem pemantauan polusi udara dengan jaringan sensor nirkabel (*Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring System - WAPMS*), yang terdiri dari beberapa *node* sensor dan sistem komunikasi yang memungkinkan pengiriman data ke sebuah *base station* atau server [16].

Kelebihan penggunaan WSN termasuk kemampuan untuk memberikan data secara *real-time*, khususnya dalam pemantauan polutan di suatu lokasi [15][16]. Selain itu, data yang dihasilkan memiliki resolusi dan akurasi yang tinggi, memungkinkan identifikasi sumber dan pola polutan [16][17][18]. Kemampuan skalabilitas adalah keunggulan lain, yang memungkinkan penambahan atau pengurangan *node* sensor sesuai kebutuhan, sehingga metode ini sangat sesuai untuk aplikasi industri dan skala besar [15][16]. Harga terjangkau dari *node* sensor juga mendukung pengembangan metode ini [15][16][17].

Namun, terdapat dua kelemahan utama dari WSN. Pertama, jangkauan pembacaan terbatas. Meskipun sensor-sensor ini dapat mengukur konsentrasi polutan secara akurat, data hanya tersedia di lokasi tempat sensor tersebut ditempatkan, dan terbatas oleh jarak maksimum yang dapat dideteksi oleh sensor tersebut [17]. Kedua, masa pakai sensor yang terbatas. Seiring berjalannya waktu, efektivitas pembacaan sensor dapat berkurang akibat berbagai faktor, seperti paparan konsentrasi polutan yang tinggi, fluktuasi suhu, kelembaban, dan faktor lainnya [18]. Keterbatasan lainnya adalah bahwa WSN tidak dapat digunakan jika sensor yang dipasang mengalami kerusakan selama atau setelah bencana, sehingga tidak memungkinkan pemasangan WSN baru di lokasi tersebut untuk mengukur kualitas udara yang dapat membahayakan personil. Dengan demikian penggunaan WSN hanya efektif dalam menjadi solusi preventif.

### **1.3.3. Remote Controlled Robot**

Metode yang ketiga adalah pengaplikasian robot untuk pembacaan dan pemetaan penyebaran polutan dalam ruangan. Komposisi metode ini umumnya terdiri dari sebuah robot bisa berupa kendaraan udara/darat tanpa awak (UAV/UGV) yang dilengkapi dengan sensor, untuk mengidentifikasi jenis polutan atau campuran senyawa kompleks. salah satu contoh produk dari metode ini adalah FLIR MUVE C360, sebuah pendeteksi polutan yang terintegrasi dengan sistem kendaraan udara tanpa awak (UAV) [19]. Dengan menggunakan robot umumnya kecil untuk pembacaan dan pemetaan robot dapat mengakses area yang berbahaya atau sulit dijangkau, memberikan pemantauan dan pengumpulan data secara *real-time*. selain itu juga dapat meningkatkan keselamatan bagi operatornya. Dengan dikendalikan dari jarak jauh dapat mengurangi risiko paparan polutan berbahaya



terhadap individu. Namun, terdapat juga beberapa kelemahan dalam menggunakan robot yang dikendalikan dari jarak jauh untuk deteksi gas dan polutan udara, seperti kebutuhan akan pelatihan dan pemeliharaan yang tepat, dan biaya awal yang tinggi.

#### **1.3.4. *Sole Autonomous UGV***

Metode keempat berfokus terhadap penggunaan robot darat, kendaraan darat tanpa awak (*Unmanned Ground Vehicle* - UGV) yang dapat bekerja secara otonom. salah satu produk dari metode ini adalah *RoboGas Inspector*. Sebuah produk dari program teknologi Jerman AUTONOMIK, konsorsium sembilan perusahaan dan institut penelitian mengembangkan prototipe robot mobil otonom untuk deteksi dan lokalisasi kebocoran gas di fasilitas industri besar. Konsorsium menciptakan sistem yang mampu menjalankan tugas inspeksi di fasilitas industri tanpa harus mengakses area berbahaya secara langsung - dan tanpa memerlukan kehadiran manusia [20]. Beberapa keunggulan dari sistem yang dikembangkan ini adalah peningkatan kualitas inspeksi berkat teknologi pemantauan gas jarak jauh yang *mobile*, peningkatan cakupan area inspeksi yang lebih luas, dan peningkatan frekuensi inspeksi dengan jumlah staf yang tersedia. Selain itu, teknologi ini memberikan manfaat berupa meringankan beban operator dengan kemudahan inspeksi di area terpencil melalui teknologi pemantauan jarak jauh, otomatisasi tugas rutin yang monoton, evaluasi pengukuran otomatis, dan dokumentasi hasil. Selain itu, penggunaan UGV juga memungkinkan pemanfaatan yang lebih efisien dan efektif dari staf spesialis, dengan lebih banyak waktu bagi operator manusia untuk kegiatan yang menciptakan nilai lebih tinggi seperti perencanaan, pengawasan, dan optimasi [21]. Meskipun memiliki beberapa kelemahan, seperti kebutuhan akan pelatihan dan pemeliharaan yang tepat, serta biaya awal yang tinggi, penggunaan UGV otonom dalam pemetaan dan pengukuran polutan udara adalah langkah penting dalam meningkatkan efisiensi, keamanan, dan kualitas inspeksi industri, sambil mengurangi risiko kehadiran manusia di area berbahaya.

#### **1.3.5. *Sole Autonomous UAV***

Metode ini menggunakan *single-drone* UAV untuk melakukan pemetaan atau pemantauan area. *Single-drone* akan bergerak secara *autonomous* dengan bantuan sensor untuk melewati sebuah rintangan, setelah itu data akan dikumpulkan oleh

drone lalu dikirim kembali ke stasiun pengendali melalui sinyal radio. Pada *single-drone* ini dipasang sensor *Metal Oksida Semikonduktor* (MOX) untuk mendeteksi keberadaan kandungan gas, selain sensor MOX dipasangkan juga sensor suhu untuk membantu dalam analisis dalam interpretasi data deteksi gas.

Kelebihan dari robot UAV ini memiliki fleksibilitas dalam operasi pemetaan data sehingga data yang dihasilkan lebih luas dan beragam sesuai kebutuhan. Selain itu aksesibilitasnya dalam menjangkau area berbahaya sangat dibutuhkan untuk menjaga keselamatan penggunaannya. Namun tentunya robot UAV ini memiliki keterbatasan yang harus diperhatikan, pertama keterbatasannya daya tahan baterai yang terbatas sehingga harus diperhatikan luas jangkauan dan waktu operasionalnya. Kedua, rentan akan cuaca buruk jika dioperasikan pada ruang terbuka, karena akan mengganggu sistem kerja dari robot UAV itu sendiri [5].

### **1.3.6. Multiple Autonomous Robot**

Konsep *multiple autonomous* robot atau "*swarm*" melibatkan kerja sama antara dua atau lebih robot otonom untuk mencapai tujuan bersama. Salah satu penelitian yang berhasil mengimplementasikan konsep ini adalah "*Sniffy Bug: Kelompok Otonom Nano Quadcopter Pencari Gas dalam Lingkungan yang Penuh Hambatan.*" Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan sistem *nano quadcopter*, yaitu Bitcraze Crazyflie, sebagai platform robot. *Nano quadcopter* ini dilengkapi dengan berbagai sensor yang berperan penting dalam membantu navigasi, penghindaran rintangan, lokalisasi, komunikasi antar robot, dan pendeteksian gas [22].

Keunggulan metode ini dibanding metode robot lainnya yang pertama adalah skalabilitas, kemampuan untuk memperbanyak atau mengurangi jumlah robot yang digunakan dalam sebuah proses pemantauan tergantung pada ukuran area yang dipantau. Kemampuan redundansi dari sistem, merujuk pada penggunaan robot untuk melakukan tugas yang sama. Jika satu robot mengalami kegagalan atau menghadapi rintangan, robot lainnya dapat terus beroperasi dan mengumpulkan data, memastikan bahwa proses pemantauan tidak terganggu. Hal ini dapat membantu memastikan bahwa data yang dikumpulkan akurat dan dapat diandalkan, yang penting untuk mengambil keputusan yang berdasarkan informasi yang tepat. Namun, terdapat juga beberapa kelemahan dalam menggunakan beberapa robot

secara bersamaan, selain seperti kebutuhan akan pelatihan dan pemeliharaan yang tepat, serta biaya awal yang tinggi, metode komunikasi dan koordinasi tentu akan menjadikannya sebagai sebuah tantangan.

#### **1.4. Kesimpulan dan Ringkasan CD-1**

Kejadian kebocoran gas di sektor industri sering kali mengakibatkan kecelakaan kerja yang fatal, termasuk kematian pekerja. Sebagai respons, pemanfaatan teknologi robotik telah berkembang dengan cepat, menawarkan solusi inovatif. Penggunaan sensor pendeteksi gas atau radioaktif pada robot memfasilitasi pendeteksian dan pemetaan kebocoran gas dalam ruangan tanpa bantuan manusia. Integrasi antara UAV (Unmanned Aerial Vehicle) dan/atau UGV (Unmanned Ground Vehicle), yang mampu beroperasi secara mandiri dalam ruangan, sangat efektif dalam mengidentifikasi sumber radiasi atau kebocoran gas. Dengan demikian, risiko terhadap paparan gas beracun yang dapat memicu ledakan atau radiasi dari bahan radioaktif berhasil dikurangi secara signifikan. Lebih lanjut, keefektifan solusi robotik ini meningkat apabila dikombinasikan dengan alat preventif, seperti Wireless Sensor Networks (WSN), menjadikannya solusi ini lebih unggul dibandingkan dengan metode tradisional.