

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi umum Masalah dan Kebutuhan

Prediksi penyebaran zat radioaktif sangat penting dalam mengantisipasi risiko kesehatan dan lingkungan. Pemodelan yang tepat mengenai aktivitas dan dispersi radioaktif memungkinkan mitigasi risiko melalui evakuasi dan penetapan zona aman. Pada kejadian kecelakaan nuklir, faktor-faktor seperti kondisi meteorologi dan sumber radioaktif dipertimbangkan untuk menentukan distribusi radionuklida di udara dan tanah, sehingga tindakan yang tepat dapat diambil[1].

Saat ini, prediksi penyebaran zat radioaktif dilakukan menggunakan *software* seperti *PC COSYMA*, yang memerlukan data cuaca (kecepatan angin, arah angin, suhu, dan kelembapan) dan data karakteristik sumber radioaktif. Data cuaca biasanya berasal dari stasiun cuaca lokal atau data historis[2]. Proses ini mengandalkan data historis, yang seringkali kurang tepat untuk memprediksi kondisi cuaca yang dinamis.

Namun, mekanisme saat ini memiliki keterbatasan. Proses penyiapan data *input* untuk *software PC-COSYMA* membutuhkan waktu lama dan sulit menyesuaikan dengan perubahan cuaca secara *real-time*. Ketergantungan pada data historis mengurangi akurasi prediksi penyebaran radionuklida.

Penggunaan data prediksi cuaca masa depan menjadi semakin penting dalam konteks ini. Dengan mempertimbangkan tren cuaca ke depan, simulasi penyebaran radionuklida dapat disesuaikan dengan kondisi cuaca yang mungkin terjadi beberapa jam hingga hari ke depan. Data prediksi cuaca membantu memperhitungkan kemungkinan perubahan arah angin, kecepatan angin, dan kondisi atmosfer lainnya yang dapat mempengaruhi jalur penyebaran zat radioaktif. Penggunaan prediksi cuaca yang akurat merupakan langkah penting dalam adaptasi terhadap perubahan iklim dan mitigasi bencana, terutama di wilayah rawan hidrometeorologi, karena mendukung tindakan cepat dalam melindungi populasi dari risiko paparan bahaya[3].

Kendala lain adalah kurangnya integrasi antara model prediksi cuaca dengan simulasi penyebaran zat radioaktif. Aplikasi yang lebih efisien diharapkan dapat mempercepat proses penyiapan data *input*, memprediksi cuaca masa depan, dan menghasilkan visualisasi yang akurat untuk membantu peneliti di lapangan dan di kantor.

1.2 Analisa Masalah

1.2.1 Aspek Teknis

Dalam proses prediksi penyebaran radionuklida, penggunaan data cuaca sangat penting. Saat ini, data cuaca yang digunakan dalam simulasi sering kali berupa data historis, yang tidak mencerminkan perubahan kondisi cuaca secara *real-time*. Penggunaan data cuaca historis dalam simulasi dispersi radionuklida membatasi akurasi prediksi secara *real-time*, karena data ini tidak dapat menangkap perubahan cuaca mendadak, yang mempengaruhi ketepatan prediksi dispersi zat di udara[4]. Selain itu, proses penyiapan data *input* untuk *software* seperti *PC-COSYMA* masih manual dan memakan waktu, sehingga menambah tantangan teknis dalam menjalankan simulasi yang cepat dan akurat.

1.2.2 Aspek Ekonomi

Keterbatasan teknis dalam proses prediksi penyebaran radionuklida juga memiliki dampak ekonomi. Jika prediksi yang dihasilkan tidak tepat, biaya penanggulangan bencana evakuasi bisa meningkat secara signifikan. Penundaan dalam pengambilan keputusan evakuasi menyebabkan peningkatan biaya ekonomi, baik untuk pelaksanaan evakuasi darurat maupun dalam pemulihan lingkungan setelah bencana. Dalam skenario ini, penundaan memperlambat evakuasi, meningkatkan risiko kerugian lebih lanjut akibat bahaya lingkungan yang berkelanjutan[5]. Selain itu, waktu yang terbuang dalam proses penyiapan data *input* yang masih manual juga menyebabkan tidak efisiennya penggunaan sumber daya manusia dan teknologi.

1.2.3 Aspek Kebijakan

Dalam konteks kebijakan, akurasi prediksi sangat penting untuk mendukung pengambilan keputusan cepat dan tepat. Keakuratan prediksi dispersi radionuklida sangat penting dalam mengambil keputusan mitigasi bencana. Jika perkiraan dispersi tidak akurat atau tertunda, hal ini dapat menghambat langkah-langkah mitigasi, seperti evakuasi dan pembatasan wilayah terdampak, yang pada akhirnya membahayakan keselamatan publik[6]. Kendala dalam proses *input* data dan ketergantungan pada data historis mengurangi kemampuan otoritas untuk bertindak cepat dalam situasi darurat.

1.2.4 Aspek Lingkungan

Paparan radionuklida yang tidak terkendali dapat menyebabkan kerusakan lingkungan yang luas dan berkelanjutan. Jika prediksi penyebaran radionuklida tidak dilakukan dengan cepat dan akurat, zat radionuklida dapat menyebar lebih jauh dan mencemari area

yang lebih luas, termasuk tanah, air, dan udara. Hal ini akan memperburuk dampak jangka panjang terhadap ekosistem dan Kesehatan manusia[7]. Ketergantungan pada data historis dalam prediksi penyebaran menghambat kemampuan untuk merespons perubahan cuaca yang dapat mempercepat penyebaran zat radioaktif, sehingga menambah risiko terhadap lingkungan.

1.2.5 Aspek Operasional

Dari perspektif operasional, *input* manual data meteorologi dan parameter rilis terbukti signifikan meningkatkan ketidakpastian dan memperlambat proses simulasi penyebaran radionuklida, karena model-model dispersi sangat sensitif terhadap akurasi *input*[8]. Peneliti di BRIN menghadapi kendala dalam mempercepat proses simulasi karena proses penyiapan data *input* yang lambat. Selain itu adanya perubahan kondisi cuaca secara real-time memberikan tantangan tersendiri dalam penyiapan data input meteorologi. Proses ini mempengaruhi ketepatan waktu prediksi dan respons terhadap situasi darurat. Akibatnya, proses mitigasi tidak dapat dilakukan dengan optimal, yang dapat meningkatkan risiko terhadap populasi yang berada di area terdampak.

1.3 Analisa Solusi yang Ada

Berbagai upaya telah dilakukan untuk memprediksi penyebaran zat radioaktif dan mengatasi kendala yang terkait dengan penyiapan data input meteorologi serta akurasi prediksi cuaca. Beberapa solusi yang ada telah diimplementasikan, namun masing masing memiliki kelebihan dan kekurangan

1.3.1 PC-COSYMA

Salah satu solusi utama saat ini digunakan adalah *PC-COSYMA*, sebuah perangkat lunak yang dirancang untuk memprediksi penyebaran radionuklida di atmosfer. *PC-COSYMA* menggunakan data cuaca, seperti kecepatan dan arah angin, suhu, serta kelembapan untuk menjalankan simulasi penyebaran radionuklida.

Kelebihan

- Akurasi tinggi dalam perhitungan dosis PC-COSYMA memberikan simulasi yang sangat detail terkait penyebaran radionuklida dan dosis paparan masyarakat, karena sistem ini menghitung dosis efektif dan *thyroid* pada beberapa jarak dan periode integrasi, menggunakan sampel cuaca yang representatif dan distribusi populasi spesifik untuk menghasilkan statistik persentil yang komprehensif[9].

- Penggunaan yang luas: Perangkat lunak ini telah banyak digunakan dalam berbagai skenario insiden nuklir di seluruh dunia, termasuk di Eropa dan Jepang, dan telah terbukti andal dalam skenario bencana besar.

Kekurangan

- Ketergantungan pada data historis : *PC-COSYMA* umumnya menggunakan data cuaca historis, yang tidak selalu sesuai dengan kondisi cuaca yang cepat berubah. Ini menyebabkan hasil simulasi bisa kurang akurat jika kondisi cuaca berubah drastis.
- Penyiapan data *input* manual : Penyiapan data *input* untuk *software PC-COSYMA* memakan waktu lama dan bersifat manual, sehingga memperlambat proses simulasi, terutama dalam situasi darurat yang membutuhkan hasil prediksi yang cepat.

1.3.2 Model Dispersi Atmosfer *Gaussian Plume*

Gaussian Plume Model adalah model fisik yang digunakan untuk memprediksi penyebaran zat radioaktif di atmosfer. Model ini mempertimbangkan kecepatan dan arah angin untuk memperkirakan bagaimana partikel radioaktif tersebar setelah dilepaskan ke udara[10].

Kelebihan

- Sederhana dan efisien : *Gaussian Plume Model* adalah salah satu model yang paling sederhana dan cepat dalam menghitung penyebaran zat di atmosfer, sehingga cocok digunakan untuk skenario prediksi jangka pendek dan insiden darurat[11].
- Validasi empiris : Model ini telah banyak digunakan dalam situasi bencana radiasi sebelumnya dan memberikan hasil yang dapat diandalkan untuk kondisi cuaca stabil.

Kekurangan

- Keterbatasan pada kondisi cuaca dinamis : Model ini kurang akurat dalam situasi di mana kondisi cuaca berubah dengan cepat atau sangat tidak stabil. Ini membuat prediksi menjadi kurang tepat jika digunakan dalam skenario cuaca yang kompleks, seperti badai atau perubahan arah angin yang mendadak[12]

1.3.3 *RadCon*

RadCon adalah Alat visualisasi yang digunakan untuk menampilkan hasil simulasi penyebaran zat radionuklida dalam bentuk peta 3D. *RadCon* memungkinkan para peneliti untuk memahami pola penyebaran radionuklida secara visual , yang sangat berguna dalam pengambilan keputusan mitigasi[13].

Kelebihan

- Visualisasi yang jelas dan interaktif : *RadCon* memberikan representasi visual yang sangat baik dari penyebaran zat radioaktif di wilayah terdampak, sehingga

memudahkan para pemangku kepentingan untuk memahami hasil simulasi dengan cepat.

- Membantu pengambilan keputusan : Dengan visualisasi interaktif, pengguna dapat dengan mudah mengidentifikasi area yang paling terpengaruh dan mengambil tindakan mitigasi yang sesuai berdasarkan hasil simulasi.

Kekurangan

- Tidak melakukan perhitungan dosis: *RadCon* berfokus pada visualisasi penyebaran, tetapi tidak memiliki kemampuan untuk menghitung dosis paparan radiasi. Untuk perhitungan dosis, pengguna harus menggunakan alat lain seperti *PC-COSYMA*[14].
- Tidak terintegrasi dengan data cuaca *real-time* : Seperti *PC-COSYMA*, *RadCon* juga tidak dirancang untuk bekerja dengan data cuaca *real-time*, sehingga visualisasi yang dihasilkan tidak selalu sesuai dengan perubahan kondisi cuaca saat itu.

1.3.4 Penggunaan Data Cuaca BMKG dan Local *Weather* Monitor di Tapak Kawasan Nuklir

Di Indonesia, BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) menyediakan data cuaca yang digunakan untuk berbagai simulasi, termasuk prediksi penyebaran zat radioaktif. Data cuaca ini mencakup kecepatan angin, suhu, curah hujan, dan arah angin, yang kemudian digunakan dalam perangkat lunak simulasi seperti *PC-COSYMA*. Data cuaca ini mencakup kecepatan angin, curah hujan, arah angin, stabilitas atmosfer, *mixing layer depth*, kelembapan relatif, temperatur dan tekanan udara, yang dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan dispersi atau sebaran radioaktif secara atmosferik.

Namun, di samping data dari BMKG, *local Weather* monitor yang dipasang di kawasan tapak juga berperan penting dalam memantau kondisi cuaca lokal secara lebih spesifik. Pemantauan cuaca lokal ini memungkinkan peneliti memperoleh data yang lebih detail dan akurat tentang kondisi cuaca di sekitar fasilitas, yang sering kali berbeda dari kondisi cuaca di wilayah yang lebih luas. Dengan memasukkan data cuaca aktual dari *local weather monitor* seperti kecepatan angin, arah angin, dan stabilitas atmosfer ke dalam data input model dispersi seperti *PC-COSYMA*, simulasi penyebaran radionuklida dapat lebih mencerminkan kondisi lapangan dan menghasilkan prediksi pola sebaran yang lebih relevan untuk kawasan nuklir tertentu[15].

Kelebihan

- Relevansi local : Data cuaca dari BMKG mencerminkan kondisi cuaca wilayah yang lebih luas, sementara *local Weather* monitor menyediakan data lebih spesifik yang langsung mencerminkan kondisi di tapak Kawasan nuklir.

- Peningkatan akurasi: Dengan memanfaatkan data dari *local Weather* monitor, hasil simulasi dapat lebih sesuai dengan kondisi cuaca aktual di sekitar fasilitas, sehingga meningkatkan akurasi prediksi.

Kekurangan

- Tidak selalu *real-time*: Meskipun data dari BMKG cukup handal, data ini sering kali tidak *real-time* dan masih bersifat historis, sehingga tidak mencerminkan perubahan cuaca yang mendadak, yang penting untuk simulasi penyebaran radionuklida.
- Keterbatasan integrasi dengan alat simulasi: Data dari BMKG dan *local Weather* monitor saat ini masih perlu diintegrasikan secara manual ke dalam perangkat lunak simulasi, sehingga memerlukan waktu tambahan untuk proses penyiapan data *input*.

1.4 Usulan Konsep Solusi

Untuk mengatasi masalah yang teridentifikasi dalam proses prediksi penyebaran radionuklida dan proses penyiapan data *input* untuk *software PC-COSYMA*, berikut beberapa konsep yang diusulkan:

1.4.1 Pengembangan Aplikasi dengan Integrasi Data Cuaca *Real-time*

Salah satu solusi yang diajukan adalah pengembangan sebuah aplikasi *mobile* yang dapat mengintegrasikan data cuaca *real-time* dengan proses simulasi penyebaran radionuklida. Aplikasi ini akan memungkinkan peneliti untuk memasukkan data cuaca dari sumber *real-time*, seperti sensor cuaca, langsung ke dalam sistem simulasi tanpa perlu proses penyiapan data *input* manual yang memakan waktu. Integrasi ini akan memastikan bahwa hasil prediksi penyebaran lebih relevan dengan kondisi cuaca terkini, sehingga tindakan mitigasi dapat dilakukan lebih cepat dan akurat.

Kelebihan

- Prediksi yang lebih akurat: Dengan data cuaca *real-time*, hasil simulasi penyebaran akan lebih mencerminkan kondisi cuaca saat ini dan masa depan, sehingga lebih akurat.
- Efisiensi waktu: Pengurangan waktu proses penyiapan data *input* akan memungkinkan simulasi dilakukan lebih cepat, sehingga keputusan mitigasi dapat diambil dengan segera.

Kekurangan

- Kebutuhan infrastruktur: Memerlukan konektivitas dengan sumber data cuaca *real-time* dan pengembangan integrasi yang baik dengan alat simulasi yang ada.

1.4.2 Model Prediksi Cuaca Berbasis Pembelajaran Mesin

Alternatif solusi lainnya adalah penggunaan model prediksi cuaca berbasis pembelajaran mesin. Dengan memanfaatkan data cuaca historis dan *real-time*, model ini dapat memberikan prediksi cuaca untuk beberapa hari ke depan, yang dapat digunakan sebagai *input* dalam simulasi penyebaran radionuklida. Model ini juga memungkinkan penggunaan parameter tambahan selain parameter cuaca utama, seperti kelembapan dan suhu yang akan meningkatkan akurasi prediksi[16].

Kelebihan

- Prediksi masa depan yang lebih baik: Model *machine learning* dapat memberikan prediksi cuaca dengan akurasi tinggi untuk periode waktu yang lebih lama.
- Penanganan data kompleks: Model ini dapat mengolah banyak variabel cuaca sekaligus, sehingga memberikan prediksi yang lebih menyeluruh.

Kekurangan

- Kebutuhan data dan komputasi: Model ini membutuhkan data yang besar dan komputasi yang kuat untuk mendapatkan hasil prediksi yang optimal.

1.4.3 Visualisasikan Penyebaran dengan Peta *Real-time*(QGIS)

Untuk membantu para peneliti dan otoritas terkait dalam memahami hasil prediksi penyebaran radionuklida, solusi visualisasi berbasis peta *real-time* menggunakan platform seperti QGIS dapat diterapkan. Dengan peta ini, hasil prediksi penyebaran dapat divisualisasikan secara langsung pada peta yang interaktif, memungkinkan para pemangku kepentingan untuk melihat area yang terpengaruh secara lebih jelas dan rinci[17].

Kelebihan

- Meningkatkan pemahaman: Visualisasikan yang jelas dan interaktif membantu mempercepat pengambilan keputusan mitigasi dengan memudahkan identifikasi area terdampak.
- Aksesibilitas: Peta interaktif dapat diakses melalui perangkat *mobile* maupun PC, sehingga memudahkan pemantauan dari mana saja.

Kekurangan

- Keterbatasan visualisasi: Peta hanya menampilkan hasil simulasi, tanpa memberikan perhitungan dosis secara langsung.

1.5 Kesimpulan

Dari analisis masalah yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan bahwa meskipun sudah ada beberapa alat dan model simulasi yang digunakan untuk memprediksi penyebaran

radionuklida, masih terdapat beberapa kendala teknis, ekonomi, dan operasional, seperti ketergantungan pada data cuaca historis dan waktu penyiapan data *input* yang memakan waktu lama. Beberapa solusi yang diusulkan untuk mengatasi masalah ini meliputi pengembangan aplikasi yang dapat mengintegrasikan data cuaca *real-time*, penggunaan model prediksi cuaca berbasis pembelajaran mesin, serta visualisasi hasil simulasi menggunakan peta *real-time* seperti QGIS. Solusi ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi prediksi penyebaran radionuklida serta mempercepat proses penyiapan data input dan simulasi, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan tepat dalam situasi darurat.