

PERANCANGAN *DECISION SUPPORT SYSTEM* BERBASIS WEBSITE UNTUK PENGAWASAN RISIKO PADA INSTITUSI PENGAWAS TENAGA NUKLIR

Asmuliardi Muluk¹⁾, Ardhian Agung Yulianto²⁾, Billy Fadilah Ananda³⁾

¹Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
email: penulis_1@abc.ac.id

²Departement Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
email: penulis_2@cde.ac.id

³Departement Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
email: penulis_2@cde.ac.id

Abstract

Safety risk surveillance at nuclear facilities is an important element in ensuring the protection of workers, the public, and the environment from radiation hazards. The Nuclear Power Supervisory Institution manages large data related to nuclear safety risk surveillance. However, this very large and diverse volume of data causes difficulties in adequate processing and analysis, thus hampering the speed and accuracy of supervisory decision making. The main obstacle faced is data management that is still manual and less integrated so that the risk monitoring process becomes less efficient. Therefore, this research designs a website-based Decision Support System (DSS) with the Analytic Hierarchy Process (AHP) method to assist the decision-making process that is more objective, accurate, and based on risk priorities in nuclear safety. The results showed that the use of the AHP method in DSS was able to provide priority weights for risk criteria in an objective and structured manner. Consistency Ratio (CR) of 0.0066 shows a good level of assessment consistency. This system facilitates data visualization and presents safety risk inspection priority recommendations effectively through an interactive dashboard. The designed DSS is expected to improve the efficiency and effectiveness of nuclear safety risk monitoring at the Nuclear Power Supervisory Institution.

Keywords: AHP, Data Management, Decision Support System, Risk Supervision, Nuclear Safety

Abstrak

Pengawasan risiko keselamatan pada fasilitas nuklir merupakan elemen yang penting dalam memastikan perlindungan pekerja, masyarakat, dan lingkungan dari bahaya radiasi. Institusi Pengawas Tenaga Nuklir mengelola data besar terkait pengawasan risiko keselamatan nuklir. Namun, volume data yang sangat besar dan beragam ini menyebabkan kesulitan dalam pengolahan dan analisis yang memadai, sehingga menghambat kecepatan dan ketepatan pengambilan keputusan pengawasan. Kendala utama yang dihadapi Institusi Pengawas Tenaga Nuklir adalah pengelolaan data yang masih manual dan kurang terintegrasi sehingga proses pengawasan risiko menjadi kurang efisien. Oleh karena itu, penelitian ini merancang Sistem Pendukung Keputusan (Decision Support System/DSS) berbasis website dengan metode Analytic Hierarchy Process (AHP) untuk membantu proses pengambilan keputusan yang lebih objektif, akurat, dan berbasis prioritas risiko dalam pengawasan keselamatan nuklir di Institusi Pengawas Tenaga Nuklir. Hasil penelitian menunjukkan

bahwa penggunaan metode AHP dalam DSS mampu memberikan bobot prioritas kriteria risiko secara objektif dan terstruktur. Consistency Ratio (CR) sebesar 0,0066 menunjukkan tingkat konsistensi penilaian yang baik. Sistem ini memudahkan visualisasi data dan menyajikan rekomendasi prioritas inspeksi risiko keselamatan secara efektif melalui dashboard interaktif. Dengan demikian, DSS yang dirancang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengawasan risiko keselamatan nuklir di Institusi Pengawas Tenaga Nuklir.

Kata Kunci: AHP, Decision Support System, Keselamatan Nuklir, Pengawasan Risiko, Pengelolaan Data,

This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license



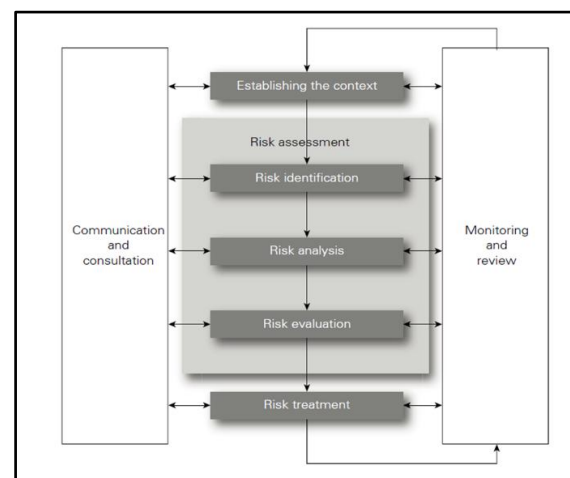
PENDAHULUAN

Pengawasan risiko keselamatan fasilitas nuklir merupakan elemen kritis dalam menjamin perlindungan pekerja, masyarakat, dan lingkungan dari bahaya radiasi. Institusi Pengawas Tenaga Nuklir mengelola volume data masif terkait parameter keselamatan melalui platform digital, namun menghadapi tantangan signifikan dalam pengolahan dan analisis data akibat kompleksitas dan skala informasi yang terus bertumbuh [1].

Revolusi Industri 4.0 menawarkan solusi transformatif melalui integrasi *big data*, kecerdasan buatan (AI), dan *decision support system* (DSS). Studi kasus di Prancis membuktikan efektivitas *Natural Language Processing* (NLP) dalam mempercepat analisis laporan inspeksi dan insiden keselamatan nuklir [2]. Namun, implementasi teknologi serupa di Institusi terkendala. Salah satu masalah utama yang dihadapi adalah kurangnya integrasi antara sistem-sistem yang ada, di mana data dari berbagai sumber yang terkumpul masih dikelola secara manual, sehingga tidak efisien. Selain itu, kurangnya alat bantu keputusan berbasis prioritas risiko menghambat kecepatan dan ketepatan dalam pengambilan keputusan terkait keselamatan nuklir [3].

Dalam pengawasan dibutuhkan manajemen risiko. Manajemen risiko merupakan kerangka sistematis untuk mengidentifikasi, menilai, dan memitigasi

ancaman terhadap suatu operasi [4]. Dalam konteks ini, prosesnya mencakup identifikasi sumber risiko, analisis dampak potensial, evaluasi risiko dan penanganan risiko. Proses manajemen risiko dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Manajemen Risiko

Risiko nuklir didefinisikan sebagai potensi bahaya yang timbul dari penggunaan teknologi nuklir, baik sebagai konsekuensi langsung dari kegagalan operasional maupun konstruksi sosial yang dibentuk oleh berbagai elemen seperti pemerintah, ilmuwan, dan operator reaktor. Risiko nuklir mengacu pada potensi bahaya yang timbul dari paparan zat radioaktif atau kegagalan operasional instalasi nuklir, baik akibat faktor teknis, alam, maupun manusia. Sumber risiko utama meliputi kebocoran reaktor, pelepasan gas hidrogen, dan limbah radioaktif yang tidak terkelola.[5]

Studi yang dilakukan oleh Meiliasari [6] membuktikan efektivitas manajemen risiko dalam meningkatkan ketahanan reaktor nuklir terhadap ancaman bencana alam melalui kombinasi perbaikan desain teknis dan pelatihan kesiapsiagaan darurat. Risiko nuklir memiliki tiga karakteristik pembeda yang sangat krusial dalam pengelolaannya. Pertama, dampak transgenerasional yang dihasilkan dari paparan radiasi dapat menyebabkan kerusakan genetik jangka panjang, yang efeknya bisa dirasakan oleh generasi mendatang. Kedua, ketidakpastian sosial yang muncul setelah insiden nuklir, seperti yang terlihat pasca kecelakaan Fukushima pada tahun 2011, menyebabkan terjadinya kecemasan radiologis di kalangan masyarakat, yang berpotensi menambah kompleksitas dalam proses pemulihan dan pengelolaan dampak sosial dari kecelakaan nuklir. Ketiga, kompleksitas teknis yang sangat tinggi, mengingat pemantauan secara real-time untuk mengidentifikasi potensi risiko [7].

Salah satu metode dalam pengambilan keputusan yaitu *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Metode Analytic Hierarchy Process (AHP) adalah salah satu metode dalam Multi-Criteria Decision Making (MCDM) yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1970-an. AHP digunakan untuk membantu pengambil keputusan dalam menghadapi masalah yang kompleks dengan melibatkan banyak kriteria dan sub-kriteria yang saling berkaitan. Pada AHP, masalah dipecah menjadi beberapa tingkat hierarki, dimulai dari tujuan utama yang ingin dicapai, diikuti oleh kriteria, sub-kriteria, hingga alternatif yang akan dipilih. Setiap kriteria dan sub-kriteria kemudian dinilai berdasarkan kepentingannya terhadap tujuan utama [8].

Keunggulan dari AHP terletak pada kemampuannya untuk memberikan bobot

prioritas terhadap kriteria atau sub-kriteria secara sistematis melalui perbandingan berpasangan. Proses ini memungkinkan pengambil keputusan untuk menilai dan membandingkan pentingnya kriteria dalam konteks keseluruhan masalah yang dihadapi. Setelah perbandingan berpasangan dilakukan, AHP menghitung bobot relatif dan melakukan uji konsistensi untuk memastikan bahwa keputusan yang diambil konsisten dan dapat dipertanggungjawabkan [9].

Salah satu aspek penting dalam penerapan AHP adalah Consistency Ratio (CR), yang digunakan untuk memvalidasi konsistensi dari matriks perbandingan berpasangan. Jika nilai CR lebih besar dari 0,1, maka matriks perbandingan dianggap tidak konsisten dan perlu dilakukan revisi. Sebaliknya, jika nilai CR berada dalam batas yang diterima, maka pembobotan yang dihasilkan dianggap sah dan dapat digunakan untuk pengambilan keputusan. [9].

Decision Support System (DSS) adalah sistem berbasis komputer yang dirancang untuk mendukung pengambilan keputusan dalam situasi yang melibatkan ketidakpastian dan kompleksitas. DSS membantu pengambil keputusan dengan menyediakan informasi yang relevan dan analisis yang dibutuhkan untuk membuat keputusan yang lebih baik dan lebih cepat [10]. Sistem ini berfokus pada penyajian data yang terintegrasi, memungkinkan analisis data secara lebih mendalam dan memberikan rekomendasi berbasis prioritas risiko [11].

Dalam konteks pengawasan keselamatan nuklir, penerapan Business Intelligence (BI) memberikan keuntungan signifikan, karena BI mampu mengintegrasikan berbagai sumber data yang tersebar dan menghasilkan informasi yang dapat membantu pengambil keputusan dalam memantau dan mengelola risiko secara lebih efisien [12]. Sistem BI

memungkinkan pengumpulan data secara otomatis, mengolahnya, dan menyajikan hasil analisis dalam format yang mudah dipahami melalui dashboard interaktif. Dengan fitur ini, pengambil keputusan dapat dengan cepat memperoleh gambaran tentang status keselamatan nuklir yang relevan dan mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk mitigasi risiko [13].

Karena institusi pengawas tenaga nuklir memiliki website dalam pengumpulan data, maka penelitian ini akan membahas *decision support system* (DSS) yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengambilan keputusan dalam pengawasan risiko keselamatan nuklir. Penggunaan DSS di Institusi Pengawas Tenaga Nuklir bertujuan untuk menyederhanakan dan mempercepat proses analisis data yang sangat besar dan kompleks, yang selama ini dikelola secara manual dan terpisah. Dengan memanfaatkan teknologi yang ada, seperti AHP dan Business Intelligence (BI), sistem ini dapat mengintegrasikan berbagai sumber data dan memberikan rekomendasi yang lebih objektif serta berbasis prioritas risiko yang terukur.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan campuran, yaitu kualitatif dan kuantitatif, dengan tujuan utama merancang sistem pendukung keputusan (Decision Support System/DSS) berbasis website untuk meningkatkan efisiensi pengawasan risiko keselamatan pada Institusi Pengawas Tenaga Nuklir. Pendekatan kualitatif digunakan untuk menganalisis kondisi pengawasan yang berlangsung, melalui wawancara mendalam dengan pihak-pihak terkait di institusi, sedangkan pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengimplementasikan metode Analytic Hierarchy Process (AHP) dalam pembobotan kriteria risiko yang relevan dan penilaian prioritas risiko yang lebih objektif. Sistem yang dirancang diharapkan mampu mengintegrasikan data yang besar

dan beragam, serta memberikan informasi yang mudah diakses melalui visualisasi yang disajikan dalam bentuk dashboard interaktif.

Objek penelitian ini adalah sistem pengawasan risiko keselamatan pada fasilitas nuklir yang dikelola oleh Institusi Pengawas Tenaga Nuklir. Data yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua jenis: data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara dengan staf institusi untuk menggali informasi terkait parameter keselamatan yang digunakan dalam pengawasan dan tantangan yang dihadapi dalam pengelolaan data. Selain itu, pengumpulan data juga dilakukan melalui studi lapangan yang melibatkan observasi langsung terhadap sistem yang digunakan saat ini. Data sekunder diperoleh dari dokumentasi internal institusi, termasuk laporan inspeksi, laporan tahunan, serta data operasional dan keselamatan fasilitas yang terlibat dalam penelitian.

Proses penelitian dimulai dengan studi pendahuluan yang bertujuan untuk mengidentifikasi masalah utama yang dihadapi oleh Institusi Pengawas Tenaga Nuklir, yaitu pengolahan dan analisis data yang sangat besar dan kompleks. Proses identifikasi ini melibatkan wawancara dengan para pemangku kepentingan untuk memahami kendala yang dihadapi dalam pengelolaan data tersebut. Setelah masalah teridentifikasi, dilakukan pemilihan metode yang tepat untuk menyelesaikan masalah yang ada. Dalam hal ini, metode AHP dipilih sebagai metode pengambilan keputusan multikriteria (MCDM) yang dapat mengatasi masalah kompleksitas data dengan struktur hierarki dan perbandingan berpasangan antara kriteria risiko. AHP juga memungkinkan adanya uji konsistensi untuk memastikan objektivitas dalam pengambilan keputusan. Selain itu, pendekatan Business Intelligence (BI) digunakan untuk mendesain sistem yang mampu mengolah data besar dan

menyediakan visualisasi yang mudah dipahami melalui dashboard.

Penggunaan database dalam penelitian ini sangat krusial untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan dapat dikelola, diakses, dan dianalisis secara efisien. Sistem basis data yang digunakan adalah MySQL, yang dipilih karena kemampuannya dalam menangani volume data besar secara efisien[14]. Dalam konteks DSS ini, MySQL berfungsi sebagai tempat penyimpanan semua data yang terkait dengan pengawasan risiko keselamatan, seperti parameter keselamatan reaktor, laporan inspeksi, dan data operasional lainnya. Dengan menggunakan MySQL, sistem dapat mengelola data dalam bentuk tabel yang terstruktur dengan baik, memudahkan pengambilan dan pembaruan data secara otomatis, serta menghindari duplikasi data. Database ini juga memungkinkan penghubungan antar tabel (relasi) sehingga data yang tersebar dapat diintegrasikan dengan mudah. Proses pengumpulan data yang dilakukan oleh sistem berbasis website kemudian disalurkan langsung ke dalam database, yang selanjutnya dapat diakses oleh pengguna untuk dianalisis dan dievaluasi.

Tahapan berikutnya adalah pengembangan sistem DSS yang menggunakan bahasa pemrograman PHP untuk pengembangan website dan MySQL sebagai sistem basis data[15]. Sistem ini dirancang untuk memudahkan pengguna dalam mengakses dan menganalisis data secara efisien. Pada bagian ini, perhitungan AHP digunakan untuk memberikan bobot terhadap kriteria risiko berdasarkan tingkat kepentingannya, dan hasil pembobotan ini akan digunakan untuk menentukan prioritas pengawasan. Setelah sistem dibangun, dilakukan uji konsistensi menggunakan Consistency Ratio (CR) untuk memastikan bahwa pembobotan yang dilakukan dalam AHP telah konsisten dan sah. Selain itu, pengujian fungsionalitas dilakukan untuk

memastikan sistem dapat berjalan dengan baik, baik dalam hal integrasi data maupun visualisasi informasi dalam bentuk dashboard.

Dengan menggunakan metode ini, diharapkan sistem yang dirancang dapat meningkatkan efisiensi dalam pengawasan risiko keselamatan nuklir, mengurangi ketergantungan pada proses manual, dan mempercepat pengambilan keputusan berdasarkan prioritas risiko yang lebih objektif dan terstruktur. Sistem ini akan membantu Institusi Pengawas Tenaga Nuklir dalam memprioritaskan tindakan pengawasan dan pengelolaan risiko dengan lebih efektif dan efisien. Penggunaan database yang terintegrasi dengan sistem juga memastikan bahwa data dapat dikelola dengan cara yang lebih terstruktur dan akurat, memfasilitasi pengambilan keputusan berbasis data yang lebih cepat dan tepat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur hierarki dalam metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) digunakan untuk mengorganisasi dan memecah masalah kompleks ke dalam bagian-bagian yang lebih terstruktur dan terkelola. Pada penelitian ini, struktur hierarki digunakan untuk menentukan prioritas risiko keselamatan dalam pengawasan fasilitas nuklir. Pada tingkat tertinggi, tujuan utama penelitian, yaitu pengawasan risiko keselamatan nuklir, ditempatkan sebagai elemen yang harus dicapai. Tingkat 2 yaitu kriteria yang digunakan, dan tingkat 3 yaitu alternatif instalasi nuklir yang menjadi prioritas.

Setiap kriteria yang telah diidentifikasi pada tingkat kedua dalam struktur hierarki diberikan bobot berdasarkan tingkat kepentingannya terhadap tujuan utama, yaitu pengawasan risiko keselamatan nuklir. Penilaian kriteria dilakukan dengan menggunakan perbandingan berpasangan, di mana setiap kriteria dibandingkan satu sama lain untuk

menentukan mana yang lebih penting dalam konteks pengawasan keselamatan. Pembobotan ini dilakukan dengan skala nilai yang telah ditetapkan, mulai dari nilai 1 hingga 9, di mana angka 1 menunjukkan bahwa kedua kriteria tersebut memiliki tingkat kepentingan yang sama, dan angka 9 menunjukkan bahwa satu kriteria jauh lebih penting dibandingkan dengan kriteria lainnya.

Setelah penilaian kriteria dilakukan, tahap berikutnya dalam metode Analytic Hierarchy Process (AHP) adalah melakukan *perbandingan berpasangan* antara kriteria untuk menentukan bobot relatif masing-masing kriteria. Perbandingan berpasangan adalah langkah penting dalam AHP, di mana setiap kriteria yang ada dibandingkan satu sama lain berdasarkan tingkat kepentingannya dalam konteks pengawasan risiko keselamatan nuklir.

Tabel 1. Matriks Perbandingan Berpasangan

Kriteria	Parameter Operasi (3S)	Jumlah Parameter Melebihi Nilai BKO	Dosis Radiasi yang Diterima Pekerja Radiasi	Pemantauan Lingkungan	Limbah Radioaktif	Frekuensi Inspeksi
Parameter Operasi (3S)	1	0,4911	0,9029	2,1779	2,9542	2,9542
Jumlah Parameter Melebihi Nilai BKO	2,0362	1	1,2457	1,7188	2,5365	3,2719
Dosis Radiasi yang Diterima Pekerja Radiasi	1,1076	0,5439	1	2,0362	2,0362	3,1598
Pemantauan Lingkungan	0,4592	0,2255	0,4146	1	2,0362	3,4997
Limbah Radioaktif	0,3385	0,1662	0,3056	0,7372	1	2,3714
Frekuensi Inspeksi	0,3385	0,1662	0,3056	0,7372	1	1

Proses perbandingan ini dilakukan secara iteratif, di mana tiap kriteria dibandingkan terhadap semua kriteria lainnya. Misalnya, jika ada tiga kriteria yang harus dibandingkan, setiap kriteria akan dipasangkan dengan kriteria lainnya untuk menilai mana yang lebih mempengaruhi prioritas pengawasan keselamatan. Setelah perbandingan berpasangan dilakukan, hasilnya akan membentuk sebuah *matriks perbandingan* yang menggambarkan bobot relatif masing-masing kriteria.

Langkah selanjutnya dalam metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) adalah normalisasi matriks perbandingan berpasangan untuk menghitung bobot relatif setiap kriteria. Proses normalisasi

bertujuan untuk mengubah nilai-nilai dalam matriks, sehingga bobot yang diperoleh dapat lebih mudah diinterpretasikan untuk pengambilan keputusan. Pada tahap ini, setiap elemen dalam matriks perbandingan dibagi dengan jumlah total pada kolomnya, sehingga masing-masing elemen pada kolom tersebut akan memiliki total nilai yang sama.

Tabel 2. Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan

Kriteria	Parameter Operasi (3S)	Jumlah Parameter Melebihi Nilai BKO	Dosis Radiasi yang Diterima Pekerja Radiasi	Pemantauan Lingkungan	Limbah Radioaktif	Frekuensi Inspeksi
Parameter Operasi (3S)	0,1894	0,1894	0,2163	0,2590	0,2555	0,1817
Jumlah Parameter Melebihi Nilai BKO	0,3856	0,3856	0,2984	0,2044	0,2194	0,2013
Dosis Radiasi yang Diterima Pekerja Radiasi	0,2098	0,2098	0,2396	0,2422	0,1761	0,1944
Pemantauan Lingkungan	0,0870	0,0870	0,0993	0,1189	0,1761	0,2153
Limbah Radioaktif	0,0641	0,0641	0,0732	0,0877	0,0865	0,1459
Frekuensi Inspeksi	0,0641	0,0641	0,0732	0,0877	0,0865	0,0615

Setelah normalisasi dilakukan, bobot relatif kriteria dihitung dengan cara menjumlahkan setiap elemen yang telah dinormalisasi pada baris masing-masing, yang kemudian menghasilkan bobot untuk setiap kriteria. Bobot ini menggambarkan tingkat kepentingan relatif masing-masing kriteria dalam pengambilan keputusan terkait prioritas pengawasan keselamatan. Hasil dari proses ini memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana kriteria-kriteria tersebut saling berhubungan dan seberapa besar pengaruhnya terhadap keputusan yang akan diambil.

Tabel 3. Bobot Kriteria

Nilai Kriteria	Bobot
Parameter Operasi (3S)	0,2152
Jumlah Parameter Melebihi Nilai BKO	0,2825
Dosis Radiasi yang Diterima Pekerja Radiasi	0,2120
Pemantauan Lingkungan	0,1306
Limbah Radioaktif	0,0869
Frekuensi Inspeksi	0,0729

Hasil perhitungan bobot kriteria menunjukkan jumlah parameter melebihi nilai BKO mendapat bobot paling tinggi, yang mengindikasikan bahwa kriteria ini memiliki pengaruh yang sangat besar dalam menentukan prioritas pengawasan risiko keselamatan nuklir. Frekuensi inspeksi mendapatkan bobot terendah menunjukkan bahwa meskipun inspeksi berkala penting, kriteria ini dianggap

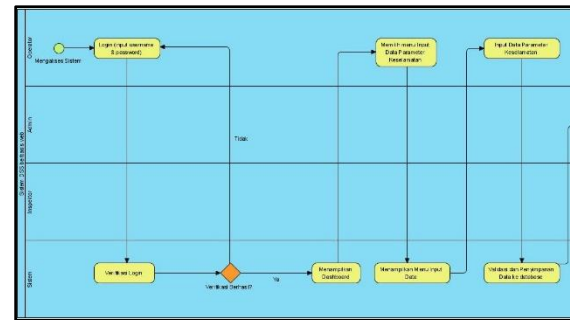
memiliki dampak yang lebih kecil terhadap pengawasan keselamatan dibandingkan dengan kriteria lainnya seperti parameter operasional. Hal ini bisa disebabkan oleh fakta bahwa frekuensi inspeksi mungkin tidak selalu mencerminkan tingkat risiko yang sebenarnya, terutama jika parameter operasionalnya masih dalam batas yang wajar meskipun inspeksi dilakukan tidak rutin.

Setelah bobot kriteria dihitung melalui proses normalisasi matriks perbandingan berpasangan, langkah selanjutnya dalam metode Analytic Hierarchy Process (AHP) adalah melakukan uji konsistensi. Uji konsistensi bertujuan untuk memastikan bahwa perbandingan yang dilakukan dalam matriks perbandingan berpasangan adalah konsisten, sehingga keputusan yang diambil berdasarkan matriks tersebut dapat dipertanggungjawabkan.

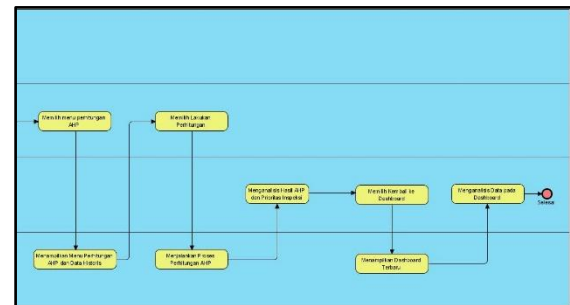
$$CR = \frac{0,00818}{1,24} = 0,0066$$

Nilai *Consistency Ratio* (CR) sebesar 0,0066 menunjukkan bahwa matriks perbandingan berpasangan yang digunakan dalam perhitungan bobot kriteria memiliki tingkat konsistensi yang sangat baik. CR merupakan indikator yang menunjukkan seberapa konsisten perbandingan berpasangan yang telah dilakukan dalam proses AHP.

Setelah melalui proses penentuan bobot kriteria menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP), langkah selanjutnya adalah mengembangkan *Business Process* yang akan menggambarkan bagaimana sistem pendukung keputusan (DSS) beroperasi dalam mengelola data dan memberikan rekomendasi berbasis prioritas risiko keselamatan.



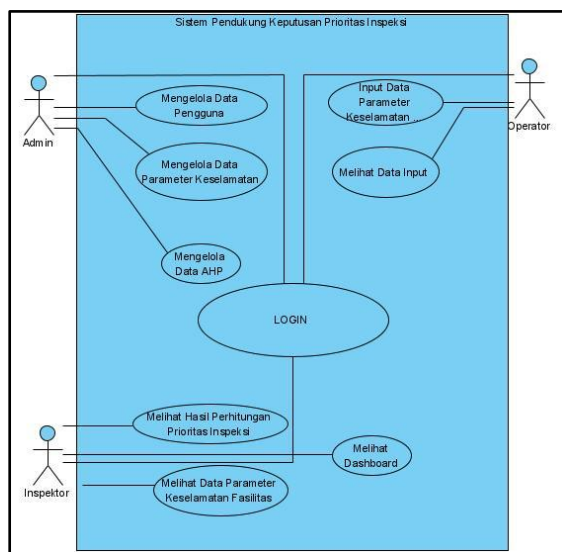
Gambar 2. *Business Process* DSS



Gambar 3. *Business Process* DSS

Proses bisnis sistem dimulai dengan operator yang melakukan login menggunakan username dan password. Sistem kemudian memverifikasi informasi login; jika verifikasi gagal, pengguna diminta untuk mengulang proses login hingga berhasil. Setelah login berhasil, sistem menampilkan dashboard utama sebagai halaman awal. Selanjutnya, operator memilih menu untuk menginput data parameter keselamatan, di mana sistem menampilkan formulir input untuk mengisi data yang diperlukan. Setelah data dimasukkan, sistem melakukan validasi dan menyimpannya ke dalam database. Admin kemudian memilih menu perhitungan AHP untuk melakukan analisis risiko berdasarkan data yang telah diinput. Sistem menampilkan menu perhitungan beserta data historis yang relevan. Setelah admin memilih tombol untuk memulai perhitungan, sistem menjalankan proses perhitungan AHP dan menampilkan hasil prioritas risiko pada dashboard terbaru. Inspektur dapat kembali ke dashboard untuk melanjutkan analisis atau mengakhiri sesi.

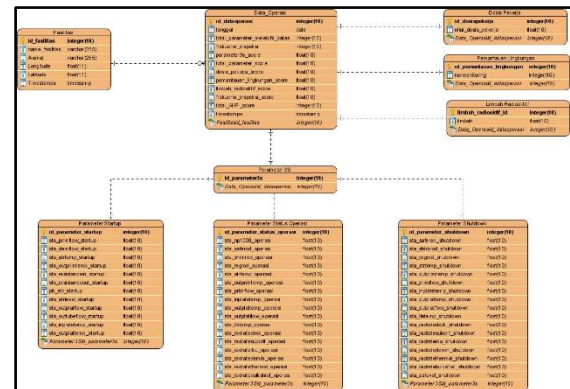
Setelah *Business Process* yang menunjukkan alur interaksi pengguna dengan system dikembangkan, langkah selanjutnya adalah memetakan proses-proses tersebut dalam *Usecase Diagram*. *Usecase Diagram* berfungsi untuk menggambarkan interaksi antara pengguna (seperti operator, admin, dan inspektor) dengan sistem, serta mendefinisikan fungsionalitas yang disediakan oleh sistem dalam konteks pengambilan keputusan berbasis web. Diagram ini mengidentifikasi peran pengguna dan bagaimana mereka berinteraksi dengan sistem untuk menyelesaikan tugas-tugas tertentu.



Gambar 4. *Usecase Diagram*

Usecase Diagram pada Gambar 4 menggambarkan interaksi user yaitu admin, inspektor dan operator dengan DSS. Admin memiliki peran dalam mengelola data pengguna, data parameter keselamatan, serta data AHP yang digunakan dalam sistem. Operator bertugas untuk memasukkan data parameter keselamatan dan dapat melihat data input yang telah dimasukkan ke dalam sistem. Inspektor dapat mengakses hasil perhitungan prioritas inspeksi, melihat data parameter keselamatan fasilitas, dan memantau hasil analisis melalui dashboard yang tersedia.

Langkah selanjutnya adalah memodelkan *Entity Relationship Diagram* (ERD) untuk menggambarkan struktur data dan hubungan antar entitas yang terlibat dalam sistem. ERD akan menggambarkan entitas penting seperti pengguna (operator, admin, dan inspektor), data parameter keselamatan, hasil perhitungan AHP, serta dashboard yang menyajikan informasi terkait prioritas risiko.



Gambar 5. *Entity Relationship Diagram*

Entitas Fasilitas menyimpan informasi tentang fasilitas, seperti nama, alamat, dan koordinat geografis, yang berelasi *one-to-many* dengan entitas Data Operasi, yang berisi parameter keselamatan dan hasil perhitungan AHP untuk setiap fasilitas. Data Operasi juga berhubungan dengan entitas Parameter 3S, yang mengelompokkan parameter operasi ke dalam tiga kategori: startup, status operasi, dan shutdown. Setiap data operasi memiliki satu set lengkap parameter 3S, dengan hubungan *one-to-one* antara Data Operasi dan Parameter 3S.

Entitas lebih lanjut, seperti Parameter Startup, Parameter Status Operasi, dan Parameter Shutdown, menyimpan data rinci tentang kondisi fasilitas pada masing-masing fase operasional dan penghentian, dengan setiap data fase berelasi *one-to-one* dengan entitas Parameter 3S. Selain itu, entitas Dosis Pekerja, Pemantauan Lingkungan, dan Limbah Radioaktif mencatat data penting terkait paparan radiasi pekerja, tingkat

radioaktivitas di sekitar fasilitas, dan limbah radioaktif yang dihasilkan, masing-masing berelasi one-to-one dengan Data Operasi. ERD ini mengorganisasi data dengan jelas dan memastikan aliran informasi yang efisien untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis risiko dalam pengawasan keselamatan fasilitas nuklir.

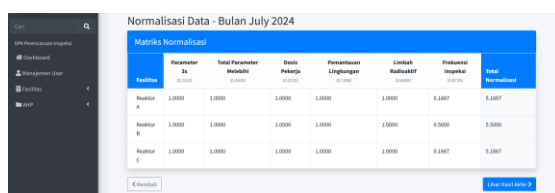
Selanjutnya dilakukan pengolahan AHP pada sistem. Pertama dilakukan Normalisasi matriks alternatif dengan tujuan mengubah nilai-nilai kriteria dari berbagai alternatif yang memiliki satuan dan rentang nilai berbeda menjadi skala yang seragam, sehingga memudahkan perbandingan dan pengolahan selanjutnya. Proses normalisasi mengikuti prinsip nilai setiap alternatif dinormalisasi terhadap nilai maksimum untuk kriteria bertipe *benefit* dan terhadap nilai minimum untuk kriteria bertipe *cost*.

Benefit:

$$rij = \frac{Xij}{\text{MAX } i(xij)}$$

Cost:

$$rij = \frac{\text{MIN } i(xij)}{xij}$$



Kriteria	Parameter Sa	Total Parameter Risiko	Desin Pekerja	Pemeriksaan Lingkungan	Limbah Radioaktif	Proteksi Inspeksi	Total Normalisasi
Alternatif A	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,3807	5,3807
Alternatif B	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,3800	5,3800
Alternatif C	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,3807	5,3807

Gambar 6. Tampilan Halaman Normalisasi Matriks

Tahapan berikutnya adalah mengalikan setiap nilai normalisasi dengan bobot kriteria yang telah dihitung dalam perhitungan AHP sebelumnya. Bobot kriteria ini menggambarkan tingkat kepentingan masing-masing kriteria dalam pengambilan keputusan. Setiap nilai yang telah dinormalisasi kemudian dikalikan dengan bobot yang sesuai untuk

menghitung kontribusinya terhadap skor total dari setiap alternatif. Proses perkalian ini menghasilkan nilai terbobot untuk setiap alternatif berdasarkan kriteria yang telah dinilai.

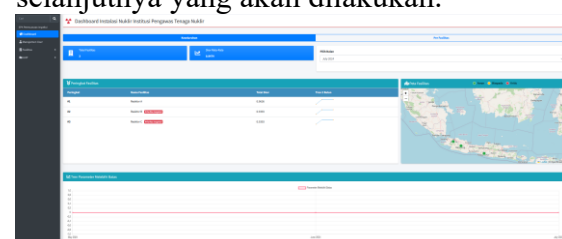
Hasil akhir dari pengolahan ini adalah skor total yang diperoleh dengan menjumlahkan semua nilai terbobot dari masing-masing kriteria untuk setiap alternatif. Skor total tersebut digunakan untuk menentukan peringkat prioritas alternatif. Alternatif dengan skor tertinggi menunjukkan tingkat risiko yang lebih rendah dan, sebaliknya, alternatif dengan skor rendah menunjukkan tingkat risiko yang lebih tinggi dan memerlukan perhatian lebih dalam pengawasan.



Ranking	Alternatif	Parameter Sa	Total Parameter Risiko	Desin Pekerja	Pemeriksaan Lingkungan	Limbah Radioaktif	Proteksi Inspeksi	Total Skor
1	Alternatif A	0,2332	0,2825	0,2332	0,1306	0,0880	0,0384	0,9659
2	Alternatif B	0,2332	0,2825	0,2332	0,1306	0,0880	0,0321	0,9393
3	Alternatif C	0,2332	0,2825	0,2332	0,1306	0,0880	0,0321	0,9393

Gambar 7. Tampilan Halaman Hasil Akhir Perhitungan Prioritas

Setelah tahapan perhitungan AHP selesai. Kemudian dirancanglah sebuah *dashboard*. *Dashboard* pada *Decision Support System* ini dirancang sebagai visualisasi utama yang menampilkan data risiko keselamatan pada instalasi nuklir di Institusi Pengawas Tenaga Nuklir agar mudah dipahami. *Dashboard* ini berisi berbagai informasi yang berasal dari data parameter keselamatan yang diolah menggunakan metode AHP, sehingga pengambil keputusan dapat melihat data risiko dan menentukan tindakan selanjutnya yang akan dilakukan.



Gambar 8. Tampilan *Dashboard*

Dashboard pada *Decision Support System* (DSS) ini menampilkan dua mode tampilan utama: keseluruhan dan per fasilitas. Mode keseluruhan memberikan gambaran umum mengenai kondisi fasilitas nuklir yang diawasi, termasuk jumlah total fasilitas dan skor rata-rata berdasarkan AHP setiap bulannya. Mode per fasilitas memungkinkan pengguna memilih fasilitas tertentu untuk melihat data detail dan tren parameter keselamatan. Dashboard ini juga menyertakan tabel peringkat fasilitas berdasarkan skor total AHP, yang mengurutkan fasilitas dari yang berisiko rendah (skor tinggi) hingga yang berisiko tinggi (skor rendah), dengan grafik tren menunjukkan perkembangan skor risiko selama tiga bulan terakhir. Selain itu, peta lokasi fasilitas menunjukkan status risiko fasilitas dengan kode warna (hijau untuk aman, kuning untuk waspada, dan merah untuk kritis), serta memberikan informasi tambahan melalui tooltip saat pengguna mengarahkan kursor pada fasilitas tertentu.

Dashboard juga menyajikan beberapa grafik yang memberikan wawasan lebih mendalam, seperti tren jumlah parameter yang melebihi batas aman selama periode tertentu, status parameter keselamatan per fasilitas, dan data parameter real-time. Grafik tren menunjukkan apakah kondisi fasilitas stabil atau memburuk dari waktu ke waktu, sementara status parameter memberikan informasi mengenai jumlah parameter kritis, normal, serta frekuensi inspeksi yang telah dilakukan. Parameter *real-time* ditampilkan berdasarkan fase operasi (startup, operasi, shutdown, dan lingkungan) dengan indikator warna yang menunjukkan apakah nilai parameter berada dalam batas aman. Informasi ini memungkinkan pengambil keputusan untuk memantau kondisi fasilitas secara lebih efektif dan merespons dengan cepat jika terjadi perubahan yang dapat meningkatkan risiko keselamatan.

SIMPULAN

Perancangan sistem pendukung keputusan (DSS) berbasis website untuk meningkatkan pengawasan risiko keselamatan operasi pada institusi pengawas tenaga nuklir dilakukan dengan mengintegrasikan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dan pendekatan *Business Intelligence Roadmap*. Sistem ini dirancang untuk mengatasi tantangan pengelolaan data besar, seperti laporan operasional, parameter keselamatan, dan data inspeksi. Metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) digunakan untuk melakukan pembobotan kriteria risiko secara sistematis dan objektif. Hasil bobot yang diperoleh telah diuji konsistensinya dengan nilai Consistency Ratio (CR) sebesar 0,0066 yang menunjukkan matriks pembobotan sangat konsisten dan valid. Dashboard yang dirancang memungkinkan pengguna, untuk langsung melihat prioritas pengawasan berdasarkan tingkat risiko yang telah dihitung secara otomatis menggunakan metode AHP. DSS ini memudahkan institusi pengawas tenaga nuklir dalam menentukan prioritas inspeksi secara lebih efektif, sehingga pengawasan risiko keselamatan operasi dapat dilakukan dengan efisien. DSS ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi pengawasan risiko keselamatan operasi, serta membantu alokasi sumber daya yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Salma Samiyah, I., Farda Aini, K., Muyassaroh, Y. S. (2023). Conferences Series Learning Class Evaluasi Pengembangan Infrastruktur Keselamatan Nuklir dan Analisis Risiko terhadap Peristiwa Radiasi Nuklir. *Gunung Djati Conference Series*, 28, 125–135.
- [2] Andresz, S., Zéphir, A., Bez, J., Karst, M., & Danieli, J. (2023). Artificial Intelligence And Radiation Protection. A Game Changer Or An Update? *Radioprotection*, 157–164.

- [3] Huda, K. (2021). Dilematika dan Tantangan Pengawasan Nuklir di Masa Pandemi COVID-19. *Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir*, 1.
- [4] Putu Sugih Arta, I., Gede Satriawan, D., Kadek Bagiana. (2021). *Manajemen Risiko* (1st ed.). Penerbit Widina Bhakti Persada Bandung.
- [5] Sarjiati, U. (2018). Risiko Nuklir Dan Respon Publik Terhadap Bencana Nuklir Fukushima Di Jepang 1 *Nuclear Risk And Public Response To Fukushima Nuclear Disasters In Japan. In Jurnal Kajian Wilayah* (Vol. 46, Issue 1).
- [6] Meiliasari, D. P., Panjaitan, B. S., & Widana, I. D. K. K. (2022). Mitigasi Untuk Menghadapi Ancaman Bencana Akibat Kegagalan Teknologi Nuklir Di Reaktor Serba Guna Gerrit Augustinus Siwabessy. *Jurnal Manajemen Bencana (JMB)*, 8(1).
- [7] Pratama, C. A., Priyatna, M., & Adharani, Y. (2023). Kesiapan Regulasi Indonesia Dalam Mengelola Energi Nuklir Serta Dampaknya Terhadap Lingkungan Hidup. *LITRA: Jurnal Hukum Lingkungan, Tata Ruang, Dan Agraria*, 3(1), 56–70.
- [8] Khasanah, N. M., Farahdiansari, A. P., & Bojonegoro, U. (2023). Penerapan Metode Analytical Hierarchy Process Dalam Penentuan Supplier Terbaik PT Supraco Indonesia. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Sistem Industri (JTMSI)*, 2(1).
- [9] Mahdiania, D., & Hasibuan, M. S. (2024). Penerapan Sistem Pendukung Keputusan Dalam Memilih Supplier Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). *Jurnal Teknologi Sistem Informasi Dan Aplikasi*, 7(1), 310–317.
- [10] Sudipa, I. G. I., Kharisma, L. P. I., Waas, D. V, Sari, F., Sutoyo, M. N., & ... (2023). *Penerapan Decision Support System (Dss) Dalam Berbagai Bidang (Revolusi Industri 4.0 Menuju Era Society 5.0)*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia
- [11] Megandi, M., & Susanty, M. (2023). Sistem Pendukung Keputusan Pengamatan Keselamatan Kerja Digital. *Jurnal Informatika*, 10(1), 54–61.
- [12] Miranda, E., Firmansyah, F., & Emerald, D. E. (2021). Desain Business Intelligence untuk Manajemen Rumah Sakit. *JURNAL SISTEM INFORMASI BISNIS*, 11(1), 62–69.
- [13] Sarifudin, I. (2022). Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Lulusan Terbaik SMKN 1 Kemangkong Menggunakan Metode Simple Additive Weighting (SAW). *Jurnal Pariwisata Bisnis Digital Dan Manajemen*, 1(2), 60–67.
- [14] Ramadhan, R. F., & Mukhaiyar, R. (2020). Penggunaan Database Mysql dengan Interface PhpMyAdmin sebagai Pengontrolan Smarthome Berbasis Raspberry Pi. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 1(2).
- [15] Connolly, T. M. ., & Begg, C. E. . (2015). *Database systems : a practical approach to design, implementation and management* (6th ed.). Pearson Education Limited.