**PROPOSAL**

**PROGRAM INSINAS RISET PRATAMA INDIVIDU**

**Bidang Riset: Kebencanaan**

**Rujukan Tema : Pencegahan dan Kesiapsiagaan (RTT)**



**PENGEMBANGAN PROTOTIP SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN UNTUK KESIAPSIAGAAN PADA KEDARURATAN NUKLIR DAN RADIOLOGIS   
DI KAWASAN NUKLIR YOGYAKARTA**

**Tim Pengusul:**

**Dr. Muhtadan, M.Eng. (Ketua Tim)**

**Prof. Ir. Syarip. (Anggota Tim)**

**Adi Abimanyu, M.Eng. (Anggota Tim)**

**Mahrus Salam, M.Eng. (Anggota Tim)**

**Halim Hamadi, M.Si (Anggota Tim)**

**SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR**

**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL**

Jl. Babarsari, Kotak Pos 6101 ykbb, Yogyakarta 55281

Telepon (0274)484085, 409716 Fax. (0274)489715

Email: sttn@batan.go.id

April 2020



DAFTAR ISI

[DAFTAR ISI 2](#_Toc530791450)

[1. PENDAHULUAN 5](#_Toc530791451)

[1.1. Latar Belakang 5](#_Toc530791452)

[1.2. Tujuan dan Sasaran 9](#_Toc530791453)

[1.3. Kebaruan dan Terobosan Teknologi 9](#_Toc530791454)

[2. METODE 10](#_Toc530791455)

[2.1. Telaah literatur 10](#_Toc530791456)

[2.2. Peta rencana 13](#_Toc530791457)

[2.3. Metode Penelitian 14](#_Toc530791458)

[3. LUARAN 17](#_Toc530791459)

[4. PROSPEK DAN MANFAAT 18](#_Toc530791460)

[5. BIAYA DAN JADWAL 18](#_Toc530791461)

[5.1. Anggaran Biaya 18](#_Toc530791462)

[5.2. Jadwal Penelitian 19](#_Toc530791463)

[6. DAFTAR PUSTAKA 19](#_Toc530791464)

**ABSTRAK**

Keselamatan, keamanan, dan ketentraman kesehatan pekerja dan masyarakat wajib diperhatikan dalam pemanfaatan tenaga nuklir sebagaimana amanat Undang-undang Ketenaganukliran, No. 10 tahun 1997 pasal 16 ayat (1). Kecelakaan pada fasilitas nuklir berpotensi terjadi yang menyebabkan munculnya kedaruratan nuklir, sehingga diperlukan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir (PKN). Kawasan Nuklir Yogyakarta (KNY) merupakan kawasan nuklir BATAN yang memiliki berbagai fasilitas nuklir berupa reaktor nuklir, irradiator, akselerator dan mesin berkas electron, generator neutron, serta unit pengolahan limbah, berpotensi terjadi kecelakaan yang menyebabkan kedaruratan nuklir. Strategi penanggulangan kedaruratan harus dilakukan secara terintegrasi, dan tidak bisa dipisahkan dengan sistem penanggulangan kedaruratan provinsi/daerah bahkan nasional sebagaimana diatur dalam Undang-undang Penanggulangan Bencana No. 24 tahun 2007 dan Peraturan Pemerintah No. 54 tahun 2012. Pengembangan prototip sistem kesiapsiagaan untuk kedaruratan nuklir dan radiologis di Kawasan Nuklir Yogyakarta telah dimulai pada tahun pertama di tahun 2019 dengan mengembangkan prototip sistem akuisisi data pemantauan tingkat radiasi lingkungan, meteorologi, parameter operasi reaktor nuklir Kartini (daya, paparan radiasi, suhu teras dan sistem pendingin). Penelitian ini sebagai penelitian lanjutan yang bertujuan untuk mengembangkan prototip sistem pendukung keputusan pada kedaruratan nuklir dan radiologi di KNY. Sistem pendukung keputusan akan mencakup pada pengembangan modul sistem cerdas yang memodelkan serta memetakan status kedaruratan berdasarkan seluruh data akuisisi yang telah dikembangkan sebelumnya, serta pengembangan protokol dan framework komunikasi data dengan sistem kedaruratan lain (BATAN, BPBD, BAPETEN, dan stakeholder terkait) sebagai bentuk integrasi data dan kemampuan interoperabilitasnya. Metode yang digunakan dalam mengembangakan prototip sistem kesiapsiagaan dan kedaruratan nuklir KNY ini direncanakan dalam tiga tahun kedepan. Hasil akhir pada penelitian ini desain konseptual dan prototip sistem pendukung keputusan untuk kesiapsiagaan dan kedaruratan nuklir di KNY yang terintegrasi, serta pendaftaran paten sederahana dan publikasi ilmiah tingkat nasional dan internasional. Adapun luaran pada tahun kedua ini adalah mengembangkan prototipe sistem pendukung keputusan untuk pada penanggulangan kedaruratan nuklir dan radiologis. Prototip sistem berupa perangkat lunak yang terdiri dari modul pemodelan dan analisis berbasis sistem cerdas atau machine learning, serta modul protokol komunikasi data antar sistem. Kemudian luaran lainnya adalah publikasi ilmiah nasional dan internasional serta dokumen teknis lainnya terkait desain konseptual dan implementasinya. Penelitian ini akan melibatkan kemitraan dengan berbagai pihak yaitu STTN, PSTA, dan BAPETEN. Dengan dihasilkannya desain konseptual dan purwarupa sistem kesiapsiagaan dan kedaruratan nuklir di KNY, maka diharapkan dapat dikembangkan untuk menjadi sistem pendukung keputusan bagi pelaksana kedaruratan nuklir baik di KNY maupun di fasilitas nuklir lainnya di Indonesia.

Kata kunci : sistem pendukung keputusan, kesiapsiagaan untuk kedaruratan nuklir, teknologi pengawasan instalasi dan fasilitas nuklir.

1. PENDAHULUAN
   1. Latar Belakang

Undang-undang Ketenaganukliran, No. 10 tahun 1997 pasal 16 ayat (1) menyatakan bahwa “Setiap kegiatan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memperhatikan keselamatan, keamanan dan ketentraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat serta perlindungan terhadap lingkungan hidup”. Kecelakaan berpotensi terjadi kapan dan dimana saja, sehingga untuk mengantisipasi dan memberikan respon cepat, diperlukan kesiapan semua infrastruktur dan kemampuan fungsi penanggulangan yang siap dikomando dan dioperasionalkan dimulai dari tingkat fasilitas, daerah dan nasional secara terpadu.

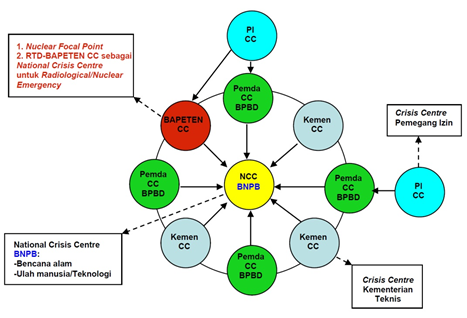
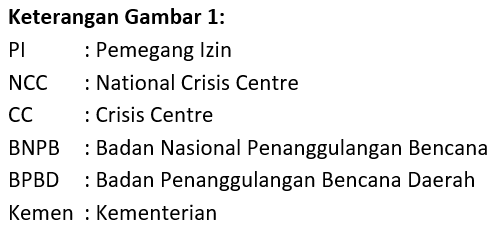
Kecelakaan pada reaktor nuklir baik PLTN maupun reaktor non daya, dapat dikelompokkan ke dalam 4 (empat) tingkat kedaruratan [1], yaitu Kedaruratan umum (*general emergency*), Kedaruratan area tapak (*site area emergency*), kedaruratan fasilitas (*facility emergency*), dan waspada (*alert*).

Sebagaimana tertuang dalam Undang-undang Penanggulangan Bencana No. 24 tahun 2007 dan Peraturan Pemerintah No. 54 tahun 2012, strategi penanggulangan kedaruratan reaktor nuklir dilakukan secara terintegrasi, dan tidak bisa dipisahkan dengan sistem penanggulangan kedaruratan provinsi/daerah jika berdampak sampai dengan tingkat Provinsi/daerah atau terintegrasi dengan sistem penanggulangan kedaruratan nasional jika berdampak sampai dengan tingkat nasional. Strategi ini merupakan prinsip dasar yang diterapkan dan dilaksanakan oleh Ketua Tanggap Darurat dalam melaksanakan fungsi tanggap darurat yang menyeluruh dan terintegrasi. Secara ringkas, strategi penanggulangan adalah dengan segera melaksanakan empat langkah sebagai berikut:

1. Klasifikasi kedaruratan dan analisa prognosis kedaruratan sebagai dasar pengambilan keputusan tindakan perlindungan segera dan cepat berbasis *early warning system* (EWS);
2. Pelaporan dan pemberian informasi kepada seluruh pihak terkait: BAPETEN, Pemerintah Daerah (BPBD, Dinas Pemadam Kebakaran, Dinas Kesehatan, Dinas Sosial), SAR, Kepolisian Wilayah, Koramil dan masyarakat sekitar;
3. Prioritas penyelamatan jiwa dan proteksi pekerja kedaruratan dan masyarakat;
4. Pengendalian operasi tanggap darurat sesuai sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan di tingkat reaktor nuklir, tingkat Provinsi/daerah dan/atau tingkat Nasional.

Keempat langkah-langkah diatas harus dilakukan secara berurutan, sehingga langkah nomor satu yaitu klasifikasi dan analisa prognosis kedaruratan merupakan langkah penting yang harus diambil dalam rangka menentukan UPA dan EPA. Hasil dari tahap ini juga dapat digunakan sebagai parameter atau indikator performa dari pelaksanaan kedaruratan nuklir [2][3].

Kawasan Nuklir Yogyakarta (KNY) merupakan kawasan nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) di Yogyakarta yang terdiri dari dua satuan kerja yaitu Pusat Sains Teknologi Akselerator (PSTA) dan Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN). Di dalam KNY terdapat berbagai fasilitas dan instalasi nuklir seperti reaktor nuklir Kartini, akselerator dan mesin berkas electron (MBE), generator neutron, pengolahan limbah, reaktor SAMOP, yang berada di PSTA, kemudian fasilitas irradiator gamma, laboratorium aktif, kamera gamma dan x-ray yang berada di STTN. Seluruh instalasi dan fasilitas nuklir di KNY memiliki potensi terjadinya kecelakaan nuklir yang mengakibatkan kedaruratan nuklir. Ketua STTN dan Kepala PSTA sebagai pemegang ijin (PI) mempunyai kewajiban untuk melaksanakan program manajemen kesiapsiagaan untuk kedaruratan nuklir. Manajemen kedaruratan nuklir tidak hanya melibatkan instansi dan unit dibawah PI, namun juga memerlukan koordinasi dan pelaksanaan dengan berbagai pihak terkait terutama apabila skala kedaruratan mencapai lingkup daerah/provinsi bahkan nasional. Hubungan antara PI dan satuan atau pihak-pihak lain dalam manajemen kedaruratan nuklir ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1. Hubungan antara PI dan pihak-pihak lain dalam kedaruratan nuklir.

PSTA telah membuat program kesiapsiagaan nuklir yang bertujuan sebagai dasar pelaksanaan penanggulangan kedaruratan nuklir di KNY. Melalui program tersebut diharapkan pelaksanaan penanggulangan kedaruratan nuklir di KNY dapat berjalan secara cepat, tepat, terkelola, terkendali dan terkoordinasi. Dalam rangka mendukung program tersebut, juga telah dikembangkan sistem pemantauan radiasi lingkungan di beberapa titik di kawasan PSTA dan pemantauan meteorologi (suhu, kecepatan angin, dan kelembaban). Selain itu disetiap fasilitas nuklir juga telah tersedia peralatan pemantauan parameter operasi, sebagai contoh di reaktor nuklir Kartini telah tersedia alat pemantau daya, suhu teras dan sistem pendingin, dan paparan radiasi baik di gedung reaktor maupun di cerobong. Demikian pula pada fasilitas lainnya seperti irradiator gama di STTN telah menyediakan pemantau gempa dan juga paparan radiasi.

Permasalahan utama dalam program kesiapsiagaan nuklir tersebut adalah kekurangan peralatan pemantauan serta integrasi sistem pemantauan dan analisisnya yang diperlukan dalam pelaksanaan penanggulangan kedaruratan nuklir. Di dalam pelaksanaan penanggulangan kedaruratan nuklir, organisasi pelaksana membutuhkan berbagai informasi untuk pengambilan keputusan penanggulangan kedaruratan. Informasi yang ada saat ini masih berdiri secara terpisah dan belum terintegrasi dengan sistem kesiapsiagaan dan penaggulangan bencana daerah maupun nasional.

Pada kondisi kecelakaan yang menyebabkan kedaruratan nuklir, proses klasifikasi dan analisis prognosis kedaruratan membutuhkan upaya yang tidak mudah serta dipacu dengan waktu untuk menghasilkan keputusan. Organisasi Tanggap Darurat (OTD) pada tingkat fasilitas atau *on-site* harus mempertimbangkan seluruh faktor terjadinya kecelakaan mulai dari tingkat paparan, parameter meteorology, serta parameter operasi dari fasilitas nuklir (reaktor, irradiator, akselerator, dll). Selain parameter tersebut, perlu juga dilakukan validasi apakah data-data parameter yang ada memang berasal dari fasilitas nuklir atau gangguan sistem, sehingga keputusan yang dibuat oleh OTD perlu keakuratan yang tinggi. Apabila tingkat eskalasi berkembang hingga *off-site* maka OTD tingkat daerah, bahkan memungkinkan tingkat nasional akan melakukan klasifikasi dan prognosis kedaruratan serta pengaktifan sistem peringatan dini atau *early warning system* (EWS) lebih luas. Kendala utama yang ditemui oleh OTD dalam melakukan tahap ini adalah data yang diakusisi dari berbagai peralatan pemantauan belum terintegrasi.

Pada penelitian yang telah dilaksanaakan sebelumnya telah dihasilkan prototipe sistem akuisisi data pemantau radiasi dan lingkungan, meteorologi (suhu, kecepatan udara, arah angin, dan kelembaban) serta parameter operasi dan keselamatan reaktor nuklir Kartini. Seluruh data tersebut telah mampu diakuisisi dan disimpan dalam server basis data. Aplikasi berbasis web juga telah dikembangkan untuk melakukan pemantauan data tersebut serta menghasilkan informasi status paparan radiasi, meteorologi, dan juga parameter operasi dan keselamtan reaktor Kartini. Hasil penelitian sebelumnya ini memberikan dampak dan manfaat bagi organisasi tanggap darurat nuklir (OTDN) KNY yaitu lebih mudah dalam melakukan analisis dan kajian potensi kedaruratan hingga penanggulangan kedaruratan karena seluruh data dan parameter terintegrasi secara online. Seluruh data ini selanjutknya akan digunakan untuk analisis dalam menghasilkan informasi sebagai pendukung keputusan pada sistem kesiapsiagaan kedaruratan nuklir dan radiologi di KNY.

Sistem pendukung keputusan atau *decision support systems* (DSS) merupakan suatu sistem berbasis analisis komputer yang dapat digunakan untuk mengambil keputusan berdasarkan penelusuran pengetahuan data. DSS telah berkembang menjadi *intelligent decision support systems* (IDSS) yaitu dengan mengkombinasikan pengetahuan domain spesifik dan menggunakan sifat kecerdasarn seperti *learning* dan *reasoning*. IDSS menyediakan pendukung keputusan melalui berbagai kombinasi DSS, sistem cerdas, dan *sotf computing* seperti analisis teks, penggalian data, sistem pakar, jaringan syaraf tiruan, himpunan fuzzy, algoritma genetik, dan sebagainya [4].

Inovasi yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu pengembangan prototip sistem pendukung keputusan untuk kesiapsiagaan pada kedaruratan nuklir di kawasan nuklir Yogyakarta yang terdiri dari tiga bagian utama. Konsep topologi integrasi sistem ini terhadap sistem kebencanaan nasional ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Topologi sistem kesiapsiagaan dan kedaruratan nuklir KNY dengan sistem kebencanaan nasional dan stakeholder

Pertama adalah sistem akuisisi data radiasi dan lingkungan, meteorology, dan parameter operasi fasilitas nuklir yang terintegrasi di kawasan nuklir Yogyakarta. Prototipe sistem ini telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya. Kedua adalah perangkat lunak sistem pendukung keputusan cerdas atau *intelligence decision support system* (I-DSS) yang berfungsi melakukan analisis seluruh data akuisisi menggunakan metode pembelajaran mesin (*machine learning*)dalam menghasilkan keputusan untuk mendukung OTD mengambil kebijakan terkait status dan kondisi kedaruratan nuklir KNY. Sistem ketiga adalah sistem peringatan dini atau *early warning system* (EWS) yang mengintegrasikan sistem akuisisi data dan sistem I-DSS dengan EWS yang terdapat di instansi terkait kebencanaan (BPBD, Pemda, dll) termasuk dengan BATAN dan BAPETEN dengan aplikasi *client-server*.

Prototip sistem pendukung keputusan untuk kesiapsiagaan pada kedaruratan nuklir di KNY ini akan menjadi model untuk sistem pendukung keputusan kesiapsiagaan kedaruratan nuklir di fasilitas nuklir BATAN lainnya (Serpong dan Bandung), dimana sistem ini akan dapat diakses dan dimanfaatkan dalam tingkat kawasan nuklir, daerah, bahkan hingga nasional. Sistem ini dapat dikembangkan lebih jauh menjadi bagian dari sistem kebencanaan nasional. Saat ini di Indonesia belum tersedia sistem yang digunakan untuk membantu terkait kedaruratan nuklir dan radiologi. Sehingga peneliitan ini mampu meningkatkan kemandirian teknologi dan memperkuan sistem inovasi nasional (SINAS) dalam bidang kebencanaan dan teknologi informasi dan komunikasi yang diterapkan pada penanggulangan kedaruratan nuklir dan radiologi.

* 1. Tujuan dan Sasaran

Tujuan dan sasaran penelitian ini adalah mengembangkan sistem pendukung keputusan untuk kesiapsiagaan pada kedaruratan nuklir di kawasan nuklir Yogyakarta. Adapun rincian tujuan penelitian ini secara bertahap adalah sebagai berikut: (1) mengembangkan perangkat lunak cerdas berbasis *machine learning* yang menganalisis data akuisisi dan menghasilkan status kondisi kedaruratan untuk pendukung keputusan; (2) mengembangkan sistem peringatan dini atau *early warning system* (EWS) kedaruratan nuklir yang terintegrasi dengan EWS pihak eksternal atau instansi lain yang terlibat kebencanaan dan kedaruratan nuklir.

Sasaran akhir yang akan dicapai pada penelitian ini adalah menghasilkan prototip sistem kesiapsiagaan untuk kedaruratan nuklir di KNY yang nantinya dapat dikembangkan dan diintegrasikan dengan sistem kebencanaan nasional. Secara parallel akan dihasilkan pengembangan ilmu pengetahuan tentang aplikasi *machine learning*, dan sistem kebencanaan yang akan dipublikasikan tingkat nasional dan internasional, serta perolehan paten sederhana dari sistem pendukung keputusan untuk kesiapsiagaan pada kedaruratan nuklir dan radiologis di KNY. Sehingga selain berupa prototip, ditargetkan penelitian ini akan menghasilkan publikasi ilmiah dan paten sederhana.

* 1. Kebaruan dan Terobosan Teknologi

Hal-hal yang dianggap baru, inovatif serta melakukan terobosan teknologi dari penelitian yang diusulkan ini ditunjukkan pada

Tabel . Keterbaruan dan Terobosan penelitian

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **No** | **Item** | **State of the art** | **Keterbaruan dan Terobosan** |
|  | Sistem akuisisi data di Kawasan Nuklir Yogyakarta | Bersifat independen dan lokal | Terintegrasi berbasis *wireless sensor network* dan IoT. |
|  | Sistem pendukung keputusan kedaruratan nuklir | Berbasis Bayes theorm [5] | Dikembangkan berbasis *machine learning* (deep learning, multiclass SVM) |
|  | Interoperabilitas sistem IDSS dalam lingkup kawasan nuklir | BATAN belum mengembangkan sistem DSS antar kawasan nuklir | Dikembangkan *framework* dan *protokol ad-hoc* komunikasi data kedaruratan. |
|  | *Early warning system* di KNY, BATAN dan tingkat Nasional | Belum terdapat sistem EWS terintegrasi di tingkat BATAN | Dikembangkan sistem EWS dengan stakeholder (BPBD, dll) |

Algoritma *machine learning* saat ini mengalami perkembangan yang pesat diikuti dengan berkembangnya teknologi komputer berkinerja tinggi atau *high performance computer* (HPC). Perangkat lunak yang akan dikembangkan akan melakukan integrasi dari data akuisisi, data informasi spasial, serta data terkait kebijakan dan batasan sebagaimana digunakan oleh organisasi tanggap darurat nuklir di KNY. Kombinasi sistem akuisisi data berbasis WSN dan *intelligence decision support system* berbasis *machine learning* selaras dengan trend dan pengembangan inovasi teknologi di era industri4.0 yang menggabungkan teknologi akuisisi data berbasis jaringan internet dan kecerdasan buatan. Dengan demikian penelitian ini memiliki nilai keterbaruan dan inovasi

1. METODE
   1. Telaah literatur

Kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir merupakan isu yang banyak berkembang di negara-negara yang memiliki fasilitas nuklir seperti reaktor nuklir, iradiator, akselerator, maupun perangkat sinar-x. Hal ini diperkuat dengan terbitnya dokumen *General Safetey Requirements no. 7* (GSR no 7) tahun 2015 dari IAEA tentang kesiapsiagaan dan tanggap darurat untuk kedaruratan nuklir dan radiologi. Menurut dokumen GSR no 7, organisasi pemegang izin bertanggungjawab terhadap manajemen kedaruratan (termasuk kedaruratan konvensional), memahami bahwa kesiapsiagaan yang baik dalam setiap kedaruratan, secara substansial dapat meningkatkan tanggap darurat. Salah satu elemen penting kesiapsiagaan kedaruratan adalah koordinasi dan pengaturan diantara berbagai lembaga yang terlibat [1].

Berbagai penelitian tentang kedaruratan nuklir telah dilakukan dalam bentuk konsepsual maupun teknis prosedur penganggulangan kedaruratan nuklir. Manajemen dan strategi kedaruratan nuklir dikembangkan secara multi nasional di eropa maupun oleh IAEA telah banyak digunakan sebagai dasar pengembangan strategi manajemen kedaruratan nuklir di negara-negara yang memiliki fasilitas nuklir seperti PLTN [6]–[10]. Seluruh strategi kedaruratan nuklir diaplikasikan untuk mencapai tujuan proteksi radiasi yaitu mencegah efek deterministik dan mengurangi efek stotastik.

Kegiatan perencanaan kedaruratan nuklir sangat bergantung pada sistem pengambil keputusan atau *decision support system* (*DSS*) berbasis komputer [11], dan sistem ini telah dikembangkan sejak pada lebih dari satu dekade yang lalu pada pembangkit listrik tenaga nuklir [12]. DSS merupakan suatu sistem yang bertujuan unutk mendukung pembuat keputusan manajerial dalam situasi keputusan yang terstruktur. DSS merupakan asisten pembuat keputusan untuk meningkatkan kapabilitasnya dan bukan untuk menggantikan kebijakan pembuat keputusan [13]. DSS telah banyak diterapkan untuk membantu dalam pengambilan keputusan pada berbagai aplikasi seperti medis [14]–[16], bisnis dan manajemen [17]–[20] maupun industri [21]–[25].

Pada kedaruratan nuklir, DSS telah diaplikasikan dan juga telah berkembang menjadi *intelligent DSS* (IDSS) dengan melibatkan kecerdasan buatan. Riset tentang DSS maupun IDSS pada kedaruratan nuklir telah dilakukan dengan memfokuskan pada berbagi aspek dalam manajemen kedaruratan nuklir. Tahun 2002, sebuah aplikasi DSS telah dikembangkan untuk mengestimasi daerah perencanaan kedaruratan atau *emergency planning zone* (EPZ) dengan memanfaatkan sistem informasi geografi (GIS), sehingga dapat digunakan untuk menghitung estimasi waktu evakuasi pada penganggulangan kedaruratan nuklir [11]. Model DSS kedaruratan nuklir telah dikembangakan dan dilakukan optimasi dengan menggunakan Fuzzy Entropy Weight dan TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) [26], dan menggunakan analisis keputusan Bayesian sehingga diperoleh distribusi probabilitias dari setiap keputusan [5], [27], yang selanjutnya petugas pengambil keputusan dapat menentukan ranking dari setiap ketidakpastian dari hasil DSS dalam penanggulangan kedaruratan nuklir. Teknik akuisisi pengetahuan penanggulangan kedaruratan nuklir untuk DSS juga dilakukan pada beberapa penelitian diantaranya menggunakan metode *Applied Cognitive Work Analysis* (ACWA) untuk mensimulasikan kedaruratan pada kecelakaan PLTN [28], serta pendekatan *Sytsem of System Engineering* (SoSE) untuk pemodelan rencana kedaruratan nuklir [7] mampu diterapkan sebagai sistem pendukung keputusan yang terintegrasi.

DSS untuk identifikasi tanggap darurat pada penganggulangan kedaruratan nuklir juga dikembangkan menggunakan basis kasus dan skenario [8]. Pada kasus serupa didalam aplikasi pengoperasian PLTN, digunakan metode *Computer Based Procedure* (CBP) yang diambil dari prosedur kedaruratan PLTN [29]. Konsep pengembangan model yang menjadi bagian utama dalam DSS kedaruratan nuklir telah dikembangkan untuk menentukan proteksi optimal dan strategi pemulihan pada saat terjadi pelepasan radioaktif [30] serta dalam sudut pandang manajemen operasi [31].

Berbagai literatur tersebut menunjukkan bahwa pengembangan DSS untuk kedaruratan nuklir memiliki variabel kebaruan diantaranya penggunaan algoritma kecerdasan buatan dalam melakukan pemilihan keputusan, serta metode pengembangan model yang digunakan sebagai dasar bagi DSS dalam menghasilkan kepuptusan.

Secara umum, perbedaan berbagai literatur tersebut adalah jenis studi kasus dimana kedaruratan nuklir terjadi. Setiap fasilitas nuklir dengan perbedaan fungsi dan kondisi geografi dan lingkungannya memiliki perbedaan dalam pengambilan keputusan pada penanggulangan kedaruratan nuklirnya. Sehingga penelitian ini secara umum memiliki perbedaan yaitu pada kasus kedaruratan nuklir pada reaktor nuklir yang dimiliki di Indonesia.

Perbedaan lain dari penelitian ini dengan berbagai literatur tersebut adalah pada metode klasifikasi dan analis prognosis kedaruratan sebagai bagian dari *intelligent* DSS pada penanggulangan kedaruratan nuklir. Metode klasifikasi akan mengacu pada penggalian data (*data mining*) dari kasus kecelakaan nuklir berbasis *knowledge based* dan *content based* menggunakan kecerdasaan buatan. Demikian pula pada analisis prognosis akan berbasis pada *machine learning* dalam memodelkan suatu prosedur penanggulangan kedaruratan nuklir. Tabel 2 menunjukkan *state of the art* dari pengembangan DSS untuk penanggulangan kedaruratan nuklir serta perbedaan kontribusi yang diberikan penelitian ini.

Tabel 2. *State of the Art* pengembangan decision support systems untuk kedaruratan nuklir.

| **Tahun** | **Judul** | **Fokus penelitian** |
| --- | --- | --- |
| 2002 | State of the art techniques for nuclear emergency planning population analysis [11] | Pengembangan aplikasi untuk penentuan EPZ berbasis GIS pada DSS kedaruratan reaktor nuklir |
| 2010 | Optimization model of nuclear emergency decision-making proposal based on fuzzy entropy weight and TOPSIS [26] | Optimasi model DSS kedaruratan nuklir berbasis Fuzzy Entropy Weight dan TOPSIS |
| 2011 | Resilient control of a decision support system for emergency simulation at nuclear power plant [28] | Pengembangan DSS dengan metode ACWA yang diintegrasikan dengan *Cognitive Task Design and Software Engineering* untuk mensimulasikan kedaruratan pada kecelakaan PLTN. |
| 2013 | Modelling of a nuclear emergency plan: A system of systems engineering approach [7] | Pemodelan rencana kedaruratan nuklir dengan pendekatan *System of System Engineering* (SoSE) |
| 2013 | Using graphical models and multi-attribute utility theory for probabilistic uncertainty handling in large systems, with application to the nuclear emergency management [27] | Reduksi ketidakpastian pada DSS kedaruratan nuklir menggunakan *formal Bayesian decision analysis* |
| 2015 | Structuring and reusing knowledge from historical events for supporting nuclear emergency and remediation management [8] | Pengembangan DSS untuk identifikasi tanggap darurat dan pengukuran *recovery* berbasis kasus dan skenario pada kedaruratan nuklir |
| 2017 | The Desirable Features of Computer Based Emergency Operating Procedure for Nuclear Power Operation  [29] | Pengembangan fitur *Computer Based Procedure* (CBP) untuk pengambilan keputusan pada operasi PLTN |
| 2017 | Flexible decision making in the wake of large scale nuclear emergencies: Long-term response[30] | Pengembangan model pendukung keputusan untuk menentukan proteksi optimal dan strategi perbaikan pada suatu lokasi akibat pelepasan radioaktif. |
| 2017 | Nuclear emergency decision support: A behavioural OR perspective [31] | Pengembangan model pada manajemen operasi dan anlisis keputusaan untuk kedaruratan nuklir. |
| 2020 | Penelitian ini: | Pengembangan prototip sistem pendukung keputusan untuk kesiapsiagaan pada kedaruratan nuklir dan radiologis KNY yang mencakup sistem perangkat lunak *intelligence decision support system* berbasis *machine learning* dan sistem peringatan dini (EWS) yang terintegrasi. |

* 1. Peta rencana

Pengembangan prototip sistem kesiapsiagaan untuk kedaruratan nuklir dan radiologis di kawasan nuklir Yogyakarta direncanakan akan dilaksanakan secara bertahap selama 3 tahun. Gambar 3menunjukkan *road map* pelaksanaan penelitian ini. Diawali di tahun pertama dengan mengembangkan perangkat lunak sistem pendukung keputusan dengan menerapkan algoritma pembelajaran mesin (*machine learning*) untuk menghasilkan analisis penanggulangan kedaruratan nuklir di KNY. Tahun ketiga direncanakan melaksanakan mengembangkan sistem berbasis *client-server* yang terintegrasi menjadi suatu sistem peringatan dini atau *early warning system* (EWS) antara KNY dengan beberapa pihak atau instansi terkait kebencanaan (BATAN, BAPETEN, BPBD, Polisi, Pemadam Kebakaran, SAR, dll).

Gambar 3. *Road map* pengembangan sistem kesiapsiagaan unutk kedaruratan nuklir di KNY

Peta rencana pengembangan prototip sistem kesiapsiagaan untuk kedaruratan nuklir di KNY ini juga telah dipetakan sesuai dengan pencapaian tingkat kesiapterapan teknologi (TKT) dengan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tahapan penelitian berdasarkan tingkat kesiapterapan teknologi

| Tahun | TKT | Tahapan |
| --- | --- | --- |
| Tahun 1 | TKT 1 | * Studi literatur sistem pendukung keputusan   + Penentuan standar sesuai GSR part 7 IAEA   + *Machine learning modelling* |
| TKT 2 | * Pembuatan data set untuk pembuatan model klasifikasi dan regresi. * Pembuatan rule-set untuk sistem kepakaran (standar) |
| TKT 3 | * Implementasi algoritma *machine learning* untuk analisis kedaruratan menggunakan data akuisisi. * Melakukan pengujian dan *cros validation* kinerja model *machine learning* (akurasi, sensitivitas, dan spesifisitas) * Pengembangan perangkat lunak *intelligence decision support system* dengan model *machine learning* untuk analisis dan klasifikasi kedaruratan di KNY. * Eksperimen dan pengujian perangkat lunak berdasar prosedur penanggulangan kedaruratan nuklir dan GSR no 7 IAEA |
| Tahun 2 | TKT 3 | * Merancang sistem jaringan client server * Pembuatan sistem EWS berbasis aplikasi client server * Membuat proses bisnis sistem EWS terintegrasi dengan pihak/instansi terkait kebencanaan |
| TKT 4 | * Melakukan pengujian dan percobaan dengan melibatkan pengguna dari lintas instansi terkait kebencanaan nuklir. * Melakukan pengujian dan percobaan sistem EWS sebagai bagian dari sistem EWS daerah atau nasional * Dihasilkan prototip menyeluruh sistem kesiapsiagaan untuk kedaruratan nuklir di KNY. |

* 1. Metode Penelitian

Penelitian pada tahun pertama ini adalah mengembangkan model sistem pendukung keputusan berbasis *machine learning*, serta mengimplementasikan menjadi suatu perangkat lunak. Adapun tahapan metode yang akan dilaksanakan ditunjukkan melalui diagram pada Gambar 4

Gambar . Blok diagram tahapan metode pelaksanaan penelitian

Tahap pertama adalah pembuatan data set, yaitu pengumpulan data pengukuran dari sistem akuisisi data radiasi lingkungan, meteorologi, serta parameter operasi dan keselamatan reaktor Kartini. Data ini dikumpulkan selain dari sistem akuisisi data yang telah dikembangkan sebelumnya, juga menggunakan data yang telah dimiliki dan digunakan oleh tim kedaruratan nuklir di KNY. Seluruh data ini nantinya akan digunakan untuk melaksanakan pelatihan model *machine learning*, serta digunakan untuk pengujian dan validasi model, hingga pengujian sistem kedaruratan dengan studi kasus. Data yang dikumpulkan merupakan data yang tersimpan didalam server database, selanjutnya akan dilakukan pembuatan matriks dataset untuk tahap pengembangan model.

*Machine learning* merupakan cabang ilmu kecerdasan buatan yang bertujuan mengembangkan algoritma atau model yang dijalankan oleh komputer untuk melakukan proses pembelajaran terhadap sekumpulan data serta menghasilkan suatu pengetahuan atau keputusan. Pada penelitian ini, *machine learning* dilakukan untuk mengembangkan suatu algoritma atau model dalam melakukan prediksi terhadap masukan berupa data meteorologi, data paparan radiasi lingkungan, data parameter operasi dan keselamatan reaktor Kartini, serta informasi spasial menjadi suatu pengetahuan tentang potensi kedaruratan nuklir. Proses model dikembangkan dengan melakukan eksperimen dari algoritma *deep learning* atau jaringan syaraf tiruan, *multiclass support vector machine*, serta teori klasifikasi Bayes. Tahapan yang akan dilaksankan pada pengembangan model ini ditunjukkan pada Gambar 5.

GSR part 7 dari IAEA [1] merupakan dokumen yang menjadi acuan utama dalam mengembangkan sistem kesiapsiagaan untuk kedaruratan nuklir. Berdasarkan dokumen ini akan dibuat suatu kumpulan aturan akan digunakan untuk melakukan identifikasi dan analisis kedaruratan nuklir dan radiologi. Adapun komponen sistem pendukung keputusan dengan sistem pakar digambarkan pada Gambar 6.

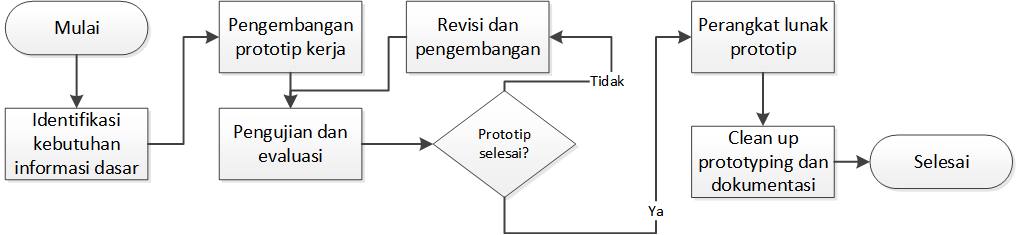


Gambar 5. Diagram alir pengembangan model *machine learning*

Keluaran dari tahapan ini adalah menghasilkan perangkat lunak prototip skala laboratorium. Pembuatan kode program akan dikembangkan menggunakan beberapa platform pemrograman yaitu Matlab dan Phyton untuk pengembangan model berbasis *machine learning*, kemudian untuk sistem pakar pendukung keputusan diimplementasikan pada aplikasi berbasis web menggunakan PHP dan MySQL. Pendekatan *prototyping* yang digunakan untuk pembuatan perangkat lunak ditunjukkan pada Gambar 7



Gambar 6. Komponen sistem pakar pendukung keputusan



Gambar 7. Pengembangan perangkat lunak dengan pendekatan *protoyping*.

Metode pengujian dan evaluasi yang akan digunakan adalah menentukan tingkat akurasi, sensitifitas, dan spesifisitas, dari hasil klasifikasi, serta parameter *rmse* dari model yang dikembangkan untuk sistem kedaruratan nuklir dan radiologis di KNY.

1. LUARAN

Keluaran yang akan diperoleh dari pelaksanaan penelitian ini adalah:

1. **Prototipe**

Prototipe sistem kesiapsiagaan untuk kedaruratan nuklir dan radiologi di kawasan nuklir Yogyakarta yang terdiri dari

* 1. Perangkat lunak sistem pendukung keputusan kedaruratan nuklir dan radiologi yang diperoleh di akhir periode tahun pertama.
  2. Sistem EWS berbasis *client-server* yang terintegrasi dengan pihak yang tekait kebencanaan. Diperoleh berupa penerapan seluruh prototip pada akhir periode tahun kedua.

1. **Desain dan model**

Desain dan model dari sistem analisis kedaruratan berbasis *machine learning* yang telah diuji dalam skala laboratorium diperoleh pada akhir periode tahun pertama. Sedangkan pada akhir tahun kedua akan diperoleh desain dan model interoperabilitas sistem dengan sistem kesiapsiagaan pada bencana di luar sebagai *stakeholder*, seperti BATAN dan BPBD DIY.

1. **Karya tulis ilmiah**

Akan dihasilkan karya tulis ilmiah yang dipublikasikan berupa:

* 1. Publikasi ilmiah internasional/bereputasi internasional pada akhir periode tahun pertama dan kedua.
  2. Publikasi ilmiah nasional terakreditasi pada akhir periode tahun kedua.
  3. Publikasi di seminar nasional maupun internasional pada akhir periode setiap tahunnya.

1. **Hak kekayaan intelektual (HKI)**
   1. Dihasilkan draft dokumen paten sederhana pada akhir periode tahun kedua.

Target luaran penelitian yang diajukan untuk penelitian ini selama **dua tahun** ditunjukkan pada Tabel 4

Tabel 4. Target luaran penelitian

| No | Jenis Luaran | | Luaran |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Tahun ke-1 | Tahun ke-2 |
| 1 | Publikasi ilmiah | Internasional/ bereputasi Internasional | Reviewed | Accepted (published) |
|  |  | Nasional terakreditasi | Reviewed | published |
| 2 | Hak Kekayaan Intelektual (HKI) | Paten sederhana | draft | Draft |
| 3 | Desain / Model | | Produk | Penerapan |
| 4 | Purwarupa/Prototipe | | Produk | Penerapan |
| 5 | Tingkat kesiapan teknologi (TKT) | | 3 | 4 |

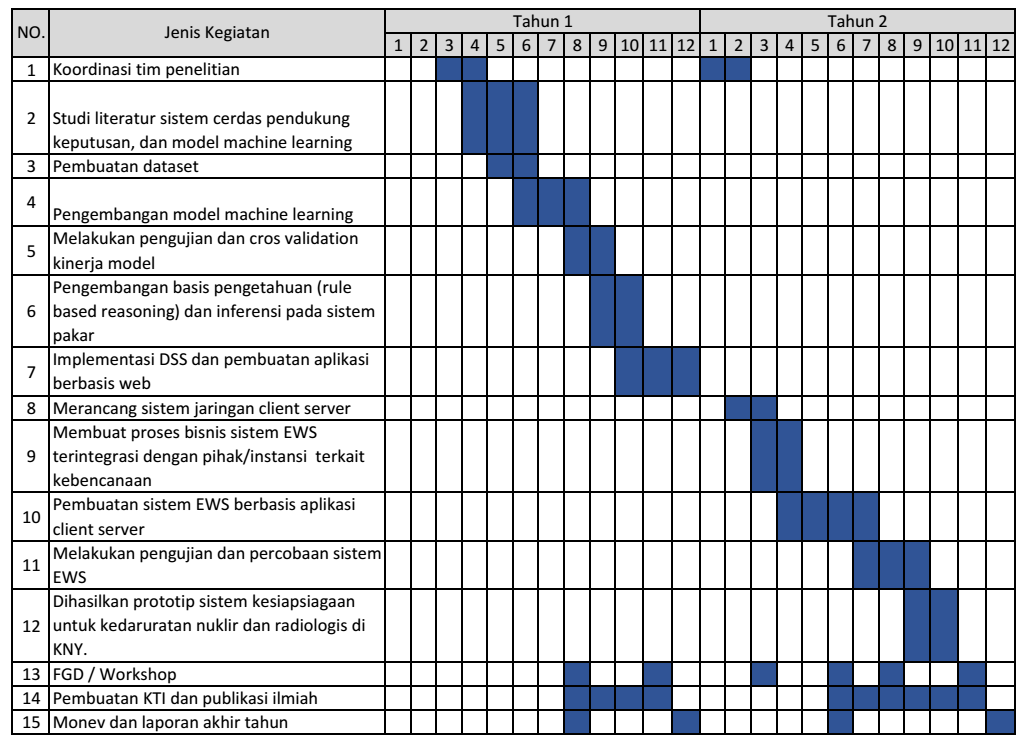
1. PROSPEK DAN MANFAAT

Penelitian dan pengembangan yang kreatif dan inovatif sangat penting dan dibutuhkan dalam meningkatkan kemandirian teknologi nasional. Hal ini selaras dengan salah satu program nawa cita pemerintah Indonesia. Pengembangan perangkat lunak berupa sistem cerdas pendukung keputusan yang dilakukan pada penelitian ini sangat mendukung tercapainya peningkatan kemandirian teknologi informasi dan komunikasi, serta kebencanaan khususnya sistem kesiapsiagaan untuk kedaruratan nuklir dan radiologi di kawasan nuklir Yogyakarta. Hasil penelitian ini dapat dikembangkan menjadi sistem peringatan dini dan pendukung keputusan yang terintegrasi sehingga upaya kesiapsiagaan dan manajemen kedaruratan nuklir dan radiologi dapat saling terkoordinasi pada skala local (pemilik fasilitas nuklir), daerah (BPBD), dan nasional (BNPB), bahkan diharapkan mengoptimalkan penanggulangan kedaruratan kegagalan teknologi secara umum.

1. BIAYA DAN JADWAL
   1. Anggaran Biaya

| **No** | **Jenis Pengeluaran** | **Biaya yang diusulkan (Rp)** | |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tahun ke-1** | **Tahun ke-2** |
| 1 | Honorarium untuk pelaksana. petugas laboratorium. pengumpul data. pengolah data. penganalisis data. honor operator. dan honor pembuat system.. dsb | 35.775.000 | 35.775.000 |
| 2 | Pembelian bahan habis pakai untuk ATK. fotocopy. surat menyurat. penyusunan laporan. cetak. penjilidan laporan. publikasi. pulsa. internet. bahan laboratorium. langganan jurnal | 28.715.000 | 117.460.000 |
| 3 | Perjalanan untuk biaya survei/sampling data. seminar/workshop. biaya akomodasi-konsumsi. perdiem/lumpsum. transport | 47.800.000 | 111.500.000 |
| 4 | Lain-lain: sewa untuk peralatan/mesin/ruang laboratorium. kendaraan. kebun percobaan. peralatan penunjang penelitian lainnya | 7.100.000 | 46.500.000 |
|  | Jumlah anggaran dari INSINAS | 119.390.000 | 311.235.000 |
|  | Inkind | 330.000.000 | 150.000.000 |
|  | Jumlah | 449.390.000 | 461.235.000 |

* 1. Jadwal Penelitian



1. DAFTAR PUSTAKA

[1] IAEA, “Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency General Safety Requirements No.7,” p. 102, 2015.

[2] M. V. Castrosilva and J. A. C. C. Medeiros, “Model of performance indicators in nuclear energy emergency plan assessment applied to emergency exercises,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 55, pp. 288–297, 2015.

[3] W. Raskob, F. Gering, J. Lochard, A. Nisbet, V. Starostova, and B. Tomic, “Nuclear and Radiological Emergency Management and Rehabilitation Strategies: Towards a EU approach for decision support tools,” *Nucl. Eng. Des.*, vol. 241, no. 9, pp. 3395–3402, 2011.

[4] A. Kaklauskas, *Biometric and Intelligent Decision Making Support*, vol. 81. 2015.

[5] J. Bartzis *et al.*, “Rodos: Decision Support for Nuclear Emergencies BT - Decision Making: Recent Developments and Worldwide Applications,” S. H. Zanakis, G. Doukidis, and C. Zopounidis, Eds. Boston, MA: Springer US, 2000, pp. 381–395.

[6] M. C. Kim, J. Park, W. Jung, and H. Kim, “Development of standard communication protocol for emergency management of main control room operators in nuclear power plants,” *IFAC Proc. Vol.*, vol. 10, no. PART 1, pp. 235–238, 2007.

[7] M. Ramírez Ferrero, J. L. González Álvarez, C. Ruiz Martín, and A. López Paredes, “Modelling of a nuclear emergency plan: A system of systems engineering approach,” *Proc. 2013 8th Int. Conf. Syst. Syst. Eng. SoSE Cloud Comput. Emerg. Inf. Technol. Appl. SoSE 2013*, pp. 87–92, 2013.

[8] S. Moehrle and W. Raskob, “Structuring and reusing knowledge from historical events for supporting nuclear emergency and remediation management,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 46, pp. 303–311, 2015.

[9] V. Nair, D. N. Karan, and C. S. Makhani, “Guidelines for medical management of nuclear/radiation emergencies,” *Med. J. Armed Forces India*, vol. 73, no. 4, pp. 388–393, 2017.

[10] S. U. Park, I. H. Lee, S. J. Joo, and J. W. Ju, “Emergency preparedness for the accidental release of radionuclides from the Uljin Nuclear Power Plant in Korea,” *J. Environ. Radioact.*, vol. 180, pp. 90–105, 2017.

[11] R. L. Steinman, “State of the art techniques for nuclear emergency planning population analysis,” *Nucl. Sci. Symp. Conf.*, pp. 1904–1906, 2002.

[12] U. Ilyas, “Development of Decision Support System for nuclear emergency,” *Proc. 1st Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICICT 2005*, vol. 2005, p. 354, 2005.

[13] E. Turban, J. E. Aronson, and T.-P. Liang, *Decision Support Systems and Intelligent Systems, 7th Edition*. Prentice Hall, 2007.

[14] F. Burstein, S. Mckemmish, J. Fisher, R. Manaszewicz, and P. Malhotra, *A role for information portals as intelligent decision support systems: Breast cancer knowledge online experience*. 2006.

[15] M. Esposito and G. De Pietro, “An ontology-based fuzzy decision support system for multiple sclerosis,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 24, no. 8, pp. 1340–1354, 2011.

[16] B. Malmir, M. Amini, and S. I. Chang, “A medical decision support system for disease diagnosis under uncertainty,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 88, pp. 95–108, 2017.

[17] H. Nokhbatolfoghahaayee, M. B. Menhaj, and M. Shafiee, “Fuzzy decision support system for crisis management with a new structure for decision making,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 37, no. 5, pp. 3545–3552, 2010.

[18] G. Kyriakarakos, K. Patlitzianas, M. Damasiotis, and D. Papastefanakis, “A fuzzy cognitive maps decision support system for renewables local planning,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 39, pp. 209–222, 2014.

[19] O. W. Samuel, M. O. Omisore, and E. J. Atajeromavwo, “Online fuzzy based decision support system for human resource performance appraisal,” *Measurement*, vol. 55, pp. 452–461, 2014.

[20] M. Yazdani, P. Zarate, A. Coulibaly, and E. K. Zavadskas, “A group decision making support system in logistics and supply chain management,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 88, pp. 376–392, 2017.

[21] A. K. Tsadiras, C. T. Papadopoulos, and M. E. J. O’Kelly, “An artificial neural network based decision support system for solving the buffer allocation problem in reliable production lines,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 66, no. 4, pp. 1150–1162, 2013.

[22] E. Bal Beşikçi, O. Arslan, O. Turan, and A. I. Ölçer, “An artificial neural network based decision support system for energy efficient ship operations,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 66, no. January 2013, pp. 393–401, 2016.

[23] G. Legien, B. Sniezynski, D. Wilk-Kołodziejczyk, S. Kluska-Nawarecka, E. Nawarecki, and K. Jaśkowiec, “Agent-based Decision Support System for Technology Recommendation,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 108, pp. 897–906, 2017.

[24] L. Lin, B. Luo, and S. S. Zhong, “Development and application of maintenance decision-making support system for aircraft fleet,” *Adv. Eng. Softw.*, vol. 114, pp. 192–207, 2017.

[25] V. Bugarski, T. Bačkalić, and U. Kuzmanov, “Fuzzy decision support system for ship lock control,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, no. 10, pp. 3953–3960, 2013.

[26] J. Xin, “Optimization model of nuclear emergency decision-making proposal based on fuzzy entropy weight and TOPSIS,” *Proc. - 2010 7th Int. Conf. Fuzzy Syst. Knowl. Discov. FSKD 2010*, vol. 2, no. Fskd, pp. 904–907, 2010.

[27] M. Leonelli and J. Q. Smith, “Using graphical models and multi-attribute utility theory for probabilistic uncertainty handling in large systems, with application to the nuclear emergency management,” *Data Eng. Work. (ICDEW), 2013 IEEE 29th Int. Conf.*, pp. 181–192, 2013.

[28] F. Bruno dos Santos, A. C. Gama e Silva Assaife, M. R. da S. Borges, J. O. Gomes, and P. V. R. de Carvalho, “Resilient control of a decision support system for emergency simulation at nuclear power plant,” *Proc. 2011 15th Int. Conf. Comput. Support. Coop. Work Des.*, pp. 665–668, 2011.

[29] T. J. Suryono and A. Gofuku, “The Desirable Features of Computer Based Emergency Operating Procedure for Nuclear Power Operation,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 19, pp. 403–407, 2016.

[30] D. Yumashev and P. Johnson, “Flexible decision making in the wake of large scale nuclear emergencies: Long-term response,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 261, no. 1, pp. 368–389, 2017.

[31] N. Argyris and S. French, “Nuclear emergency decision support: A behavioural OR perspective,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 262, no. 1, pp. 180–193, 2017.

Lampiran 1. Justifikasi Rencana Anggaran dan Biaya

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **1. Honorarium** | | | | | |
| Honor | Honor/jam (Rp) | Waktu (jam/minggu) | Minggu | Honor per tahun (Rp) | |
| Tahun ke-1 | Tahun ke-2 |
| Koordinator Peneliti | 420.000 | 0,25 | 15 | 1.575.000 | 1.575.000 |
| Peneliti Utama | 25.000 | 6 | 30 | 4.500.000 | 4.500.000 |
| Peneliti I (Fungsional peneliti) | 0 | 2 | 12 | 0 | 0 |
| Peneliti II | 25.000 | 5 | 20 | 2.500.000 | 2.500.000 |
| Peneliti III | 25.000 | 3 | 20 | 1.500.000 | 1.500.000 |
| Peneliti IV | 25.000 | 3 | 20 | 1.500.000 | 1.500.000 |
| Pembantu peneliti I | 25.000 | 8 | 20 | 4.000.000 | 4.000.000 |
| Pembantu peneliti II | 25.000 | 8 | 20 | 4.000.000 | 4.000.000 |
| Pembantu peneliti III | 25.000 | 6 | 20 | 3.000.000 | 3.000.000 |
| Pembantu peneliti IV | 25.000 | 4 | 24 | 2.400.000 | 2.400.000 |
| Tenaga Administrasi I | 300,000/bulan |  | 10 bulan | 3.000.000 | 3.000.000 |
| Tenaga Administrasi II | 300,000/bulan |  | 10 bulan | 3.000.000 | 3.000.000 |
| Tenaga harian I | 80,000/hari |  | 30 hari | 2.400.000 | 2.400.000 |
| Tenaga harian II | 80,000/hari |  | 30 hari | 2.400.000 | 2.400.000 |
| **Subtotal (Rp)** | | | | **35.775.000** | **35.775.000** |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **2. Pembelian bahan habis pakai** | | | | | | |
| Material | Justifikasi Pembelian | Harga satuan (Rp) |  | | | |
| Tahun ke-1 | | Tahun ke-2 | |
| Qty | Jumlah | Qty | Jumlah |
| Snack dan makan | konsumsi rapat dan FGD | 35.000 | 60 | 2.100.000 | 120 | 4.200.000 |
| Switch | jaringan komputer | 1.000.000 | 1 | 1.000.000 | 2 | 2.000.000 |
| Tonner printer | bahan ATK | 1.250.000 | 1 | 1.250.000 | 4 | 5.000.000 |
| kertas HVS 1 rim | bahan ATK | 73.000 | 5 | 365.000 | 20 | 1.460.000 |
| Publikasi jurnal/prosiding | publikasi | 8.000.000 | 2 | 16.000.000 | 4 | 32.000.000 |
| Single board computer | Modul pemantauan meteorologi, EWS | 2.000.000 | 0 | 0 | 2 | 4.000.000 |
| Wireless access point | sistem akuisisi data dan jaringan | 2.500.000 | 2 | 5.000.000 | 4 | 10.000.000 |
| Stasiun data akuisisi | sistem akuisisi data dan jaringan | 3.000.000 | 1 | 3.000.000 |  | 0 |
| Cloud disk system | Pengembangan integrated EWS | 15.000.000 |  | 0 | 2 | 30.000.000 |
| Local EWS controller module | Pengembangan integrated EWS | 4.200.000 |  | 0 | 4 | 16.800.000 |
| Dedicated routerboard | Pengembangan perangkat lunak dan analisis | 6.000.000 | 0 | 0 | 2 | 12.000.000 |
| **Subtotal (Rp)** | | | | **28.715.000** |  | **117.460.000** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **3. Perjalanan** | | | | | | | |
| Material | Justifikasi Perjalanan | Harga satuan (Rp) | Tahun 1 | | Tahun 2 | |
| Vol | Jumlah biaya | Vol | Jumlah biaya |
| **Yogyakarta-Jakarta-Yogyakarta** |  |  |  |  |  |  |
| Uang Harian | Koordinasi, Monev, Seminar | 500.000 | 14 | 7.000.000 | 40 | 20.000.000 |
| Tiket/Transport | 1.600.000 | 7 | 11.200.000 | 20 | 32.000.000 |
| Taxi | 300.000 | 7 | 2.100.000 | 20 | 6.000.000 |
| Penginapan | 600.000 | 7 | 4.200.000 | 20 | 12.000.000 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Yogyakarta-Bandung/Surabaya-Yogyakarta** |  |  |  |  |  |  |
| Uang Harian | Koordinasi, Monev, Seminar | 500.000 | 4 | 2.000.000 | 12 | 6.000.000 |
| Tiket/Transport | 1.600.000 | 2 | 3.200.000 | 6 | 9.600.000 |
| Taxi | 300.000 | 2 | 600.000 | 6 | 1.800.000 |
| Penginapan | 600.000 | 2 | 1.200.000 | 6 | 3.600.000 |
| **Yogyakarta-Denpasar/Medan-Yogyakarta** |  |  |  |  |  |  |
| Uang Harian | Koordinasi, Seminar | 500.000 | 4 | 2.000.000 | 4 | 2.000.000 |
| Tiket/Transport | 3.000.000 | 2 | 6.000.000 | 2 | 6.000.000 |
| Taxi | 300.000 | 2 | 600.000 | 2 | 600.000 |
| Penginapan | 700.000 | 2 | 1.400.000 | 2 | 1.400.000 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Kegiatan Rapat koordinasi/Workshop/FGD/Seminar** |  |  |  |  |  |  |
| Rapat diluar kantor fullday (OH) | Rapat fullday dalam rangka koordinasi/FGD/Workshop | 350.000 | 18 | 6.300.000 | 30 | 10.500.000 |
| **Subtotal (Rp)** |  |  |  | **47.800.000** |  | **111.500.000** |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **4. Sewa** | | | | | | |
| Material | Justifikasi sewa | Harga satuan (Rp) |  | | | |
| Tahun ke-1 | | Tahun ke-2 | |
|  |  |  | Qty | Jumlah | Qty | Jumlah |
| Pemasangan sistem akuisisi | sewa tenaga borongan | 600.000 |  | 0 | 5 | 3.000.000 |
| Pengujian perangkat lunak | jasa survey aplikasi | 30.000 | 70 | 2.100.000 | 200 | 6.000.000 |
| Pengujian infrastruktur jaringan | jasa survey kehandalan sistem jaringan | 2.000.000 |  | 0 | 10 | 20.000.000 |
| FGD dan diseminasi | jasa narasumber | 1.250.000 | 4 | 5.000.000 | 14 | 17.500.000 |
| **Subtotal (Rp)** |  |  |  | **7.100.000** |  | **46.500.000** |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **5. Inkind** | | | | | | |
| Material | Justifikasi Penggunaan | Harga satuan (Rp) |  | | | |
| Tahun ke-1 | | Tahun ke-2 | |
| Qty | Jumlah | Qty | Jumlah |
| High performance computer | Komputasi sistem pembelajaran mesin untuk DSS | 250.000.000 | 1 | 250.000.000 |  | 0 |
| Matlab Individual Academic License | Software analisis dan pengembangan machine learning | 80.000.000 | 1 | 80.000.000 | 1 | 80.000.000 |
| Komputer server web dan database | Server sistem DSS dan EWS | 70.000.000 |  | 0 | 1 | 70.000.000 |
| **TOTAL ANGGARAN YANG DIPERLUKAN SETIAP TAHUN (Rp)** | | |  | **119.390.000** |  | **311.235.000** |
| **TOTAL ANGGARAN INKIND** | | |  | **330.000.000** |  | **150.000.000** |

Yogyakarta. 15 April 2020

Peneliti Utama/Ketua Peneliti.



Dr. Muhtadan. M.Eng.

NIP. 19830301 200604 1 004