
DISAIN SISTEM PEMANTAUAN LINGKUNGAN UNTUK EVALUASI LEPASAN RADIONUKLIDA DARI SUBSISTEM PADA KECELAKAAN REAKTOR DAYA PWR

Sri Kuntjoro, Sugiyanto, Pande Made Udiyani, Jupiter Sitorus Pane
PTRKN-BATAN
Email: srikuncoro@batan.go.id

Diterima editor 07 November 2011
Disetujui untuk publikasi 04 Desember 2011

ABSTRAK

DISAIN SISTEM PEMANTAU LINGKUNGAN UNTUK EVALUASI LEPASAN RADIONUKLIDA DARI SUBSISTEM PADA KECELAKAAN REAKTOR DAYA PWR. PLTN. (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) sebagai sumber energi baru dipilih sebagai alternatif, karena memiliki berbagai kelebihan yaitu ramah lingkungan, pasokan bahan bakar yang tidak bergantung musim, serta harganya yang dapat bersaing dengan pembangkit listrik yang lain. Namun demikian, adanya keraguan sebagian masyarakat tentang keselamatan radiasi PLTN, maka pemerintah harus bisa meyakinkan tentang operasi PLTN yang aman dan selamat. Penelitian tentang disain sistem pemantauan lingkungan untuk evaluasi lepasan radionuklida dari subsistem reaktor dan lingkungan akibat terjadinya kecelakaan pada reaktor daya telah dilakukan. Penelitian dilakukan dengan melakukan perhitungan sebaran radionuklida ke subsistem dan lingkungan serta membuat sistem monitoring radiasi di lingkungan. Sistem monitoring lingkungan terdiri dari sistem pencacah radiasi, sistem peringatan dini, sistem pengukuran meteorologi, sistem GPS dan sistem GIS. Sistem pencacah radiasi digunakan untuk mencatat data radiasi, sistem pengukuran meteorologi digunakan untuk mencatat data arah dan kecepatan angin, sedangkan sistem GPS digunakan untuk menentukan data posisi pengukuran. Data tersebut kemudian dikirimkan ke sistem akuisisi data untuk ditransmisikan ke pusat kendali. Pengumpulan dan pengiriman data dilakukan melalui SMS menggunakan perangkat modem yang ditempatkan di ruang kendali. Ruang kendali menerima data dari berbagai tempat pengukuran. Dalam hal ini ruang kendali memiliki fungsi sebagai SMS gateway. Sistem ini dapat memvisualisasi untuk lokasi pengukuran yang berbeda. Selanjutnya, data posisi dan data radiasi diintegrasikan dengan peta digital. Integrasi sistem tersebut kemudian divisualisasikan dalam personal komputer. Untuk posisi pengukuran terlihat langsung di peta dan untuk data radiasi ditampilkan di monitor dengan tanda lingkaran merah atau hijau yang digunakan sebagai pemonitor batas aman radiasi. Bila tanda lingkaran berwarna merah maka akan menyalakan alarm di ruang kendali, selanjutnya dapat dilakukan tindakan sesuai dengan prosedur kedaruratan nuklir yang ada di PSAR.

Kata Kunci: Keselamatan radiasi, lepasan radionuklida, reaktor daya, PWR

ABSTRACT

DESIGN OF ENVIRONMENT MONITORING SYSTEM TO EVALUATE RADIONUCLIDE RELEASE FROM SUBSYSTEM ON PWR NUCLEAR POWER ACCIDENT. Nuclear Power Plan (NPP) as a renewable energy source is selected as an alternative, because it has many advantages that is environmentally friendly, fuel supply which is independent of the season, and the price that can compete with other power plants. However, the existence of some public skepticism about nuclear radiation safety, the government must be convinced about the operation of nuclear power plants are safe and secure. Research on the design of environment monitoring system for evaluation of radionuclide release from the reactor subsystems and the environment due to accidents at power reactors has been done. The study was conducted by calculating the distribution of radionuclide release into the reactor subsystem and the environment and also to build the environment radiation monitoring system. Environmental monitoring system consists of a radiation

counter, early warning systems, meteorological measurement systems, GPS systems and GIS. Radiation monitoring system used to record the data of radiation, meteorological measurement system used to record data of wind and speed direction, while the GPS system is used to determine position of data measurements. The data is then transmitted to a data acquisition system and then to be transmitted to the control center. Collection and transmission of data is done via SMS forming using a modem device that is placed in the control center. The control center receives measurement data from various places. In this case the control center has a function as an SMS Gateway. This system can visualize for different measurement locations. Furthermore, radiation data and position data to be integrated with digital maps. System integration is then visualized in a personal computer. To position of measurements directly visualized on the map and also look for the data displayed on a monitor as a red or green circle colour. That colour indicated as a safe limit of radiation monitor. When the circle colour is red, the system will turn on alarm in the control room and then can be take action in accordance with existing nuclear emergency procedures as shown in PSAR.

Key words: radiation safety, radionuclide release, power reactors, PWR

PENDAHULUAN

Dalam upaya mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia yang didukung oleh ketersediaan energi yang cukup dan harga yang stabil, telah dilakukan studi secara komprehensif untuk perencanaan energi nasional terhadap berbagai macam sumber daya khususnya pembangkit energi listrik di Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan energi di masa mendatang, berbagai sumber energi baru seperti gas, biomassa, geotermal dan air harus ditingkatkan bersamaan dengan pemanfaatan energi fosil. Namun peningkatan ini belum dapat memenuhi seluruh kebutuhan masyarakat. Untuk itu perlu diintroduksi penggunaan energi nuklir dalam bentuk pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) pada tahun 2016 [1]. Dengan tingkat teknologi keselamatan PLTN yang ada saat ini, penempatan PLTN di dekat pusat beban jaringan listrik akan sangat menguntungkan dan mengurangi ongkos transmisi.

Pengelola reaktor nuklir harus bisa menyediakan data dan argumentasi yang kuat untuk menjelaskan tentang PLTN yang selamat dan aman terhadap lingkungan. Untuk maksud tersebut sangat diperlukan adanya analisis dan manajemen risiko terhadap sistem dan komponen reaktor maupun dampak radiologinya dengan metode yang lazim digunakan yaitu PSA level 1, PSA Level 2, dan PSA Level 3 [2,3]. Untuk itu BATAN sebagai badan pemerintah yang memiliki kewenangan untuk mengembangkan segala yang berkaitan dengan teknologi dan keselamatan nuklir telah dan sedang melakukan berbagai kegiatan berkaitan dengan keselamatan PLTN.

Kegiatan yang dilakukan antara lain adalah menyiapkan tapak PLTN, membuat URD (*User Requirement Document*), PSAR (*Preliminary Safety Analysis Report*) dan BIS (*Bid Invitation for specification*). Dalam rangka menyusun PSAR telah dilakukan berbagai penelitian diantaranya adalah penelitian tentang keselamatan reaktor PSA Level 3 yang dibiayai oleh Program Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekrayasa tahun 2009/2010 dan 2010/2011. Hasil dari penelitian tersebut adalah pemodelan sebaran radiasi dari PLTN untuk reaktor nuklir tipe PWR (*Pressurized Water Reactor*) di calon tapak PLTN di Semenanjung Muria dan Pesisir Banten. Data luaran tersebut akan digunakan sebagai data input utama dari sistem yang akan dibuat dalam penelitian ini. Selanjutnya perlu dibuat suatu sistem simulasi untuk mengukur paparan radiasi yang akan diterima oleh lingkungan akibat beroperasinya PLTN. Sistem ini memiliki fungsi untuk memonitor dosis radiasi ke lingkungan pada kondisi PLTN beroperasi secara normal, sehingga ada tidaknya lepasan

radionuklida dapat dipantau secara *real time*. Selain itu sistem tersebut juga berfungsi sebagai sistem peringatan dini bila terjadi kondisi abnormal pada PLTN. Prinsip utama dari simulasi sistem peringatan dini adalah mengukur dosis radiasi yang terdispersi ke lingkungan

Tujuan dari penelitian ini untuk merancang sistem keselamatan nuklir PLTN yaitu berupa sistem pemantauan radiasi di lingkungan dan sistem peringatan dini jika tingkat acuan dosis radiasi terlewat dalam rangka manajemen kecelakaan reaktor. Juga untuk menunjukkan kepada masyarakat bahwa pengoperasian PLTN aman dan selamat. Pembuatan sistem pemantauan radiasi dan sistem peringatan dini dapat digunakan untuk memonitor kondisi lingkungan jika terjadi anomali paparan radiasi.

Pada penelitian ini dirancang sistem pencacah radiasi digital, sistem pengukuran meteorologi, dan sistem GPS (*Global Positioning System*) [4]. Sistem pencacah radiasi digunakan untuk mengumpulkan data radiasi. Sistem GPS digunakan untuk menentukan data posisi. Data tersebut kemudian dikirimkan ke sistem akuisisi data untuk ditransmisikan ke pusat kendali dan selanjutnya ditransfer melalui format SMS. Sistem pengukur radiasi, dan sistem GPS ditempatkan di lokasi pengukuran. Selanjutnya data ditransmisikan melalui sistem SMS dan diterima oleh sistem SMS GATEWAY yang berada di tempat pengendalian untuk disimpan dalam sistem komputer sebagai data base. Dengan sistem ini akan memudahkan pengguna untuk menampilkan data sesuai dengan tujuan pengamatan.

Untuk data posisi dan data radiasi diintegrasikan dengan peta digital kedalam sistem GIS (*Geographic Information System*) [5,6]. Peta digital daerah pengukuran dibagi dalam 8 skala radius dari titik pengukuran dan 16 arah radial. Integrasi sistem tersebut kemudian divisualisasikan ke personal komputer. Untuk membedakan kondisi paparan radiasi pada peta, maka dibuat perbedaan warna untuk memperlihatkan apakah dosis radiasi masih aman, mendekati batas keamanan, maupun melewati batas keamanan. Perbedaan tersebut divisualisasikan dengan warna hijau untuk kondisi aman, warna kuning untuk kondisi mendekati batas aman dan warna merah untuk kondisi melewati batas aman. Bila warna merah terdapat pada peta maka akan menyalakan alarm di ruang kendali, selanjutnya dapat dilakukan tindakan sesuai dengan prosedur kedaruratan nuklir yang ada di PSAR. Dengan diketahuinya informasi tentang keselamatan radiasi PLTN ke lingkungan, berdasarkan sistem monitoring yang terpadu secara *real time* maka diharapkan masyarakat dapat menerima beroperasinya PLTN yang selamat, handal, dan aman. Untuk pelaksanaan penelitian riset terapan ini telah dilakukan kerjasama dengan BPS Propinsi Banten yang berkecimpung dalam bidang statistik.

TEORI

Pengukuran Radiasi, Mengubah Data Analog ke Digital

Pengukuran radiasi dilakukan menggunakan surveiometer radiasi. Hasil pengukuran radiasi berupa data analog. Data analog hasil pengukuran harus diubah menjadi data digital terlebih dahulu agar data tersebut dapat ditransfer ketempat monitoring yang letaknya jauh dari tempat pengukuran. Untuk mengubah data analog ke digital digunakan perangkat mikrokontroller. Mikrokontroller yang digunakan adalah AVR ATmega-128. ATmega-126 dipilih karena memiliki perangkat ADC (*Analog to Digital Converter*) yang berjumlah 8 buah dan dapat diprogram sehingga dapat mengirimkan data menggunakan teknik SMS (*short message system*). Hasil konversi surveiometer radiasi tidak dapat langsung di inputkan ke dalam mikrokontroller karena tegangan yang di hasilkan masih lemah. Oleh karena itu perlu dilakukan penguatan dan filterisasi dengan menggunakan Modul Pengkondisi sinyal (*Signal Conditioning*) [7]. Di dalam modul pengkondisi sinyal tegangan diolah menjadi

tegangan 0 – 5 volt sebagai input ADC pada mikrokontroler. Pada ADC modul mikrokontroler tegangan di proses menjadi sinyal digital 10 bit dengan pengaturan tegangan 0 – 5 volt setara dengan 0 - 1024 bit. Dengan melakukan pemrograman pada mikrokontroler sudah dalam bentuk EXE (dari hasil compile) signal digital diolah:

- dikemas dalam format *UART (Universal Asynchrone Receiver Transmitter)*
- dipaket dalam format serial
- mengendalikan modem untuk komunikasi data
- penyimpanan data sementara di *EEPROM*

Sinyal dari mikrokontroler dikirim ke komputer (PC) melalui saluran USB dan diolah dan ditampilkan ke dalam monitor dalam format waktu (tanggal, jam, menit, detik) dan data hasil pengukuran, kemudian data dikirim ke modem dan di pancarkan melalui format SMS dari komputer server [8]. Konversi data dan pengiriman data dilakukan menggunakan bahasa pemrograman BASCOM. Dipilih bahasa pemrograman BASCOM karena mudah dan simple untuk melakukan komunikasi antara mikrokontroller, modem dan komputer melalui port serial [9].

Sistem Pengambilan Data GPS Serta Visualisasi Data GPS dan Data Pengukuran Radiasi

GPS (*Global Positioning System*) adalah suatu alat yang dapat menunjukkan posisi dalam koordinat lintang dan bujur. Peralatan ini disatukan dengan peralatan pengukur radiasi, sehingga posisi pengukuran yang dilakukan dapat diketahui dan dapat divisualisasi kedalam peta. Pengambilan data GPS dilakukan menggunakan format SMS. Cara yang dilakukan adalah membuat program kirim dan terima SMS, yaitu dengan cara mengirim SMS dari komputer melalui modem ke alamat GPS, kemudian GPS melakukan respon otomatis mengirim SMS data posisinya ke komputer, selanjutnya komputer menerima data posisi GPS dan data tersebut dikumpulkan dalam data base dan divisualisasikan ke monitor komputer. Visualisasi posisi GPS berupa data posisi lintang dan bujur serta dalam peta GIS.

Pemrograman kirim dan terima SMS dilakukan menggunakan bahasa pemrogram DELPHI, sedangkan untuk menyimpan data posisi pengukuran dalam data base menggunakan program MySQL. Selanjutnya data tersebut diintegrasikan dengan sistem GIS sehingga pada komputer akan terlihat posisi pengukuran pada peta. Untuk divisualisasikan posisi pengukuran dilakukan pemrograman menggunakan bahasa pemrograman PHP[9].

Visualisasi juga dilakukan untuk tingkat acuan (*reference level*) dosis radiasi dan dilakukan dengan visualisasi lingkaran warna yang menandai paparan radiasi acuan, yaitu lingkaran warna hijau untuk paparan radiasi dibawah batas yang diijinkan, lingkaran warna kuning untuk paparan mendekati batas keselamatan dan lingkaran warna merah untuk paparan radiasi melampaui batas keselamatan. Untuk visualisasi batas paparan radiasi dilakukan menggunakan bahasa pemrograman VISUAL BASIC.

Analisis Radiologi Kuat Sumber.

Kuat sumber pelepasan radionuklida dihitung dengan mengasumsikan laju kebocoran x % volume per hari. Dengan demikian jumlah fraksi pelepasan dihitung dengan rumus [10]

$$\frac{L(t)}{B_0} = \frac{X}{2400} \frac{1}{\left(\lambda + \frac{X}{2400}\right)} \left[1 - \exp\left\{-\left(\lambda + \frac{X}{2400}\right)t\right\} \right] \quad (1)$$

dengan:

$\frac{L(t)}{B_0}$: fraksi pelepasan,

X : persen kebocoran (%),

λ : peluruhan (desintegrasi/jam)

Besaran ini akan menjadi masukan sebagai fraksi pelepasan untuk perhitungan dispersi radionuklida menggunakan perangkat lunak PC-COSYMA.

Dispersi bahan radionuklida di atmosfer dilakukan dengan menggunakan model dispersi Gaussian :

$$X(x, y, z) = \frac{Q_0}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp - \left[\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{(z-h_e)^2}{2\sigma_z^2} \right] \quad (2)$$

dengan,

X (x, y, z) : konsentrasi aktivitas dalam udara pada titik (x, y, z) (Bq /m³),

X : jarak ke arah angin bertiup (m),

Y : jarak ke arah sumbu y yang tegak lurus arah angin (m),

Z : tinggi dari atas tanah dimana konsentrasi diukur (m),

σ_y : standar deviasi distribusi horizon Gauss (m),

σ_z : standar deviasi distribusi vertikal Gauss (m),

Q₀ : laju pelepasan (Bq/detik),

U : kecepatan angin rata-rata (m/detik),

H : tinggi efektif pelepasan (m),

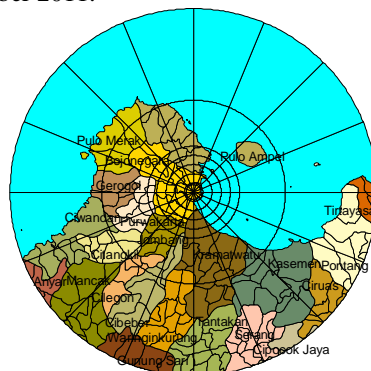
d(r,a) : faktor konversi dosis (Sv/Bq),

(t₀,t₁) : selang waktu penyinaran (jam).

METODOLOGI

Tempat dan waktu penelitian

Lokasi penelitian untuk tahun pertama dilaksanakan di BATAN Serpong dan Pesisir Banten, terdapat pada Gambar 3. Waktu penelitian selama 8 bulan dimulai pada bulan Maret sampai dengan Nopember 2011.



Gambar 3. Lokasi penelitian di pesisir Serang-Banten

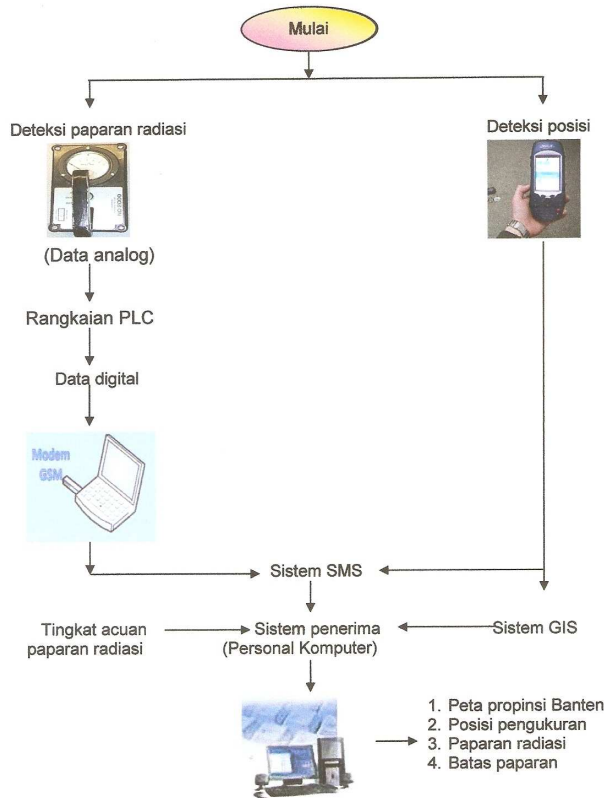
Metode penelitian ini adalah metode penelitian lapangan dan rancangan sistem. Penelitian lapangan mencari data-data primer dan sekunder kondisi lingkungan terutama yang berkaitan dengan kondisi cuaca dalam waktu setahun, di daerah pesisir Banten. Pengukuran radiasi latar dilakukan di daerah tapak pesisir Banten yang terpilih.

Rancangan Sistem

Penelitian dilakukan untuk perancangan meliputi sistem konversi data analog ke digital, sistem GPS, dan sistem komunikasi data dari sumber pengukuran ke server data. Selanjutnya penggabungan data radiasi terukur, data GPS dengan data GIS. Rancangan sistem terdapat pada Gambar 4.

Tahapan pelaksanaan penelitian adalah:

1. Pengumpulan data meteorologi dan lingkungan di daerah Kabupaten Serang Provinsi Banten.
2. Membuat sistem konversi data analog ke digital dari peralatan pencacah radiasi sehingga diperoleh besaran data dosis radiasi dalam bentuk digital.
3. Merancang sistem GPS (*Global Positioning System*).
4. Melakukan pengukuran data radiasi diposisi pengukuran radiasi dengan selang waktu satu menit.
5. Membuat sistem komunikasi data, sistem transmitter dan sistem receiver (*SMS gateway*) agar data digital (posisi pengukuran, dosis radiasi) hasil pengukuran dapat dikirim dari tempat pengukuran ke tempat pemrosesan data (tempat pengendalian) secara *on-line* melalui sistem internet.
6. Membangun *data base* sistem pemonitor yang memuat data posisi dan dosis radiasi.
7. Membuat program sistem alarm yang digunakan sebagai peringatan dini bila terdapat dosis radiasi yang melewati tingkat acuan
8. Membuat visualisasi *on-line* posisi pengukuran dan data dosis radiasi berintegrasi dengan sistem GIS (*Geographic Information System*). Visualisasi *on-line* digunakan pula sebagai sistem peringatan dini dengan menghubungkan dengan sistem alarm yang akan menyala bila dosis radiasi yang boleh diterima penduduk terlewat.

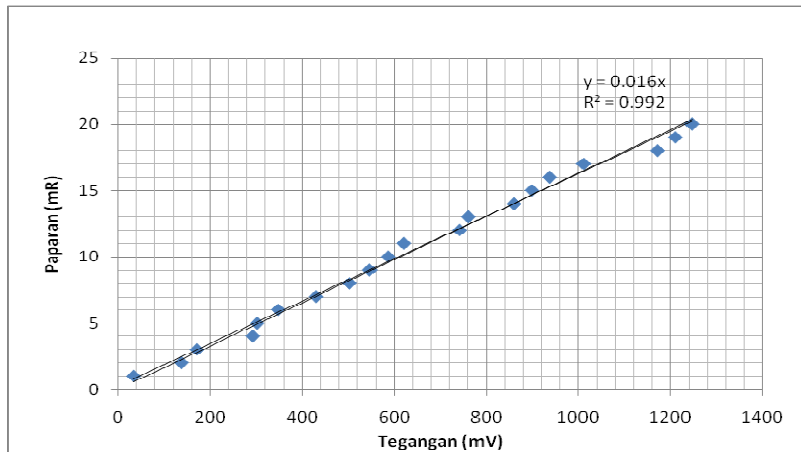


Gambar 4. Rancangan riset

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Deteksi Data Radiasi

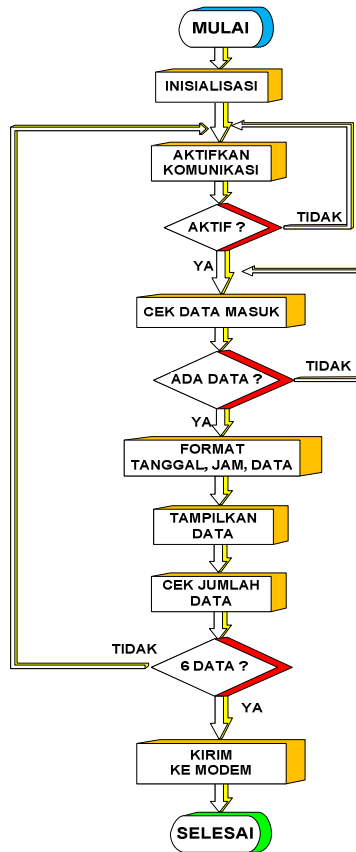
Konversi data analog ke digital dilakukan dengan cara pengukuran radiasi sebagai besaran fisis (tingkat paparan radiasi) dikonversi ke dalam bentuk tegangan listrik. Hasil konversi surveimeter radiasi diperkuat dan difilterisasi dengan menggunakan modul pengkondisi sinyal (*signal conditioning*). Di dalam modul pengkondisi sinyal tegangan diolah menjadi tegangan 0 – 5 volt. Data tegangan diinputkan ke ADC (*Analog to Digital Converter*) pada mikrokontroler. Pada ADC modul mikrokontroler tegangan di proses menjadi sinyal digital 10 bit dengan pengaturan tegangan 0 – 5 volt setara dengan 0 - 1024 bit. Dengan melakukan pemrograman pada Mikrokontroler sudah dalam bentuk EXE (dari hasil *compile*) sinyal digital diolah. Selanjutnya dilakukan kalibrasi antara pengukuran surveymeter dengan konversi tegangan dan hasilnya terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kalibrasi Paparan radiasi dengan Konversi Tegangan

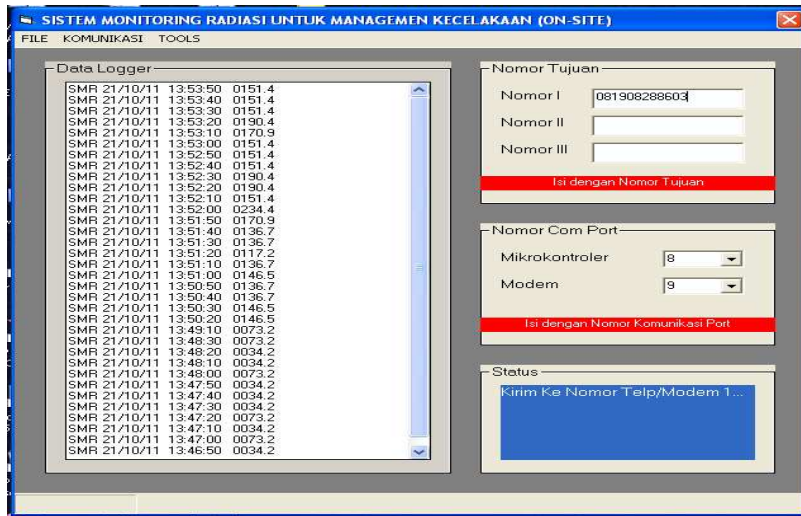
Hubungan antara paparan radiasi dengan konversi tegangan adalah linier dengan tingkat ketelitian sebesar 99,20%. Dengan demikian konversi tegangan dari paparan radiasi terukur memiliki tingkat akurasi yang baik dan selanjutnya tegangan yang dihasilkan diubah ke bentuk digital menggunakan ADC yang ada di mikrokontroler.

Selanjutnya dilakukan proses pengiriman data digital dari mikrokontroler ke komputer (*PC/Komputer Pengirim*) melalui saluran USB dan diolah dan ditampilkan ke dalam monitor dalam format waktu (tanggal, jam, menit, detik) dan data hasil pengukuran (mR/jam). Data waktu dan data pengukuran kemudian ke modem dan di pancarkan melalui format SMS (*Short Message System*) dari komputer pengirim ke komputer *server* yang ada di ruang pengendali. Pengambilan data dan pengiriman data dilakukan melalui pemrograman menggunakan program BASCOM. Diagram alir proses pemrograman untuk pengambilan data dan pengiriman lewat SMS dapat dilihat pada Gambar 6.



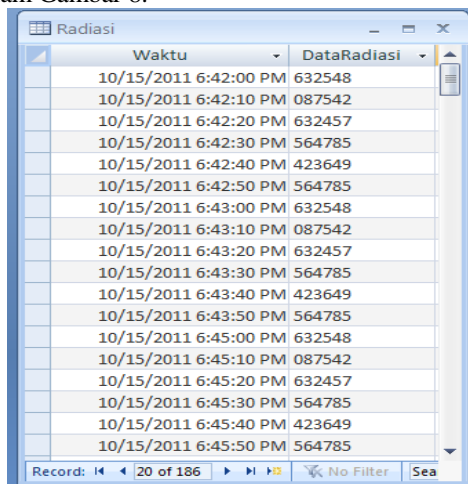
Gambar 6. Pemrograman untuk mengambil data dari mikrokontroler dan mengirim data ke komputer *server* melalui modem

Hasil pengambilan dan pengiriman data dapat dilihat pada tampilan di monitor komputer pengirim, seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan hasil pemrograman untuk pengambilan dan pengiriman data di layar monitor komputer pengirim

Dari Gambar 7 terlihat disebelah kanan tertulis nomor sim modem komputer *server*, yaitu nomor tujuan kemana data waktu dan data penukuran radiasi dikirim. Juga terdapat *port* number dari mikrokontroller kemana komputer pengirim data mengambil data pengukuran, serta nomor *port* dimana modem di hubungkan dengan komputer pengirim. Pemrograman dibuat untuk mengirim data ke berbagai komputer *server*, yaitu sebanyak 3 komputer *server*. Juga dapat dilihat status pengiriman ke mana data dikirim. Pada sisi kiri terlihat data waktu pengiriman (tanggal dan jam, menit detik), serta besarnya paparan radiasi hasil pengukuran. Pada komputer penerima data tersimpan dalam format *microsoft access* seperi yang ditunjukkan dalam Gambar 8.



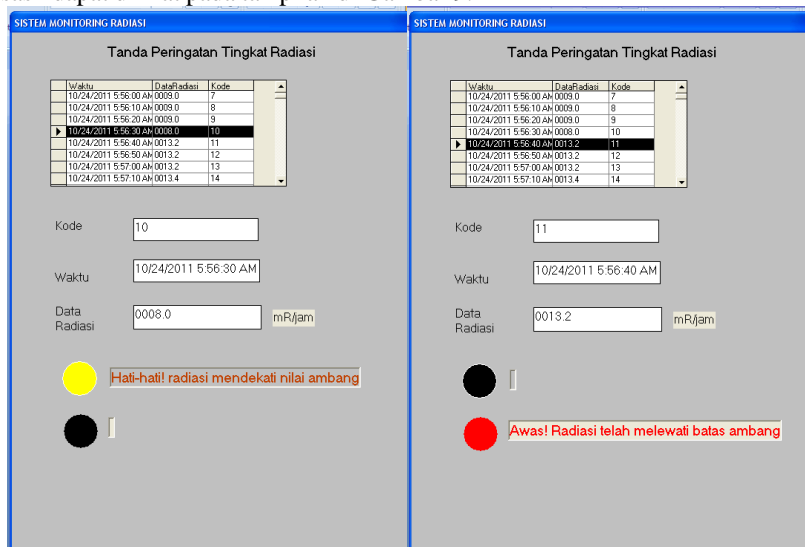
Gambar 8. Contoh data yang disimpan dalam format *Microsoft Acces*

Data yang diterima di komputer *server* sama dengan data yang dikirim oleh komputer *server* (data pengukuran). Dengan hasil ini menyatakan bahwa pembuatan program untuk

mengambil dan mengirim data dari mikrokontroller serta menyimpan data tersebut di komputer *server* telah berhasil sesuai dengan model yang disusun.

Visualisasi Pengukuran Radiasi dan Sistem Peringatan Dini

Setelah data radiasi dan data posisi pengukuran terkumpul di *database*, maka selanjutnya data radiasi diolah sebagai masukan program peringatan dini. Program peringatan dini adalah program seleksi data radiasi, yaitu bila melewati batas nilai yang diijinkan akan menampilkan sinyal warna hijau seperti pada lampu lalu lintas. Bila nilai radiasi dibawah batas yang ditentukan akan memberikan sinyal warna merah. Pemrograman untuk visualisasi sistem peringatan dini dilakukan menggunakan program *Visual Basic*. Hasil visualisasi dapat dilihat pada tampilan di Gambar 9.



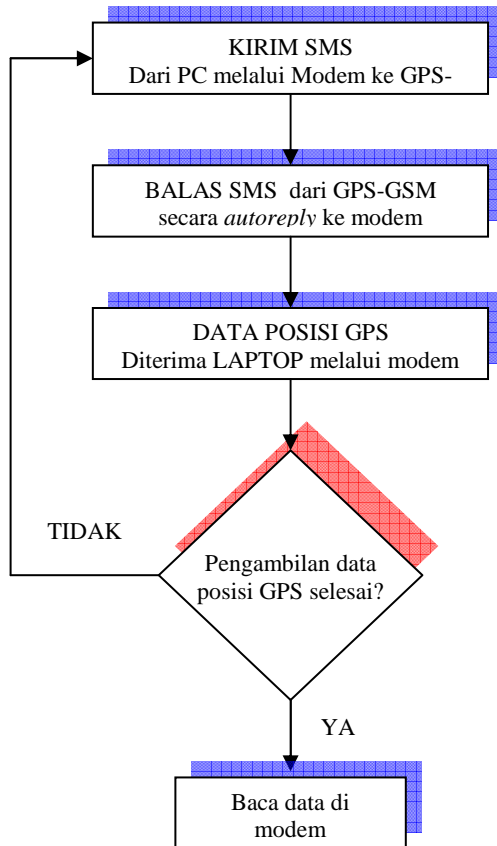
Gambar 9. Sistem peringatan dini di komputer monitor

Dari Gambar 9 terlihat bahwa sistem peringatan dini telah dapat dibuat, disebelah kiri terlihat bila data radiasi terukur mendekati batas radiasi yang diijinkan maka pada layar monitor akan terlihat lingkaran kuning dengan tulisan "Hasil Radiasi Mendekati Nilai Ambang" seperti tampilan sebelah kiri. Selanjutnya bila data pengukuran radiasi melebihi nilai batas yang diijinkan, maka pada layar monitor akan terlihat lingkaran merah dengan tulisan "Hasil Radiasi Telah Melewati Batas Ambang" seperti tampilan sebelah kanan, dan pada saat bersamaan akan memicu alarm sebagai tanda keadaan darurat terjadi. Bila pengukuran radiasi dibawah batas ambang, maka yang terlihat adalah hanya lingkaran hitam. Berdasarkan hal diatas maka pemrograman peringatan dini telah dapat dibuat sesuai dengan rencana.

Program Pengambilan Data Posisi Radiasi

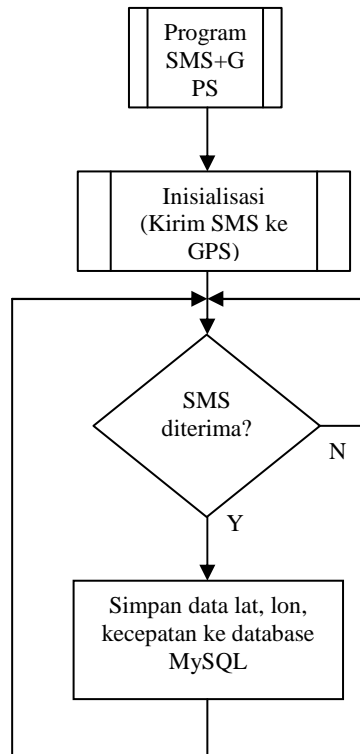
Untuk menampilkan posisi pengukuran dilakukan pemrograman untuk mengambil data posisi radiasi. Pemrograman dilakukan menggunakan program DELPHI dengan format SMS melalui modem USB yang terhubung langsung di komputer *server*. Posisi pengukuran terdapat pada perangkat GPS yang diletakkan pada sistem pengukuran radiasi. Pada GPS posisi pengukuran dalam format latitude dan longitude dalam format derajat menit detik lintang/bujur. Teknis pemrograman adalah dengan mengirim SMS dari komputer *server* ke no telepon modep GPS. SMS diterima GPS dan GPS mengirim balik data posisi ke

komputer *server* dan diterima oleh komputer server dan posisi akan ditampilkan di monitor komputer *server*. Pemrograman mengambil data posisi pengukuran terlihat pada diagram alir pemrograman seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



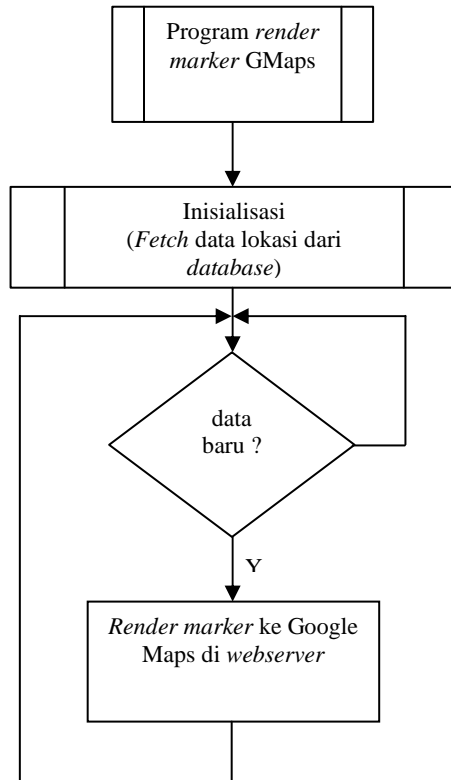
Gambar 10. Diagram alir kirim, terima dan baca SMS dengan Delphi

Setelah data posisi diterima selanjutnya disimpan di komputer. Untuk itu dilakukan dengan cara membuat program *database* menggunakan program XAMPP dan MySQL. Tampilan yang diharapkan dilayar monitor adalah diagram alir program penyimpanan data di *database* adalah seperti Gambar 11.



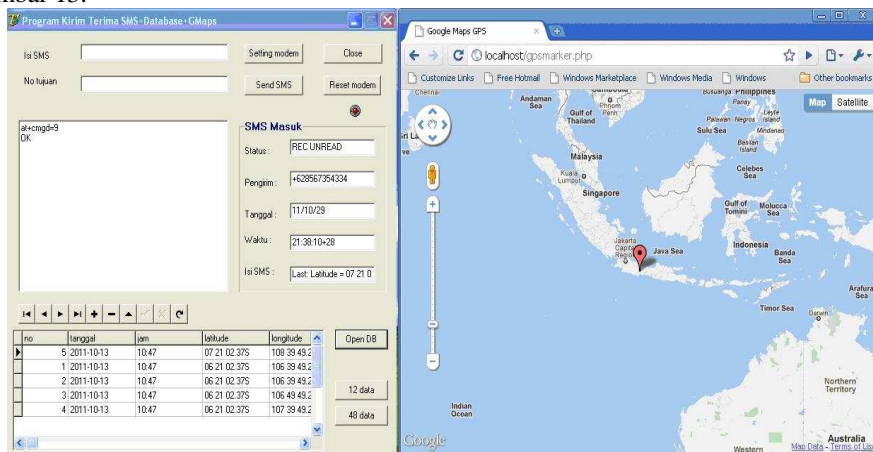
Gambar 11. Diagram alir simpan data di database dengan XAMPP dan MySQL

Langkah selanjutnya adalah memvisualisasi data pengukuran ke peta google MAP secara *on-line*. Visualisasi posisi pengukuran dilakukan dengan cara membuat *maker* peta dengan *database* posisi pengukuran (*latitude dan longitude*). Pemrograman dilakukan menggunakan program PHP. Inti program PHP untuk *maker* peta adalah melakukan *rendering* gmaps dan dilakukan hanya ada di tag <BODY>, dan diagram alir pemrograman dapat terlihat pada Gambar 12 .



Gambar 12. Diagram alir marker peta dengan PHP secara on-line

Hasil pemrograman adalah visualisasi posisi pengukuran *on-line* untuk lima data pengukuran terakhir dalam format tanggal, jam, posisi (*latitude dan longitude*) serta visualisasi posisi pengukuran secara *on-line* pada peta *GoogleMAP* seperti dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Visualisasi Posisi Pengukuran

Pada Gambar 13 sebelah kiri bagian kiri atas terlihat isi SMS yang dikirim serta nomor telepon GPS, perintah mensetting modem yang ada di komputer *server*, serta perintah mengirim SMS. Kotak putih berisi langkah apakah proses pengiriman telah berhasil, sebelah kanan kotak putih adalah data SMS masuk atau data GPS, yaitu nomor telepon GPS, tanggal pengiriman GPS, waktu pengiriman GPS dan isi SMS berupa data posisi GPS. Dibawah kotak putih adalah data 12/24 posisi GPS terakhir dengan selang waktu satu jam dan terdiri dari nomer, 12/24 data terakhir, tanggal, jam, *latitude* dan *longitude*, serta pilihan tampilan 12 atau 24 data terakhir. Gambar sebelah kanan adalah posisi GPS (*latitude*, *longitude*) tervisualisasi secara *on-line* pada peta *google*. Posisi GPS tergambar di peta sebagai titik air berwarna orange. Dengan dapat dimonitornya posisi pengukuran secara *on-line*, maka pemrograman yang telah dibuat berhasil dengan baik. Visualisasi data pengukuran secara *on-line* berguna untuk melakukan tindakan yang tepat bila kondisi kedaruratan terjadi (bila batas radiasi yang diijinkan terlampaui). Peralatan pengukur radiasi dan posisi pengukuran secara *on-line* yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Posisi pengukuran secara *on-line*

Peralatan pengukur radiasi *on-line* tersusun dengan kompak dengan ukuran 40x20x15 cm³, sehingga dengan mudah dibawa. Peralatan ini sangat praktis dan mudah dioperasikan, sehingga sangat tepat untuk digunakan mengukur dosis radiasi disuatu tempat atau beberapa tempat yang berbeda.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian tentang disain sistem pemantauan lingkungan untuk evaluasi lepasan radionuklida dari subsistem reaktor dan lingkungan akibat terjadinya kecelakaan pada reaktor daya tersebut, telah dilakukan. Sistem konversi data analog ke digital telah selesai dibuat dan hasil pengukuran data radiasi dapat ditampilkan pada layar monitor secara *on-line*. Posisi pengukuran dapat ditampilkan pada layar monitor secara *on-line* serta visualisasi *on-line* posisi pengukuran dan data dosis radiasi dapat ditampilkan

Saran

Berbasis sistem pengukuran radiasi *on-line* yang telah dibuat, perlu dikembangkan peralatan sistem pengukur radiasi *on-line* secara *mobile*. Sistem pengukuran dapat digunakan untuk melakukan *tracking* pengukuran radiasi, dimana akan terlihat jejak pengukuran radiasi di peta secara *on-line*, sehingga dapat terekam kondisi paparan radiasi disuatu area setiap saat, baik saat operasi normal, maupun pada saat terjadi kecelakaan

DAFTAR PUSTAKA

1. Soetrisnanto, A.Y. Perencanaan Energi Nasional Opsi Nuklir, Proseding Seminar ke-8 Teknologi Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, Jakarta. 2002
2. Kinshi, T, Kikushi, H, Miura, S, et.all. Aplication of probabilistic safety assessment to pipe ruptre accident at hamaoka unit-1. J of Nuclestr Science and Technology. 2004; 41; 77-85
3. Sandberg, J and VilkanO, O. Emergency zoning and PSA application in Findland. Int. J of Risk Assessment and Management. 2008: 8.1/2; 94-103
4. Abidin, H. Z. and Faizal, N. Studi kemampuan GPS dalam pementauan pergerakan kereta api pada rute Bandung Jakarta. 2002: J Teknik Sipil. 9.4;
5. Prayogo, T. Aplikasi SIG Untuk memahami fenomena tutupan lahan dengan citra satelit. J. Tek. Lingkungan. 2007: 8.2; 137-142
6. Salim, F, Suryati, T and Titiresmi. Studi zona agro-ekologi dengan teknologi remote sensing dan GIS (Studi Kasus: Kabupaten Tanah Datar: Sumbar). 2006: Edisi Khusus; 105-114
7. Krisnandi, D. Perancangan dan analisis output rangkaian sinyal conditioning analog melalui mikrokontroler ATMega 8535 untuk stasiun cuaca. J INKOM. 2011: 5.1; 22-26
8. Juanda, E. A. rancang bangun mesin penjawab SMS otomatis berbasis mikrokontoler ATMega 6535. J INKOM. 2010: 4.2; 100-1014
9. Kusumo, R. B. S. Aplikasi komunikasi data kunci elektronik dan PC menggunakan port serial. J INKOM. 2008: 2.1; 7-14
10. European Commission, PC COSYMA version 2.0. User Guide. National Radiological Protection Board: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH: 1995