

ANALISIS PEMANFAATAN RUANG SEKITAR CALON TAPAK PLTN UJUNG LEMAHABANG BERDASARKAN PRAKIRAAN DAMPAK RADIOLOGI

Jupiter Sitorus Pane¹, Muhammad Sri Saeni², Bunasor Sanim², Ernan Rustiadi²
Hudi Hastowo³

¹ Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir, Komplek Puspiptek Gd. 80, Serpong 15310

² Program Studi PSL, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Jl. Darmaga, Bogor

³ Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jl. Abdul Rohim, Jakarta Selatan, 12710

ABSTRAK

ANALISIS PEMANFAATAN RUANG SEKITAR CALON TAPAK PLTN UJUNG LEMAHABANG BERDASARKAN PRAKIRAAN DAMPAK RADIOLOGI. *Kajian tentang pemanfaatan ruang di sekitar calon tapak pembangkit listrik tenaga nuklir di Ujung Lemahabang, Semenanjung Muria untuk mengantisipasi dampak radiologi akibat suatu kecelakaan nuklir telah dilakukan. Analisis ini bertujuan untuk memberi masukan tentang pemanfaatan ruang oleh suatu PLTN bila terjadi pelepasan radionuklida ke udara dan tanah sehingga dampak terjadi dapat diminimumkan. Analisis dilakukan dengan memprediksi zone kedaruratan berdasarkan tingkat dosis efektif individu pada tujuh kelompok radius, kecendrungan pertumbuhan penduduk dan pemanfaatan ruang di sekitar PLTN selama usia PLTN. Hasil kajian menunjukkan bahwa berdasarkan tingkat dosis efektif radiasi diperoleh zone kedaruratan sebagai PAZ, 0-2 km, UPZ, 2-10 km, LPZ, > 10 km. Pertumbuhan kerapatan penduduk di sekitar PLTN umumnya berpusat pada pusat Kabupaten yang jaraknya relatif jauh yaitu lebih dari 10 km dari PLTN, dengan demikian dampak radiologi terhadap penduduk yang padat dapat dihindari. Pemanfaatan ruang saat ini masih pada kategori berpenduduk jarang karena wilayah dalam radius tersebut didominasi oleh perkebunan karet dan tidak ada aktivitas yang dapat mengancam beroperasinya PLTN. Untuk mempertahankan kondisi ini maka hasil penelitian ini perlu diimplementasikan dalam kebijakan tata ruang kabupaten Jepara.*

Kata kunci: *PLTN, pelepasan, dispersi, dosis efektif, zone kedaruratan, pemanfaatan ruang.*

ABSTRACT

LAND USE ANALYSIS ON NUCLEAR POWER PLANT SITE AT UJUNG LEMAHABANG BASED ON RADIOLOGICAL ASSESSMENT *Investigating on land use for nuclear power plant site at Ujung Lemahabang Semenanjung Muria to anticipate radiological impact during nuclear accident had been performed. The purpose of the research is to provide the land use for NPP when radionuclides release occurred so as the consequences of the release can be minimized. The analysis was done by predicting emergency zone based on an individual effective dose at seventh radial group distances, trend of population growth and land use surround NPP within its lifetime. The result showed that based on effective dose radiation level, the emergency zone were divided into PAZ (0-2 km), UPZ (2-10 km) and LPZ (> 10 km). The growth of population density surround the NPP was concentrated on the center of the County which are located more than 10 km from Ujung Lemahabang. It means that the radiological consequences to the dense population can be avoided. The use of land surround PLTN by population is still low at present, this condition should be preserved by implementing this result in a spatial planning of Jepara County.*

Key words: *NPP, release, dispersion, effective dose, protective zone, land use.*

1. PENDAHULUAN

Dalam upaya mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia yang didukung oleh ketersediaan energi yang cukup dan harga yang stabil, telah dilakukan studi secara komprehensif tentang perencanaan sumber energi nasional terhadap berbagai macam sumber daya khususnya pembangkit energi listrik. Hasil studi menunjukkan bahwa pemakaian total kebutuhan energi final di Indonesia (termasuk energi non-komersial) mengalami kenaikan sekitar 2 kali lipat dari 4028,4 Pica Joule (PJ) pada tahun 2000 menjadi 8145,6 PJ pada tahun 2025 dengan asumsi bahwa tidak ada perubahan urutan sektor ekonomi berdasarkan pemakaian energi final selama masa 2000 – 2025. Ditinjau dari penyebaran pemakaian energi, pulau Jawa-Bali merupakan pemakai terbesar energi yaitu sebesar 63% dari total penyediaan energi di Indonesia, meningkat 4 kali lipat dari 130 TWh pada tahun 2000 menjadi 540 TWh pada tahun 2025, sedang Jawa Bali meningkat 3,5 kali lipat [1].

Untuk memenuhi kebutuhan energi penduduk di masa mendatang, berbagai sumber energi seperti gas, biomassa, geothermal 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. Hasil studi kelayakan untuk menentukan lokasi PLTN di Indonesia, tahun 1991 sampai dengan tahun 1996, menunjukkan bahwa Ujung Lemahabang merupakan prioritas pertama untuk dijadikan tempat pembangunan PLTN pertama di Indonesia [2].

Kehadiran PLTN di Ujung Lemahabang dapat menimbulkan kekhawatiran masyarakat terhadap dampak radiologi yang mungkin terjadi pada kondisi operasi normal maupun kondisi kecelakaan. Oleh karena itu analisis dan manajemen risiko radiologi merupakan salah satu persyaratan yang mutlak untuk mendapat ijin tapak dalam pembangunan suatu PLTN. Salah satu permasalahan yang dihadapi adalah mengetahui pengaruh perubahan jumlah penduduk yang tersebar dalam wilayah (ruang) sekitar PLTN terhadap risiko atau dampak radiologi, dan mengurangi risiko melalui kebijakan tata ruang.

Untuk maksud tersebut, dilakukan analisis yang didasarkan pada kondisi kecelakaan reaktor PLTN jenis reaktor air ringan

bertekanan (*Pressurized Water Reactor*, PWR) dengan daya nominal 1000 MWe. Lingkup obyek penelitian dibatasi pada radius 50 km dari lokasi PLTN yang meliputi Kabupaten Jepara, Pati, Kudus, dan sebagian kecil Demak. Diperkirakan usia PLTN adalah 40 tahun dan diasumsikan akan mulai beroperasi pada tahun 2016. Tujuan umum penelitian ini adalah mengkaji dampak radiologi terhadap penduduk di wilayah sekitar PLTN di Ujung Lemahabang, Semenanjung Muria, Kabupaten Jepara untuk mengurangi dampak radiologi bila terjadi kecelakaan nuklir melalui pengendalian pemanfaatan ruang.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dipakai sebagai bahan kajian tata ruang wilayah sekitar PLTN untuk menyusun rencana umum tata ruang wilayah Kabupaten Jepara dan wilayah lain di sekitarnya. Demikian pula informasi ini dapat digunakan untuk merencanakan tanggap darurat bila terjadi kecelakaan yang tidak dapat dihindari dengan dampak dan biaya seminimal mungkin.

2. TATA KERJA

Lokasi penelitian adalah wilayah radius 50 km dari calon tapak PLTN di Ujung Lemahabang dengan koordinat 6° 25' 40" Lintang Selatan, 110° 47' 20" Bujur Timur, Desa Balong, Kabupaten Jepara. Lokasi meliputi Kabupaten Jepara, Kudus, Pati dan Demak. Gambar 1 menunjukkan peta lokasi calon tapak PLTN.

2.1. Alat dan bahan

Sebagai bahan dan alat dalam penelitian ini digunakan:

1. Perangkat lunak PC-COSYMA untuk menghitung sumber radiasi (*source term*) dan dispersinya di udara,
2. Peta rupa bumi kabupaten Jepara, Pati, Kudus, Demak untuk mendapatkan pola pemanfaatan ruang, dan
3. Dokumen rencana tata ruang wilayah Kabupaten Daerah Tingkat II Jepara, Pati, Kudus, Demak.

2.2. Data

Sumber materi kajian adalah berbagai data sekunder yang diperoleh dari kajian terdahulu yang terkait dengan teknologi reaktor (PLTN) seperti data radiologi meliputi sumber radionuklida, faktor konversi dosis, data arah

dan kecepatan angin untuk kajian dispersi atmosfer, data pemanfaatan tanah, sosial budaya dan ekonomi.

2.3. Analisis Radiologi

Dalam analisis ini, diasumsikan telah terjadi kecelakaan kehilangan pendingin (*loss of coolant*) dan bahan radionuklida terlepas ke sungkup reaktor. Dalam kondisi kecelakaan kerusakan teras pelepasan bahan radionuklida terjadi secara bertahap [3]. Bahan radionuklida hasil fisi secara bertahap keluar dari kisi kristal, masuk ke dalam celah (*gap*), terlepas ke dalam bejana tekan, berinteraksi dengan bagian bawah bejana tekan kemudian lepas ke pengungkung. Untuk reaktor PWR tipikal laju kebocoran sungkup diasumsikan adalah 0,1% volume per hari atau 2,09 m³/jam untuk radius sungkup (*containment*) 20 m dan tinggi 40 meter. Selanjutnya kuat sumber pelepasan radionuklida yang direpresentasikan dalam fraksi pelepasan dihitung dengan rumus (1)[3,4].

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

dengan :
 $L(t)/B_0$: Fraksi pelepasan
 X : persen kebocoran (%)

λ : peluruhan (*desintegrasi* per jam)

Besaran ini akan menjadi masukan sebagai fraksi pelepasan untuk menghitung dispersi radionuklida dengan menggunakan perangkat lunak PC-COSYMA. Perkiraan dispersi bahan radionuklida di atmosfer dilakukan dengan menggunakan model dispersi Gaussian seperti pada rumus (2) [5,6]:

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

dengan:
 $X(x, y, z)$: konsentrasi aktivitas dalam udara pada titik (x, y, z) (Bq/m^3)
 x : jarak ke arah angin bertiuip (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)
 Q_0 : laju pelepasan ($Bq/detik$)
 u : kecepatan angin rata-rata ($m/detik$)
 h_e : tinggi efektif pelepasan (m)



Gambar 1 Peta Jepara dengan lokasi calon PLTN di Ujung Lemahabang

Besaran σ_y dan σ_z didekati dengan rumus $\sigma_y = a x^b$ dan $\sigma_z = p x^q$ dimana besaran a, b, p, q masing-masing merupakan koefisien *non linear* dari grafik hubungan σ_y dan σ_z terhadap jarak (x) yang dikeluarkan oleh Pasquill-Gifford [6]. Selanjutnya koreksi terhadap peluruhan, deposisi basah dan kering dilakukan dengan memasukkan faktor koreksi ke dalam model di atas.

Konsentrasi bahan radionuklida yang terdispersi di udara dan terdeposisi di permukaan tanah akan sampai kepada manusia melalui radiasi eksternal awan radiasi, radiasi eksternal permukaan tanah, inhalasi, makanan, dan yang terdeposisi pada kulit atau pakaian. Persamaan (3), (4), (5), dan (6) digunakan untuk menghitung dosis penerimaan [7].

Dosis radiasi eksternal awan (*cloudshine*) dihitung dengan persamaan (3),

$$D(r, t_0, t_1) = A(r, t_0, t_1) S(r) d(r) (t_1 - t_0) c \quad \dots(3)$$

dengan:

- $D(r, t_0, t_1)$: dosis dari radionuklida r (Sv)
- $A(r, t_0, t_1)$: konsentrasi rata-rata dalam selang waktu $[t_0, t_1]$ (Bq/m^3)
- $S(r)$: Faktor lokasi = fraksi waktu di luar x faktor shielding + fraksi waktu dalam ruang x faktor shielding
- $d(r)$: faktor konversi dosis Sv/Bqs- m^3
- c : 3600 * 24
- $[t_0, t_1]$: selang waktu pajanan radio nuklida (*hari*)

Dosis radiasi eksternal yang berasal dari tanah (*groundshine*) dinyatakan dalam persamaan (4),

$$D(r, t_0, t_1) = G(r) S(r) d(r) c x \int_{t_0}^{t_1} \left[\alpha(r, s) e^{-\lambda(r) + \lambda_1(r, s)t} + (1 - \alpha(r, s)) e^{-\lambda(r) + \lambda_2(r, s)t} \right] dt \quad \dots(4)$$

dengan:

- $D(r, t_0, t_1)$: Dosis dari radionuklida r dalam selang waktu t_0 to t_1 (Sv)
- $G(r)$: Konsentrasi total di tanah $Bq m^{-2}$
- $S(r)$: Faktor lokasi
- $\alpha(r, s)$: Faktor komponen bergerak
- $\lambda(r)$: Laju peluruhan radionuklida ($hari^{-1}$)
- $\lambda_1(r, s)$: Laju migrasi komponen Bergerak ($hari^{-1}$)

- $\lambda_2(r, s)$: Laju migrasi komponen diam ($hari^{-1}$)
- c : 3600*24 konversi hari ke detik (*detik*)

Dosis radiasi dari inhalasi dihitung dengan rumus (5),

$$D(r, t_0, t_1) = A(r, t_0, t_1) F(r) I(r, a) d(r, a) (t_1 - t_0) \quad \dots(5)$$

dengan:

- $D(r, t_0, t_1)$: dosis dari radionuklida r (Sv)
- $A(r, t_0, t_1)$: konsentrasi rata-rata dalam selang waktu $[t_0, t_1]$ (Bq/m^3)
- $F(r)$: Faktor filter = fraksi waktu di luar x faktor shielding + fraksi waktu dalam ruang x faktor shielding x laju inhalasi (m^3/jam)
- $I(r, a)$: faktor konversi dosis (Sv/Bq)
- $(t_1 - t_0)$: selang waktu penyinaran (*jam*)

Dosis yang diterima penduduk karena memakan makanan yang terkontaminasi radionuklida dapat dihitung dengan rumus (6),

$$D_p(r, p, t_0, t_1) = (+P_d(r, p, t)) d(r, a) Q_p(p) F(p) P(p) dt \quad \dots(6)$$

dengan :

- $D_p(r, p, t_0, t_1)$: Dosis efektif terikat radionuklida r karena mengkonsumsi makanan p dari t_0 sampai t_1 (Sv)
- $P_r(r, p, t)$: Konsentrasi radionuklida r karena serapan akar pada tumbuhan p ($Bq kg^{-1}$)
- $P_r(r, p, t)$: Konsentrasi radionuklida r pada tumbuhan p karena deposisi, intersepsi, dan translokasi ($Bq kg^{-1}$)
- $d(r, a)$: Faktor konversi ($Sv Bq^{-1}$)
- $Q_p(p)$: Pemasukan makanan p
- $F(p)$: Faktor konsumsi makanan
- $P(p)$: Aktivitas setelah makanan diproses.

Perhitungan dosis yang diterima penduduk dihitung dengan menggunakan program komputer PC-COSYMA. Sebagai input program ini adalah besar kuat sumber (Q_0), data kecepatan dan arah angin, kelas stabilitas atmosfer, curah hujan, *mixing layer* yang dicacah selama satu tahun dalam selang waktu 1 tahun, fraksi pelepasan bahan radionuklida,

faktor-faktor konversi untuk pajanan awan eksternal dan pajanan dari permukaan tanah eksternal, inhalasi, dan makanan.

2.4. Konsekuensi terhadap kesehatan.

Radionuklida yang masuk ke dalam tubuh manusia melalui paru-paru saat inhalasi dan pencernaan saat memakan makanan dan minum, sebagian dari radionuklida tersebut tetap tinggal di paru-paru dan pencernaan. Sebagian lagi akan menyebar mengikuti aliran darah dan tinggal di dalam beberapa organ tubuh yang merupakan target dari unsur tersebut seperti gondok (*thyroid*), sumsum tulang belakang, tulang, kulit, dan keseluruhan tubuh (*effective*). Besar dosis serap pada masing-masing organ berbeda-beda tergantung bobot radiasi dan bobot jaringan [8]. Sebagai konsekuensinya, bila dosis yang diterima organ melebihi batas ambang dapat menimbulkan kanker fatal, kanker non-fatal ataupun penyakit keturunan. Dampak yang timbul bila dosis melebihi batas ambang merupakan dampak deterministik dan umumnya terjadi pada waktu segera (*early health effect*). Sedangkan dampak dalam jangka panjang (*late health effect*) terjadi secara probabilistik terhadap populasi yang terkena. Dampak ini sering disebut sebagai dampak stokastik yang besarnya dapat dihitung dengan perkalian probabilitas dampak terhadap populasi yang terkena [10].

2.5. Analisis spasial pola pemanfaatan ruang.

Populasi yang berpotensi akan terkena dampak radiologi tersebar secara acak di sekitar PLTN. Untuk mempelajari penyebaran penduduk tersebut dalam pola pemanfaatan ruang di sekitar lokasi PLTN dilakukan analisis untuk mengidentifikasi pola pemusatan, penyebaran, agregasi spasial penduduk, yang direpresentasikan dengan indeks korelasi Moran maupun koefisien korelasi kepadatan penduduk desa [10]. Penduduk yang berkelompok ditandai dengan koefisien indeks korelasi Moran mendekati 1 (satu) sedangkan yang menyebar ditandai dengan tingkat korelasi mendekati 0 (nol). Pola pemanfaatan ruang ini akan berubah sejalan dengan pertumbuhan penduduk. Oleh karena itu perubahan pola pemanfaatan ruang dapat dievaluasi dengan mengetahui dinamika pertumbuhan penduduk di sekitar PLTN.

2.6 Analisis pertumbuhan penduduk.

Dengan mengacu pada variabel-variabel yang mempengaruhi kepadatan penduduk di suatu lokasi spasial, maka kepadatan penduduk dapat dimodelkan dalam fungsi (7),

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n, D_i) \quad (7)$$

dengan,

Y : kepadatan penduduk suatu desa

$X_1 \dots X_n$: variabel yang mempengaruhi kepadatan penduduk.

D_i : variabel *dummy* (*tahun*)

Pengaruh dari tiap variabel dan variabel D_i terhadap kepadatan penduduk dimodelkan dengan menggunakan analisis regresi linier ganda dan eksponensial yang didahului dengan uji ortogonalitas variabel dengan *Principal Component Analysis, PCA* [11]. Sebagai pembandingan juga dilakukan prediksi dengan menggunakan model geometri dan logistik. Pengujian model dilakukan dengan menentukan variansi kesalahan, koefisien determinan R^2 , dan uji- t .

2.7. Pengendalian pemanfaatan ruang

Dengan diketahuinya sebaran dosis radiasi dan prediksi penyebaran penduduk di lahan sekitar PLTN, maka untuk mempertahankan keselamatan penduduk atau mencegah meningkatnya risiko radiologi selama usia PLTN, harus dilakukan pengendalian pemanfaatan ruang melalui kebijakan perencanaan tata ruang wilayah. Sebagai dasar pengendalian yang pertama adalah mencegah akumulasi penduduk pada wilayah dengan potensi radiasi yang tinggi yang ditandai dengan penentuan zone eksklusif dan zone penduduk jarang. Untuk maksud ini pertama sekali ditentukan wilayah kelompok kritis (*critical group*) yaitu wilayah yang akan menerima paparan radiasi atau bahan radionuklida tertinggi pada masing-masing radius. Selanjutnya ditetapkan zone kedaruratan yang terdiri dari *precautionary action plan zone* (PAZ), *urgent protective action zone* (UPZ), dan *long term protective action zone* (LPZ). Batas PAZ dan UPZ ditetapkan berdasarkan ketentuan bahwa pada radius zone tersebut seseorang diijinkan mendapat dosis maksimum sebesar 0,25 Sv atau 250 mSv dua jam setelah terjadi pelepasan radiasi ke atmosfer untuk PAZ dan 30 jam setelah terjadi pelepasan radiasi untuk UPZ [12]. Dasar pengendalian yang kedua

adalah hasil evaluasi pemanfaatan lahan dalam rencana tata ruang kabupaten Jepara dan kemungkinan-kemungkinan pengembangan aktivitas di wilayah sekitar PLTN. Dalam hal ini perlu diperhatikan *Screening Distance Value* (SDV) tiap aktivitas. Sebagai dasar ke tiga adalah potensi ancaman di sekitar lahan PLTN. Dengan analisis ini dapat disarankan pemanfaatan ruang yang dapat memperkecil risiko dampak radiologi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kuat sumber Pelepasan Radionuklida

Sesuai dengan asumsi kecelakaan yang telah diuraikan, *inventory* produk fisi dan aktivasi pada kejadian kecelakaan kehilangan pendingin (*Loss of Coolant*) setelah reaktor beroperasi paling sedikit satu siklus bahan bakar (18 bulan) dan 30 menit setelah reaktor padam (*shutdown*) ditunjukkan pada Tabel 1 [13]. Secara bertahap produksi fisi ke luar dari kisi kristal, masuk ke dalam celah (*gap*), terlepas ke dalam bejana tekan, berinteraksi dengan bagian bawah bejana tekan kemudian lepas ke sungkup. Dengan menggunakan rumus (1) dihitung fraksi pelepasan dari sungkup, hasilnya seperti diperlihatkan pada Tabel 2. Diasumsikan bahwa bahan radionuklida yang masuk ke sungkup tersebar merata sehingga konsentrasi radionuklida dalam sungkup merupakan besar aktivitas per luas sungkup.

3.2. Dispersi radionuklida

Sesuai dengan model dispersi Gaussian, maka laju pelepasan radionuklida (Q_0) yang keluar dari pengungkung sebanding dengan fraksi pelepasan masing-masing radionuklida. Nilai standar deviasi distribusi horizontal Gauss σ_y dan standar deviasi distribusi vertikal Gauss σ_z diambil dari grafik hubungan σ_y dan σ_z terhadap jarak [7,14].

Untuk memudahkan pemakaian grafik tersebut, nilai σ_y dan σ_z dapat didekati dengan rumus $\sigma_y = p_y x^q$ dan $\sigma_z = p_z x^q$ dimana p_y, p_z, q_y, q_z masing-masing adalah koefisien non-linear parameter grafik σ_y dan σ_z terhadap jarak (x). Untuk kategori stabilitas angin D, maka nilai p_y, p_z, q_y, q_z masing-masing adalah 0,13; 0,903; 0,2; dan 0,76 [7]. Sebagai data meteorologi digunakan data seperti pada Gambar 2.

Tabel 1. Aktivitas berbagai radionuklida pada reaktor jenis PWR 1000 MWe [13].

RADIO NUKLIDA	WAKTU PARUH	AKTIVITAS (Bq)
¹³³ Xe	5,3 hari	6,29 x 10 ⁺¹⁸
¹³¹ I	8,0 hari	6,29 x 10 ⁺¹⁸
¹³⁴ Cs	2,0 tahun	2,78 x 10 ⁺¹⁷
¹³⁷ Cs	30,0 tahun	1,74 x 10 ⁺¹⁷
¹³² Te	78,0 jam	4,44 x 10 ⁺¹⁸
⁸⁹ Sr	52,0 hari	3,38 x 10 ⁺¹⁸
⁹⁰ Sr	28,0 tahun	1,37 x 10 ⁺¹⁷
¹⁴⁰ Ba	12,8 hari	3,38 x 10 ⁺¹⁸
⁹⁵ Zr	65,0 hari	5,55 x 10 ⁺¹⁸
⁹⁹ Mo	67,0 jam	5,92 x 10 ⁺¹⁸
¹⁰³ Ru	39,6 hari	4,07 x 10 ⁺¹⁸
¹⁰⁶ Ru	1,0 tahun	9,25 x 10 ⁺¹⁸
¹⁴¹ Ce	33,0 hari	5,55 x 10 ⁺¹⁸
¹⁴⁴ Ce	285,0 hari	3,15 x 10 ⁺¹⁸
²³⁹ Np	2,4 hari	5,92 x 10 ⁺¹⁹
²³⁸ Pu	86,0 tahun	2,11 x 10 ⁺¹⁵
²³⁹ Pu	24400,0 thn	7,77 x 10 ⁺¹⁴
²⁴⁰ Pu	6580,0 thn	7,77 x 10 ⁺¹⁴
²⁴¹ Pu	13,2 thn	1,26 x 10 ⁺¹⁷
²⁴² Cm	163,0 hari	1,85 x 10 ⁺¹⁶

Tabel 2. Fraksi pelepasan berbagai radionuklida

Elements	Fraksi pelepasan total
Xe, Kr	1
I, Br	2,7 x 10 ⁻⁵
Cs, Rb	2,4 x 10 ⁻⁶
Te, Sb, Se	6,4 x 10 ⁻⁴
Ba, Sr	4,4 x 10 ⁻⁵
Ru, Rh, Pd, Mo, Tc	7,3 x 10 ⁻⁴
La, Zr, Nd, Eu, Nb, Pu, Np	3,6 x 10 ⁻⁵

Dengan menggunakan data kuat sumber (Q_0) yang sudah terkoreksi dengan peluruhan, parameter simpangan baku Gaussian σ_y dan σ_z , kecepatan dan arah angin maksimum pada masing-masing sektor dalam persamaan dispersi Gauss, dihitung sebaran radionuklida unsur ¹³¹I dan ¹³⁷Cs secara manual seperti pada Tabel 3.

Ditinjau dari batas baku radioaktivitas di lingkungan[15] kadar tertinggi yang diijinkan untuk radionuklida ¹³¹I dan ¹³⁷Cs masing-masing sebesar 4 x 10² Bq/m³ dan 2 x 10¹ Bq/m³. Oleh karena itu, berdasarkan nilai konsentrasi pada Tabel 3, lokasi pada radius lebih besar dari 5 km terhadap PLTN sudah termasuk lokasi yang aman terhadap dampak radiologi unsur ¹³¹I dan ¹³⁷Cs.

Untuk memperkirakan dosis individu yang diterima penduduk digunakan program

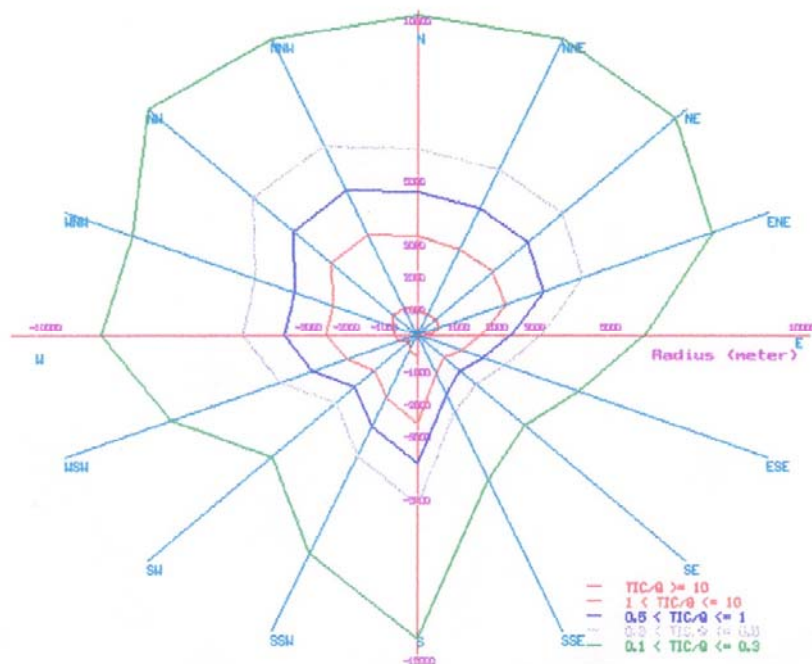
komputer PC-COSYMA. Sebagai input adalah data kecepatan dan arah angin, kelas stabilitas atmosfer, curah hujan, *mixing layer* yang dicacah selama satu tahun dengan selang waktu tiap jam, konsentrasi radionuklida dalam sungkup, fraksi pelepasan radionuklida dalam kelompok 7 seperti pada Tabel 2. Dengan memilih sekuensi dalam selang 61 jam dari 8640 data meteorologi diperoleh sebanyak 144 sekuensi perhitungan dosis. Hasil perhitungan dosis rata-rata untuk tiap jarak diperlihatkan seperti pada Tabel 4.

3.3 Pertumbuhan penduduk

Berdasarkan data penduduk 1998 dan 2002 dan kondisi pemanfaatan tanah pada radius 50

km, Pane[16] telah melakukan estimasi perkembangan penduduk di sekitar calon tapak PLTN dengan menggunakan pendekatan regresi ganda, logistik, eksponensial seperti pada Gambar 3. Secara spasial pola penyebaran dosis dan penduduk dapat digambarkan seperti pada Gambar 4

Dari definisi zone (PAZ) maka dosis maksimum yang diijinkan adalah 250 mSv setelah dua jam kejadian kecelakaan. Dosis ini jauh lebih tinggi dari dosis individu yang diakibatkan oleh pelepasan radionuklida dari PLTN yang mengalami kecelakaan. Namun karena puncak dosis pelepasan radionuklida berada pada radius lebih kecil dari 1,5 km maka daerah eksklusi ditetapkan pada radius < 1,5 km.



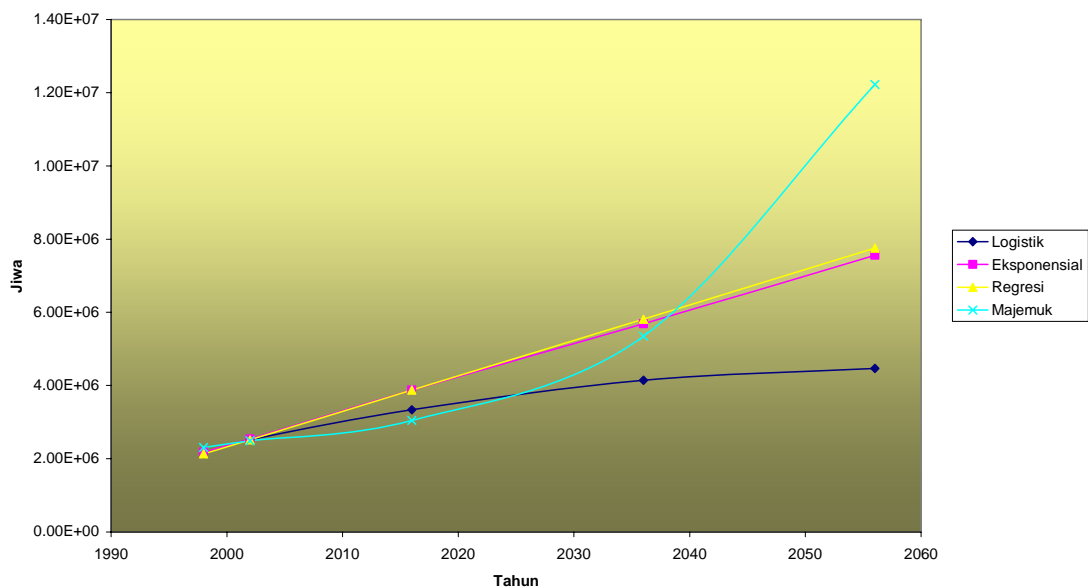
Gambar 2. Data meteorologi sekitar lokasi calon tapak PLTN

Tabel 3. Konsentrasi ^{131}I dan ^{137}Cs di udara dan tanah pada radius 50 km

No.	Jarak (km)	Konsentrasi ^{131}I di udara (Bq/m^3)	Konsentrasi ^{131}I di tanah (Bq/m^2)	Konsentrasi ^{137}Cs di udara (Bq/m^3)	Konsentrasi ^{137}Cs di tanah (Bq/m^2)
1	0,5	$0,1866 \times 10^{+05}$	$0,1944 \times 10^{+03}$	$0,1150 \times 10^{+02}$	$0,1877 \times 10^{-01}$
2	1,5	$0,2463 \times 10^{+04}$	$0,2743 \times 10^{+02}$	$0,1592 \times 10^{+01}$	$0,3911 \times 10^{-02}$
3	3,5	$0,5313 \times 10^{+03}$	$0,6448 \times 10^{+01}$	$0,3484 \times 10^{+00}$	$0,1251 \times 10^{-02}$
4	7,5	$0,1648 \times 10^{+03}$	$0,2252 \times 10^{+01}$	$0,1114 \times 10^{+00}$	$0,5621 \times 10^{-03}$
5	15	$0,6981 \times 10^{+02}$	0,9776	$0,4933 \times 10^{-01}$	$0,2517 \times 10^{-03}$
6	22,5	$0,2785 \times 10^{+02}$	0,4437	$0,1981 \times 10^{-01}$	$0,1611 \times 10^{-03}$
7	42,5	$0,1646 \times 10^{+02}$	0,2884	$0,1207 \times 10^{-01}$	$0,1091 \times 10^{-03}$

Tabel 4. Lokasi dosis rata-rata maksimum sebaran di sekitar Ujung Lemahabang

No	Jarak	Jam	Sekuensi	Sudut	Arah angin	Dosis Rata-rata (Sv)
1	0,5	5552	92	85	Dari Timur ke Barat (Sekt. 13)	$5,694 \times 10^{-3}$
2	1,5	8480	140	0	Dari Utara ke Selatan (Sekt. 9)	$1,026 \times 10^{-3}$
3	3,5	8480	140	0	Dari Utara ke Selatan (Sekt. 9)	$2,552 \times 10^{-4}$
4	7,5	4698	78	290	Dari Barat Barat Laut ke Timur Tenggara	$8,235 \times 10^{-5}$
5	15	5064	84	70	Dari Timur Laut ke Barat Barat Daya	$3,532 \times 10^{-5}$
6	22,5	8480	140	0	Dari Utara ke Selatan (Sekt. 9)	$1,195 \times 10^{-5}$
7	42,5	3112	52	235	Dari Barat Daya ke Timur Laut	$6,719 \times 10^{-6}$

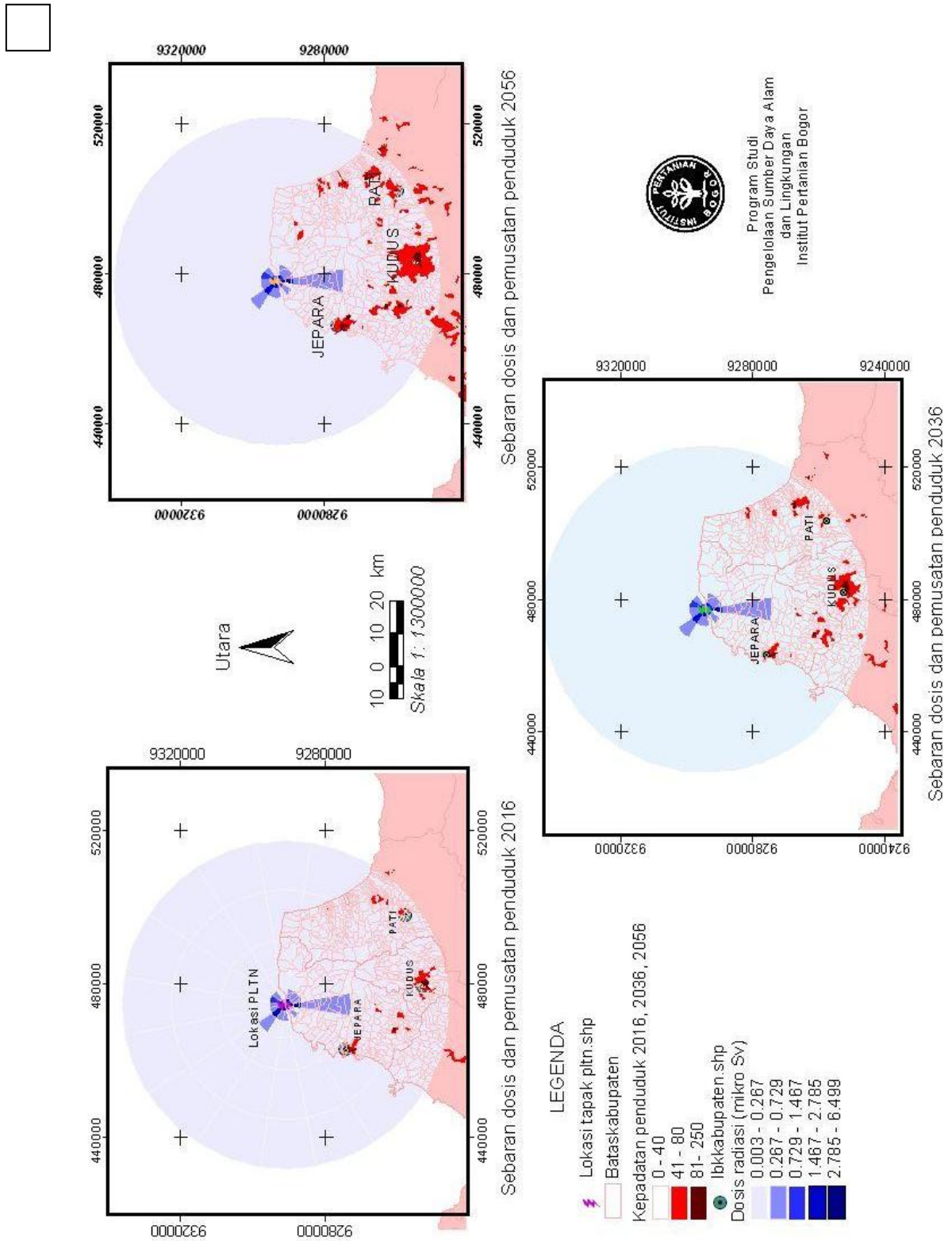


Gambar 3. Perkiraan pertumbuhan penduduk dengan metode logistic, eksponensial, regresi ganda, dan bunga majemuk

Sesuai dengan pembagian *grid* dalam penelitian ini, radius 1,5 km adalah radius yang mewakili wilayah radius sampai 1-2 km maka ditetapkan zone PAZ adalah pada radius 0-2 km. Sebagai zone kedaruratan PAZ maka langkah kedaruratan yang harus segera dilakukan adalah memberi tanda peringatan kedaruratan, antara lain memerintahkan penduduk mencari perlindungan untuk sementara agar kemudian dapat dievakuasi.

Zone penanganan kedaruratan berikut adalah Zone UPZ. Pada zone ini dosis diijinkan mencapai sebesar 250 mSv setelah 30 jam

terjadi pelepasan radiasi[12]. Dosis ini juga jauh lebih besar dari dosis yang terjadi dalam kecelakaan PLTN yaitu maksimum 0,25 mSv. Akan tetapi karena konsentrasi radionuklida dari beberapa radionuklida yang terlepas (^{131}I dan ^{137}Cs) masih cukup signifikan dibandingkan dengan batas mutu radioaktivitas lingkungan sampai pada jarak 7,5 km maka zone UPZ dibatasi dari jarak 2-10 km. Didalam zone ini tindakan kedaruratan dilakukan berdasarkan hasil pengukuran dosis radiasi di lapangan.



Gambar 4. Pola penyebaran dosis dan penduduk secara spasial dari tahun 1998-2056

Selanjutnya zone di atas 10 km disebut sebagai *longer term protective action planning zone (LPZ)*. Pada zone ini penanganan kedaruratan yang ditangani lebih difokuskan pada dampak jangka panjang.

Dengan memperhatikan prediksi perkembangan sejak dioperasikan tahun 2016 sampai 2056 dan sebaran dosis radiasi seperti pada Gambar 4 terlihat bahwa pusat-pusat penduduk berada pada radius di atas 10 km atau zone LPZ, yaitu pada pusat kota Jepara, Kudus dan Pati. Artinya wilayah di bawah 10 km dapat lebih mudah dipertahankan sebagai wilayah dengan kriteria penduduk jarang.

Ditinjau dari lokasinya, maka Ujung Lemahabang merupakan wilayah yang terletak jauh dari lokasi pemusatan penduduk seperti terlihat pada Gambar 4 dan berada pinggir laut. Artinya jumlah penduduk yang mungkin terkena dampak radiologi pada saat reaktor beroperasi maupun setelah terjadi pertumbuhan penduduk selama usia PLTN adalah rendah.

Secara administrasi kecamatan yang masuk dalam radius 10 km meliputi wilayah yang tertera pada Tabel 5. Gambar 5 memperlihatkan wilayah pada radius 10 km dari lokasi PLTN Ujung Lemahabang, Kabupaten Jepara dan pemanfaatan ruang atau tata guna lahan dalam radius tersebut.

Pada radius 0-1 km tidak terdapat pemusatan penduduk dan umumnya terdiri dari kebun karet. Wilayah ini akan sepenuhnya menjadi kawasan PLTN. sehingga penggunaan lahannya tidak akan berubah selama usia PLTN dan berada di bawah pengendalian penuh pengusaha PLTN.

Umumnya wilayah radius 1-2 km terdiri dari kebun karet, kelapa, coklat. dan tanah ladang. Pemanfaatan ruang di wilayah ini praktis menjadi kawasan PLTN. Wilayah ini dirancang sebagai zona kedaruratan PAZ oleh karena itu akses evakuasi dan relokasi harus dapat segera dilakukan.

Dalam radius 2-5 km sudah terdapat lahan pemukiman di samping lahan lain seperti kebun

karet, ladang dan meliputi desa Balong. Bumiharjo dan Kaliaman. Ketinggian wilayah umumnya lebih tinggi dari wilayah sebelumnya yaitu berkisar 20–40 m di atas permukaan laut. Wilayah ini merupakan sumber mengalirnya air, di bagian Barat wilayah ini mengalir kali Balong dan kali Beji. Sepanjang usia PLTN. perubahan yang mungkin terjadi dalam wilayah ini adalah bertambahnya luas tanah pemukiman dan berkurangnya luas kebun dan sawah. Dalam rangka pembangunan dan penyiapan kedaruratan maka akses jalan dan panjang jalan juga akan mengalami perubahan.

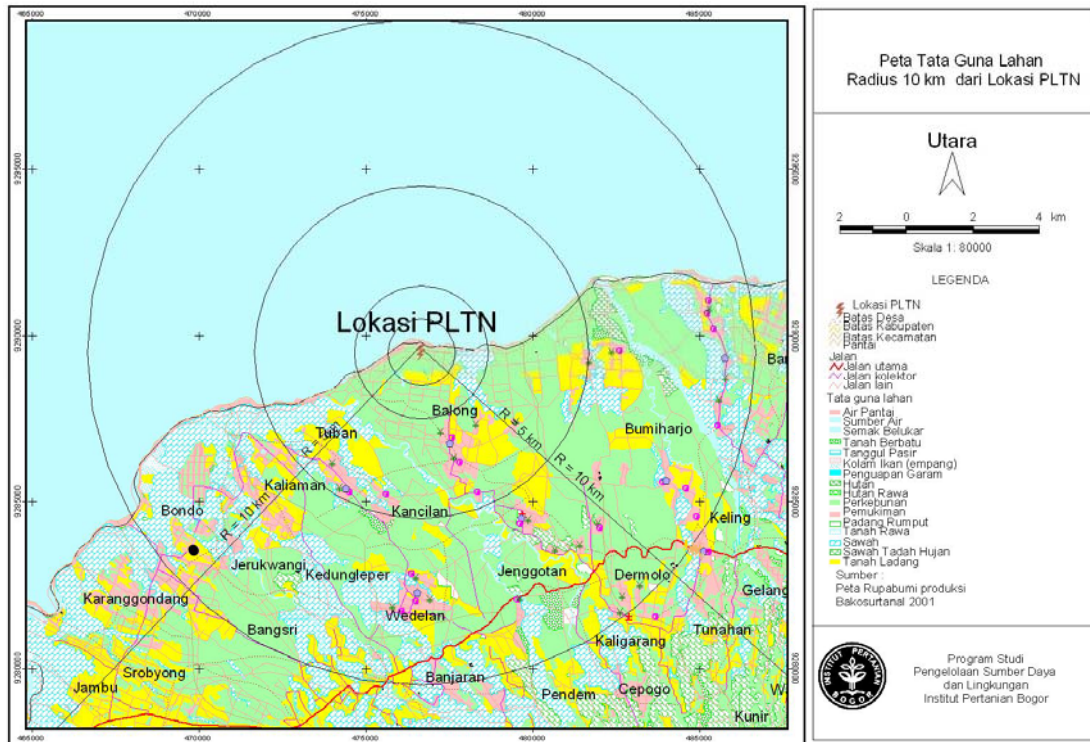
Kepadatan penduduk semakin bertambah dalam wilayah radius 5-10 km, dengan rata-rata 5 orang per ha. Ketinggian wilayah rata-rata 40-90 m dari permukaan laut. Lahan pada radius ini berupa pemukiman, kebun, dan tanah ladang. Perubahan yang mungkin terjadi meliputi perubahan lahan pemukiman. sawah ladang dan hutan.

Untuk mengurangi risiko atau dampak radiologi, penguasa instalasi nuklir perlu menyusun suatu sistem manajemen penanganan kedaruratan melalui tindakan penanggulangan (*countermeasure*). Beberapa langkah *countermeasure* antara lain berlindung di dalam gedung-gedung tertutup, evakuasi, relokasi. dan memakan tablet iod untuk menahan radionuklida iod masuk ke kelenjar gondok. Langkah perlindungan (*sheltering*) dilakukan dengan segera pada zone PAZ atau bila pada lokasi tertentu telah diprediksi akan menerima dosis sebesar 10 mSv dalam 7 hari waktu integrasi. Faktor penurunan dosis oleh berbagai jenis gedung selama waktu berlindungan disarikan pada Tabel 6. Dianjurkan perumahan di sekitar PLTN memiliki kualitas beton yang tertutup rapat.

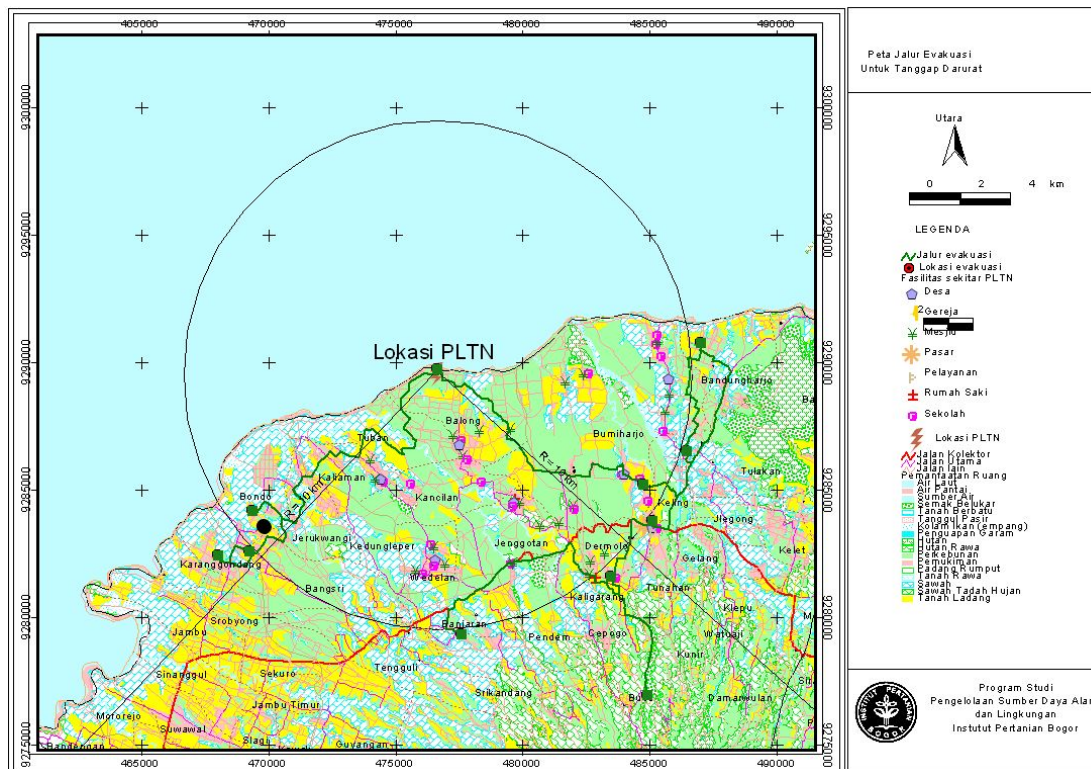
Setelah berlindung, maka langkah evakuasi harus segera dilakukan khususnya untuk zone PAZ ke zone LPZ. Dengan menggunakan analisis *network* pada Sistem Informasi Geografis telah diketahui jalur evakuasi yang paling cepat dan murah seperti pada Gambar 6.

Tabel 5 Wilayah administratif di dalam radius 10 km

Radius (km)	Kecamatan	Desa
1	Bangsri/Kembang	Balong
2	Bangsri/Kembang	Balong
5	Bangsri/Kembang	Balong . Tubanan. Kancilan. Dermolo
	Bangsri	Kaliaman
	Keling	Bumiharjo
	Bangsri/Kembang	Balong. Tubanan. Kancilan. Dermolo
10	Bangsri/Kembang	Kaliaman. Bondo. Jerukwangi. Bangsri. Wedelan. Banjaran. Jinggotan. Pendem. Cipogo



Gambar 5. Tata guna lahan wilayah desa dan kecamatan dalam radius 10 km



Gambar 6. Jalur evakuasi dalam kondisi kecelakaan PLTN di Ujung Lemahabang

Tabel 6. Faktor pelindungan deposisi permukaan gedung.[13]

Struktur atau lokasi	Faktor pelindungan
Rumah kayu satu atau dua tingkat tanpa ruang bawah tanah	0,4
Rumah beton satu atau dua tingkat tanpa ruang bawah tanah	0,2
Rumah dengan ruang bawah tanah. Satu tingkat, < 1 m dari <i>basement</i> Dua tingkat, < 1 m dari <i>basement</i>	0,1 0,05
Struktur dengan 3 atau 4 tingkat (500 – 1000 m ² per lantai Lantai 1 dan 2 <i>Basement</i>	0,05 0,01
Struktur banyak tingkat Lantai atas Lantai <i>basement</i>	0,01 0,005

4. KESIMPULAN

Dengan memperhatikan paparan radiasi yang terdispersi ke udara dan permukaan tanah maka dapat ditetapkan pemanfaatan ruang atau penggunaan lahan untuk penanganan kedaruratan dan akses jalan bila terjadi kecelakaan. Sebagai zone PAZ adalah pada radius 0-2 km, UPZ radius 2-10 km dan LPZ pada radius > 10 km. Wilayah ini harus tetap dipertahankan sebagai wilayah berpenduduk jarang dengan menetapkan kebijakan tata ruang sehingga tidak terjadi pemusatan penduduk di wilayah pada radius < 10 km dari Ujung Lemahabang, Kabupaten Jepara.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. **BATAN-IAEA**, Comprehensive Assessment Of Different Energy Sources For Electricity Generation In Indonesia. Project Report INS/0/016, Jakarta, 2002.
2. **NEWJECT**, Feasibility Study Of The First Nuclear Power Plants At Muria Peninsula Region, Osaka, Japan, INPB-REP-6, 1996.
3. **SOFFER, L., BURSON, S.B. FERREL, C.M., LEE, R.Y., RIDGELY, J.N.**, Accident Source Term For Light Water Nuclear Power Plant, Final Report. NUREG-1465, US-NUREC. Washington, 1995.

4. **WILLERS, A.**, Source Term. Module 2.1 Iaea Rca Project On Assessment Of Radiological Risks RAS/9/031, Australia. (2004)
5. **IAEA**, Site Selection And Evaluation For NPP With Respect to Population Distribution (Safety Series 50-SG-S4), IAEA, Vienna. (1980).
6. **IAEA**, Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting (Safety Series 50-SG-S3), Vienna (1980).
7. **MARKANDYA, A., BOYD, R.**, Valuing The Human Health Effect Of Routine Atmosphere Release From Nuclear Facilities. Report to IAEA, Vienna. 1999.
8. **WIRYOSIMIN, S.** Mengenal Asas Proteksi Radiasi, Penerbit ITB, Bandung (1995).
9. **IAEA**, Guidelines For Integrated Risk Assessment And Management In Large Industrial Areas, (TECDOC-994), IAEA, Vienna (1998).
10. **RUSTIADI, E.** Analisis Spatial, Institut Pertanian Bogor, Bogor (2003).
11. **SUPRANTO, J.**, Analisis Multivariat: Arti dan Interpretasi, Rineka Cipta, Jakarta (2004).
12. **USNRC**, Reactor Site Criteria, (Title 10, Code of Federal Regulation. Part 100) United Stated Nuclear Regulatory Commission, USA (1997). Available: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part100/full-text.html> [12April 2003]
13. **IAEA**, Generic Procedures For Determining Protective Actions During Reactor Accidents (TECDOC-955), IAEA, Vienna (1997).
14. **SEINFELD, J.H.**, Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution, John Wiley & Sons. New York (1985) P 557.
15. **BAPETEN**, Batas Baku Mutu Tingkat Radioaktivitas Di Lingkungan, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Surat Keputusan No. 02/Ka. BAPETEN/V/99.
16. **PANE, J.S.** Disertasi Doktor, Institut Pertanian Bogor. Bogor (2006).

6. DISKUSI

Bapeten :

Apakah tindak lanjut dari penelitian ini?

Jupiter.S :

Berdasarkan hasil penelitian ini akan disusun kembali tata ruang nasional dan juga akan diatur kembali penataan tempat-tempat umum untuk masyarakat.