

## PENENTUAN KELOMPOK KRITIS MASYARAKAT SEKITAR KAWASAN NUKLIR SERPONG UNTUK LEPASAN ATMOSFERIK DALAM KONDISI OPERASI NORMAL DENGAN PENDEKATAN *REPRESENTATIVE PERSON*

Arif Yuniarto<sup>1</sup>, Syahrir<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Badan Tenaga Nuklir Nasional

<sup>2</sup> Badan Pengawas Tenaga Nuklir

E-mail: [arif\\_y@batan.go.id](mailto:arif_y@batan.go.id)

### ABSTRAK

**PENENTUAN KELOMPOK KRITIS MASYARAKAT SEKITAR KAWASAN NUKLIR SERPONG UNTUK LEPASAN ATMOSFERIK DALAM KONDISI OPERASI NORMAL DENGAN PENDEKATAN *REPRESENTATIVE PERSON*.** Reaktor nuklir riset G.A. Siwabessy dan fasilitas nuklir penunjang di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) memiliki potensi untuk melepaskan zat radioaktif ke lingkungan. Salah satu bentuk pelepasan zat radioaktif dari fasilitas nuklir tersebut adalah pelepasan melalui cerobong atau lepasan atmosferik. Lepasannya zat radioaktif memberikan kontribusi risiko atau dosis radiologi. Penentuan kelompok kritis masyarakat sebagai orang representatif (*representative person*) merupakan aspek penting dalam kajian radiologi lingkungan. Kelompok tersebut merupakan perwakilan individu yang memperoleh paparan radiasi relatif lebih tinggi dalam suatu populasi. Kajian ini bertujuan menentukan kelompok kritis masyarakat sekitar KNS untuk lepasan atmosferik dalam kondisi operasi normal. Data spesifik tapak KNS, seperti suku sumber, meteorologi, dan kependudukan, diolah dengan pendekatan *Gaussian Plume Model* menggunakan PC-CREAM08. Kandidat orang perwakilan diidentifikasi dengan data kebiasaan (*habit*) masyarakat dan sebaran hasil perhitungan konsentrasi zat radioaktif di sekitar KNS. Kandidat *representative person* ditentukan penerimaan dosis efektif tahunannya. Kandidat yang menerima dosis efektif tahunan paling besar ditentukan sebagai orang perwakilan. Berdasarkan kajian tersebut, *representative person* yang mewakili kelompok kritis masyarakat sekitar KNS adalah orang dewasa yang tinggal dan bekerja di kantor di dekat tapak KNS serta mengkonsumsi produk lokal. Kelompok kritis tersebut menerima dosis efektif tahunan sebesar 3,93  $\mu\text{Sv}$ . Dosis tersebut tidak melampaui pembatas dosis tahunan maksimum sebesar 0,3 mSv dan nilai batas dosis tahunan masyarakat sebesar 1 mSv yang ditetapkan oleh BAPETEN selaku badan pengawas.

Kata Kunci : kelompok kritis, lepasan atmosferik, orang representatif

### ABSTRACT

**DETERMINATION OF CRITICAL GROUP OF PUBLIC MEMBERS AROUND SERPONG NUCLEAR AREA FOR ATMOSPHERIC RELEASES IN NORMAL CONDITIONS USING REPRESENTATIVE PERSON APPROACH.** Research nuclear reactor G.A. Siwabessy and supporting nuclear facility in Serpong Nuclear Area (KNS) has possibility to release radioactive materials into the environment. One type of radioactive material releases from a nuclear facility is a release through a stack or atmospheric release. Atmospheric releases of radioactive materials have a contribution to the radiological risks or doses. Determination of critical group of public members as a representative person is an important aspect in environmental radiological assessment. The group is a representative individual who receive relatively higher radiation exposure in a population. The purpose of this study is to determine a critical group around KNS for atmospheric releases under normal conditions. Site specific data of KNS, such as source terms, meteorological data, and population data, were processed with Gaussian Plume Model approach using PC-CREAM08. Candidates of representative person identified with habits data of public members and concentration distribution of radioactive materials around KNS. Candidates of representative person were determined the acceptance of annual effective doses. A candidate who receives the highest annual effective dose was determined as a representative person. Based on the study, the representative person who represents the critical group is adults who live and work in an office near KNS and consume local products. The critical group receives annual effective dose of 3.93  $\mu\text{Sv}$ . The dose did not exceed the maximum annual dose of 0.3 mSv and the annual dose limit of 1 mSv determined by BAPETEN as a regulatory body.

Keywords : critical groups, atmospheric releases, representative person

### PENDAHULUAN

Reaktor nuklir riset G.A. Siwabessy dan fasilitas nuklir penunjang di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) memiliki potensi untuk melepaskan zat radioaktif ke lingkungan. Berdasarkan hasil studi Analisis Dampak Lingkungan (ANDAL), dampak penting dari pengoperasian Reaktor Serba Guna dan laboratorium Penunjang (RSG-LP) adalah dampak radiologi yang ditimbulkan pada operasi normal dan bila terjadi kecelakaan/kedaruratan nuklir. Komponen lingkungan yang terkena dampak radiologi berdasarkan model fisik penyebaran zat radioaktif kelingkungan di daerah KNS adalah udara air kali Cisalak sebagai medium pendistribusi utama. Sedangkan medium pendistribusi berikutnya dari penyebaran di udara adalah air permukaan, tanah

permukaan, tanaman pertanian ataupun tanaman lainnya yang ada di permukaan tanah. Medium pendistribusi berikutnya dari penyebaran di kali Cisalak yang bermuara di sungai Cisadane adalah hasil pertanian, perikanan dan kegiatan di sungai[1].

Salah satu bentuk pelepasan zat radioaktif dari fasilitas nuklir tersebut adalah pelepasan melalui cerobong atau lepasan atmosferik. Lepasannya atmosferik zat radioaktif memberikan kontribusi risiko atau dosis radiologi. Walaupun fitur keselamatan reaktor dan fasilitas nuklir sangat ketat, potensi lepasan kelingkuangan perlu dikaji dan dibandingkan dengan nilai batas dosis radiologi masyarakat. Dampak radiologi dari dispersi material radioaktif di udara sangat dipengaruhi oleh jenis zat radioaktif, desain reaktor, faktormeteorologi, aspek demografi dan perilaku hidup masyarakat.

Dalam melakukan kajian radiologi masyarakat di sekitar fasilitas nuklir, salah satu aspek yang sangat penting adalah penentuan kelompok kritis masyarakat. Kelompok tersebut merupakan perwakilan individu yang memperoleh paparan radiasi relatif lebih tinggi dalam suatu populasi. Kelompok kritis ini merupakan individu pembatas yang perlu mendapatkan perhatian khusus. Jika kelompok kritis tersebut memperoleh dosis radiologi lebih rendah daripada nilai batas radiologi masyarakat maka dapat dipastikan masyarakat di sekitar fasilitas nuklir juga memperoleh dosis radiologi di bawah nilai batas dosis. Oleh karena itu, diperlukan suatu kajian untuk menentukan kelompok kritis masyarakat di sekitar KNS sebagai penunjang pengkajian radiologi lingkungan. Kajian ini bertujuan menentukan kelompok kritis masyarakat di sekitar KNS untuk lepasan atmosferik dalam kondisi operasi normal.

Kelompok kritis merupakan sekelompok individu yang diharapkan menerima paparan radiasi terbesar untuk suatu skenario. Dalam dokumen ICRP Publikasi 101 *Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public and the Optimisation of Radiological Protection - Broadening the Process*[2] dijelaskan bahwa konsep kelompok kritis pertama kali diperkenalkan pada Publikasi 7 ICRP tahun 1965 untuk menyediakan sarana dalam mengevaluasi kepatuhan terhadap rekomendasi komisi tersebut. Dalam paragraf 15 publikasi tersebut dinyatakan bahwa beberapa aspek perlu dipertimbangkan dalam pendefinisian kelompok kritis antara lain:

- Distribusi lokasi dan usia dari kelompok yang berpotensi terpapar
- Kebiasaan konsumsi makanan (misalnya bahan makanan tertentu dan jumlah yang dikonsumsi)
- Kebiasaan kerja tertentu (misalnya penanganan peralatan memancing)
- Jenis hunian (misalnya karakteristik penghalang)
- Kebiasaan rumah tangga (misalnya waktu yang dihabiskan di dalam ruangan, frekuensi pencucian, dan pencucian pakaian)
- Hobi (misal olahraga memancing atau berjemur)

Konsep kelompok kritis dilanjutkan pada pada Publikasi 43 ICRP tahun 1985, seperti tercantum pada paragraf 67 publikasi tersebut: Dalam suatu kasus ekstrim cukup mudah untuk menentukan kelompok kritis dalam hal individu hipotetis tunggal, misalnya ketika berhadapan dengan kondisi baik dalam waktu yang tidak dapat dikarakterisasi secara rinci. Biasanya, kelompok kritis tidak akan terdiri dari satu individu atau sangat besar sehingga homogenitas akan hilang. Ukuran kelompok kritis biasanya akan mencapai beberapa puluh orang. Dalam beberapa kasus, di mana populasi besar secara seragam terpapar, maka kelompok kritis akan jauh lebih besar lagi terpapar. Pedoman ini memiliki implikasi tertentu, misalnya, dalam survei kebiasaan penduduk tidak perlu untuk mencari individu yang paling terpapar dalam suatu kelompok penting dalam rangka untuk mendasarkan pengendalian pada satu orang. Hasil survei kebiasaan dalam waktu tertentu harus dianggap sebagai indikator dari suatu distribusi yang mendasari dan nilai diadopsi untuk rata-rata tidak boleh terlalu dipengaruhi oleh penemuan satu atau dua orang dengan kebiasaan yang ekstrim.

Selanjutnya pada Publikasi 60 ICRP tahun 1991 menyatakan bahwa kelompok-kelompok ini dipilih untuk mewakili individu paling tinggi terpapar sebagai akibat dari sumber yang dikaji. Kelompok tersebut dituntut untuk cukup homogen sehubungan dengan karakteristik yang mempengaruhi dosisnya dari sumber itu. Bila ini tercapai pembatas individu harus diterapkan pada nilai rata-rata untuk kelompok kritis. Hal ini tersirat bahwa beberapa anggota dari kelompok kritis akan menerima dosis baik di atas dan di bawah rata-rata kelompok.

---

Dosis untuk masyarakat harus diperkirakan berdasarkan konsentrasi radionuklida di lingkungan atau tingkat paparan dan data kebiasaan yang sesuai. Oleh karena itu, untuk tujuan perlindungan masyarakat, maka perlu pendefinisian seseorang yang akan digunakan untuk menentukan kepatuhan dengan pembatas dosis. Orang tersebut disebut *representative person*. Individu ini menerima dosis yang merupakan perwakilan dari individu yang terpapar lebih tinggi dalam populasi seperti yang dijelaskan pada ICRP Publikasi 101. *Representative person* menggantikan rata-rata anggota kelompok kritis yang direkomendasikan sebelumnya oleh Komisi ICRP tahun 1985.

Dalam mempertimbangkan dosis untuk *representative person*, sejumlah faktor harus dipertimbangkan antara lain (1) kajian dosis harus mencakup semua jalur paparan yang relevan, (2) kajian dosis harus mempertimbangkan distribusi spasial radionuklida untuk memastikan bahwa orang yang menerima paparan lebih tinggi tercakup dalam kajian, (3) data kebiasaan harus didasarkan pada populasi terpapar dan harus masuk akal, berkelanjutan, dan homogen, serta (4) koefisien dosis yang tepat harus diterapkan untuk kategori usia tertentu. Setelah faktor-faktor ini diperhitungkan, dan berdasarkan pada pendekatan kajian yang digunakan (deterministik, probabilistik, atau campuran ini), *representative person* diidentifikasi dan digunakan untuk menentukan kepatuhan.

ICRP Publikasi 101 juga menyatakan bahwa selama periode 50 tahun ke depan, diasumsikan bahwa karakteristik individu untuk kajian dosis dapat didasarkan pada data kebiasaan saat ini. Kebiasaan individu yang digunakan dalam kajian merupakan rata-rata kebiasaan sekelompok kecil individu yang mewakili tingkat paparan tinggi dan bukan merupakan kebiasaan ekstrim dari satu orang penduduk saja.

## METODE

Bahan yang digunakan dalam kajian ini merupakan data sekunder yang meliputi data reaktor, data meteorologi, peta lokasi dan data demografi (distribusi penduduk, tata guna lahan, produksi dan konsumsi makanan, perilaku hidup masyarakat). Data reaktor yang digunakan mengacu pada desain reaktor G.A. Siwabessy. Data meteorologi yang digunakan dalam kajian ini merupakan data tapak KNS tahun 2010, meliputi arah angin, kecepatan angin, suhu udara, radiasi matahari dan curah hujan pada ketinggian 10, 30 dan 60 meter.

Alat digunakan dalam melakukan kajian dampak dispersi atmosferik zat radioaktif antara lain perangkat lunak PC-CREAM 08 untuk menghitung konsentrasi zat radioaktif dengan pendekatan *Gaussian Plume Model* (GPM), perangkat lunak WRPLOT View untuk menggambarkan cakra angin (*windrose*), perangkat lunak Met.Ana untuk menentukan kelas stabilitas atmosferik dan *joint frequency distribution*.

Berdasarkan faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan kelompok kritis dengan pendekatan *representative person*, metode dalam penentuan kelompok kritis antara lain:

- Mengestimasi distribusi spasial konsentrasi zat radioaktif berdasarkan suku sumber dan data meteorologi
- Menentukan jalur paparan radiasi berdasarkan model perpindahan zat radioaktif
- Mengidentifikasi kebiasaan masyarakat yang relevan terhadap jalur paparan
- Menentukan kandidat *representative person* berdasarkan kebiasaan masyarakat
- Menentukan *representative person* berdasarkan kajian dosis radiolog

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumber lepasan atmosferik operasi normal berupa suku sumber desain yang tersedia pada Laporan Analisis Keselamatan empat instalasi nuklir, yaitu Reaktor Serba Guna (RSG), PT. Industri Nuklir Indonesia (INUKI), Instalasi Radioisotop dan Radiofarmaka (IRR) dan Instalasi Radiometalurgi (IRM). Data suku sumber berupa aktivitas tahunan semua radionuklida yang

berpotensi lepas dari cerobong instalasi. Lokasi cerobong instalasi yang berkontribusi terhadap suku sumber lepasan atmosferik di KNS ditunjukkan pada **Gambar 1**.

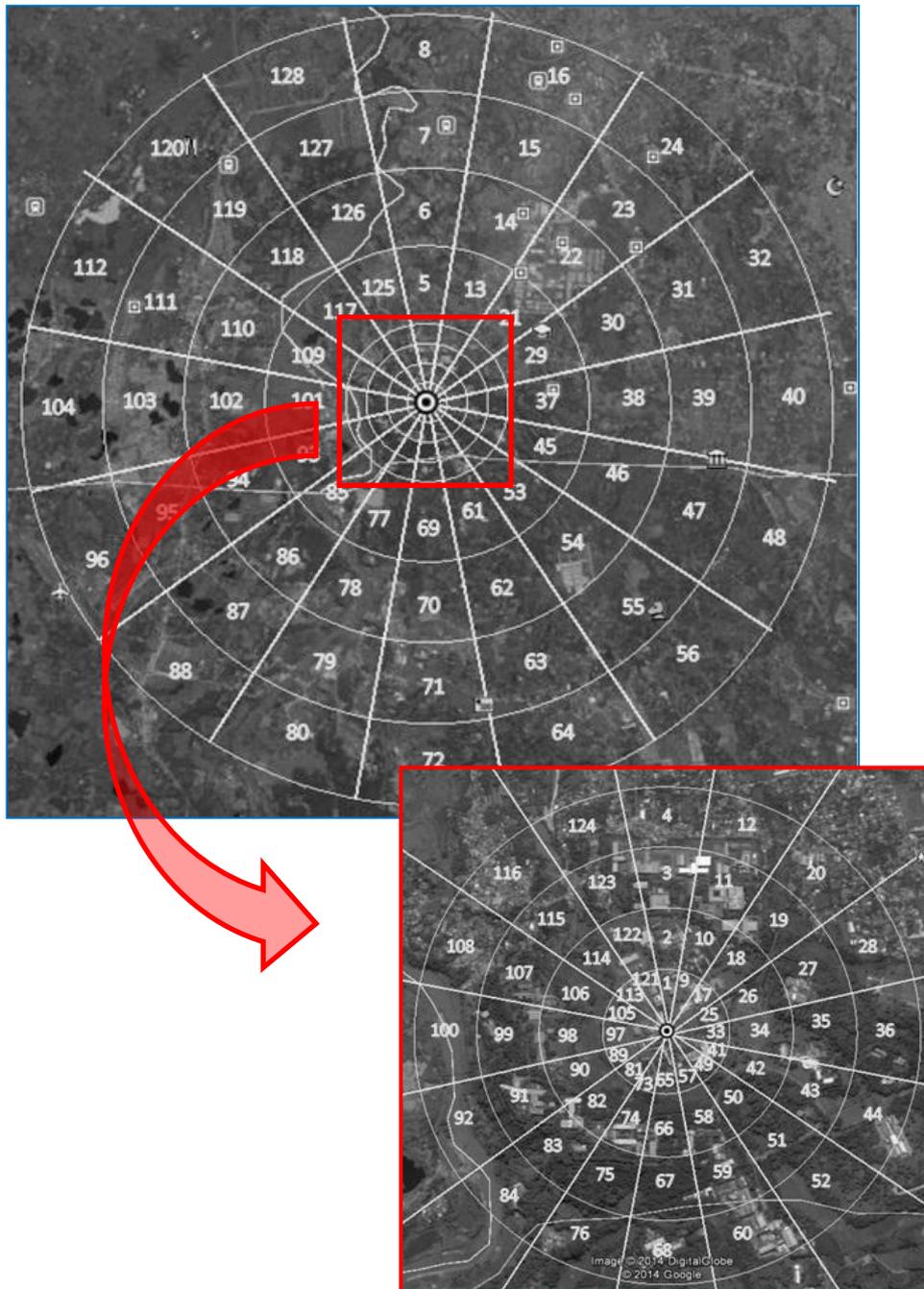


**Gambar 1.**Lokasi Cerobong Instalasi di KNS

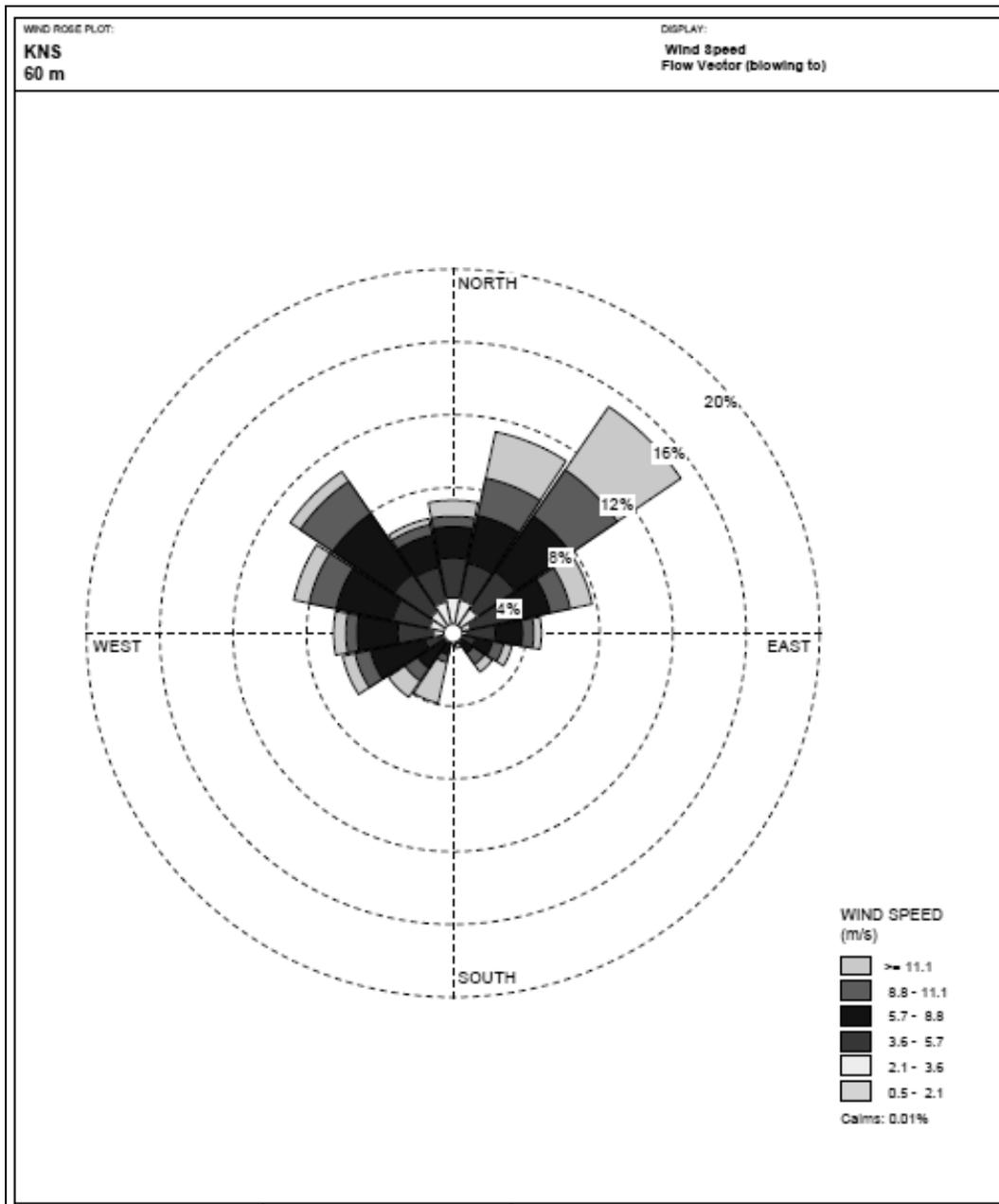
Area studi dispersi atmosferik di sekitar KNS dibagi menjadi beberapa kisi. Kisi-kisi dibagi menjadi 16 arah mata angin (N, NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW, NNW) dan 8 jarak radius (0,25; 0,5; 0,75; 1; 2; 3; 4; 5 km) dengan titik pusat adalah cerobong RSG-GAS sebagai titik referensi. Setiap kisi diberi nomor yang disusun ke arah jarak dan berputar searah jarum jam ke seluruh arah mata angin. Penomoran kisi ditunjukkan pada **Gambar 2**.

Data meteorologi yang digunakan dalam perhitungan sebaran konsentrasi radionuklida di udara merupakan data tiap jam selama satu tahun. Data yang digunakan adalah data tahun 2010 karena dalam kurun waktu lima tahun terakhir data terlengkap terjadi pada tahun tersebut. Parameter-parameter yang digunakan antara lain arah angin, kecepatan angin, suhu udara, curah hujan dan radiasi matahari. Ketinggian pengamatan cuaca lapisan atas dilakukan pada ketinggian 60 meter untuk parameter arah angin, kecepatan angin dan suhu udara, disesuaikan dengan ketinggian cerobong instalasi di KNS. Parameter pada ketinggian 10 meter digunakan dalam penentuan kondisi lapisan permukaan. Data arah dan kecepatan angin diolah menggunakan WRPLOT View untuk menggambarkan cakra angin (*windrose*) sebagai perkiraan awal dispersi zat radioaktif di udara. Hasil pengolahan cakra angin di KNS ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Data meteorologi tiap jam selama satu tahun berupa kecepatan angin, suhu udara dan radiasi matahari diolah menggunakan metode *Solar Radiation Delta Temperature*(SRDT) [3] untuk penentuan kelas stabilitas tiap jam yang diperlukan untuk analisis dispersi dengan perangkat lunak Met.Ana. Metode SRDT memakai struktur dasar dan rasional metode Turner dengan mengesampingkan pengamatan penutup awan dan langit-langit. Metode ini menggunakan lapisan permukaan kecepatan angin (diukur pada atau dekat 10 meter) dalam kombinasi dengan pengukuran radiasi matahari total setiap siang hari dan tingkat rendah vertikal dari perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) pada malam hari. Setelah diperoleh kelas stabilitas atmosfer, disusun *joint frequency distribution* antara arah angin dan kelas stabilitas yang digunakan sebagai parameter input dalam analisis PC-CREAM 08[4]. Hasil analisis *joint frequency distribution* disusun dalam format data masukan PC-CREAM 08 seperti pada Tabel 1.



**Gambar 2.** Penomoran Kisi Area Studi Lepasn Atmosferik KNS



**Gambar 3.** Cakra Angin Ketinggian 60 m di KNS

**Tabel 1. Joint Frequency Distribution Cuaca KNS**

Kelas Stabilitas	Arah Angin																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
A	0.00195	0.00195	0.00390	0.00642	0.00608	0.00229	0.00011	0.00011	0.00000	0.00126	0.00149	0.00229	0.00252	0.00241	0.00069	0.00103	0.03451
B	0.01066	0.01261	0.02178	0.02098	0.01502	0.01032	0.00550	0.00183	0.00023	0.00929	0.01215	0.01731	0.01479	0.01158	0.01215	0.00974	0.18595
C	0.00195	0.00745	0.02545	0.01467	0.00745	0.00619	0.00676	0.00115	0.00023	0.00252	0.00596	0.00252	0.00138	0.00046	0.00057	0.00092	0.08564
D	0.00791	0.02178	0.02832	0.00653	0.00264	0.00378	0.00321	0.00195	0.00034	0.00298	0.00321	0.00459	0.00447	0.00940	0.01078	0.00653	0.11842
E	0.00974	0.02052	0.03015	0.01330	0.00802	0.00504	0.00493	0.00229	0.00149	0.00745	0.00550	0.00481	0.00952	0.00860	0.01089	0.00481	0.14708
F	0.03714	0.04070	0.03347	0.01181	0.00596	0.00413	0.00321	0.00057	0.00069	0.01433	0.01227	0.02855	0.03049	0.05457	0.06959	0.03829	0.38576
C Rain	0.00011	0.00057	0.00080	0.00069	0.00034	0.00011	0.00034	0.00011	0.00000	0.00000	0.00069	0.00000	0.00011	0.00000	0.00000	0.00000	0.00390
D Rain	0.00332	0.00711	0.00653	0.00310	0.00264	0.00092	0.00183	0.00057	0.00011	0.00138	0.00126	0.00126	0.00172	0.00160	0.00264	0.00275	0.03875
Total	0.07280	0.11269	0.15041	0.07750	0.04815	0.03279	0.02591	0.00860	0.00310	0.03921	0.04253	0.06133	0.06500	0.08862	0.10730	0.06408	1.00000

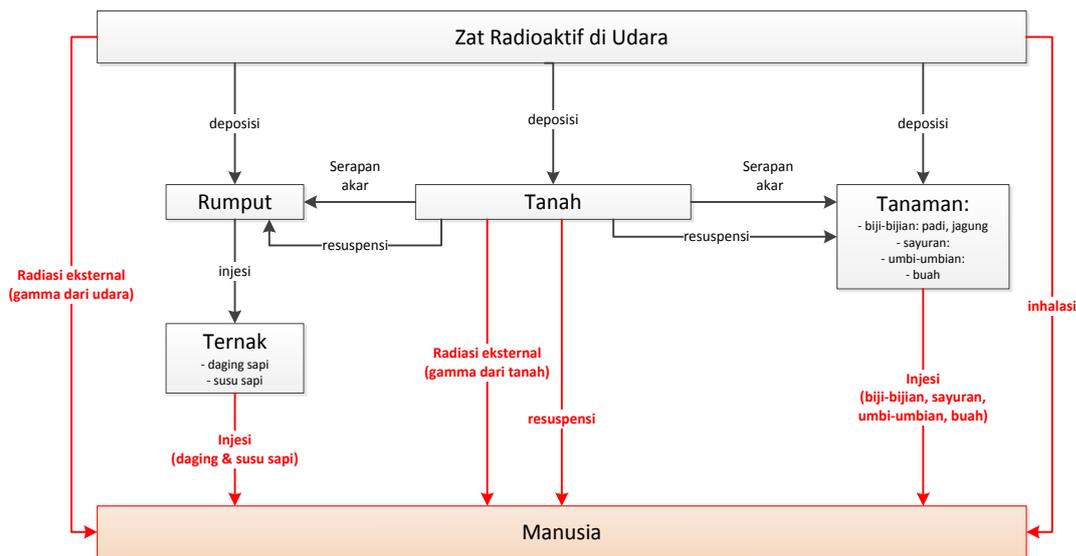
Berdasarkan data suku sumber dan meteorologi KNS, distribusi konsentrasi zat radioaktif di udara dalam jarak dan arah mata angin tertentu ditunjukkan pada **Tabel 2**

**Tabel 2. Konsentrasi Zat Radioaktif di Udara (Bq/m<sup>3</sup>)**

Jarak (m)	Arah Mata Angin															
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
250	5,24	5,74	10,65	13,82	11,88	5,63	1,51	0,60	0,06	3,98	5,01	7,33	7,03	6,08	3,91	3,77
500	5,69	7,07	13,61	13,71	10,40	6,12	2,95	0,93	0,12	4,75	6,41	8,61	7,63	6,18	5,41	4,66
750	3,60	5,14	9,93	8,49	6,01	3,87	2,29	0,68	0,10	3,00	4,20	5,28	4,60	3,76	3,62	3,01
1000	2,67	4,35	7,87	5,80	3,93	2,65	1,76	0,55	0,09	2,10	2,91	3,53	3,12	2,71	2,79	2,20
2000	1,73	3,11	4,58	2,45	1,54	1,08	0,86	0,30	0,09	1,07	1,25	1,56	1,62	1,87	2,20	1,41
3000	1,59	2,64	3,47	1,65	1,01	0,69	0,58	0,21	0,09	0,88	0,89	1,24	1,40	1,87	2,28	1,33
4000	1,54	2,35	2,87	1,29	0,77	0,52	0,44	0,16	0,08	0,79	0,74	1,16	1,33	1,92	2,39	1,35
5000	1,48	2,12	2,45	1,07	0,63	0,43	0,36	0,13	0,07	0,72	0,66	1,10	1,26	1,90	2,39	1,33

Untuk menentukan jalur paparan yang relevan dalam kajian dosis lepasan atmosferik KNS, dibuat suatu model perpindahan zat radioaktif di udara sampai ke manusia ditunjukkan pada Gambar 4. Dari model tersebut, dapat diidentifikasi jalur paparan radiasi yang dipertimbangkan dalam kontribusi dosis individu tahunan penduduk di sekitar KNS, antara lain:

- paparan eksternal dari *plume* radioaktif
- paparan eksternal dari deposisi di tanah
- paparan internal dari inhalasi dan resuspensi
- paparan internal dari injeksi makanan (biji-bijian, sayuran, umbi-umbian, buah, daging sapi, susu sapi)



**Gambar 4.** Jalur Paparan Zat Radioaktif Atmosferik KNS

Berdasarkan jalur paparan radiasi yang telah dibahas, ada beberapa kebiasaan (*habit*) penduduk di sekitar tapak KNS yang diperkirakan dapat memberikan kontribusi dosis secara signifikan. Data kebiasaan penduduk mengacu pada Pemutakhiran Data Rona Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong 2011 [5]. Kebiasaan-kebiasaan tersebut antara lain:

- orang yang tinggal di dekat tapak: paparan eksternal dan inhalasi
- orang yang bekerja kantor/sekolah di sekitar tapak: paparan eksternal dan inhalasi
- orang yang bertani di sekitar tapak: paparan eksternal, inhalasi dan resuspensi
- orang yang mengonsumsi produk lokal: injeksi makanan

Kebiasaan penduduk di sekitar KNS digunakan untuk mengidentifikasi kandidat *representative person* yang diperkirakan menerima dosis radiasi paling tinggi. Kandidat *representative person* dapat terdiri dari gabungan beberapa kebiasaan serta mempertimbangkan kelompok umur tertentu. Kandidat *representative person* tersebut antara lain:

- orang dewasa yang tinggal dan bertani di dekat tapak serta mengonsumsi produk lokal
- orang dewasa yang tinggal dan bekerja di kantor di dekat tapak serta mengonsumsi produk lokal
- anak-anak yang tinggal dan bersekolah di dekat tapak serta mengonsumsi produk lokal
- balita yang tinggal di dekat tapak dan mengonsumsi produk lokal

Keempat kandidat *representative person* dipertimbangkan berdasarkan konsentrasi tertinggi pada kisi-kisi dengan arah angin dominan. Identifikasi kisi dilakukan menggunakan peta tata guna lahan yang digabungkan dengan kisi area studi Pemutakhiran Data Rona Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong 2011. Untuk membantu identifikasi kisi, dilakukan penghambaran (*overlay*) peta sebaran zat radioaktif pada peta tata guna lahan. Dari hasil penggabungan kedua peta tersebut, dapat disusun suatu tabel yang merepresentasikan letak kisi dari kelompok kritis yang dipertimbangkan, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Kisi Kelompok Kritis Berdasarkan Konsentrasi Maksimum dan Tata Guna Lahan

Perkantoran																
Jarak (m)	Arah Mata Angin															
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
250	1	9	17	25	33	41	49	57	65	73	81	89	97	105	113	121
500	2	10	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122
750	3	11	19	27	35	43	51	59	67	75	83	91	99	107	115	123
1000	4	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108	116	124
2000	5	13	21	29	37	45	53	61	69	77	85	93	101	109	117	125
3000	6	14	22	30	38	46	54	62	70	78	86	94	102	110	118	126
4000	7	15	23	31	39	47	55	63	71	79	87	95	103	111	119	127
5000	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128
Pemukiman																
Jarak (m)	Arah Mata Angin															
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
250	1	9	17	25	33	41	49	57	65	73	81	89	97	105	113	121
500	2	10	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122
750	3	11	19	27	35	43	51	59	67	75	83	91	99	107	115	123
1000	4	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108	116	124
2000	5	13	21	29	37	45	53	61	69	77	85	93	101	109	117	125
3000	6	14	22	30	38	46	54	62	70	78	86	94	102	110	118	126
4000	7	15	23	31	39	47	55	63	71	79	87	95	103	111	119	127
5000	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128
Sekolah																
Jarak (m)	Arah Mata Angin															
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
250	1	9	17	25	33	41	49	57	65	73	81	89	97	105	113	121
500	2	10	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122
750	3	11	19	27	35	43	51	59	67	75	83	91	99	107	115	123
1000	4	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108	116	124
2000	5	13	21	29	37	45	53	61	69	77	85	93	101	109	117	125
3000	6	14	22	30	38	46	54	62	70	78	86	94	102	110	118	126
4000	7	15	23	31	39	47	55	63	71	79	87	95	103	111	119	127
5000	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128
Pertanian dan peternakan																
Jarak (m)	Arah Mata Angin															
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
250	1	9	17	25	33	41	49	57	65	73	81	89	97	105	113	121
500	2	10	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122
750	3	11	19	27	35	43	51	59	67	75	83	91	99	107	115	123
1000	4	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108	116	124
2000	5	13	21	29	37	45	53	61	69	77	85	93	101	109	117	125
3000	6	14	22	30	38	46	54	62	70	78	86	94	102	110	118	126
4000	7	15	23	31	39	47	55	63	71	79	87	95	103	111	119	127
5000	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128

Pada Tabel 3, kisi yang diberi warna menunjukkan daerah sesuai tata guna lahan yang dipertimbangkan. Dengan memperhatikan konsentrasi maksimum pada Tabel 2, ditentukan kisi yang dipertimbangkan sebagai posisi kelompok kritis (nomor kisi diberi warna merah). Berdasarkan konsentrasi tertinggi dan tata guna lahan tersebut, kisi-kisi yang perlu diidentifikasi sebagai tempat kegiatan kandidat *representative person* di sekitar KNS antara lain rumah atau pemukiman (kisi no.20), sekolah (kisi no.21), perkantoran (kisi no.25), serta pertanian dan peternakan (kisi no.19). Kisi-kisi yang telah diidentifikasi selanjutnya dijadikan titik reseptor untuk digunakan dalam penentuan dosis individual kandidat *representative person* yang telah ditentukan. Parameter-parameter yang menggambarkan perilaku penduduk pada tiap kisi digunakan sebagai masukan dalam perhitungan dosis menggunakan PC-CREAM 08.

Dalam perhitungan dosis diperlukan data rata-rata lamanya seseorang tinggal pada suatu tempat (waktu okupansi), lamanya berada di dalam ruangan serta laju inhalasi pada masing-masing titik reseptor untuk tiap kandidat *representative person* yang telah diidentifikasi. Data tersebut diperlukan dalam perhitungan penerimaan dosis melalui paparan eksternal dari awan radioaktif

dan deposisi di tanah serta paparan internal melalui pernafasan (inhalasi). Data okupansi dan fraksi di dalam ruangan diperoleh berdasarkan jam kerja tiap mata pencaharian dan karakteristik orang ketika melakukan aktivitas mata pencaharian tersebut. Data ini mengacu pada Pemutakhiran Data Rona Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong 2011. Ringkasan data okupansi dan inhalasi ditunjukkan pada Tabel 4.

Kebiasaan individu yang digunakan dalam kajian merupakan rata-rata kebiasaan sekelompok kecil individu yang mewakili tingkat paparan tinggi dan bukan merupakan kebiasaan ekstrim dari satu orang penduduk saja. Hal ini relevan dengan ICRP Publikasi 101 terkait penentuan *representative person*. Berdasarkan dokumen yang sama, perlu diperhatikan pula bahwa kajian ini mempertimbangkan tiga kelompok umur *representative person*, yaitu balita (0-5 tahun), anak-anak (5-16 tahun) dan dewasa (16-70 tahun).

**Tabel 4.** Okupansi dan Inhalasi Kandidat *Representative Person* Atmosferik KNS

Jenis Lokasi	Waktu Okupansi (jam/tahun)	Fraksi di Dalam Ruangan	Laju Inhalasi (m <sup>3</sup> /tahun)
1. orang dewasa yang tinggal di dekat tapak dan bertani			
Pemukiman	6570	0,9	6200
Pertanian	2190	0,3	
2. orang dewasa yang tinggal dan bekerja di kantor di dekat tapak			
Pemukiman	7665	0,9	6200
Perkantoran	1095	0,7	
3. anak-anak yang tinggal dan bersekolah di dekat tapak			
Pemukiman	6570	0,9	5565
Sekolah	2190	0,8	
4. balita yang tinggal di dekat tapak			
Pemukiman	8760	0,9	1900

Di samping itu, diperlukan pula data jenis dan jumlah tanaman pangan lokal (yang ditanam di sekitar tapak) yang dikonsumsi oleh masyarakat dari masing-masing kelompok umur. Jumlah makanan produk lokal yang dikonsumsi penduduk memberikan kontribusi dosis melalui injeksi (jalur pencernaan) akibat terdosisnya zat radioaktif di udara menuju tanah atau lapisan permukaan bumi. Dalam hal ini, zat radioaktif dapat berpindah dari tanah ke tanaman, dari udara ke tanaman, dari tanaman ke hewan yang mengkonsumsi tanaman, serta dari tanaman dan hewan yang dimakan manusia. Pada Laporan Pemutakhiran Data Lingkungan KNS 2011, diperoleh data konsumsi produk lokal penduduk di sekitar tapak KNS. Jenis makanan spesifik tapak selanjutnya diklasifikasikan ke dalam jenis makanan sesuai data masukan PC-CREAM 08. Data sekunder yang diperoleh tidak secara spesifik membedakan laju konsumsi kelompok usia dewasa, anak-anak dan balita. Oleh karena itu diasumsikan bahwa laju konsumsi pada data sekunder adalah untuk orang dewasa.

Selanjutnya, laju konsumsi anak-anak dan balita dipersentasekan berdasarkan laju konsumsi orang dewasa, di mana faktor pengalinya diturunkan dari *default* PC-CREAM 08. Ringkasan laju konsumsi produk lokal penduduk di sekitar KNS ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Konsumsi Kandidat Orang Representatif Atmosferik KNS

Jenis Makanan	Laju konsumsi produk lokal (kg/tahun)		
	Dewasa	Anak-anak	Balita
Daging sapi	0.06	0.06	0.01
Susu sapi	0.16	0.18	0.25
Buah	4.26	3.20	1.44
Biji-bijian	7.33	6.60	1.98
Sayuran	10.30	4.41	0.63
Umbi	12.90	10.75	2.69

Dosis individual kandidat *representative person* dihitung untuk tiap skenario. Berdasarkan hasil perhitungan dosis individual kandidat *representative person* pada Tabel 6, dosis tertinggi diterima oleh orang dewasa yang tinggal dan bekerja di kantor di dekat tapak serta mengkonsumsi produk lokal (kandidat-2).

**Tabel 6.** Dosis Kandidat *Representative Person* Lepas Atmosferik ( $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ )

Jalurpaparan	Kandidat <i>representative person</i>			
	kandidat-1	kandidat-2	kandidat-3	kandidat-4
Inhalasi	$4,38 \times 10^{-1}$	$4,39 \times 10^{-1}$	$8,26 \times 10^{-1}$	$1,21 \times 10^0$
Eksternaplume	$2,22 \times 10^0$	$2,26 \times 10^0$	$1,21 \times 10^0$	$1,33 \times 10^0$
Eksternatanah	$5,15 \times 10^{-2}$	$3,54 \times 10^{-2}$	$2,72 \times 10^{-2}$	$2,71 \times 10^{-2}$
Resuspensi	$1,30 \times 10^{-3}$	$1,42 \times 10^{-3}$	$2,24 \times 10^{-3}$	$3,00 \times 10^{-3}$
Dagingsapi	$1,52 \times 10^{-3}$	$1,52 \times 10^{-3}$	$3,59 \times 10^{-3}$	$2,03 \times 10^{-3}$
Sususapi	$1,31 \times 10^{-2}$	$1,31 \times 10^{-2}$	$3,47 \times 10^{-2}$	$1,63 \times 10^{-1}$
Buah	$1,69 \times 10^{-1}$	$1,69 \times 10^{-1}$	$2,98 \times 10^{-1}$	$4,54 \times 10^{-1}$
Beras	$8,58 \times 10^{-2}$	$8,58 \times 10^{-2}$	$1,71 \times 10^{-1}$	$1,05 \times 10^{-1}$
Sayur	$7,48 \times 10^{-1}$	$7,48 \times 10^{-1}$	$7,42 \times 10^{-1}$	$3,31 \times 10^{-1}$
Umbi	$1,71 \times 10^{-1}$	$1,71 \times 10^{-1}$	$3,32 \times 10^{-1}$	$2,59 \times 10^{-1}$
<b>Total</b>	<b><math>3,90 \times 10^0</math></b>	<b><math>3,93 \times 10^0</math></b>	<b><math>3,65 \times 10^0</math></b>	<b><math>3,88 \times 10^0</math></b>

Keterangan:

kandidat-1: orang dewasa yang tinggal dan bertani di dekat tapak serta mengkonsumsi produk lokal

kandidat-2: orang dewasa yang tinggal dan bekerja di kantor di dekat tapak serta mengkonsumsi produk lokal

kandidat-3: anak-anak yang tinggal dan bersekolah di dekat tapak serta mengkonsumsi produk lokal

kandidat-4: balita yang tinggal di dekat tapak dan mengkonsumsi produk lokal

Dengan demikian, *representative person* yang mewakili kelompok kritis masyarakat sekitar KNS adalah orang dewasa yang tinggal dan bekerja di kantor di dekat tapak KNS serta mengkonsumsi produk lokal. Kelompok kritis tersebut menerima dosis efektif tahunan sebesar  $3,93 \mu\text{Sv}$ . Dosis tersebut tidak melampaui pembatas dosis tahunan maksimum sebesar  $0,3 \text{ mSv}$  dan

nilai batas dosis tahunan masyarakat sebesar 1 mSv yang ditetapkan oleh BAPETEN selaku badan pengawas[6].

## KESIMPULAN

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, jalur paparan radiasi yang dipertimbangkan dalam penentuan kelompok kritis masyarakat di sekitar KNS antara lain paparan eksternal dari plume radioaktif, paparan eksternal dari deposisi di tanah, paparan internal dari inhalasi dan resuspensi dan paparan internal dari injeksi makanan (biji-bijian, sayuran, umbi-umbian, buah, daging sapi, susu sapi). Kajian ini juga menunjukkan bahwa *representative person* yang mewakili kelompok kritis masyarakat sekitar KNS adalah orang dewasa yang tinggal dan bekerja di kantor di dekat tapak KNS serta mengkonsumsi produk lokal. Kelompok kritis tersebut menerima dosis efektif tahunan sebesar 3,93  $\mu$ Sv. Dosis tersebut tidak melampaui pembatas dosis tahunan maksimum sebesar 0,3 mSv dan nilai batas dosis tahunan masyarakat sebesar 1 mSv yang ditetapkan oleh BAPETEN.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Tenaga Nuklir Nasional, "Rencana Pengelolaan Kawasan Nuklir Serpong," 2009.
2. International Commission on Radiological Protection, *Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public and the Optimisation of Radiological Protection - Broadening the Process*, vol. 36, ICRP, 2006.
3. U.S. Environmental Protection Agency, *Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications*, Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, NC 27711, 2000.
4. Radiation Protection Division, PC-CREAM 08 User guide, Oxfordshire: Health Protection Agency, Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards, 2009.
5. Badan Tenaga Nuklir Nasional dan Badan Pusat Statistik, "Pemutakhiran Data Rona Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong," 2011.
6. Badan Pengawas Tenaga Nuklir, "Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir".

**Lampiran Pertanyaan**

1. Penanya : Sri Moedjajati (PTBBN)  
Pertanyaan :
  - Bagaimana rekomendasi saudara terhadap kesimpulan yang diperoleh untuk masyarakat ?Jawaban :
  - Dari kesimpulan dapat diketahui bahwa kelompok kritis masyarakat adalah orang dewasa yang tinggal dan bekerja dikantor dekat tapak yang mengkonsumsi produk local dengan dosis efektif tahunan 3,93  $\mu$ Sv. Dosis tersebut masih jauh dibawah nilai pembatas dosis maksimum yang ditetapkan BAPETEN sebesar 300  $\mu$ Sv serta nilai batas dosis sebesar 1 mSv untuk masyarakat. Dengan demikian, kelompok kritis tersebut tetap dapat beraktivitas seperti kebiasaan yang dilakukan saat ini sehingga tidak ada rekomendasi tertentu. Rekomendasi dapat diajukan kepada peneliti lain untuk melakukan validasi dengan pengumpulan data primer di lapangan
  
2. Penanya : Sucipta (PTLR)  
Pertanyaan :
  - Apakah hasil dari penelitian ini berupa kelompok kritis, akan mengarah ke lokasi tertentu?
  - Kalau bisa mengarahkan pada lokasi tertentu seperti kampung, perumahan dan lain-lain akan sangat berguna dalam penanganan kondisi darurat, serta bisa untuk dasar pengkajianJawaban :
  - Kelompok kritis ditentukan berdasarkan sebaran parsial zat radioaktif yang digabungkan dengan lokasi-lokasi aktivitas masyarakat di sekitar KNS misalnya lokasi kritis pemukiman no.20, sekolah no.21, kantor no.25, pertanian no. 19, (lihat gambar 2). Disamping itu juga dipertimbangkan tingkat okupansi dan jumlah konsumsi produk local (produk pertanian dan peternakan yang dibudidayakan di dekat tapak)