

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pertahanan Negara

Pertahanan pada dasarnya merupakan upaya untuk menjaga keutuhan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia, menegakkan kedaulatan, serta keselamatan segenap bangsa dari berbagai macam bentuk ancaman. Sebagaimana tercantum dalam Pembukaan Undang-Undang Dasar 1945, segala bentuk upaya pertahanan dan keamanan negara bertujuan untuk melindungi seluruh bangsa dan tumpah darah Indonesia, meningkatkan kesejahteraan, mencerdaskan bangsa, dan ikut serta dalam melaksanakan ketertiban dunia. Dalam mencapai tujuan negara tersebut dibutuhkan integrasi dari seluruh sumber daya nasional baik sumber daya alam, manusia, militer, maupun non militer.

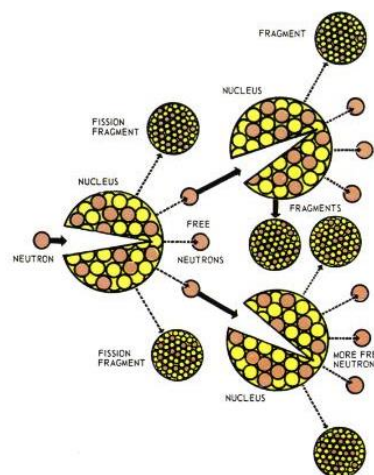
Perkembangan ancaman yang beragam senantiasa memberikan dampak terhadap bentuk dan konsep pertahanan nasional. Saat ini Indonesia menerapkan sistem pertahanan semesta dimana seluruh warga berpartisipasi sesuai dengan peran dan fungsinya masing-masing. Dalam sistem pertahanan semesta, seluruh sumber daya nasional baik itu wilayah, sarana, dan prasarana nasional memiliki andil dalam upaya melaksanakan pertahanan negara secara terpadu, terarah, dan berkesinambungan.

Seluruh sumber daya nasional disiapkan dalam rangka menghadapi ancaman baik yang berasal dari dalam maupun luar negeri. Lingkungan strategis yang terus berubah seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dunia membentuk perubahan ancaman dengan spektrum yang kian kompleks. Berdasarkan jenisnya, ancaman dikelompokkan menjadi tiga yaitu militer, nonmiliter, dan hibrida. Sedangkan berdasarkan prioritas dan prediksi kejadian dalam kurun waktu lima tahun ke depan, ancaman dibagi menjadi ancaman nyata dan belum nyata.

Dari pengertian tentang pertahanan negara yang telah diulas, dapat disintesis bahwa pertahanan negara adalah segala upaya dalam menghadapi ancaman, tantangan, gangguan dan hambatan kepada keutuhan negara guna menjaga keselamatan bangsa beserta keutuhan wilayah dan kedaulatan negara. Penggunaan kekuatan pertahanan negara, sumber daya nasional maupun pembinaannya harus dikelola secara efektif dan efisien. Sebagai salah satu contoh pertahanan negara adalah pengelolaan teknologi pada kendaraan khusus seperti jenis kendaraan taktis Komodo yang diproduksi oleh PT. Pindad.

2.1.2 Reaksi Nuklir

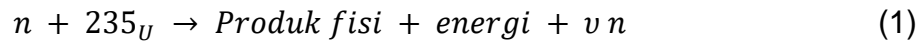
Radiasi Senjata Nuklir merupakan senjata yang dihasilkan dari pemanfaatan reaksi nuklir dengan parameter tertentu. Reaksi nuklir terjadi ketika suatu neutron ditembakkan pada sebuah inti. Probabilitas reaksi yang mungkin terjadi bergantung pada *nuclear cross section*. Salah satu dari beberapa kemungkinan interaksi yang terjadi yaitu reaksi fisi, yang menjadi prinsip senjata nuklir. Reaksi fisi berantai terjadi ketika nuklida dapat belah ditembak oleh neutron insiden terbelah menjadi 2 nuklida atau lebih, melepaskan muatan energi dan beberapa neutron baru. Neutron baru itulah yang kemudian menyebabkan nuklida lain terbelah. Proses ini dilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Reaksi fisi berantai

Sumber: Frank Spoor (2012)

Bahan fisil biasanya menggunakan U^{235} ataupun Pu^{239} . Berikut adalah salah satu reaksi fisi berantai:



ν merupakan nilai yang menunjukkan distribusi neutron yang dihasilkan setiap satu kali terjadinya reaksi fisi. Distribusi energi fisi disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Distribusi Energi Per Fisi

| | MeV |
|----------------------------|-------------|
| Kinetik fragmen fisi | 165 ± 5 |
| Gamma secara <i>prompt</i> | 7 ± 1 |
| Energi kinetik | 5 ± 0.5 |
| Produk fisi partikel betha | 7 ± 1 |
| Produk fisi gamma | 6 ± 1 |
| Produk fisi neutron | 10 |
| Total energi per fisi | 200 ± 6 |

Sumber: US. DoD (1977)

Data energi per fisi yang disajikan pada tabel diatas menjadi aproksimasi dari reaksi fisi dengan bahan uranium-233, uranium-235 atau plutonium-239. Dari beberapa sumber energi yang dihasilkan per fisi, energi yang dihasilkan dari gamma menjadi dominasi diantara yang lainnya.

2.1.3 Radiasi

Prinsip Radiasi merupakan pancaran energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik, panas, maupun partikel tanpa membutuhkan perantara atau medium. Berdasarkan sifat dan interaksinya terhadap materi, radiasi dibagi menjadi dua yaitu radiasi pengion dan non-pengion.

2.1.3.1 Radiasi Non-pengion

Radiasi non-pengion memiliki energi yang lebih kecil dari pada radiasi pengion. Energi yang dimiliki tidak mampu untuk menghasilkan ion. Pada

Gambar 2.2 jenis radiasi ini yaitu cahaya tampak, infrared, gelombang radio, *microwave*, dan cahaya matahari. Properti fisik dari radiasi non-pengion memiliki panjang gelombang lebih besar dan frekuensi yang lebih kecil dari jenis radiasi pengion.

2.1.3.2 Radiasi Pengion

Radiasi pengion dibagi menjadi lima macam yaitu radiasi alfa, beta, neutron, dan foton.

a. Radiasi Alfa

Radiasi Alfa merupakan inti atom Helium yang bergerak dengan energi tertentu. Partikel alfa memiliki ukuran partikel yang besar (jika dibandingkan dengan jenis radiasi partikel lainnya) dan membawa 2 muatan positif. Radiasi alfa mempunyai daya ionisasi partikel yang paling besar dibanding radiasi lain, namun jarak jangkauannya sangat pendek, hanya beberapa milimeter di udara bergantung tingkat energinya. Partikel alfa juga mampu dibelokkan oleh medan magnet dan magnet listrik karena sifat muatannya yang cenderung elektropositif. Partikel alfa mempunyai kecepatan 1/100 hingga 1/10 kecepatan cahaya, bergantung pada energinya.

b. Radiasi Beta

Radiasi Beta memiliki 2 bentuk yakni radiasi partikel elektron (β^-) dan radiasi partikel positron (β^+) yang bebas bergerak dengan kecepatan relativistik. Partikel tersebut dapat dikatakan sebagai partikel beta. Partikel Beta memiliki energi yang tinggi, memiliki kecepatan yang sangat tinggi pada elektron atau positron yang merupakan fragmen hasil interaksi fisi atau hasil peluruhan beberapa nuklei seperti Kalium-40.

Radiasi beta mempunyai daya ionisasi di udara 100 kali lebih kecil dari partikel alfa, tapi daya tembusnya lebih tinggi, hingga beberapa sentimeter di udara. Partikel beta mempunyai kecepatan berkisar antara 1/100 hingga 99/100 kecepatan cahaya, bergantung

energinya. Karena sangat ringan, partikel beta mudah sekali terhambur jika melewati medium dan juga akan dibelokkan ketika melewati medan magnet dan medan listrik.

c. Radiasi Neutron

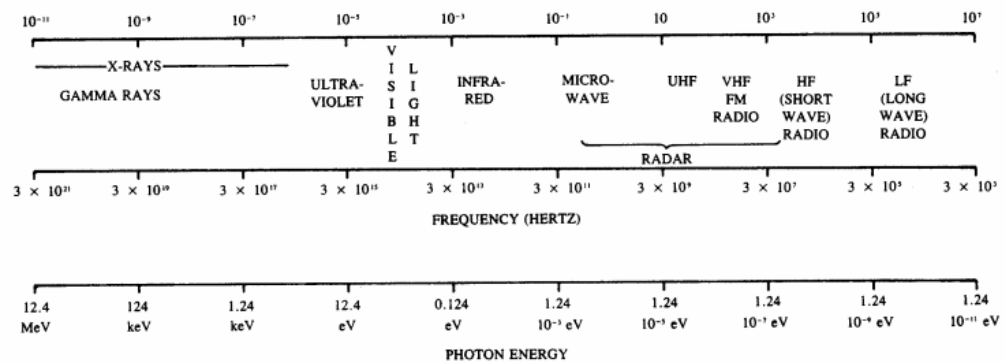
Radiasi Neutron merupakan partikel neutron bebas yang bergerak dengan energi tertentu. Umumnya partikel Neutron merupakan hasil dari reaksi nuklir fisi (spontan atau diinduksi) atau peluruhan material radioaktif tertentu. Radiasi Neutron dapat bergerak hingga ratusan atau bahkan ribuan meter di udara, meskipun demikian, neutron dapat secara efektif dihentikan oleh material yang memiliki kandungan Hidrogen yang tinggi seperti beton atau air. Energi neutron dapat bervariasi dari kecepatan tinggi hingga kecepatan rendah. Neutron dengan kecepatan tinggi disebut neutron cepat (fast neutron) dan neutron dengan kecepatan rendah disebut neutron termal (thermal neutron).

Secara umum, neutron tidak dapat secara langsung mengionisasi atom dikarenakan bermuatan netral. Namun neutron dapat mengionisasi material secara tidak langsung. Hal ini dapat terjadi ketika neutron terserap oleh atom yang stabil, ini akan mengakibatkan atom tersebut menjadi tidak stabil dan memiliki kecenderungan untuk memancarkan radiasi pengion. Dapat dikatakan, neutron merupakan satu-satunya jenis radiasi yang dapat mengubah material yang dilaluinya menjadi material radioaktif.

d. Radiasi Foton

Pada Radiasi Pengion, Radiasi Foton dapat dibagi menjadi 2 yakni Radiasi Gamma dan Radiasi X-Ray. Radiasi X-Ray mirip dengan Radiasi Gamma dengan perbedaan utama adalah Radiasi X-Ray berasal ketika elektron dengan level energi yang tinggi berpindah ke level energi yang lebih rendah. Ini mengakibatkan energi berlebih yang dimiliki oleh elektron tersebut dipancarkan. X-Ray umumnya memiliki panjang gelombang yang lebih panjang dan

energi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan Radiasi Gamma. (Komun, 2020).



Gambar 2. 2 Gelombang elektromagnetik

Sumber: Samuel Glasstone and Philip J. Dolan (1977)

Radiasi Gamma merupakan Radiasi Elektromagnetik (tidak memiliki massa dan tidak memiliki muatan) dengan energi yang sangat tinggi. Radiasi Gamma memiliki energi foton yang sangat tinggi dengan panjang gelombang yang sangat pendek dan frekuensi yang sangat tinggi. Radiasi Gamma memiliki energi yang tinggi dan memiliki daya tembus yang paling besar (jika dibandingkan dengan radiasi alfa dan beta). Radiasi gamma menyertai peluruhan alfa dan beta, tidak pernah berdiri sendiri. Radiasi Gamma berada di sekitar kita, sebagai contoh pada Pisang terdapat Kalium-40 dengan umur paruh mencapai 1.251×10^9 tahun.

Radiasi Gamma dipancarkan dari nuclei yang tidak stabil ketika proses transisi dari high energy state ke lower energy state. Umumnya, proses ini juga memancarkan radiasi bentuk lainnya seperti Radiasi Alfa atau Radiasi Beta.

2.1.4 Kendaraan Taktis 4x4

Operasi militer berbasis darat umumnya menggunakan dua kategori besar kendaraan: kendaraan tempur yang dirancang untuk fungsi pertempuran tertentu dan kendaraan taktis yang dirancang terutama untuk

digunakan oleh pasukan di lapangan untuk mendukung operasi taktis. Kendaraan taktis umumnya bergerak di atas roda dan termasuk dalam Kendaraan Beroda Multiguna Mobilitas Tinggi (HMMWV), kendaraan Mine Resistant Ambush Protected (MRAP), dan keluarga truk dan trailer. Beberapa *assasment* yang digunakan harus memiliki kemampuan seperti berikut:

- Varian MRAP-All Terrain Vehicle (M-ATV);
- Varian HMMWV Expanded Capability Vehicle (ECV);
- Varian ECV2 HMMWV;
- Kendaraan Taktis Ringan Bersama (JLTV);
- Kendaraan Keamanan Lapis Baja (ASV);
- Keluarga Kendaraan Taktis Menengah (FMTV); dan,
- Truk Taktis Mobilitas Besar yang Diperluas (HEMTT).

Kendaraan taktis yang dinyatakan memiliki kelengkapan sistem proteksi *Nuclear, Biological, Chemical* (NBC) salah satunya M1135 NBC *Reconnaissance Vehicle* milik militer Amerika Serikat, dirancang oleh Hamilton Sundstrand yang kemudian dikembangkan oleh *Oak Ridge National Laboratory*. Kendaraan M1135 ditampilkan pada Gambar 2. 3.



Gambar 2. 3 Kendaraan M1135 dengan sistem proteksi NBC

Sumber: Army Publishing Direktorat, US

Spesifikasi kendaran M1135 memiliki massa 16.47 ton, panjang 6.95 m, lebar 2.71 m, tinggi 2.64 m dan kapasitas kru 4 orang. Performa kendaraan dilengkapi armor 14.5 mm resisten, mesin *caterpillar* 3126 turbo diesel 350 hp, daya 15 kW/t, suspensi 8x8, jarak operasional 500 km dan kecepatan maksimum 100 km/j. Sistem NBCRV pada kendaraan ini memiliki sembilan konfigurasi yaitu sensor kimia, biologi, radiologi, sistem komunikasi terintegrasi dengan stryker untuk melakukan deteksi CBRN, identifikasi, penandaan, pengambilan sampel dan pelaporan. Kendaraan ini juga dilengkapi dengan kemampuan armor atau ketahanan terhadap balistik senjata kecil, ranjau dan sereangan artileri seperti roket dan granat. Hasil uji kendaraan ini pada sisten NBC dan sistem komuniaksi pada sensor masih mengalami kegagalan. Kegagalan berdampak pada efektivitas operasional pada tahap selanjutnya. (Director Operational Test & Evaluation, DOT & E, US)

2.1.5 Radiation Protection Factor (RPF)

RPF merupakan suatu faktor yang memberikan nilai estimasi dari efektivitas suatu proteksi material dalam menahan potensi bahaya ionisasi radiasi dan menjadi nilai penentu untuk merencanakan, memutuskan penyelenggaraan pertahanan dan tindakan dalam sekenario darurat. RPF banyak digunakan sebagai suatu nilai yang efektif untuk menilai kemampuan ketahanan suatu perisai penahan radiasi untuk kendaraan, fasilitas nuklir dan sekenario lainnya.

Dosis ekuivalen H pada titik tertentu diperoleh dari

$$H = QD \quad (2)$$

Dimana Q adalah *quality factor*, fungsi linear transfer energi radiasi dan D adalah dosis yang diserap. *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) mendefinisikan *ambient* dosis ekuivalen $H^*(10)$ sebagai koefisien dosis ekuivalen yang dihasilkan dari konversi sebagai berikut.

$$\frac{H^*(10)}{\phi} = Q \frac{D^*(10)}{\phi} \quad (3)$$

Persamaan 2 digunakan untuk mendapatkan nilai dari *RPF* kedalam persamaan 3.

$$RPF = \frac{\text{Unshielded Dose}(Neutron + Gamma)}{\text{Shielded Dose}(Neutron + Gamma)} \quad (4)$$

Neutron dan gamma merupakan dua sumber radiasi yang paling signifikan secara biologis. Setelah ledakan nuklir terjadi, analisis spesifik dari RPF kendaraan diperoleh dengan mendefinisikan *Neutron Protection Factor* (NPF) dan *Gamma Protection Factor* (GPF). Dari persamaan 4 untuk mendefinisikan kedua sumber radiasi sebagai berikut:

$$NPF = \frac{H_n^*(10)_{unshielded}}{H_n^*(10)_{shielded}} \quad (5)$$

dan

$$GPF = \frac{H_{\gamma}^*(10)_{unshielded}}{H_{\gamma}^*(10)_{shielded}} \quad (6)$$

Nilai RPF menjadi bergantung pada kombinasi nilai NPF dan GPF, seperti yang ditunjukkan pada persamaan 4. Implikasi dari persamaan ini, semakin besar nilai RPF maka tingkat proteksi yang dimiliki suatu kendaraan akan lebih baik.

2.1.6 Monte Carlo

2.1.6.1 Metode Monte Carlo

Metode Monte Carlo pertama kali dipopulerkan oleh beberapa peneliti, seperti Stanislaw Ulam, Enrico Fermi, John Von Neumann dan Nicholas Metropolis. Namun dari keempat peneliti tersebut, Stanislaw Ulam adalah orang yang dianggap sebagai penemu metode Monte Carlo. Stanislaw Ulam adalah seorang matematikawan Polandia yang bekerja pada John Von Neumann di US Manhattan Project. Pada tahun 1946 Stanislaw Ulam menemukan metode Monte Carlo ketika mengamati peluang memenangkan permainan kartu solitarie. Nama Monte Carlo sendiri berasal dari sebuah kasino di Monaco.

Metode Monte Carlo digunakan dalam aplikasi fisika nuklir seperti transport radiasi dan analisis fisika neutron. Monte Carlo mengacu pada metode numerik yang didasarkan pada *sampling* bilangan *random* untuk mensimulasikan sejumlah besar histori perjalanan partikel secara individu dari suatu sistem.

Dalam beberapa kasus metode Monte Carlo memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode deterministik. Metode deterministik melakukan penyederhanaan geometri untuk menyelesaikan teknik numerik dan menggunakan pendekatan banyak kelompok terhadap data tampang lintang neutron. Salah satu keunggulan metode Monte Carlo adalah lebih akurat dalam menggambarkan geometri yang kompleks dan rumit serta pemanfaatan data nuklir energi kontinu. Selain itu, metode ini

bersifat statistikal dalam menggambarkan sifat sistem dan tidak menyediakan suatu penyelesaian yang eksak dalam suatu permasalahan. Seluruh hasil menyatakan estimasi dengan ketidakpastiannya (Sembiring, 2005).

Metode Monte Carlo membutuhkan pengulangan yang sangat banyak, agar keseluruhan fenomena yang disimulasikan dapat tergambarkan dengan utuh dan realistik, akibatnya metode Monte Carlo memerlukan proses komputasi yang lama. Namun demikian kemajuan teknologi komputer saat ini, membuat metode Monte Carlo berkembang pesat (Shafii, 2013).

2.1.6.2 Komponen Pembentuk Monte Carlo

Beberapa kata kunci yang menjadi prinsip dasar yang umum digunakan dalam penerapan metode Monte Carlo adalah:

1. Fungsi distribusi peluang
Merupakan fungsi matematis yang mempresentasikan pola fenomena yang diamati dan dideskripsikan dengan suatu fungsi distribusi peluang
2. Penghasil angka acak
Merupakan suatu sumber yang menghasilkan angka secara acak yang terdistribusi *uniform* pada suatu rentang dengan pola tertentu secara acak.
3. *Sampling*
Penggambaran *sampling* dari fungsi kemungkinan (*probability density function*).
4. Penilaian atau *tallying*
Scoring parameter fisika (jumlah tumbukan, panjang lintasan yang ditempuh, dll).
5. Estimasi kesalahan yaitu tingkat ketepatan prediksi yang diperoleh
6. Siklus
Kumpulan sejarah. Hal ini berhubungan dengan generasi neutron dan estimasi generasi neutron.
7. Teknik reduksi variansi

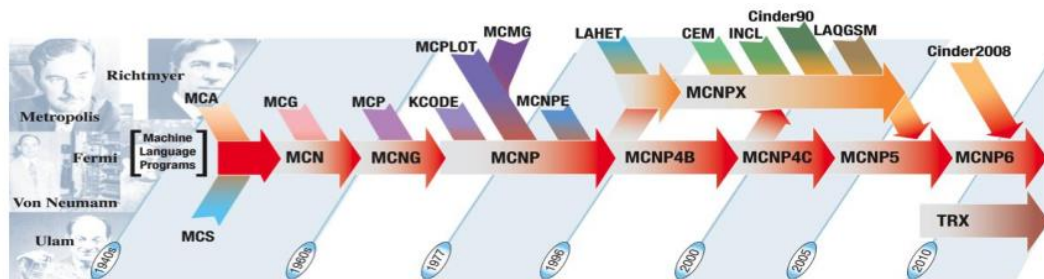
Merupakan metode pereduksian variansi pada hasil estimasi yang bertujuan untuk mengurangi waktu komputasi dalam penerapan metode Monte Carlo

8. *Parallelization* dan *vectorization*

Merupakan suatu algoritma yang didesain agar Monte Carlo dapat diterapkan secara efektif dan efisien di komputer.

2.1.6.3 Program MCNP (Monte Carlo N-Particle)

Program komputer Monte Carlo N-Particle (MCNP) merupakan sebuah paket program berbasis Monte Carlo yang dikembangkan oleh Los Alamos National Laboratory (LANL) yang berguna untuk menganalisis perhitungan transport partikel neutron, foton dan elektron pada ruang tiga dimensi.

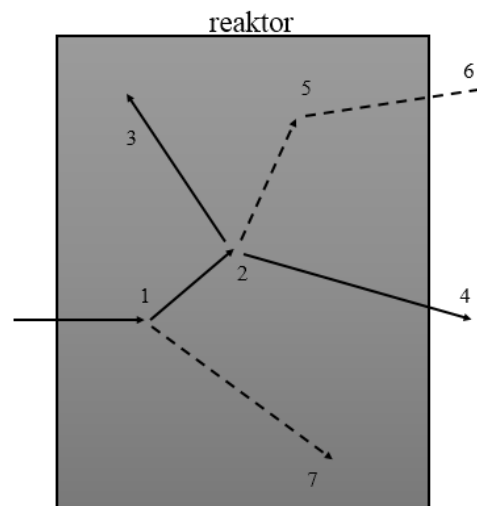


Gambar 2. 4 Skema perkembangan paket program MCNP

Sumber: Jerawan A, Forrest B. B, Jeffrey S. B, et all. (2017)

Prinsip Monte Carlo di dalam MCNP adalah menelusuri setiap jejak partikel neutron yang sebenarnya dari sejak lahir sampai mati. Sebuah neutron lahir dari sebuah sumber luar atau melalui peristiwa pembelahan di dalam reaktor di suatu titik tertentu. Neutron tersebut berjalan secara acak dan berinteraksi dengan suatu atom material tertentu baik melalui peristiwa tumbukan ataupun serapan yang bergantung pada sifatampang lintang bahan di dalam reaktor, hingga pada akhirnya neutron mati baik karena peristiwa penyerapan maupun karena keluar dari sistem reaktor melalui peristiwa hamburan.

Setiap peristiwa yang terjadi pada neutron selama hidupnya ditabulasikan dan menjadi sejarah neutron tersebut. Jumlah dari sejarah neutron ini harus dievaluasi sehingga setiap peristiwa yang terjadi di dalam reaktor dapat tergambarkan secara akurat.



Gambar 2. 5 Mekanisme jejak acak peristiwa sebuah partikel neutron di MCNP

Sumber: Hammam O. (2015)

Keterangan gambar:

1. Hamburan neutron dan produksi foton
2. Reaksi fisi dan produksi foton
3. Tangkapan neutron
4. Neutron keluar dari sistem
5. Hamburan foton
6. Foton keluar dari sistem
7. Tangkapan foton

Gambar 2. 5 di atas merupakan contoh pemaparan dari perjalanan acak sebuah neutron di dalam reaktor sejak lahir sampai mati. Dalam contoh di atas, neutron pertama kali mengalami peristiwa tumbukan (1). Kemudian neutron terhambur dengan arah tertentu secara acak dan sebuah foton dihasilkan dimana hasil foton ini disimpan untuk sementara analisis berikutnya. Pada peristiwa ke-2 terjadi reaksi fisi neutron yang menghasilkan dua neutron baru dan satu foton. Neutron dan foton ini akan

disimpan untuk analisis berikutnya. Salah satu neutron akan mengalami peristiwa ke-3 yaitu tangkapan neutron dan penjejukan neutron berakhir. Kemudian neutron yang disimpan dari hasil reaksi fisi diambil secara acak, dan dari hasil tersebut neutron mengalami peristiwa ke-4 yaitu neutron keluar dari material (sistem). Foton hasil reaksi fisi mengalami peristiwa ke-5 yaitu tumbukan sehingga foton keluar dari material (sistem) pada peristiwa ke-6. Penjejukan terakhir pada foton yang disimpan dari hasil peristiwa ke-1 akan mengalami tangkapan di peristiwa ke-7. MCNP akan mensimulasikan kembali partikel yang disimpan sebelumnya ketika partikel pertama telah keluar dari sistem (Hammam O, 2015).

Dalam penggunaannya, pembuatan suatu input file harus dilakukan untuk kemudian dibaca oleh MCNP. File ini mengandung informasi tentang permasalahan dalam suatu area tertentu, seperti penggambaran geometri secara detail, deskripsi material dan pemilihan tampang lintang, letak dan jenis sumber neutron, foton atau elektron, jenis *tally* dan lain sebagainya. Pembuatan input file dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Visual Editor.

MCNP memiliki berbagai fitur yang memungkinkannya untuk digunakan dalam simulasi pergerakan partikel pada berbagai aspek (Rohman, 2009). Di antara fitur-fitur tersebut adalah:

1. Data nuklir dan reaksi. MCNP menggunakan pustaka data inti dan atom untuk energi kontinu. Salah satu sumber utama data nuklir ini berasal dari sistem *Evaluated Nuclear Data File* (ENDF). Data tersebut diproses dalam program MCNP menggunakan program lain seperti NJOY. Pustaka data nuklir yang sudah diproses ini telah diuji untuk kerincian data aslinya sehingga dapat digunakan dengan tingkat keyakinan yang baik.
2. Spesifikasi sumber. MCNP juga menyediakan model sumber neutron, gamma, elektron dan proton untuk kepentingan yang dibutuhkan misalnya neutron dapat digunakan untuk perhitungan reaktivitas.

3. Cacah (tally). Untuk memperoleh besaran fisik dalam MCNP terdapat berbagai macam cacah terkait arus partikel, fluks partikel, dan deposisi energi. Semua cacah ternormalisasi per jumlah partikel yang disimulasikan. (Budi, R, 2009)

2.1.6.4 Struktur Utama Input MCNP

2.1.6.4.1 File Input

File input MCNP menggunakan *extention* .txt atau file. Membuat input MCNP pada prinsipnya sederhana yaitu dengan mengisikan apa yang disebut dengan “*card*”. Terdapat tiga *card* dalam inputan MCNP yaitu sel *card*, *surface card*, dan *data card*. Sel *card* dan *surface card* merupakan geometri dari obyek yang akan disimulasikan, sementara *data card* adalah informasi mengenai material obyek simulasi, definisi dari sumber partikel, dan *tally* atau besaran fisis yang akan dihitung. Susunan tersebut dalam MCNP adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Susunan kartu pada input MCNP

| |
|-----------------------|
| Judul |
| C sel card |
| - |
| - |
| (baris kosong) |
| C surface card |
| - |
| - |
| (baris kosong) |
| C data card |
| - |
| - |

Sumber: diolah peneliti

Dalam urutan input MCNP Semua baris input dibatasi hanya 80 kolom. Baris pertama diisi “judul” berupa kalimat apa saja, bisa juga berupa

tema simulasi yang akan dilakukan. Untuk baris selanjutnya jika akan diisi dengan kata atau kalimat maka harus diberikan tanda “c” di kolom paling depan. Hal ini untuk menunjukkan bahwa dia hanyalah “*comment*” sehingga tidak akan diproses. Setiap kartu harus dipisahkan dengan spasi atau baris kosong “*blank line*”. Hanya 1 baris kosong, jika tidak dipisah maka akan dianggap satu kartu, sementara jika dipisah lebih dari 1 baris kosong maka tidak akan diproses. Satuan dan konstanta dalam MCNP yaitu:

Tabel 2.4 Variabel dan konstanta dalam MCNP

| No | Properti | Keterangan |
|----|------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Satuan jarak | Centimeter |
| 2 | Energi | MeV |
| 3 | Waktu getar (periode) | 10^{-8} sekon |
| 4 | Temperatur | MeV(kT) |
| 5 | Densitas atom | atom/barn-cm |
| 6 | Densitas massa | g/cm^3 |
| 7 | Tampang lintang | barn (10^{-24} cm) |
| 8 | <i>Heating numbers</i> | MeV/collision |
| 9 | Bilangan avogadro | $0,59703109 \times 10^{24}$ atom/ mol |

Sumber: diolah peneliti

2.1.6.4.2 Kartu Sel

Pada bagian kartu sel input pertama adalah nomor sel, kemudian nomor material yang pengisiannya tergantung keinginan pengguna. Nomor material ini mendiskripsikan materi penyusun sel dari input kartu data. Jika sel merupakan ruang kosong atau void, maka nomor material nol. Nomor sel dan material ini maksimal hingga 5 digit angka, struktur *cell cards* sebagai berikut:

Tabel 2. 3 Struktur *cell cards*

| <i>j m d geom param</i> | |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>J</i> | Nomor sel, dengan batas nomor : $1 \leq j \leq 99999$ |
| <i>M</i> | Nomor material, bernilai nol jika void. |
| <i>D</i> | Densitas material, jika void maka tidak diisi. |
| <i>geom</i> | Spesifikasi geometri sel, positif jika sel berada pada koordinat positif dari geometri sel dan negatif jika sel berada pada koordinat negatif dari geometri sel. |
| <i>param</i> | Opsional, berfungsi memberikan parameter sel yang bersangkutan |

Sumber: diolah peneliti

Parameter sel yang berada di kartu data dapat didefinisikan pada kartu sel dengan meletakkan data parameter pada bagian *param*. Kata kunci pada bagian *param* dapat berupa parameter jenis partikel yang disimulasikan, volume sel pada suatu geometri, pembuatan struktur berulang (kisi) dan lain sebagainya. Tabel 5 menunjukkan beberapa kata kunci parameter yang sering digunakan.

Tabel 2. 4 Kata kunci parameter yang sering digunakan

| Kata Kunci | Fungsi Operasi Parameter |
|------------|------------------------------------------------------------|
| IMP | Menunjukkan jenis partikel yang disimulasikan |
| VOL | Menunjukkan besar volume sel pada suatu geometri |
| U | Menunjukkan urutan bidang |
| FILL | Menunjukkan bahwa sel diisi oleh suatu bidang tertentu (U) |
| LAT | Menunjukkan bahwa sel membentuk susunan kisi |

Sumber: diolah peneliti

2.1.6.4.3 Kartu Permukaan

Kartu permukaan merupakan bagian yang menjelaskan bentuk geometri dan ukuran dari geometri tersebut. Pada bagian awal input kartu permukaan yaitu nomor bidang atau geometri, nomor bidang dapat dimulai

pada kolom 1-5 dengan maksimal 5 digit angka. Kemudian input kolom kedua berupa *alphabetic mnemonic* merepresentasikan bentuk bidang yang akan digunakan. Struktur kartu permukaan adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 5 Kartu Permukaan

| <i>j n a list</i> | |
|-------------------|-------------------------------------|
| <i>j</i> | nomor bidang, $1 \leq j \leq 99999$ |
| <i>n</i> | nomor transformasi |
| <i>a</i> | tipe bidang (<i>mnemonic</i>). |
| <i>list</i> | keterangan |

Sumber: diolah peneliti

2.1.6.4.4 Kartu Data

Kartu data merupakan bagian yang menerangkan tujuan simulasi yang akan dilakukan. Yang diisikan dalam kartu data adalah.

1. Mode

MCNP dapat dijalankan dengan beberapa variasi mode partikel simulasi, diantaranya:

Tabel 2. 6 Mode partikel

| No | Input Parameter | Keterangan |
|----|-----------------|----------------------------------------------------------|
| 1 | Mode N | simulasi neutron transport |
| 2 | Mode N,P | simulasi neutron dan foton hasil dari interaksi neutron. |
| 3 | Mode P | simulasi foton transport |
| 4 | Mode E | simulasi elektron transport |
| 5 | Mode P,E | simulasi foton dan elektron transport |
| 6 | Mode N,P,E | simulasi neutron, foton dan elektron transport sekaligus |

Sumber: diolah peneliti

2. Spesifikasi sumber partikel

Sumber diartikan sebagai daerah dimana partikel yang disimulasikan “lahir”. Pada bagian ini menerangkan spesifikasi dari sumber partikel. Ada dua metode yaitu dengan kartu KSRC atau kartu SDEF. KSRC merupakan metode spesifikasi sumber dengan menentukan koordinat sumber. Sedangkan SDEF merupakan metode menentukan sumber berdasarkan bentuk volume geometri tanpa harus mengetahui koordinatnya, selain itu kartu SDEF dapat mengatur besar energi partikel yang akan disimulasikan secara manual.

3. Spesifikasi perhitungan (*tally*)

Tally merupakan besaran fisis yang diinginkan dari hasil simulasi (output MCNP). Pada bagian ini menerangkan perhitungan khusus yang akan diakumulasikan saat simulasi. Perhitungan ini biasanya berupa nilai fluks atau energi dalam satuan tertentu.

4. Spesifikasi material

Pada bagian ini menjelaskan jenis material penyusun suatu sel pada suatu bidang. Data material yang diisikan dalam kartu data adalah komposisi isotop dari material sel. Penulisan data material juga spesifik karena berupa kode yang akan berkaitan dengan interaksi apa yang akan diminta dilakukan oleh MCNP. Kaidah dalam penulisan data material adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Kaidah penulisan data material

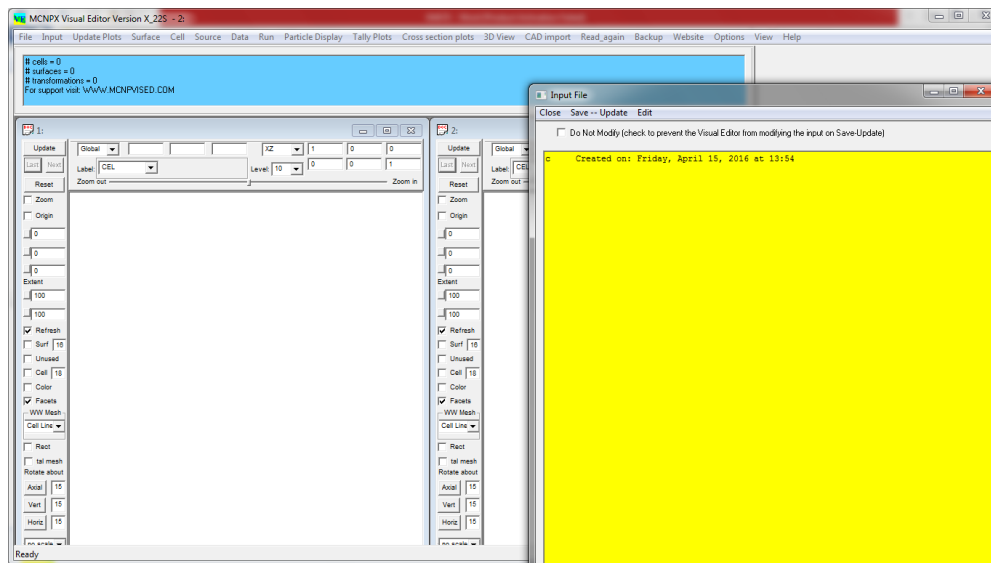
| <i>Mn ZAID fraksi</i> | |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Mn</i> | nomor material dengan angka n sebagaimana dalam penulisan kartu sel sebelumnya. |
| <i>ZAID</i> | unsur yang digunakan, penulisan zaid yaitu ZA.nnX <ul style="list-style-type: none"> • Z nomor atom • A nomor massa |

| | |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <ul style="list-style-type: none"> • nn kode dari data tampang lintang unsur, jika tidak diisi maka menggunakan tampang lintang default • X adalah tipe data, yaitu jika C maka energi kontinu, jika D maka energi diskrit, jika T maka data termal, jika Y maka dosimetri, jika P maka foton, jika E maka elektron dan jika M maka data multigrup. |
| <i>fraksi</i> | Jumlah dari nuklida dalam suatu sel pada suatu bidang. Jika satuannya persen dan atom/barn-cm maka positif, jika satuannya gram/cm ³ maka negatif. |

Sumber: diolah peneliti

2.1.7 Visual Editor (Vised)

Dikembangkan Vised merupakan sebuah program yang dikembangkan untuk membantu pengguna dalam pembuatan file input MCNP. Vised memungkinkan pengguna dengan mudah mengatur dan mengubah tampilan geometri MCNP dan untuk menentukan model informasi langsung dari jendela plot. Vised juga memungkinkan pengguna untuk secara interaktif membuat input file dengan bantuan dua atau lebih penampang silang. Berbagai pilihan menu memungkinkan masukan informasi secara cepat dan segera memvisualisasikan dari geometri dan informasi lain yang dibuat.



Gambar 2. 6 Tampilan awal Visual Editor (Vised) versi X 22S.

Sumber: diolah peneliti.

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian dilakukan oleh *McHale S, Decker A* tahun 2019 dengan menggunakan standar koefisien konversi ekuivalen dosis fluence-to-ambient yang telah dilakukan ICRP menggunakan MCNP. Selain itu, korespondensi antara RPF yang bergantung pada energi yang dihitung dan eksperimental yang melibatkan neutron mono-energetik dan spektrum neutron lebih jauh mendukung pendekatan tersebut dan dapat diaplikasikan untuk Pertahanan, komunitas pendukung sipil dan lainnya yang mungkin memerlukan. Material yang digunakan tidak termasuk dalam kategori baik sebagai perisai radiasi. RPF yang dihitung dan divalidasi disajikan dalam geometri yang disederhanakan dan bidang radiasi yang terdefinisi dengan baik, hasilnya tidak dapat diperluas secara langsung ke skenario dengan sumber terarah atau ketika kendaraan atau sistem penting lainnya dikelilingi oleh bidang yang terkontaminasi. Dalam situasi tersebut, simulasi MCNP yang secara signifikan diperlukan untuk memenuhi nilai yang dapat diterima yang dapat diterima sebagai RPF.

Penelitian terkait material perisai atau radiasi telah dilakukan sebelumnya oleh *Revink A. Ramadhan, Khairi M-S. Abdullah*. pada tahun 2018 dengan melakukan eksperimen kemudian membandingkan efektivitas perisai berdasarkan energinya, material yang digunakan adalah Pb dan Pb+Cu. Spektrum latar belakang detektor sintilasi 300300 NaI (TI) diukur tanpa perisai, dalam perisai timbal setebal 6 cm, dan dengan tembaga elektrolitik setebal 2 mm yang menutupi detektor di dalam perisai timbal. Latar belakang relatif yang tersisa dari perisai timbal yang dilapisi dengan tembaga ternyata ideal untuk spektroskopi radioaktif lingkungan tingkat rendah. Tingkat penghitungan total latar belakang dalam berkurang 28,7 kali oleh timbal dan 29 kali oleh pelindung Cu+Pb.

Material penahan radiasi untuk kendaraan tempur juga telah dilakukan sebelumnya oleh Deepak Gopalani, A. S. Jodha, M. K. Das, R. K. Singh, G. L. Baheti pada tahun 2009 dengan judul *Use Of CR-39 Films for Nuclear Radiation Shielding Efficacy Evaluation of Lining Materials for Combat Vehicles*. Kendaraan tempur lapis baja (AFV) memiliki baja sebagai bahan struktural, yang tampaknya merupakan bahan pelindung gamma dan neutron yang cukup baik tetapi perisai dari besi murni tidak akan sama efektifnya terhadap seluruh energi neutron karena memiliki sedikit resonansi dalam elektron rentang volt, dan ini mengurangi energi neutron cepat untuk menurunkan energi neutron. Timbal (Pb) yang digunakan sebagai material tambahan untuk mereduksi radiasi memastikan bahwa neutron tidak berdifusi pada energi menengah di perisai serta atenuasi gamma yang lebih baik.

Detektor merupakan salah satu perangkat penting dalam sistem proteksi radiasi karena sifat radiasi yang tidak terlihat oleh mata. Efektivitas detektor harus teruji secara modeling atau simulasi terlebih dahulu. Penelitian pengukuran efektivitas detektor telah dilakukan oleh *Selena Gruji, Ivana ĐorCevi, Miodrag Milosevi* dan *Uranija Kozmidis-Luburi* tahun 2013. Pengukuran langsung aktivitas permukaan radiasi pancaran beta dan

gamma dengan menggunakan simulasi Monte Carlo dari probe GM dan detektor NaI terkolimasi. Hasil simulasi dan pengukuran dibandingkan untuk sumber referensi dan terukur sangat identik. Setelah metode divalidasi, model Monte Carlo diterapkan pada skala hasil eksperimen untuk area terkontaminasi heterogen dengan radionuklida ^{60}Co , ^{137}Cs dan ^{90}Sr . Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa efisiensi simulasi Monte Carlo dari probe GM dan detektor NaI terkolimasi dapat digunakan untuk pengukuran langsung yang cepat dan akurat dari aktivitas permukaan total.

Pin Gong, Minxuan Ni, Hao Chai, Feida Chen, Xiaobin Tang tahun 2018 melakukan penelitian terhadap material perisai radiasi. Penelitian dilakukan secara eksperimen dengan matriks karet silikon metil vinil (VMQ), B4C, PbO, dan benzofenon (BP). Melalui modifikasi permukaan bubuk, pencampuran karet silikon, dan cetakan vulkanisasi terbentuk perisai radiasi fleksibel. Properti dispersi bubuk dalam pengisi matriks ditingkatkan dengan modifikasi permukaan bubuk. BP ditambahkan ke dalam matriks untuk meningkatkan kinerja ketahanan radiasi komposit. Setelah iradiasi, kekuatan tarik, elongasi, dan kekuatan sobek komposit menurun, sedangkan kekerasan Shore komposit dan kepadatan ikatan silang matriks VMQ meningkat. Selain itu, komposit dengan BP menunjukkan sifat mekanik yang lebih baik dan densitas ikatan yang lebih kecil dibandingkan dengan komposit tanpa BP setelah iradiasi. Suhu degradasi awal komposit yang mengandung BP sebelum dan sesudah iradiasi masing-masing adalah 323,6 C dan 335,3 C.

Pada tahun 2014 *Suwimon Ruengsrui* melakukan perhitungan teoritis koefisien atenuasi massa, interaksi parsial, penampang atom, dan nomor atom efektif sistem kaca silikat, borat, dan fosfat berbasis PbO telah diteliti pada 662 KeV. Kaca silikat berbasis PbO memiliki koefisien atenuasi total massa tertinggi diikuti gelas fosfat dan borat. Hamburan Compton telah menjadi interaksi dominan yang berkontribusi pada koefisien atenuasi total yang berbeda di masing-masing matriks kaca. Sistem kaca silikat dan fosfat

adalah pelindung radiasi kaca terbaik berbasis timbal daripada sistem kaca borat. Selain itu, perbandingan hasil telah menunjukkan bahwa kaca memiliki sifat pelindung yang lebih baik daripada beton pelindung standar, menunjukkan persyaratan ukuran yang lebih kecil.

Tabel 2. 8 Penelitian Terdahulu

| No. | Penulis dan Tahun | Judul Penelitian | Metode | Persamaan | Perbedaan |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1 | Mc Hale S, Decker A (2019) | <i>Estimating radiation protection factor (RPF) values for a simple surrogate vehicle using the MCNP6.1 code.</i> | Komputasi | Menggunakan Software MCNP untuk mencari nilai <i>Radiation Protection Factor</i> (RPF) | Versi MCNP, bahan dan model yang digunakan |
| 2 | Revink A. Ramadhan, Khairi M-S. Abdullah (2018) | <i>Background reduction by Cu/Pb shielding and efficiency study of NaI(Tl) detector.</i> | Eksperimen | Menggunakan material Pb sebagai proteksi | Metode yang digunakan dan pengujian hanya dilakukan terhadap Pb |
| 3 | Selena Gruji, Ivana Đor Cevi, Miodrag Milosevi, Uranija Kozmidis-Luburi (2013) | <i>Monte Carlo simulation of GM probe and NaI detector efficiency for surface activity measurements</i> | Komputasi dan eksperimen | Modeling menghitung efektivitas detektor | Sampel, sumber dan jenis detektor |
| 4 | Pin Gong, Minxuan Ni, Hao Chai, Feida Chen, | <i>Preparation and characteristics of a flexible neutron and g-</i> | Eksperimen | Material Pb menjadi salah satu sample dalam penelitian | Metode dan Sumber yang digunakan |

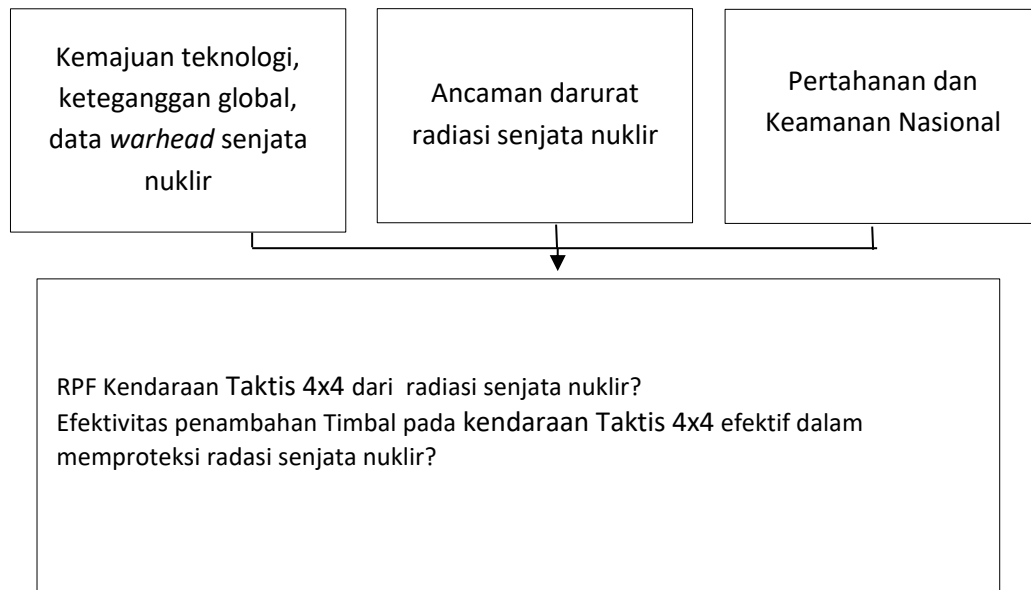
| | | | | | |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-----------------------------------------------|
| | Xiaobin Tang (2018) | <i>ray shielding and radiation-resistant material reinforced by benzophenone</i> | | | |
| 5 | Suwimon Ruengsrui (2014) | <i>Radiation Shielding Properties Comparison of Pb-Based Silicate, Borate, and Phosphate Glass Matrices</i> | Eksperimen | Material Pb | Metode dan Membandingkan dengan material lain |
| 6 | Deepak Gopalani, A. S. Jodha, M. K. Das, R. K. Singh, G. L. Baheti (2009) | <i>Use of CR-39 Films for Nuclear Radiation Shielding Efficacy Evaluation of Lining Materials for Combat Vehicles.</i> | Eksperimen | Material Pb | Metode dan bahan yang digunakan |

Sumber: diolah peneliti

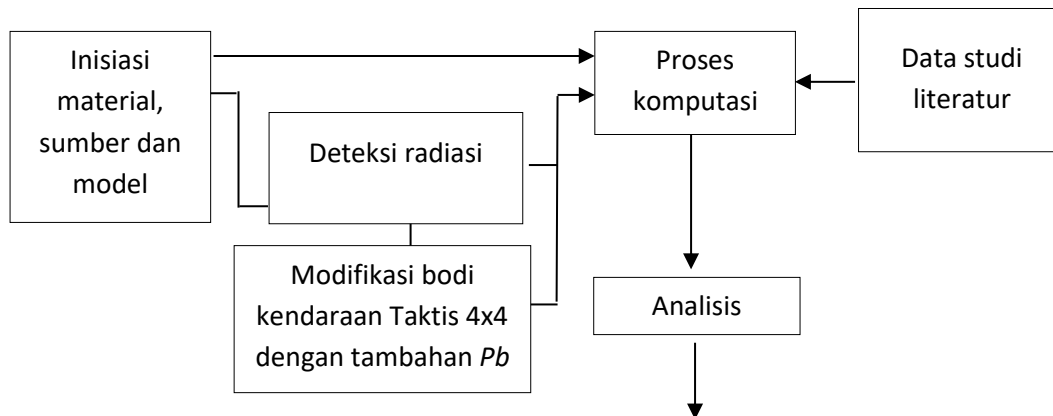
2.3 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir pada penelitian ini dibuat dalam tiga tahap. Pertama yaitu masukan data (input), kedua yaitu tahap proses, ketiga yaitu keluaran atau hasil penelitian.

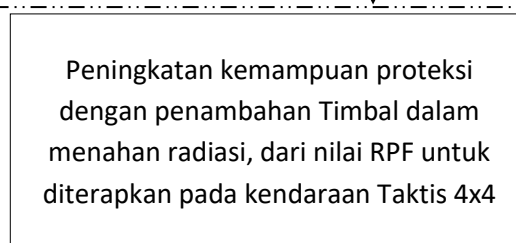
INPUT



PROSES



OUTPUT



Sumber: diolah peneliti