

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Bahan-susun Beton

3.1.1 Semen

Bahan baku semen terdiri dari empat komponen yaitu batu kapur, tanah liat, pasir silika dan pasir besi. Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari kalsium silikat hidrat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan-tambah yang biasa digunakan yaitu gypsum. Semen yang digunakan untuk bahan-susun beton berfungsi sebagai bahan perekat antara butiran-butiran agregat dan mengisi rongga-rongga antara butiran agregat agar terbentuk massa beton yang kompak, padat dan kuat. Sifat-sifat semen portland adalah sebagai berikut ini.

1. Susunan Kimia Semen

Faktor terpenting yang mempengaruhi sifat-sifat semen ialah komposisi kimiawi yang terkandung didalam semen, seperti tercantum dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1 Susunan unsur semen biasa

| Oksida | Persen |
|---------------------------------------------------|---------|
| Kapur, CaO | 60 - 65 |
| Silika, SiO ₂ | 17 - 25 |
| Alumina, Al ₂ O ₃ | 3 - 8 |
| Besi, Fe ₂ O ₃ | 0,5 - 6 |
| Magnesia, MgO | 0,5 - 4 |
| Sulfur, SO ₃ | 1 - 2 |
| Soda/potash, Na ₂ O + K ₂ O | 0,5 - 1 |

Sumber : M L Gambhir, 1986

Hasil proses peleburan oksida-oksida tersebut membentuk empat unsur yang paling penting. Keempat unsur itu adalah (Murdock & Brook, 1991) :

- a. Tricalcium Aluminate (tiga molekul kapur terikat pada satu alumina) C₃A.
Senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai pelepasan sejumlah

besar panas, menyebabkan pengerasan awal tetapi kurang tahan terhadap agresi kimiawi yang dapat menimbulkan retak beton.

- b. Tricalcium Silikat (tiga molekul kapur pada satu silikat) C_3S . Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam, dengan melepas sejumlah panas. Selain itu berpengaruh terhadap kekuatan beton pada awal umurnya, terutama dalam 14 hari pertama.
- c. Dicalcium Silikat (dua molekul kapur pada satu silikat) C_2S . Senyawa ini berlangsung perlahan dengan melepaskan panas yang lambat. Senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang terjadi dari umur 14 hari sampai umur 28 hari, dan seterusnya. Semen yang memiliki proporsi C_2S banyak mempunyai ketahanan terhadap agresi kimia yang relatif tinggi oleh karenanya merupakan semen portland yang paling awet.
- d. Tetracalcium aluminoferrite (empat molekul kapur pada satu alumina dan satu besi oksida) C_4AF . Untuk senyawa C_4AF kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen.

Komposisi semen dan senyawa kimia yang ada berpengaruh terhadap sifat-sifat semen sehingga menghasilkan 5 jenis semen yang berbeda-beda yang disesuaikan dengan tujuan penggunaannya masing-masing. Jenis I untuk penggunaan umum, jenis II untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang, jenis III untuk penggunaan yang menuntut kekuatan awal yang tinggi, jenis IV untuk penggunaan yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah dan jenis V untuk penggunaan yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

2. Hidrasi Semen

Hidrasi adalah peristiwa terjadinya reaksi antara komponen semen portland dengan air. Reaksi hidrasi ini pada dasarnya telah mulai terjadi pada saat penyimpanan klinker, proses penggilingan, penyimpanan semen dan mendekati 100 % pada saat pembuatan adukan beton

3. Kekuatan Pasta Semen dan Faktor Air Semen

Kekuatan semen yang telah mengeras tergantung pada jumlah air yang digunakan pada waktu proses hidrasi berlangsung. Jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi kira-kira 25% dari berat semen.

3.1.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau adukan beton. Menurut SK SNI S-17-1990-03 agregat adalah material granular yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidrolis atau adukan. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70 % volume mortar atau beton. Beton mempunyai kuat tekan tinggi, jika terbentuk dari bahan-bahan yang berkualitas baik dan membentuk massa yang kokoh dan kuat serta pori yang terbentuk sekecil mungkin (Kardiyono, 1992).

Agregat pada umumnya adalah batuan, baik berupa batuan alam dengan ukuran seperti yang tersedia dilapangan atau batuan yang merupakan pecahan batuan berukuran besar. Untuk tujuan tertentu dapat digunakan bahan lain sebagai pengganti dari agregat batuan.

Sifat-sifat agregat antara lain meliputi bentuk dan tekstur permukaan, berat jenis, ukuran maksimum butiran, kekuatan agregat, gradasi dan kadar air agregat.

1. Bentuk dan tekstur permukaan butiran agregat.

Bentuk dan tekstur permukaan butiran agregat berpengaruh terhadap daya serap terhadap air, kemudahan pengerjaan dari beton segar dan daya lekat antara agregat dengan pasta semen. Kondisi permukaan agregat akan mempengaruhi ikatan antara partikel-partikel lainnya, baik sesama agregat atau dengan pasta semen. Jika bersinggungan dengan sesama agregat, adanya permukaan yang kasar akan timbul tahanan yang besar. Begitu juga kalau berhubungan dengan pasta semen akan memberikan daya lekat yang besar.

2. Berat Jenis Agregat

Berdasarkan berat jenisnya, agregat dibedakan menjadi tiga macam, berikut ini.

- a. Agregat normal, yaitu agregat yang berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7 ton/m³. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basalt dan kuarsa. Beton yang dihasilkan dari agregat ini mempunyai berat jenis sekitar 2,3 ton/m³ dengan kuat desak antara 150 kg/cm² sampai 400 kg/cm².
 - b. Agregat berat yaitu agregat yang mempunyai berat jenis lebih dari 2,8 ton/m³, misalnya magnetik (Fe₃O₄), barytes (BaSO₄), atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan dari agregat ini mempunyai berat jenis sampai 5 ton/m³. Agregat jenis ini efektif sebagai dinding pelindung radiasi sinar-X.
 - c. Agregat ringan, yaitu agregat yang mempunyai berat jenis kurang dari 2,0 ton/m³, yang biasanya digunakan untuk beton non struktural. Kebaikan agregat ini adalah berat sendiri yang rendah, sifat lebih tahan api dan sebagai bahan isolasi panas yang lebih baik. Agregat ringan dapat diperoleh secara alami maupun buatan. Agregat ringan alami misalnya *diatomite*, *pumice*, *vulkanic cinder*. Agregat ringan buatan misalnya tanah bakar (*bloated clay*), abu terbang (*fly Ash*), dan busa terak tanur tinggi (*foamed blast furnace slag*).
3. Ukuran Maksimum Butiran.
- Penggunaan ukuran agregat sebesar-besarnya dapat mengurangi jumlah kebutuhan semen dalam adukan sehingga mengurangi biaya pembuatan betonnya. Disamping itu pengurangan jumlah semen dalam adukan berarti mengurangi resiko susut dan retak beton akibat panas hidrasi maupun akibat perubahan suhu. Namun mengingat salah satu faktor yang membatasi besar butir maksimum agregat yaitu tidak boleh lebih besar dari 1/3 kali tebal plat, dimana plat beton uji radiasi setebal kurang lebih 6 cm, maka dipakai ukuran butir maksimum 20 mm.
4. Kekuatan Agregat
- Kekuatan beton tidak lebih tinggi dari kekuatan agregat. Oleh karena itu sepanjang kuat tekan agregat lebih tinggi daripada beton yang dibuat dari agregat tersebut maka agregat tersebut dianggap cukup kuat. Butir-butir agregat dapat bersifat kurang kuat karena dua sebab, yaitu karena terdiri dari bahan yang lemah atau terdiri dari partikel-partikel yang kuat tetapi tidak

terikat dengan kuat, jadi bahan-ikat kurang kuat. Butir-butir agregat yang lemah yaitu butir agregat yang kekuatannya lebih rendah daripada pasta semen yang telah mengeras, tidak dapat menghasilkan beton yang kekuatannya dapat diandalkan. Sifat-sifat butir yang lemah dan lunak perlu dibatasi jika ketahanan terhadap abrasi yang kuat dari betonnya diperlukan. Pengujian kekuatan agregat kasar dapat dilakukan dengan mesin uji aus Los Angeles. Untuk beton struktural, agregat tidak boleh mengalami berat hancur lebih dari 50% lewat pengujian Los Angeles. Persyaratan kekerasan agregat dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2. Persyaratan kekerasan agregat untuk beton

| Kelas dan mutu beton | Bejana Rudeloff | | Mesin Los Angeles Maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 1,7 mm (persen) |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| | Maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 2 mm (persen) | | |
| | Ukuran butir | | |
| | 19 - 30 mm | 9,5- 19 mm | |
| Kelas I Mutu Bo dan B1 | 30 | 32 | 50 |
| Kelas II Mutu K-125 s/d K-225 | 22 | 24 | 40 |
| Kelas III Mutu diatas K-225 | 14 | 16 | 27 |

Sumber : Kardiyono, 1992

5. Gradasi Agregat.

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama atau seragam, volume pori akan besar, sebaliknya bila butiran bervariasi maka volume pori akan kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori di antara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit, dengan kata lain, kemampatan menjadi tinggi. Pada pembuatan mortar atau beton diperlukan suatu butiran dengan

kemampatan tinggi, karena volume pori sedikit dan ini hanya membutuhkan bahan ikat yang sedikit pula. Sebagai pernyataan gradasi dipakai nilai prosentase dari berat butiran yang tertinggal atau lewat didalam suatu ayakan. Susunan ayakan yang digunakan dengan lubang 19 mm, 9,60 mm, 4,80 mm, 2,40 mm, 1,20 mm, 0,60 mm, 0,30 mm, dan 0,15 mm.

Gradasi agregat campuran yang baik mutlak diperlukan untuk mendapatkan beton dengan kemampatan tinggi (volume rongga sedikit). Batas-batas gradasi yang baik telah dicantumkan dalam peraturan *British Standard* seperti ditunjukkan secara grafis dalam bentuk kurva gradasi standar untuk agregat butiran ukuran maksimum 20 mm gambar 1 dapat dilihat pada lampiran B. Berdasarkan kurva, gradasi agregat campuran dapat dibedakan menjadi tiga daerah, yaitu gradasi antara gradasi 1 dan gradasi 2 (daerah I), gradasi antara gradasi 2 dan gradasi 3 (daerah II), serta gradasi antara gradasi 3 dan gradasi 4 (daerah III). Gradasi daerah I akan menghasilkan beton yang kasar, sesuai untuk faktor air semen rendah, mudah dikerjakan namun mudah terjadi segregasi. Gradasi daerah III akan menghasilkan beton yang halus tetapi sulit dikerjakan sehingga memerlukan faktor air semen tinggi. Gradasi daerah II adalah gradasi optimum yang akan menghasilkan beton dengan kekasaran sedang (tidak kasar dan tidak halus) dan tingkat kemudahan pengerjaan yang sedang pula (tidak sulit dan tidak mudah). Gradasi standar pada gambar 1 (lampiran B) dapat dijelaskan dalam bentuk tabel persentase butir lolos ayakan pada gradasi standar seperti pada tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Gradasi Rencana

| Lubang ayakan mm | Persentase berat butir lolos ayakan | | | | |
|------------------|-------------------------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------|
| | gradasi 1 | gradasi 2 | gradasi rencana | gradasi 3 | gradasi 4 |
| 19 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 9,6 | 45 | 55 | 60 | 65 | 75 |
| 4,75 | 30 | 35 | 38,5 | 42 | 48 |
| 2,36 | 23 | 28 | 31,5 | 35 | 42 |
| 1,16 | 16 | 21 | 24,5 | 28 | 34 |
| 0,6 | 9 | 14 | 17,5 | 21 | 27 |
| 0,3 | 2 | 3 | 4 | 5 | 12 |
| 1,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.5 |

Sumber : Kardiyono, 1992

6. Kadar Air Agregat

Kadar air pada agregat perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang perlu dipakai dalam campuran adukan beton, dan juga untuk mengetahui berat satuan agregat. Keadaan kandungan air didalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat yaitu:

- a. kering tungku, benar-benar tidak berair dan ini berarti dapat secara penuh menyerap air,
- b. kering udara, butir-butir agregat kering permukaanya tetapi mengandung sedikit air dalam porinya,
- c. jenuh kering muka, pada tingkat ini permukaanya tidak mengandung air tetetapi butir-butirnya berisi air sejumlah yang diserap. Dengan demikian butiran-butiran agregat pada tahap ini tidak menyerap dan tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton,
- d. basah, pada tingkat ini butiran-butiran agregat mengandung banyak air baik di permukaan maupun di dalam butirannya, sehingga bila dipakai untuk campuran akan memberi air.

7. Spesifikasi Agregat Beton Perisai Radiasi.

Untuk beton penahan radiasi persyaratan fisik agregat tidak berbeda dengan agregat normal seperti berat jenis, kekuatan, keuletan, kekekalan (ketahanan cuaca), ketahanan aus, kandungan zat kotoran, gradasi, dan kadar air terikat. Dalam SK SNI S – 17 – 1990 – 03, macam dan kandungan utama senyawa kimia agregat untuk beton penahan radiasi tercantum sebagai salah satu persyaratan agregat beton perisai radiasi, seperti tercantum pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Jenis dan Kandungan Utama Senyawa Kimia Agregat Beton Perisai Radiasi

| Agregat dengan Kandungan Utama Mineral | Jenis Agregat | Kandungan Utama Senyawa Kimia | Berat Jenis |
|----------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|-------------|
| Serpentin | Batu Pecah, Hidrat batuan beku | $Mg_3 Si_2 O_5 (OH)_4$ | 2,4 - 2,65 |
| Limonit | Batu pecah, Hidrat bijih besi | $(HfFeO_2)_x (H_2O)_y$ | 3,4 - 3,8 |
| Gutit | Batu pecah | $HfFeO_2$ | 3,5 - 4,5 |
| Barit | Kerikil atau Batu pecah | $BaSO_4$ | 4,0 - 4,4 |
| Ilemenit | Batu pecah, Bijih besi | $Fe Ti O_3$ | 4,2 - 4,8 |
| Hematit | Batu pecah, Bijih besi | Fe_2O_3 | 4,6 - 5,2 |
| Magnetit | Batu pecah, Bijih besi | Fe_2O_4 | 4,6 - 5,2 |
| Besi | Dibuat dari besi baja | Fe | 6,5 - 7,5 |
| Ferofosforus | Sintesis | Fe_nP | 5,8 - 6,3 |
| Turmalin | Pasir | $(Na(Mg, Fe, Mn, Li, Al) (BO_3)_3 (OH, F)_4)_3$ | 3,03 - 3,25 |
| Boron | Frit sintesis | $B_2 O_3, Al_2 O_3, SiO_2, Cao$ | 2,6 - 2,8 |

Sumber : SK SNI S - 17 - 1990 - 03

3.1.3 Air

Air di dalam adukan beton mempunyai dua buah fungsi, yang pertama diperlukan untuk bereaksi dengan semen sehingga menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan dan yang kedua sebagai pelumas antara campuran butiran agregat dan semen agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk berlangsungnya proses hidrasi, air yang dibutuhkan sekitar 25 % dari berat semen (Murdock & Brook, 1991).

Air yang dipakai didalam adukan beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam, zat organik atau bahan-bahan lain yang bersifat merusak beton. Air yang digunakan minimal memenuhi persyaratan sebagai air minum, tetapi tidak berarti air pencampur beton harus memenuhi persyaratan sebagai air minum (Kardiyono, 1992).

3.2 Perencanaan adukan

Pada penelitian ini metode yang akan digunakan untuk perencanaan adukan beton adalah menggunakan Metode Road Note No.4. : *Design of Low and Medium Strength Concretes Mixes* (disain adukan beton kuat tekan rendah dan sedang) yang digunakan oleh Krishna Raju, India. Pemilihan metode ini didasari kuat tekan karakteristik beton pada penelitian ini sebesar 250 kg/cm^2 , bentuk dan berat jenis agregat yang berbeda-beda, serta gradasi agregat diatur. Langkah-langkah perencanaan menurut Metode Road Note No.4 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B.

3.3 Neutron

3.3.1 Jenis dan Energi Neutron

Neutron adalah partikel elementer yang tidak bermuatan. Neutron diklasifikasikan sesuai dengan energi yang dimiliki, karena tipe reaksi yang dialami neutron sangat tergantung pada energi. Neutron-neutron berenergi tinggi lebih besar dari sekitar 0,1 Mev, disebut sebagai neutron cepat (*fast neutrons*). Neutron-neutron thermal memiliki energi kinetik rata-rata sama dengan molekul-molekul gas dalam lingkungan neutron thermal tersebut (Herman Chamber, 1985). Tingkat tenaga neutron dapat diklasifikasikan dalam tabel 3.5.

Tabel 3.5 Jenis dan Energi Neutron

| Jenis Neutron | Energi |
|----------------------|-------------------------------------------|
| Neutron Thermal | $0,025 \text{ eV} < E_n < 0,5 \text{ eV}$ |
| Neutron Epithermal | $0,5 \text{ eV} < E_n < 10 \text{ KeV}$ |
| Neuton Cepat | $10 \text{ KeV} < E_n < 0 \text{ MeV}$ |
| Neutron Relativistik | $E_n < 10 \text{ MeV}$ |

Sumber : Suratman, 1996

3.3.2 Sumber Neutron

Sumber neutron yang umum dipakai diklasifikasikan menjadi empat kelompok berdasarkan reaksi yang terjadi (Didin Nasirudin, 1994), yaitu

1. Neutron dari reaksi fisi spontan

Reaksi fisi spontan terjadi pada unsur-unsur transuranium, dengan pemancaran neutron cepat. Reaksi ini paling sering terjadi pada unsur ${}_{252}^{98}\text{Cf}$ (Californium dengan nomor atom 98 dan massa atom 252), yang mempunyai umur paruh 2,65 tahun dan dengan fluks neutron sebesar $2,3 \times 10^6$ n/s untuk setiap mikrogram sampel.

2. Neutron dari sumber-sumber radioisotop

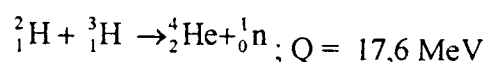
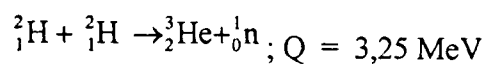
Sumber-sumber ini merupakan campuran atau senyawa yang tersusun dari sebuah bahan target dengan bahan yang mengalami peluruhan α . Reaksi partikel α dengan bahan target akan menghasilkan neutron. Sumber (α, n) merupakan sumber neutron terpenting karena biasanya memiliki ukuran yang relatif kecil, sehingga mudah dibawa kemana-mana serta dapat disesuaikan dengan jenis percobaan yang dilaksanakan. Dari seluruh sumber radioisotop (α, n) yang ada, tiga diantaranya merupakan yang terpenting yaitu Pu-Be, Am-Be, dan Ra-Be.

3. Neutron dari sumber-sumber fotoneutron

Prinsip pemancaran fotoneutron ini adalah reaksi tangkapan radiasi γ oleh inti target, yang diikuti oleh pemancaran neutron.

3. Neutron dari reaksi partikel bermuatan yang dipercepat.

Reaksi yang umum digunakan untuk menghasilkan berkas neutron jenis ini adalah sebagai berikut ini.



3.3.3 Interaksi Neutron dengan Bahan

Interaksi neutron dengan bahan tergantung pada tenaga neutron dan jenis bahan. Semua neutron pada saat terbentuk bersifat cepat. Neutron-neutron cepat melepaskan energinya melalui tumbukan secara lenting dengan atom-atom dan kemudian setelah melambat menjadi energi thermal atau mendekati energi thermal, neutron-neutron tersebut akan ditangkap oleh inti-inti bahan penyerap. Walaupun terdapat sejumlah tipe reaksi yang mungkin, namun reaksi-reaksi yang utama ialah penghamburan elastis (lenting) dan penangkapan yang diikuti oleh pemancaran foton atau partikel lain dari inti bahan penyerap (Yuda Dwiatmoko, 1998).

Berikut ini diuraikan tentang beberapa mekanisme yang terjadi apabila neutron melewati suatu bahan.

1. Hamburan Lenting (*Elastic Scattering*)

Peristiwa hamburan lenting diumpamakan seperti tumbukan bola bilyar. Dalam peristiwa ini berlaku hukum kekekalan momentum dan energi kinetik yaitu jumlah energi kinetik neutron dan inti atom sebelum tumbukan sama dengan jumlah energi kinetik sesudah tumbukan. Sesudah tumbukan energi neutron akan berkurang, karena pada saat tumbukan terjadi pemindahan sebagian energi kinetik dari neutron kepada inti atom. Namun penambahan energi yang diterima inti atom, tidak tereksitasi.

2. Hamburan Tak Lenting (*Inelastic Scattering*)

Energi kinetik neutron dan inti atom sesudah tumbukan lebih kecil dibanding sebelum tumbukan, sehingga dalam peristiwa hamburan tak lenting tidak berlaku hukum kekekalan momentum dan energi kinetik. Dalam hal ini neutron mengalihkan sebagian energinya kepada inti atom sehingga inti atom tereksitasi ke tingkat yang lebih tinggi. Inti atom kemudian kembali ke tingkat dasar (keadaan stabil) dengan memancarkan sinar γ . Hamburan tak lenting semakin berpeluang terjadi bila energi neutron semakin besar dan inti atomnya makin berat (nomer massa makin besar). Atom dengan nomer massa makin besar berarti makin banyak jumlah tingkat energinya sehingga memungkinkan eksitasi inti atom.

3. Tangkapan Neutron.

Reaksi jenis ini adalah yang paling sering dijumpai pada neutron thermal dan hampir semua reaksi neutron thermal dengan nuklida dari jenis ini. Peristiwa tangkapan ini merupakan peristiwa serapan neutron penuh karena neutron benar-benar masuk ke dalam dan menjadi bagian inti atom sehingga energi neutron secara penuh dimiliki inti atom.

3.3.4 Tampang Lintang Neutron (*Neutron Cross Section*)

Tampang lintang neutron adalah besaran yang mendeskripsikan interaksi neutron dengan bahan. Pada saat neutron menembus bahan, akan mengalami hamburan dan serapan dengan 3 prinsip mekanisme seperti hamburan lenting, hamburan tak lenting dan tangkapan neutron. Untuk memeriksa jenis dan kemungkinan interaksi tersebut digunakan pengertian tampang lintang (*cross section*). Tampang lintang neutron dari satu inti atom saja disebut tampang lintang mikroskopik dengan simbol ' σ ' (*sigma*).

Tampang lintang neutron ada bermacam-macam. Ada tampang lintang hamburan (σ_s), tampang lintang serapan (σ_a), tampang lintang fisi (σ_f), dan tampang lintang tangkapan (σ_γ). Jadi keseluruhan dari semua jenis tampang lintang tersebut dinamakan tampang lintang total (σ_t) atau

$$(\sigma_t) = (\sigma_s) + (\sigma_a) + (\sigma_f) + (\sigma_\gamma) \quad (3.1)$$

Apabila dalam bahan terdapat N atom per satuan volume, maka total tampang lintang menjadi N. σ 's. Hal ini sering disebut tampang lintang makroskopik dengan simbol ' Σ '. Tampang lintang makroskopik menunjukkan tampang lintang total dari seluruh atom di dalam volume 1 cm³ bahan dan mempunyai satuan panjang biasanya dinyatakan dalam cm⁻¹. Sesuai dengan berbagai macam interaksi yang mungkin terjadi. Tampang lintang makroskopik total juga merupakan penjumlahan dari tampang lintang makroskopik untuk setiap individu, yaitu tangkapan, fisi, hamburan dan serapan.

$$\Sigma_t = \Sigma_s + \Sigma_a + \Sigma_f + \Sigma_\gamma \quad (3.2)$$

Pengukuranampang lintang total suatu bahan diperoleh dari eksperimen transmisi (*transmission experiment*) yaitu dengan melewati berkas sempit radiasi neutron melalui bahan dengan tebal x cm sambil dilakukan pengukuran intensitas awal dan intensitas akhir radiasi neutron dengan alat detektor. Intensitas awal di dapat dari pengukuran radiasi neutron menggunakan detektor tanpa benda uji, sedangkan intensitas akhir di dapat dari pengukuran radiasi neutron menggunakan detektor yang diletakkan di belakang benda uji. Dengan anggapan intensitas berkas neutron adalah konstan dan inti atom bahan tidak saling menutupi satu dengan yang lain sehingga semua inti atom dapat berinteraksi. Intensitas neutron yang datang I_0 dan intensitas neutron sesudah menembus bahan setebal x cm adalah I , maka penambahan intensitas neutron adalah dI .

$$-dI = N \cdot \sigma \cdot I \cdot dx \quad (3.3)$$

$$-\frac{dI}{I} = N \cdot \sigma \cdot dx = \Sigma dx \quad (3.4)$$

dengan cara integrasi persamaan 3.4 menjadi

$$I = I_0 \cdot e^{-\Sigma x} \quad (3.5)$$

dengan : I = intensitas neutron akhir, setelah melewati bahan (neutron/menit)

I_0 = intensitas neutron awal (neutron/menit)

Σ = tampang lintang makroskopik (cm^{-1})

x = tebal bahan (cm)

3.3.5 Attenuasi Neutron

Radiasi neutron diserap oleh bahan melalui dua tahap yaitu pertama neutron berenergi tinggi ketika melewati bahan kemudian akan mengalami perlambatan (*slowing down*) oleh hamburan lenting atau hamburan tak lenting, sehingga energinya turun sampai ke daerah thermal.

Proses perlambatan neutron cepat sampai ke daerah thermal disebut moderasi. Bahan yang digunakan untuk memperlambat laju neutron disebut moderator. Bahan yang umum dipakai sebagai moderator adalah bahan yang banyak

mengandung hidrogen seperti air dan paraffin. Jadi proses yang diperlukan untuk menahan radiasi neutron adalah :

1. proses perlambatan neutron cepat dengan hamburan tak lenting menggunakan elemen-elemen berat.
2. proses perlambatan lebih lanjut dengan hamburan lenting dengan menggunakan elemen-elemen ringan.
3. tangkapan neutron lambat (diserap).

Dengan demikian untuk memperoleh perisai radiasi yang memenuhi ketiga proses di atas adalah bahan yang tersusun dari kombinasi unsur ringan dan unsur berat sehingga diperoleh daya serap neutron yang paling baik. Beton adalah salah satu bahan yang dapat digunakan untuk perisai radiasi karena terdiri dari berbagai unsur.

