

LAPORAN TUGAS 4C
PERMASALAHAN BVP

DISTRIBUSI FLUKS NEUTRON PADA TERAS PAPAN

KOMPUTASI NUKLIR



Anggota Kelompok 03:

Bagas Yadher Bima N.A.R.H	18/431318/TK/47911
Imam Bayu Prasetya	18/425231/TK/46926
Muhammad Farhan Ramadhany	18/431325/TK/47918
Muhammad Syafiq Fauzan	18/428979/TK/47481
Valentinus Elzha Widatama	18/425242/TK/46937

PROGRAM STUDI TEKNIK NUKLIR
DEPARTEMEN TEKNIK NUKLIR DAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA

2021

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	1
DESKRIPSI MASALAH	2
METODE PENYELESAIAN MASALAH	3
Pemodelan Persamaan Reaktor Tanpa Reflektor	3
Pemodelan Persamaan Reaktor dengan Reflektor	4
Syarat Batas	4
Algoritma Program	5
Diagram Alir Program	7
IMPLEMENTASI PROGRAM	9
HASIL DAN PEMBAHASAN	14
Hasil	14
Pembahasan	16
KESIMPULAN DAN SARAN	17
Kesimpulan	17
Saran	17
DAFTAR ACUAN	17

A. DESKRIPSI MASALAH

Sebuah reaktor berbentuk papan (*slab*) terdiri dari daerah teras (*core*) dengan tebal sebesar 100 cm. Sumber neutron eksternal sebesar $S_{\text{ext}}=10^4$ neutron per cm^3 per detik terdistribusi merata di daerah teras. Komposisi material teras dapat dilihat pada Tabel 1 dengan data tampang lintang mikroskopik pada Tabel 2.

Tabel 1.

Nuklida	Densitas (cm^{-3})
H	$2,75 \times 10^{22}$
O	$2,76 \times 10^{22}$
Zr	$3,69 \times 10^{21}$
Fe	$1,71 \times 10^{21}$
U-235	$1,91 \times 10^{20}$
U-238	$6,59 \times 10^{21}$
B-10	$1,0 \times 10^{19}$

Tabel 2.

Nuklida	Tampang lintang mikroskopik (barn)		
	σ_{tr}	σ_{a}	$\nu\sigma_{\text{f}}$
H	0,65	0,29	0
O	0,26	0,0002	0
Zr	0,79	0,19	0
Fe	0,55	2,33	0
U-235	1,62	484	758
U-238	1,02	2,11	1,82
B-10	0,89	3410	0

Pada simulasi ini dilakukan beberapa tahapan penyelesaian sebagai berikut:

1. Penyusunan persamaan diferensial yang menggambarkan proses difusi neutron pada reaktor papan dengan syarat-syarat batas yang harus dipenuhi.
2. Pembuatan *script* program komputer untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.
3. Grafik hasil antara distribusi fluks neutron $\phi(x)$ (atau ϕ dalam diskretisasi numerik) dari simulasi kemudian dilakukan analisis.
4. Terdapat penambahan reflektor di masing-masing sisi luar teras tersebut berupa grafit dengan koefisien difusi sebesar 1 cm dan tampang lintang makroskopik absorpsi sebesar

$0,1 \text{ cm}^{-1}$. Pada reflektor tidak terjadi reaksi fisi dan tidak ada sumber neutron eksternal. Dengan penambahan reflektor maka perlu dilakukan penyusunan ulang persamaan diferensial yang menggambarkan proses difusi neutron pada reaktor dengan reflektor, serta syarat-syarat batas yang harus dipenuhi. Bagaimanakah distribusi fluks neutron di teras dan di reflektor, jika ketebalan reflektor divariasikan sebesar 5 cm, 10 cm dan 20 cm? Apakah terdapat perbedaan pada distribusi fluks dibandingkan dengan keadaan tanpa reflektor ? Berikan komentar terhadap hasil yang diperoleh.

B. METODE PENYELESAIAN MASALAH

1. Pemodelan Persamaan Reaktor Tanpa Reflektor

Untuk reaktor tanpa reflektor dan memiliki sumber neutron eksternal yang terdistribusi merata di teras, persamaan diferensial yang mewakili distribusi fluks neutron hanya satu. Persamaan tersebut dapat diturunkan dengan cara berikut:

$$-D\nabla^2\phi(x) + \Sigma_a\phi(x) = S''' + \nu\Sigma_f\phi(x)$$

$$\nabla^2\phi_a(x) + \frac{\nu\Sigma_f - \Sigma_a}{D}\phi_a(x) = -\frac{S'''}{D} \quad (1)$$

Persamaan difusi neutron tersebut diasumsikan bahwa teras reaktor hanya memiliki satu kelompok neutron thermal sehingga serapan resonansi dan fisi cepat diabaikan. Kemudian reaktor dalam keadaan steady dan kondisi kritis.

Dengan transformasi Lorentz pada bidang kartesius untuk sumbu x, persamaan (1) akan menjadi seperti berikut :

$$\frac{d^2\phi_a(x)}{dx^2} + \frac{\nu\Sigma_f - \Sigma_a}{D}\phi_a(x) = -\frac{S'''}{D} \quad (2)$$

Kemudian menggunakan diskritisasi beda hingga, persamaan (2) dapat diubah menjadi seperti berikut :

$$y_i = \phi_a(x)$$

$$y_i'' = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{h^2}$$

$$\frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{h^2} + \left(\frac{\nu\Sigma_f - \Sigma_a}{D}\right)y_i = -\frac{S'''}{D}$$

$$\left(\frac{1}{h^2}\right)y_{i-1} + \left(\frac{\nu\Sigma_f - \Sigma_a}{D} - \frac{2}{h^2}\right)y_i + \left(\frac{1}{h^2}\right)y_{i+1} = -\frac{S'''}{D} \quad (3)$$

2. Pemodelan Persamaan Reaktor dengan Reflektor

Untuk model teras papan terbagi menjadi dua persamaan diferensial. Pertama, persamaan yang mirip seperti persamaan (3) yang mewakili distribusi fluks neutron di zona plat bahan bakar teras. Kedua, persamaan yang mewakili distribusi fluks pada zona reflektor yang berada di bagian luar zona plat bahan bakar teras. Pada zona reflektor persamaan distribusi flux dapat diturunkan dengan cara berikut :

$$-D\nabla^2\phi_b(x) + \Sigma_a\phi_b(x) = S''' + \nu\Sigma_f\phi_b(x)$$

$$\nabla^2\phi_b(x) + \frac{-\Sigma_a}{D}\phi_b(x) = 0 \quad (4)$$

Dengan menggunakan transformasi Lorentz koordinat kartesian sumbu x, sehingga persamaan (4) diubah menjadi seperti berikut :

$$\frac{d^2\phi_b(x)}{dx^2} + \left(\frac{-\Sigma_a^{ref}}{D_{ref}} \right) \phi_b(x) = 0 \quad (5)$$

Kemudian persamaan (5) dilakukan diskritisasi hingga menjadi seperti berikut :

$$\begin{aligned} y_i &= \phi_b(x) \\ y_i'' &= \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{h^2} \\ \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{h^2} + \left(\frac{-\Sigma_a^{ref}}{D_{ref}} \right) y_i &= 0 \\ \left(\frac{1}{h^2} \right) y_{i-1} + \left(\frac{-\Sigma_a^{ref}}{D_{ref}} - \frac{2}{h^2} \right) y_i + \left(\frac{1}{h^2} \right) y_{i+1} &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

3. Syarat Batas

○ Teras papan tanpa reflektor

1. Di pusat teras papan, fluks neutron maksimum atau terbesar sehingga dapat diketahui bahwa turunan pertama persamaan (2) adalah nol. Kemudian dari kondisi ini dapat digunakan syarat batas Neumann.

$$\frac{d\phi_a(x=0)}{dx} = 0$$

○ Teras papan dengan reflektor

1. Di pusat teras papan, fluks neutron maksimum atau terbesar sehingga dapat diketahui bahwa turunan pertama persamaan (2) adalah nol. Kemudian dari kondisi ini dapat digunakan syarat batas Neumann.

$$\frac{d\phi_{a(x=0)}}{dx} = 0$$

2. Tepat di pertemuan antara teras dan reflektor, berlaku kontinuitas fluks neutron dan arus neutron sehingga jumlah flux dan arus neutron yang melalui perbatasan adalah sama. Pada kontinuitas antarmuka teras dan reflektor dapat digunakan syarat batas Robin.

$$\phi_a(x = 50) = \phi_b(x = 50)$$

$$J_a(x = 50) = J_b(x = 50)$$

3. Di ujung terluar reflektor, flux neutron diasumsikan sangat kecil hingga mendekati nilai nol. Pada syarat batas ini diketahui nilai dari fungsi pada batas intervalnya sehingga dapat digunakan syarat batas Dirichlet.

$$\phi_b(x = -50) = \phi_b(x = 50) = 0 \frac{n}{cm^2s}$$

4. Algoritma Program

Untuk kasus reaktor tanpa reflektor:

1. Hitung nilai konstanta $\nu\Sigma_f$ total, Σ_a total, koefisien difusi teras (D), dan fluks eksternal (S).
2. Tentukan banyaknya langkah diskritisasi (n), jarak antara titik diskrit (h), batas teras minimum (x_{min}) dan batas teras tanpa reflektor (x_{edge}).
3. Ketika $R_2 > 10^{-6}$
 - a. Hitung konstanta-konstanta diskritisasi teras tanpa reflektor yaitu $aW(1)$, $a0(1)$, $aE(1)$, dan $B(1)$.
 - b. Hitung nilai residu dan nilai y baru pada titik $x = x_{min}$.
 - c. Hitung nilai residu dan nilai y baru pada titik $x = x_{edge}$ dengan metode Robin.
 - d. Untuk nilai $i=2$ sampai $i=n-1$
 - i. Hitung nilai residu dan nilai y baru dengan menggunakan $aW(1)$, $a0(1)$, $aE(1)$, dan $B(1)$.
 - e. Hitung nilai R_2 untuk iterasi selanjutnya.
4. Perbarui nilai y lama dengan y baru untuk proses *plotting*.

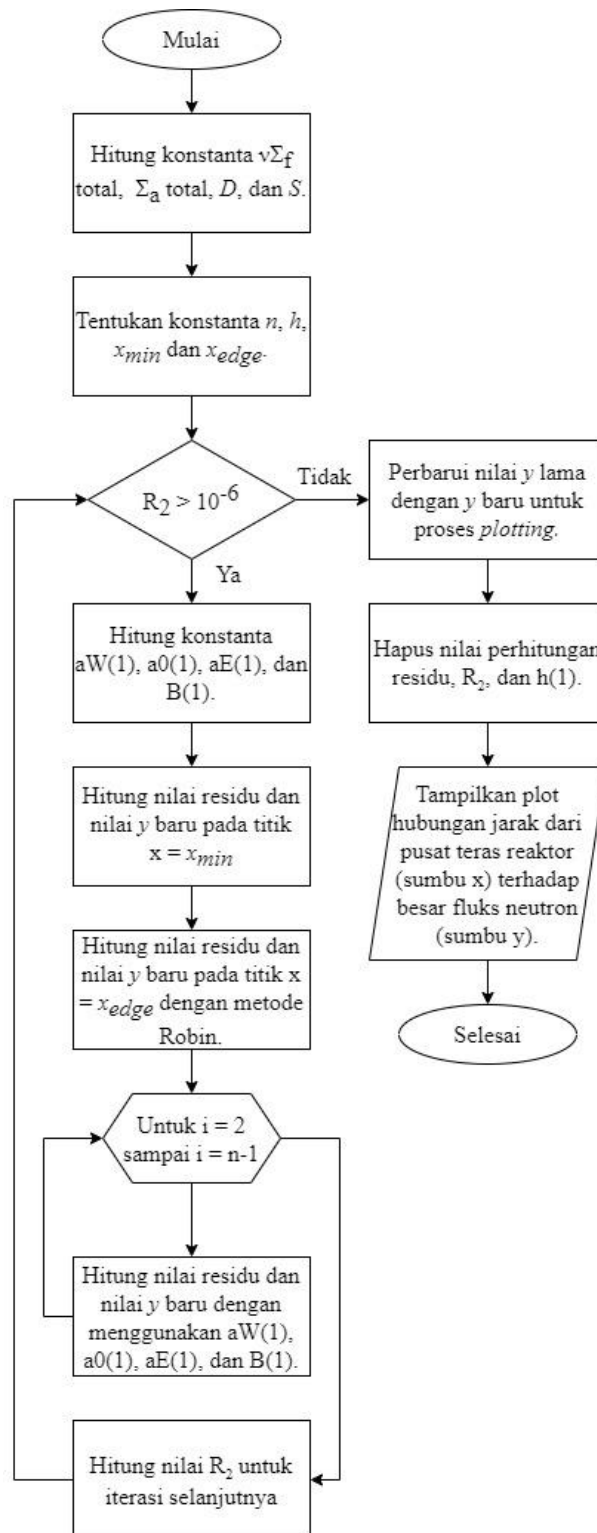
5. Hapus nilai perhitungan residu, R_2 , dan $h(1)$.
6. Tampilkan plot hubungan jarak dari pusat teras reaktor (sumbu x) terhadap besar fluks neutron (sumbu y).

Untuk kasus reaktor dengan reflektor:

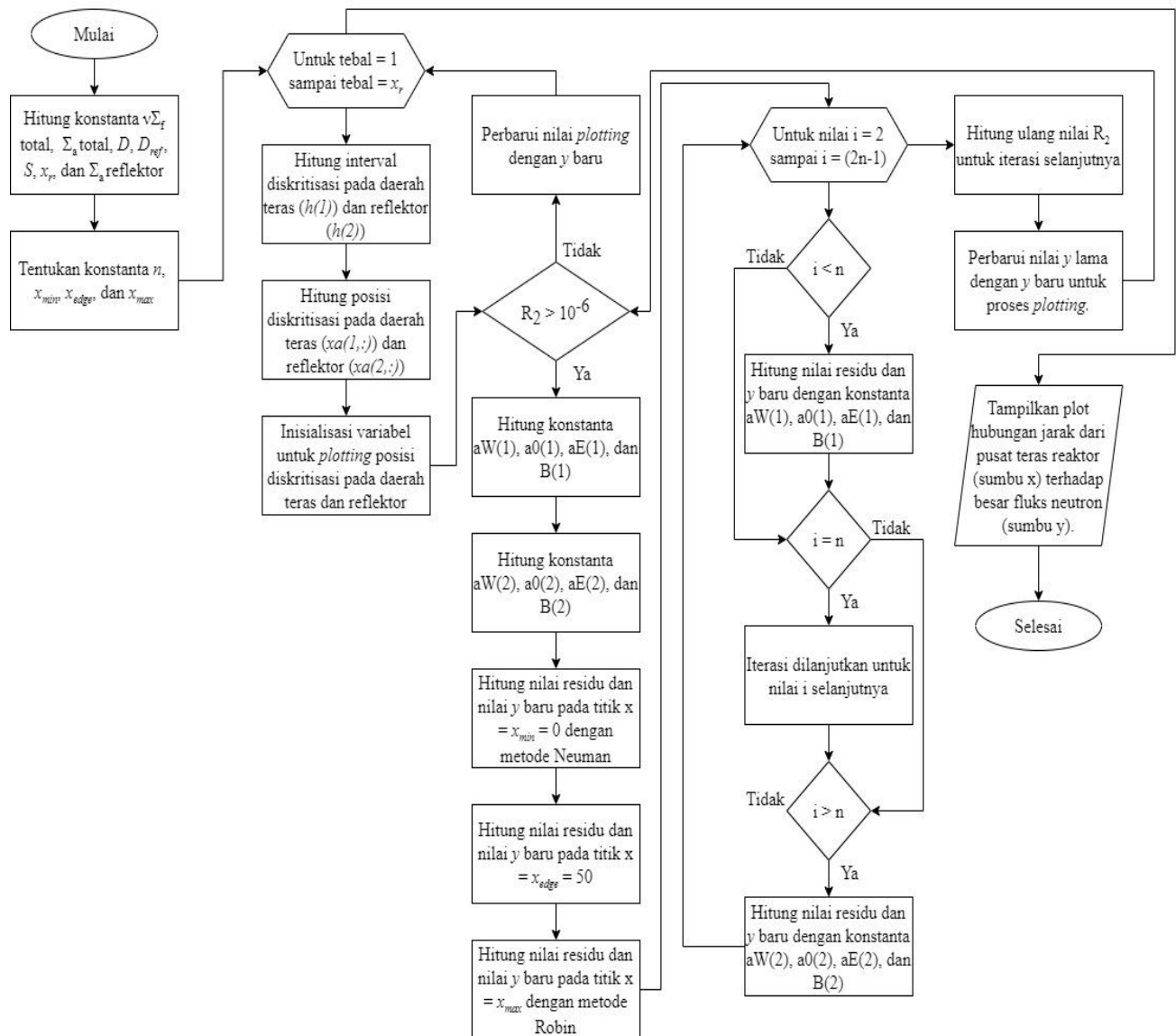
1. Hitung nilai konstanta $v\Sigma_f$ total, Σ_a total, koefisien difusi teras (D), koefisien difusi reflektor (D_{ref}), fluks eksternal (S), tebal reflektor (x_r), dan tampang lintang serapan (Σ_a) reflektor.
2. Tentukan banyaknya langkah diskritisasi (n), batas teras minimum (x_{min}), batas teras tanpa reflektor (x_{edge}), dan batas teras dengan reflektor (x_{max}).
3. Untuk nilai tebal = 1 sampai tebal = x_r .
 - a. Hitung interval diskritisasi pada daerah teras ($h(1)$) dan reflektor ($h(2)$).
 - b. Hitung posisi diskritisasi pada daerah teras ($xa(1,:)$) dan reflektor ($xa(2,:)$).
 - c. Inisialisasi variabel untuk *plotting* posisi diskritisasi pada daerah teras dan reflektor.
 - d. Ketika $R_2 > 10^{-6}$
 - i. Hitung konstanta-konstanta diskritisasi teras tanpa reflektor yaitu $aW(1)$, $a0(1)$, $aE(1)$, dan $B(1)$.
 - ii. Hitung konstanta-konstanta diskritisasi teras dengan reflektor yaitu $aW(2)$, $a0(2)$, $aE(2)$, dan $B(2)$.
 - iii. Hitung nilai residu dan nilai y baru pada titik $x = x_{min} = 0$ dengan metode Neuman.
 - iv. Hitung nilai residu dan nilai y baru pada titik $x = x_{edge} = 50$ dengan memberlakukan hukum kontinuitas fluks dan arus neutron.
 - v. Hitung nilai residu dan nilai y baru pada titik $x = x_{max}$ dengan metode Robin.
 - vi. Untuk nilai $i = 2$ sampai $i = (2n-1)$
 1. Jika $i < n$ (posisi di teras), maka hitung nilai residu dan y baru dengan menggunakan konstanta $aW(1)$, $a0(1)$, $aE(1)$, dan $B(1)$.
 2. Jika $i = n$ (posisi di batas antara teras dan reflektor), maka iterasi dilanjutkan untuk nilai i selanjutnya.
 3. Jika $i > n$ (posisi di reflektor), maka hitung nilai residu dan y baru dengan menggunakan konstanta $aW(2)$, $a0(2)$, $aE(2)$, dan $B(2)$.
 - vii. Hitung ulang nilai R_2 untuk iterasi selanjutnya.
 - viii. Perbarui nilai y lama dengan y baru untuk proses *plotting*.
 - e. Perbarui nilai *plotting* dengan y baru.
 4. Tampilkan plot hubungan jarak dari pusat teras reaktor (sumbu x) terhadap besar fluks neutron (sumbu y)

5. Diagram Alir Program

1. Untuk kasus reaktor tanpa reflektor



2. Untuk kasus reaktor dengan reflektor



C. IMPLEMENTASI PROGRAM

```
clear; clc; clf;
%-----Parameter Teras-----
%Densitas Atom Bahan Bakar (atom/cm^3)
N = [2.75 2.76 0.369 0.171 0.0191 0.659 0.01] * 1e22;

%Tampang lintang fisil x nu
nusigMicroFiss = [0 0 0 0 758 1.82 0] * 1e-24;    %(cm^2)

%TL total fisil
nusigMacroFiss = sum(N .* nusigMicroFiss);

%Tampang lintang absorpsi
sigMicroAbs = [0.29 0.0002 0.19 2.33 484 2.11 3410] * 1e-24; %(cm^2)

%TL total absorpsi
sigMacroAbs = sum(N .* sigMicroAbs);

%Tampang lintang transport
sigMicroTrans = [0.65 0.26 0.79 0.55 1.62 1.02 0.89] * 1e-24; %(cm^2)

%TL total transport
sigMacroTrans = sum(N .* sigMicroTrans);

%Konstanta Difusi Teras
Dter = 1 / (3 * sigMacroTrans);

%Flux eksternal (n/cm^3/s)
S = 1e4;

%-----Parameter Reflektor-----
%Konstanta Difusi Reflektor
Dref = 1; %satuan cm

%Tampang lintang absorpsi reflektor
sigAref = 0.1; %satuan /cm

%Ketebalan reflektor
x_r(2,:) = [5 10 20]; %satuan cm

%-----Parameter Komputasi-----
%Banyak Titik Diskritisasi
%Untuk kasus 2 nanti diskritisasi menjadi 2*n karena sebesar n untuk
teras
%sebesar n untuk reflektor
n = 100;

%Batas Teras Papan
xmin = 0; %Pusat teras
xedge = 50; %Ujung kanan teras tanpa reflektor
```

```

    xmax = xedge .+ x_r;      %Ujung kanan teras + reflektor

%-----Proses Iterasi-----
%-----kasus 1 = tanpa reflektor-----

    tic;
    %Variabel untuk plotting
    yPlot1 = zeros(length(x_r),n);

    %Jarak antar titik diskritisasi teras
    h(1) = (xedge - xmin) / (n - 1);

    %Nilai X disetiap titik diskritisasi teras
    x(1,:) = xmin:h(1):xedge;

    %Inisialisasi persebaran flux neutron di BB
    yOld1 = ones(1, n)*S;
    yNew1 = yOld1;

    %inisialisasi norm
    R2 = 1;

    while R2 > 1e-6
        %Konstanta diskritisasi teras
        aW(1) = 1/h(1)^2;
        a0(1) = (nusigMacroFiss - sigMacroAbs) / Dter - 2/h(1)^2;
        aE(1) = 1/h(1)^2;
        B(1) = -S/Dter;

        %Syarat Batas di x = 0 cm
        residu(1) = -3/(2*h(1))*yOld1(1) + 4/(2*h(1))*yOld1(2) -
1/(2*h(1))*yOld1(3);
        yNew1(1) = (4*yOld1(2) - yOld1(3))/3;

        %Syarat Batas di x = xedge dengan metode Robin
        residu(end) =
Dter/(4*h(1))*yOld1(end-2)-Dter/h(1)*yOld1(end-1)+(1/4+3*Dter/(4*h(1)))*yOld
1(end);
        yNew1(end) = Dter*(4*yOld1(end-1)-yOld1(end-2))/(h(1)+3*Dter);

        %Iterasi untuk mencari solusi dari matrix tridiagonal
        %Dimulai dari baris ke 2 sampai n-1
        for i = 2:(n-1)
            residu(i) = B(1) - aW(1) * yNew1(i-1) - a0(1) * yOld1(i) - aE(1)
* yOld1(i+1);
            yNew1(i) = yOld1(i) + residu(i)/a0(1);
        endfor

        %Perhitungan norm berikutnya
        R2 = sqrt(sum(residu.^ 2))

        %Update Nilai

```

```

        yOld1 = yNew1;
    endwhile

    %Update nilai untuk plotting
    yPlot1 = yNew1;

    %Membersihkan perhitungan
    residu(1,:) = [];
    R2 = [];
    h(1) = [];
    toc;

%-----kasus 2 = dengan reflektor-----
    %Untuk plotting sumbu y
    yPlot2 = zeros(length(x_r),2*n);

    %Iterasi untuk variasi ketebalan reflektor
    for tebal = 1 : length(x_r)

        %Interval diskritisasi teras
        h(1) = (xedge-xmin)/(n-1);

        %Posisi diskritisasi teras
        xa(1,:) = xmin:h(1):xedge;

        %Interval diskritisasi reflektor
        h(2) = x_r(2,tebal)/(n-1);

        %Posisi diskritisasi reflektor
        xa(2,:) = xedge:h(2):xmax(2,tebal);

        %Untuk Plotting posisi di teras
        xPlot2(1:n) = xa(1,:);

        %Untuk plotting posisi di reflektor
        xPlot2(n+1:n*2) = xa(2,:);

        %Inisiasi kondisi awal
        yOld2 = ones(tebal,n*2)*S;
        yNew2 = yOld2;

        %Inisiasi norm
        R2 = 1;

        while R2 > 1e-6
            %Konstanta diskritisasi teras
            aW(1) = 1/h(1)^2;
            a0(1) = (nusigMacroFiss - sigMacroAbs) / Dter - 2/h(1)^2;
            aE(1) = 1/h(1)^2;
            B(1) = -S/Dter;

```

```

%Konstanta diskritisasi reflektor
aW(2) = 1/h(2)^2;
a0(2) = -sigAref/Dref - 2/h(2)^2;
aE(2) = 1/h(2)^2;
B(2) = 0;

%Pada titik tengah x=xmin=0, flux maksimum, dengan metode neuman
residu(tebal,1) = -3/(2*h(1))*yOld2(tebal,1) + 4/(2*h(1))*yOld2(tebal,2)
- 1/(2*h(1))*yOld2(tebal,3);

yNew2(tebal,1) = (4*yOld2(tebal,2) - yOld2(tebal,3))/3;

%Pada batas x=xedge=50, berlaku kontinuitas arus dan flux neutron
residu(tebal,n) =
Dref*(-yOld2(tebal,n+3)+4*yOld2(tebal,n+2)-3*yOld2(tebal,n+1))/h(2) -
(Dter*(3*yOld2(tebal,n)-4*yOld2(tebal,n-1)+yOld2(n-2))/h(1));

yNew2(tebal,n) =
(h(1)*Dref)/(3*Dter*h(1))*(-yOld2(tebal,n+3)+4*yOld2(tebal,n+2)-3*yOld2(teba
l,n+1)) + 4/3*yOld2(tebal,n-1) - 1/3*yOld2(tebal,n-2);

%Pada batas x=xmax=ujung reflektor, flux adalah min, dengan metode robin
residu(tebal,end) =
Dref/(4*h(2))*yOld2(tebal,end-2)-Dref/h(2)*yOld2(tebal,end-1)+(1/4+3*Dref/(4
*h(2)))*yOld2(tebal,end);

yNew2(tebal,end) =
Dref*(4*yOld2(tebal,end-1)-yOld2(tebal,end-2))/(h(2)+3*Dref);

%Iterasi dari titik i = 2 samapai 2*n-1
for i = 2:(2*n)-1
    if i<=n %posisi di teras
residu(tebal,i)=B(1)-aW(1)*yNew2(tebal,i-1)-a0(1)*yOld2(tebal,i)-aE(1)*yOld2
(tebal,i+1);
        yNew2(tebal,i)=yOld2(tebal,i)+residu(tebal,i)/a0(1);
    elseif i==n
        continue;
    else %Posisi akhir teras, awal reflektor
residu(tebal,i)=B(2)-aW(2)*yNew2(tebal,i-1)-a0(2)*yOld2(tebal,i)-aE(2)*yOld2
(tebal,i+1);
        yNew2(tebal,i)=yOld2(tebal,i)+residu(tebal,i)/a0(2);
    endif
endfor

%Melihat konvergensi
R2 = sqrt(sum(residu(tebal,:).^2))

%Perbarui nilai yOld2
yOld2(tebal,:) = yNew2(tebal,:);

```

```

endwhile

%Update plotting
yPlot2(tebal,:) = yNew2(tebal,:);
endfor

%-----Proses Plotting-----
%Plot kasus 1
plot(x,yPlot1(1,:), 'r')
xlabel('Posisi (cm)');
ylabel('Flux(x) (n/cm^2/s)');
xlim([xmin xedge]);
title('Kasus 1');
figure;

%Plot kasus 1 skala semi-log
semilogy(x,yPlot1(1,:), 'r')
xlabel('Posisi (cm)');
ylabel('Flux(x) (n/cm^2/s)');
xlim([xmin xedge]);
ylim([yPlot(1,1) yPlot(1,end)]);
title('Kasus 1 - Semilog');
figure;

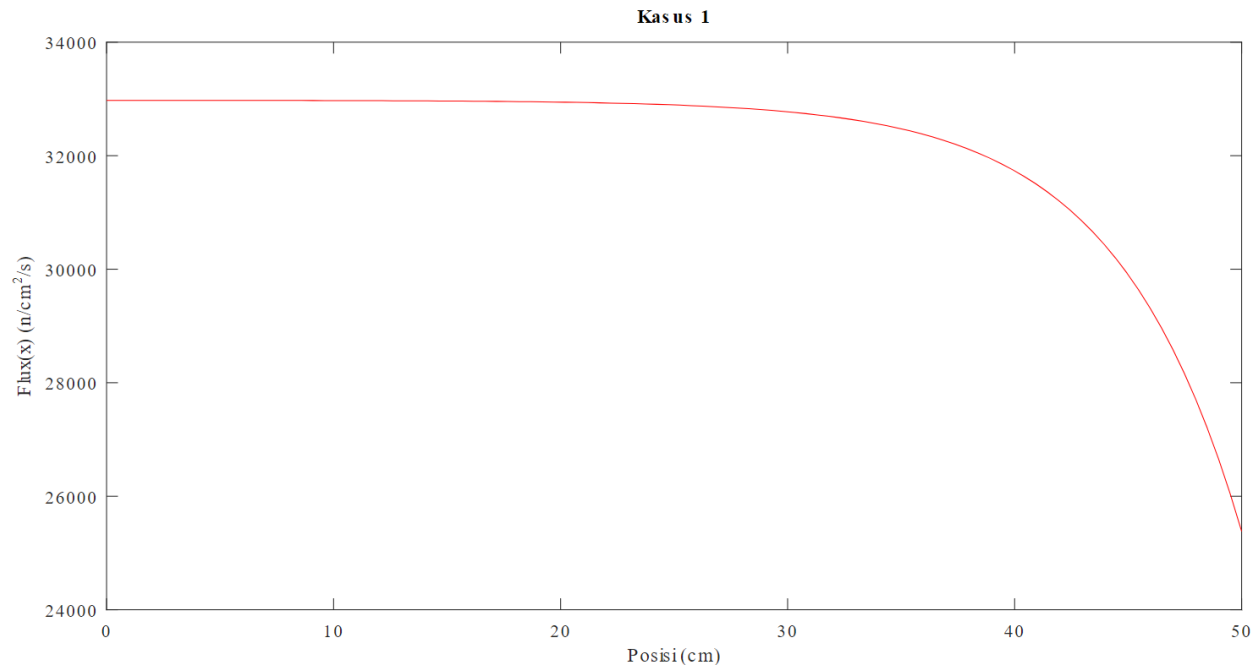
%Plot kasus 2
plot(x,yPlot1(1,:), 'r', xPlot2,yPlot2(1,:), 'b', xPlot2,yPlot2(2,:), 'g', xPlot2,
yPlot2(3,:), 'k');
hold on
legend('0 cm', '5 cm', '10 cm', '20 cm');
xlabel('Posisi (cm)');
ylabel('Flux(x) (n/cm^2/s)');
xlim([xmin xmax(2,3)]);
title('Kasus 2');
figure;

%Plot kasus 2 skala semi-log
semilogy(x,yPlot1(1,:), 'r', xPlot2,yPlot2(1,:), 'b', xPlot2,yPlot2(2,:), 'g', xPl
ot2,yPlot2(3,:), 'k');
legend('0 cm', '5 cm', '10 cm', '20 cm');
xlabel('Posisi (cm)');
ylabel('Flux(x) (n/cm^2/s)');
xlim([xmin xmax(2,3)]);
title('Kasus 2 - Semilog');
figure;

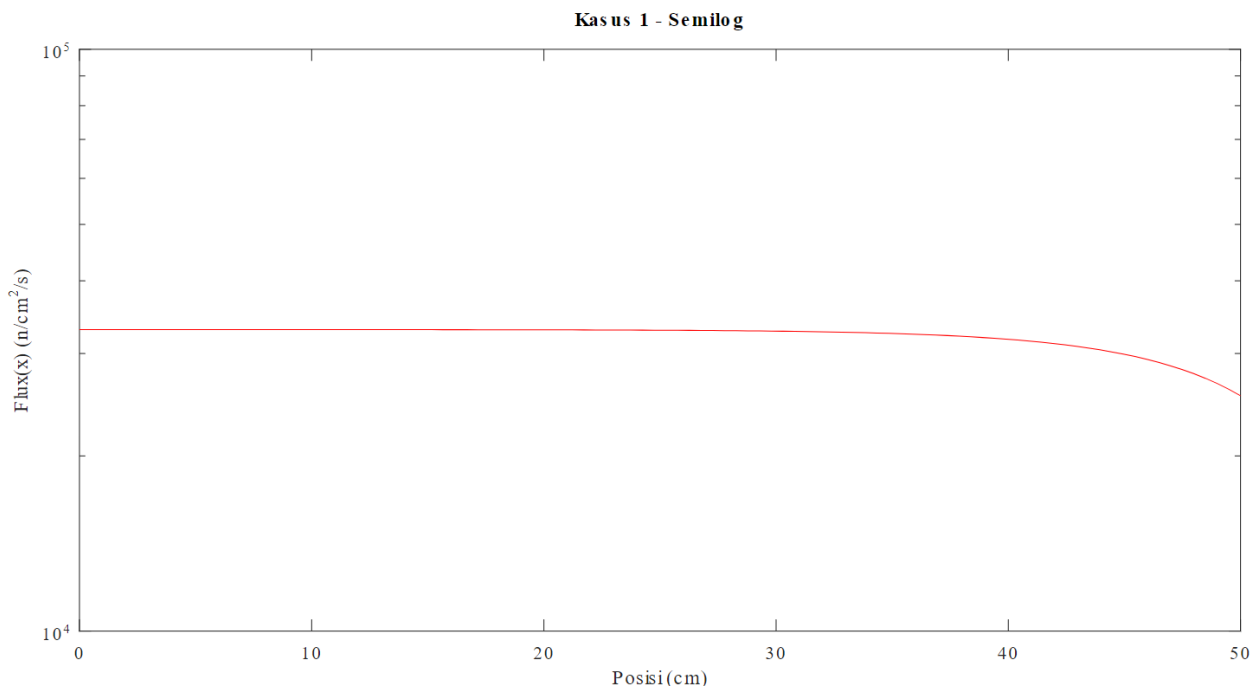
```

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

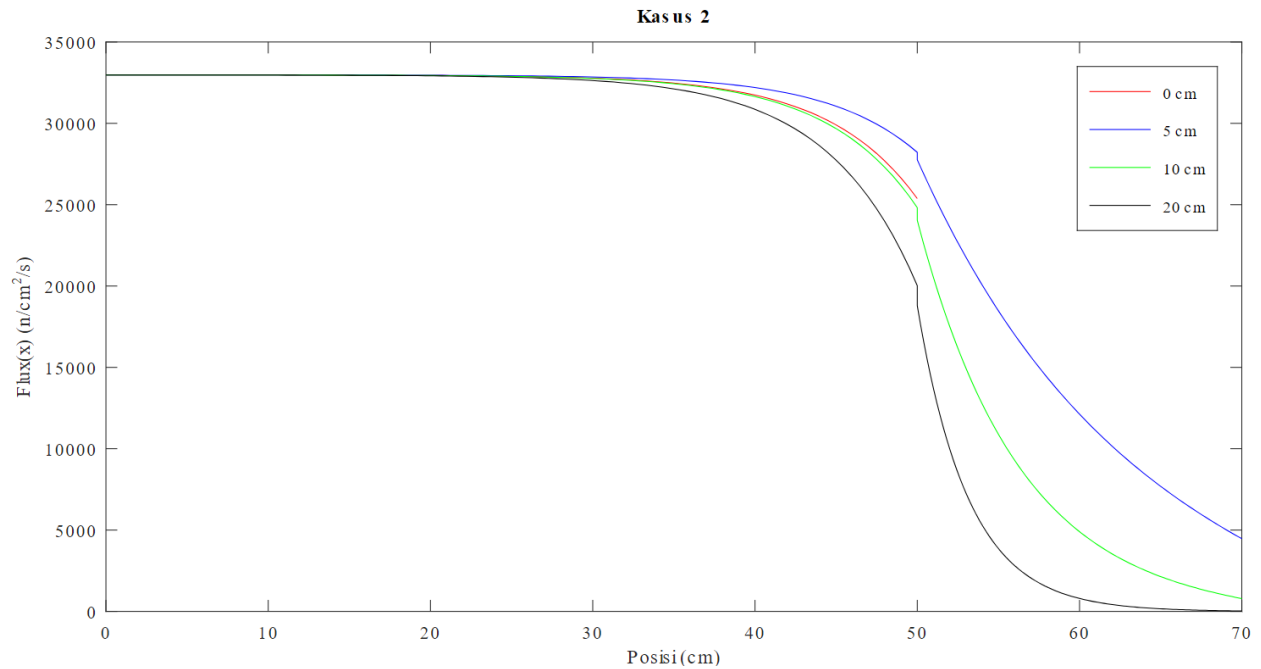
1. Hasil



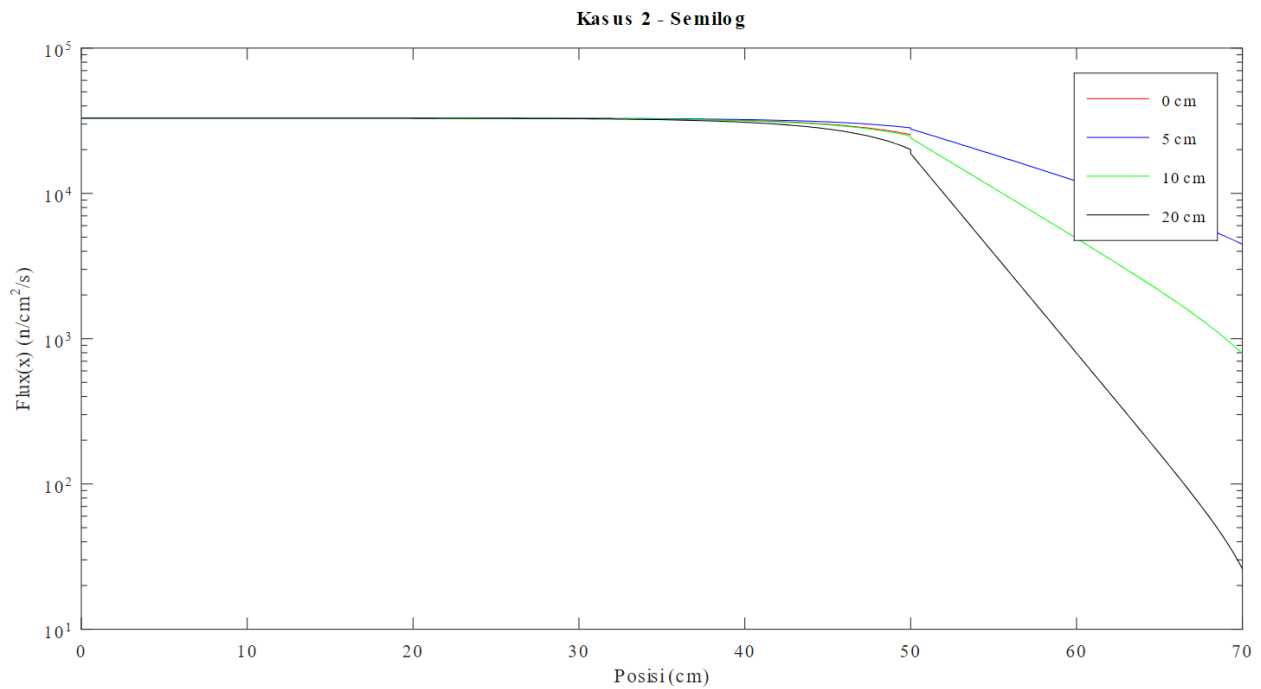
Grafik 1. Distribusi fluks neutron pada teras papan tanpa reflektor



Grafik 2. Distribusi fluks neutron pada teras papan tanpa reflektor skala semi-logaritmik



Grafik 3. Distribusi fluks neutron pada teras papan dengan variasi ketebalan reflektor



Grafik 4. Distribusi fluks neutron pada teras papan dengan variasi ketebalan reflektor skala semi-logaritmik

2. Pembahasan

Persamaan teori difusi neutron satu kelompok energi merupakan fenomena gayut waktu. Perilaku gayut waktu populasi neutron pada sistem *multiplying* akan bergantung antara rasio suku produksi neutron dengan suku-suku serapan dan bocoran. Ketika produksi neutron lebih dominan, maka populasi neutron pada teras akan bertambah. Sedangkan jika suku serapan dan bocoran yang lebih dominan, maka populasi neutron akan berkurang. Ketika reaktor dalam keadaan kritis, hasil produksi dan hilangnya neutron seimbang, maka fluks neutron akan konstan sepanjang waktu.

Untuk mendapatkan persamaan yang dapat diselesaikan secara analitik, diasumsikan reaktor dalam keadaan homogen. Hal ini mengakibatkan tampang lintang makroskopik bersifat tidak gayut terhadap ruang. Kondisi ini dapat terjadi jika material pada reaktor dicampur secara merata (homogen) atau hanya terdapat satu jenis material di reaktor tersebut. Jika dimensi dari bagian-bagian yang berbeda komposisi tersebut lebih kecil dibandingkan dengan *mean free path* neutron, reaktor dapat dianggap sebagai homogen [1].

Dari hasil simulasi, sumber neutron yang berada di pusat reaktor mengakibatkan tingginya fluks neutron di daerah sekitar sumber. Hal ini dikarenakan laju produksi neutron lebih besar dari pada laju hilang neutron. Fluks neutron akan mengalami penurunan ketika ketebalan/jari-jari dari teras reaktor ditambahkan. Penurunan fluks neutron tersebut disebabkan oleh serapan neutron oleh material teras (komposisinya, misal bahan bakar, material struktur, moderator, pendingin, batang kendali, dan sebagainya) serta probabilitas kebocoran neutron ke luar reaktor.

Penggunaan reflektor pada simulasi merupakan penerapan sistem multizona pada teras reaktor. Multizona berarti bahwa terdapat zona lain dengan komposisi material yang berbeda. Sehingga dari persamaan, nilai *buckling material* akan bervariasi di setiap zona. Reflektor pada teras reaktor berfungsi untuk menghamburkan kembali neutron ke teras, proses di material reflektor bersifat hamburan (tampang lintang hamburan material cukup tinggi). Penambahan reflektor bertujuan untuk mengurangi kebocoran neutron, sehingga nilai ekonomi neutron menjadi lebih baik.

Grafik 3 menggambarkan fluks neutron dengan ketebalan reflektor yang berbeda. Penambahan ketebalan reflektor pada simulasi menyebabkan penurunan nilai fluks neutron, yang dapat ditinjau pada daerah batas reaktor pada jari-jari 50 cm. Ketika masuk ke daerah reflektor, energi neutron akan dihamburkan oleh material reflektor, yang menyebabkan penurunan energi neutron menjadi energi termal.

Penambahan ketebalan reflektor akan mencapai nilai dimana ketebalan tersebut tidak terlalu memberikan dampak hamburan yang terlalu signifikan. Sehingga perlu dilakukan perhitungan *reflector saving* yang bertujuan untuk melakukan penghematan baik secara kompleksitas desain dan juga pembiayaan. Untuk itu kita harus memilih

reflektor yang bagus yaitu material yang memilikiampang lintang hamburan yang besar dan tampang lintang serapan yang kecil.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Persamaan teori difusi neutron satu kelompok energi merupakan fenomena gayut waktu. Perilaku gayut waktu populasi neutron pada sistem *multiplying* akan bergantung pada rasio antara suku produksi neutron dengan suku-suku serapan dan bocoran.
2. Fluks neutron akan menurun seiring dengan peningkatan jari-jari reaktor, pengurangan fluks tersebut disebabkan oleh serapan oleh material reaktor dan probabilitas kebocoran neutron ke luar.
3. Reflektor pada teras reaktor berfungsi untuk menghamburkan neutron kembali ke teras, proses di material reflektor bersifat hamburan yang bertujuan untuk mengurangi kebocoran neutron, sehingga nilai ekonomi neutron menjadi lebih baik.
4. Ketika masuk ke daerah reflektor, energi neutron akan dihamburkan oleh material reflektor, sehingga terjadi penurunan energi neutron menjadi energi termal.
5. Penambahan ketebalan reflektor pada simulasi menyebabkan penurunan nilai fluks neutron, yang dapat ditinjau pada daerah batas reaktor pada jari-jari 50 cm.

2. Saran

Saat menjalankan simulasi program, dibutuhkan waktu yang cukup lama agar diperoleh hasil plot grafik untuk persamaan difusi neutron satu grup sehingga tidak dapat dijalankan dengan optimal pada Octave Online.

Diperlukan tinjauan ulang terhadap koding yang telah dibuat khususnya syarat batas posisi pertemuan antara teras dan reflektor terkait kontinuitas flux dan arus neutron.

F. DAFTAR ACUAN

- [1] Agung, Alexander, *Diktat Kuliah : Analisis Reaktor Nuklir*, Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, 2020.