



Dokumen Pengembangan TRIAC2 (TRIso Analysis Code coupled with Fresco capabilities)

LABORATORIUM KOMPUTASI
PUSAT TEKNOLOGI DAN KESELAMATAN REAKTOR NUKLIR

Disusun oleh:
Arya Adhyaksa Waskita

Supervisor:
Dr. Eng. Topan Setiadipura

30/09/2019

Daftar Isi

Daftar Gambar	ii
Daftar Program	iii
1 Pendahuluan	2
1.1 Latar Belakang	2
2 Dasar Teori	3
2.1 Lepas an Radionuklida	3
2.2 FRESCO II	6
3 Struktur Program	9
3.1 Diagram konteks	9
3.2 Kebutuhan fungsi	9

Daftar Gambar

1.1	Aspek keselamatan reaktor nuklir	2
2.1	Ilustrasi lepasnya produk fisi dari bahan bakar <i>pebble bed</i> [1]	3
2.2	Diagram skematik reaktor temperatur tinggi [2]	4
2.3	Persebaran konsentraasi isotop tinjauan pada proses adsorpsi dan desorpsi [1]	5
2.4	Diskritisasi elemen bahan bakar	6
2.5	Diskritisasi arah radial [3]	8
3.1	Konteks level 0 dari sistem TRIAC2	9
3.2	Berkas masukan dan penjelasannya	10
3.3	Subrutin yang langsung berada di bawah FRESCO-II	10
3.4	Interaksi antara subrutin LESSEN dan subrutin lain	10
3.5	Interaksi antara subrutin ANFANG dan subrutin lain	12
3.6	Interaksi antara subrutin INSTAT dan subrutin lain	12

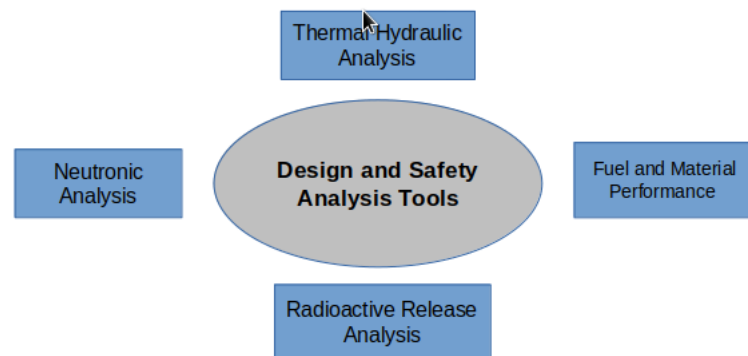
Daftar Program

BAB 1

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Analisis keselamatan reaktor nuklir melibatkan sejumlah aspek seperti diperlihatkan pada Gambar 1.1. Setelah upaya melakukan rekayasa balik terhadap PANAMA [4, 5] untuk aspek kinerja bahan bakar [6], dipandang perlu untuk melanjutkan analisis keselamatan di aspek *radioactive release*.



Gambar 1.1: Aspek keselamatan reaktor nuklir

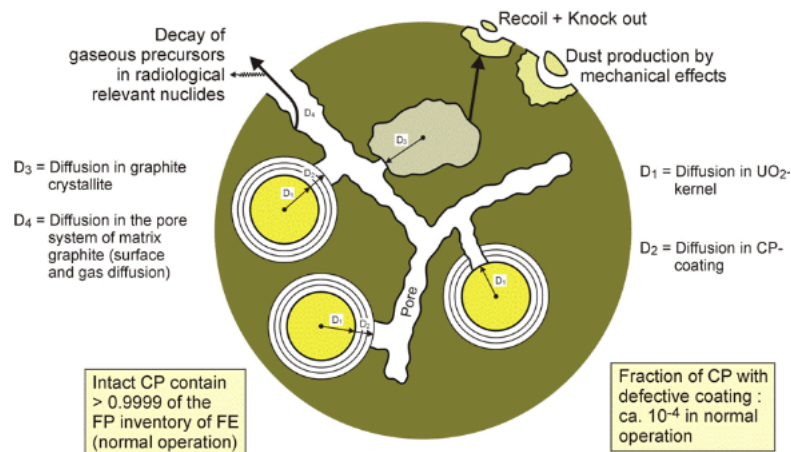
Kode komputer FRESCO [1] sebagai salah satu kode baku dalam analisis keselamatan reaktor di pelepasan radionuklida yang turut menghantarkan Jerman sebagai *center of excellent* pada penelitian tersebut.

BAB 2

Dasar Teori

2.1 Lepasannya Radionuklida

Fenomena pelepasan radionuklida yang dimodelkan oleh FRESCO adalah lepasnya produk fisi dari sebuah bahan bakar *pebble bed*. Fenomena tersebut dapat diilustrasikan pada Gambar 2.1. Lingkaran kuning yang terlihat di Gambar 2.1 adalah partikel TRISO yang telah dikembangkan sebelumnya dalam TRIAC [6]. Sedangkan lingkaran besar yang melingkupi partikel TRISO adalah bahan bakar *pebble bed*.

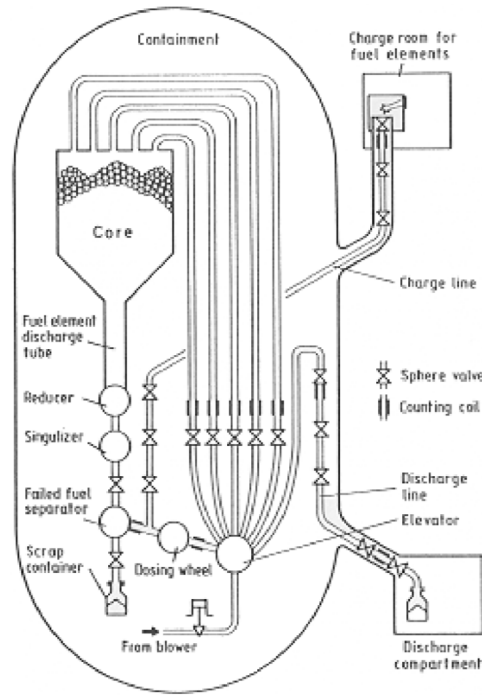


Gambar 2.1: Ilustrasi lepasnya produk fisi dari bahan bakar *pebble bed* [1]

Hasil analisis yang diharapkan adalah lepasnya radionuklida tersebut dari gedung reaktor yang diagram skematiknya diilustrasikan pada Gambar 2.2. Jika peluang terlepasnya radionuklida tersebut rendah, maka semakin rendah pula peluang terlepasnya radionuklida tersebut ke lingkungan. Hal ini dipengaruhi sejumlah penghalang yang ada di reaktor sebelum radionuklida tersebut terlepas ke lingkungan. Dan jika memang dapat terlepas sampai ke lingkungan, maka radionuklida tersebut telah mengalami peluruhan aktivitas dengan tingkat yang berbeda, tergantung jenis radionuklidanya [7].

Jumlah radionuklida produk fisi dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.1 [1]

$$\frac{dN}{dt} = \sum_{i=1}^n Y_i f_i - \lambda N \quad (2.1)$$



Gambar 2.2: Diagram skematik reaktor temperatur tinggi [2]

Dengan waktu paruh dari setiap isotop dinyatakan sebagai persamaan 2.2

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (2.2)$$

Dengan mengabaikan faktor prekursor serta penyerapan neutron yang terjadi, ketika nilai fisi yang terjadi mendekati konstan, maka aktifitas produk fisi dapat dinyatakan sebagai persamaan 2.3 [7]

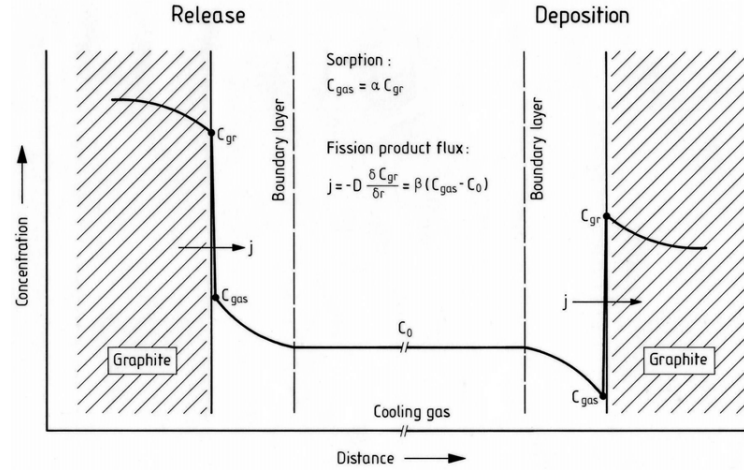
$$A = \lambda N = \sum_{i=1}^n Y_i f_i (1 - \exp^{-\lambda t}) \quad (2.3)$$

Pada produk fisi yang memiliki waktu paruh pendek, kesetimbangan aktifitas dapat diperoleh secara cepat dan dapat diformulasikan sebagai persamaan 2.4 [1].

$$A = \sum_{i=1}^n Y_i f_i \quad (2.4)$$

Berikut adalah definisi dari simbol yang ada di persamaan 2.1 - 2.4.

- N : jumlah atom produk fisi ($\frac{\text{atom}}{\text{barn.cm}}$)
- $Y - i$: hasil fisi
- F_i : laju fisi (s^{-1})
- n : jumlah isotop waktu ke- n
- λ : konstanta peluruhan (s^{-1})
- A : aktifitas produk fisi (Bq)



Gambar 2.3: Persebaran konsentraasi isotop tinjauan pada proses adsorpsi dan desorpsi [1]

- t : waktu (s)

Dalam kondisi operasi (normal atau tidak), energi kinetik dalam reaktor berada pada keadaan tinggi. Produk fisi yang lahir akan bergerak pada jarak tertentu antara *buffer* dan pelapis kernel. Hal ini menyebabkan beberapa produk fisi yang terbentuk di permukaan kernel akan bergerak dan berkumpul di daerah *buffer*. Fenomena ini dikenal sebagai *recoil effect* yang dapat dihitung dengan persamaan 2.5 [7].

$$F_{recoil} = \frac{\int_{r_0-R}^R \frac{2Rr - (r_0^2 - R^2) + r^2}{4Rr}}{\frac{4\pi r_0^3}{3}} \quad (2.5)$$

Persamaan 2.5 dapat dituliskan sebagai persamaan 2.6 [7]

$$F_{recoil} = \frac{3}{4} \frac{r}{r_0} \left[1 - \frac{1}{12} \left(\frac{R}{r_0} \right)^2 \right] \quad (2.6)$$

Sedangkan simbol pada persamaan 2.5 dan 2.6 adalah sebagai berikut.

- F_{recoil} : fraksi isotop ke daerah *buffer* ($\frac{matrix}{grain}$)
- r_0 : radius kernel (m)
- R : jarak *recoil* (m)

Pada bagian batas antara bahan bakar dan *coolant*, terdapat transisi yang terjadi pada atom yang diakibatkan oleh proses adsorpsi dan desorpsi (evaporasi). Kedua proses ini berbeda satu dengan yang lainnya dan dinamakan sebagai efek sorpsi. Sebaran konsentrasi isotop pada proses adsorpsi dan desorpsi diilustrasikan pada Gambar 2.3.

Efek sorpsi sangat tergantung pada nuklida yang ditinjau pada *bulk* dan *coolant*, kondisi termodinamika yang dialami, dan tipe dari grafit yang digunakan. Selain itu, kecepatan *coolant* (*mass flow rate*) memiliki dampak pada efek sorpsi. Pada komponen bahan bakar, terdapat komponen yang dinamakan sebagai *coked phenolic resin binder*. Komponen tersebut memiliki karakteristik nilai kapasitas sorpsi yang tinggi untuk Cs (cesium) dan Sr (stronsium), tetapi rendah untuk Ag (silver) dan I (iod). Sedangkan kapasitas sorpsi dari I berbanding terbalik dengan nilai temperatur [7].

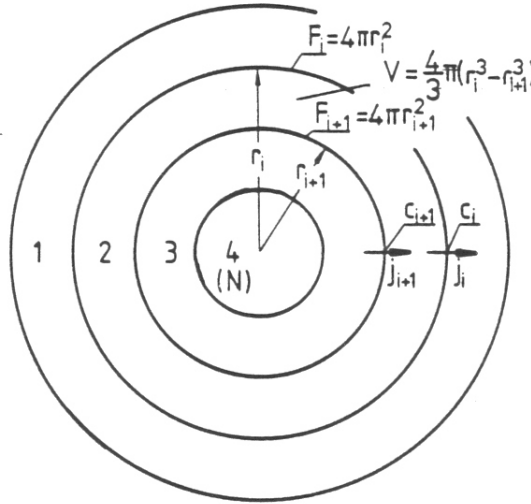
2.2 FRESCO II

Dalam FRESCO-II terdapat 35 subrutin yang dapat dikelompokkan menjadi tiga, yang masing-masing adalah data masukan, perhitungan fisis dan solusi. Yang dimaksud dengan perhitungan fisis adalah perhitungan berdasarkan sifat fisis dari fenomena yang terjadi. Sedangkan subrutin solusi adalah subrutin yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan linier dalam bentuk matriks dan interpolasi data [7].

Prosedur kalkulasi didalam tiap waktu tinjauan dilakukan dengan dua bagian, yaitu kalkulasi *diffusive release* dari partikel *intact* dan *devector* dari *graphite grain* yang terkonduksi. Jumlah dari semua keluaran produk fisi akan dihitung sebagai total sumber yang akan berpengaruh terhadap kalkulasi matriks *graphite* [1], Bagian yang kedua akan mengkalkulasi *diffusive transport* pada bagian batas *graphite grain* melalui matriks dan lepasan oleh desorpsi dari permukaan *fuel sphere (microsphere)* ke arah *coolant*.

Terdapat beberapa asumsi yang digunakan oleh FRESCO II. Salah satu kalkulasi sederhana yang digunakan adalah setiap radionuklida yang akan dihitung diasumsikan sama seperti produk fisi yang berarti tinjauannya hanya pada pada waktu paruhnya saja pada fluks konstan [7].

Perhitungan model difusi yang digunakan didasarkan pada solusi numerik dari hukum Fick untuk tinjauan *transport* produk fisi yang terjadi pada kernel, layer pelapis, dan grafit matriks dari elemen bahan bakar sebagai fungsi yang bergantung pada temperature tiap waktu [1]. Solusi numerik diperoleh dari persamaan diferensial difusi pada koordinat bola. Bola tinjauan akan dibagi oleh N kulit bola yang berarti terdapat N bagian volume bernilai V_i dengan nilai koefisien difusi yang dinyatakan sebagai D_i , dimana $i = 1, \dots, N$, dan sumber fisi konstan Q , skema dapat dilihat pada Gambar 2.4. Konsentrasi pada tiap bagian dianggap sama terkecuali pada posisi tengah atau $i = N$.



Gambar 2.4: Diskritisasi elemen bahan bakar

Pada bagian tengah yang memiliki sumber, berlaku persamaan konsentrasi yang didapat secara kuadrat mengikuti persamaan 2.7.

$$C = C_N - 2 \frac{C_{N+1} - C_N}{r_N} (r - r_N) - \frac{C_{N+1} - C_N}{r_N^2} (r - r_N)^2 \quad (2.7)$$

Kemudian, laju massa produk fisinya mengikuti persamaan 2.8.

$$j = -2D_N \frac{C_{N+1} - C_N}{-r_N} \quad (2.8)$$

Untuk bagian lain (selain bagian tengah) di mana $i \neq N$, berlaku persamaan 2.9 dan laju massa produk fisinya mengikuti persamaan 2.10.

$$C = C_i + \frac{C_{i+1} - C_i}{r_{i+1} - r_i} (r - r_i) \quad (2.9)$$

$$j = -D_i \frac{C_{i+1} - C_i}{r_{i+1} - r_i} \quad (2.10)$$

Setelah dilakukan kalkulasi produk fisi dengan tinjauan diskrit pada daerah yang ditentukan, penentuan massa rata-rata produk fisi pada elemen volume V_i dinyatakan sebagai persamaan 2.11.

$$\frac{d}{dt} \int_{V_i} c dV = QV_i - \lambda \int_{V_i} -j_i F_i + j_{i+1} F_{i+1} \quad (2.11)$$

Sedangkan simbol-simbil yang digunakan pada persamaan 2.7-2.11 memiliki makna berikut.

- c : konsentrasi ($\frac{mMol}{kg}$)
- r : jari-jari tinjauan (m)
- r_i : jari-jari kulit ke- i
- j : laju massa produk fisi ($\frac{mMol}{s.kg}$)
- D_i : konstanta difusi pada kulit ke- i ($\frac{m^2}{s}$)
- F : fraksi lepasan
- t : waktu(s)

Dengan mengasumsikan bahwa konsentrasi dari produk fisi yang dihasilkan hanya bergantung pada arah radial, maka persamaan umumnya dapat dinyatakan sebagai persamaan 2.12.

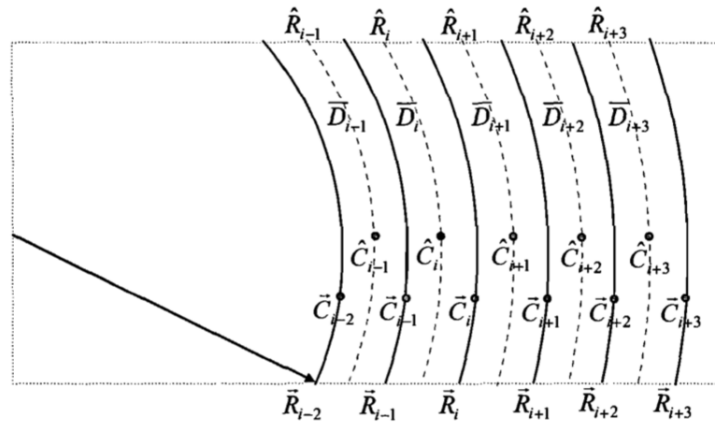
$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \left[D(r) \frac{\partial c}{\partial r} \right] \right] + w(r) - \lambda c \quad (2.12)$$

Jika dilakukan pembagian daerah seperti yang digambarkan pada Gambar 2.5, persamaan 2.12 akan menjadi persamaan 2.13 [3].

$$\frac{\partial \hat{c}_i}{\partial t} = \frac{1}{\hat{R}_i^2} \frac{\left[\vec{R}_i^2 \left[D_i \left| \frac{\partial c}{\partial r} \right| \right] - \vec{R}_{i-1}^2 \left[D_{i-1} \left| \frac{\partial c}{\partial r} \right| \right] \right]}{\vec{R}_i - \vec{R}_{i-1}} \quad (2.13)$$

dengan:

- \hat{c} : konsentrasi pada daerah tengah elemen partisi ($\frac{mMol}{kg}$)
- \hat{R} : jari-jari \hat{c} tinjauan m
- r_i : jari-jari kulit ke- i (m)



Gambar 2.5: Diskritisasi arah radial [3]

- \vec{R} : jari-jari tinjauan elemen ke- i (m)
- D_i : konstanta difusi pada kulit ke- i ($\frac{m^2}{s}$)
- w_i : rata-rata densitas produk fisi pada daerah partisi ke- i

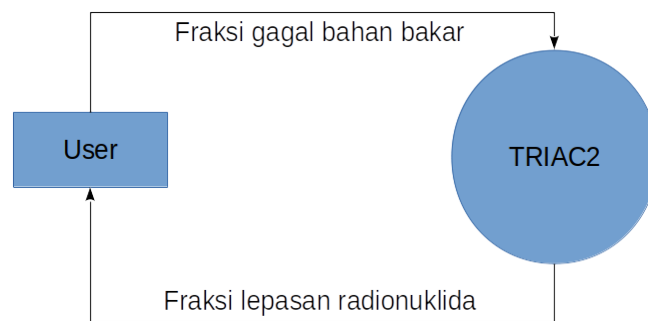
Dari persamaan 2.13 dapat dibentuk matriks yang berbentuk matriks tridiagonal dan penyelesaiannya dapat dilakukan menggunakan metode gauss atau metode LU.

BAB 3

Struktur Program

3.1 Diagram konteks

Sistem yang akan dikembangkan memiliki diagram konteks level 0 seperti pada Gambar 3.1. Triac2 akan menerima masukan berupa fraksi gagal bahan bakar dan menghasilkan fraksi lepasan radionuklida.



Gambar 3.1: Konteks level 0 dari sistem TRIAC2

3.2 Kebutuhan fungsi

Seperti yang telah dijelaskan FRESCO II menggunakan 3 jenis sub rutin, yang masing-masing bertujuan untuk mengelola berkas masukan, melakukan perhitungan fenomena fisi serta penyelesaian persamaan matriks. Berkas masukan FRESCO II sendiri berikut penjelasannya dapat diilustrasikan pada Gambar 3.2. Sehingga kebutuhan pertama yang harus dimiliki TRIAC2 adalah kemampuan untuk membaca data tersebut untuk selanjutnya dihi-tung.

Selanjutnya, FRESCO II akan menghasilkan sejumlah nilai berikut. Fungsi-fungsi tersebut akan dijalankan oleh subrutin yang bertugas melakukan kalkulasi fenomena fisi

1. Fraksi lepasan dan rerata fraksi gagal untuk seluruh partikel *pebbel bed*
2. Inventarisasi produk fisi pada seluruh partikel
3. Inventarisasi produk fisi pada *coated particle* (partikel triso)
4. Jumlah produk fisi yang lepas

1	1	==> 1.1 Fission Product Species (col 1-4) : 1 = Cesium-137, 2 = Strontium-90, 3 =
2	CESIUM RELEASE FROM SPHERICAL FUEL ELEMENT	==> 2.1 Headline (col 1-60)
3	DURING NORMAL OPERATION AND CORE HEATUP ACCIDENT	==> 2.2 Headline (col 1-60)
4		==> 2.3 Headline (col 1-60)
5		==> 2.4 Headline (col 1-60)
6	121098240.121746240.	==> 3.1 Time Step Control (col 1-10) (col 11-20) real*8 TE(5) ; TE(i) is a
7	3.6 E+4 3.6 E+2	==> 3.2 Time Step Control (col 21-30) (col 31-40) real*8 DT(5) ; DT(i) are t
8	3.6 E+5 3.6 E+3	==> 3.3 Time Step Control (col 41-50) real*8 DTOUT(5) ; DTOUT(i) are
9	200	==> 4.1 Output Control [IOPT (1) ... IOPT(15)]
10	1 1	==> 4.2 Output Control [IOPT(16) ... IOPT(20)]
11	0 01 0 0	==> 4.3 Output Control [(1-4 IOPTFL), (5-8 IFFLOT), (9-12 IFRISO), (13-16 IFRICN)]
12	2.5 3.0	==> 5.1 Geometry [(1-10 RBE(1) ... (41-50 RBE(5))] RBE(i) is the outer radius of the
13	9 20	==> 5.2 Geometry [(1-4 NRB(1) ... (16-20 NRB(5))] NRB(i) is the number of knots in s
14	16350.0 1401.6 180. 3.0	==> 5.3 Geometry [(1-10 PRAHLO), (11-20 ZEITOD), (21-30 XNO), (31-40 ZEITPR), (41-5
15	250. E-4 345. E-4 385. E-4 420. E-4 460.0 E-4	==> 5.4 Geometry [(1-10 RCP(1)), ..., (41-50 RCP(5))]
16	5. E-4	==> 5.5 Geometry [(1-10 RPOBN)]
17	39 39 39 39 39	==> 5.6 Geometry [(1-4 NRC(1)) ... (16-20 NRC(5))]
18	5	==> 5.7 Geometry [(1-4 NRG), (5-8 IFRE)]
19	1.0 E-10 1.0 E-07 1.0 E-03 1.0 E-04 1.0 E-06 1.0 E-06	==> 6.1 Heavy Metal Contamination [(1-10 UKONGR), (11-20 UKONGP), (21-30 UKONTF(2))]
20	3.6 E-00 189.E+03	==> 7.1 Transport Data [(1-10 DQG), (11-20 AKG), (21-30 FQG), (31-40 FQPK), (41-50 FQPF
21	1.0 E+00 0.	==> 7.2 Transport Data [(1-10 DQK), (11-20 AKK), (21-30 FQKK)]
22	0. E-05 1. E-08 6.3 E-04 0. 6.3 E-04	==> 7.3 Transport Data [(1-10 DQP(1)) ... (41-50 DQP(5))]
23	0.E+03 0. 222. E+03 0.E+03 222.E+03	==> 7.4 Transport Data [(1-10 AKP(1)) ... (41-50 AKP(5))]
24	0.0 E-04 0.0 E-04 0.0 E-04	==> 8.1 Recoll [(1-10 RECFER), (11-20 RECFVC), (21-30 RECFRA)]
25	21.94 -44093. 1.13 -1	==> 9.1 Sorption Isotherms [(1-10 ACI), (11-20 BCI), (21-30 CGRENC), (31-40 IFADC), (41
26	22.11 -44543. -1.3689 3683.	==> 9.2 Sorption Isotherms [(1-10 ANCI), (11-20 BNCI), (21-30 ENCI), (41-50 FNCI)]
27	0. 0.	==> 10.1 Nuclear Data [(1-10 AINVI), (11-20 ZERFK)]
28		

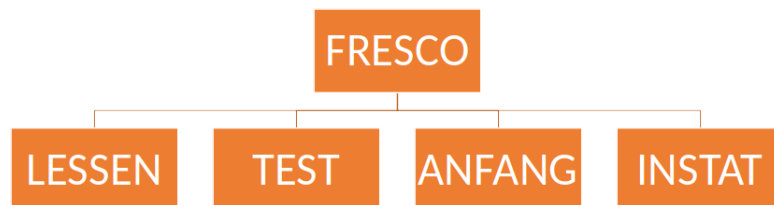
Gambar 3.2: Berkas masukan dan penjelasannya

5. Laju lepasan ($\frac{1}{s}$)

Dalam FRESCO II, kalkulasi fenomena fisis diterapkan dalam sejumlah subrutin yang dijelaskan pada Tabel 3.1.

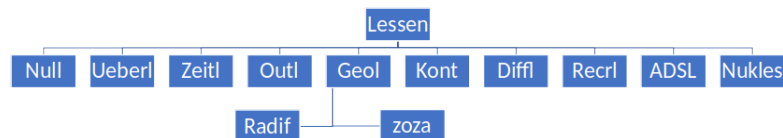
Kebutuhan fungsi yang ketiga adalah penyelesaian persamaan matriks, dalam hal ini adalah metode eliminasi gauss. Penyelesaian persamaan matriks akan menjadi bagian dari fungsi kalkulasi fenomena fisis. Dalam FRESCO-II, kebutuhan tersebut diterapkan melalui subrutin berikut, seperti dijelaskan dalam Tabel 3.2.

Hubungan saling keterkaitan antar subrutin yang dijelaskan pada Tabel 3.1 dan 3.2 dijelaskan pada sejumlah gambar berikut. Gambar 3.3 mengilustrasikan subrutin yang langsung berada di bawah FRESCO-II.



Gambar 3.3: Subrutin yang langsung berada di bawah FRESCO-II

Selanjutnya, subrutin LESSEN akan berhubungan dengan subrutin lainnya seperti dijelaskan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4: Interaksi antara subrutin LESSEN dan subrutin lain

Subrutin ANFANG berinteraksi dengan subrutin berikut seperti dijelaskan pada Gambar 3.5.

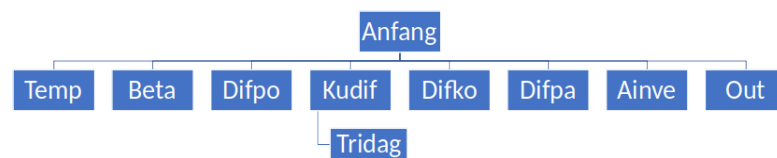
Sedangkan interaksi antara subrutin INSTAT dan subrutin pendukung lainnya dijelaskan pada Gambar 3.6

Tabel 3.1: Daftar fungsi dan subrutin pada FRESKO-II

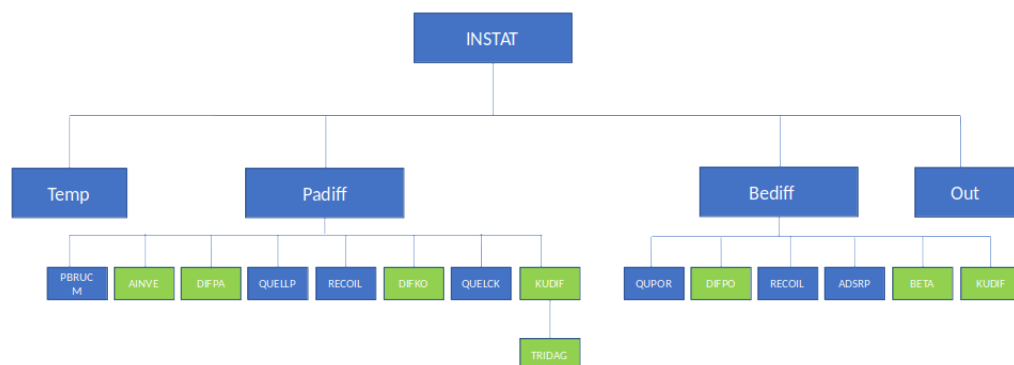
Fungsi / Subrutin	Deskripsi
ANFANG	Tetapkan profil konsentrasi pada awal kecelakaan
BEDIFF (FREICP, CGM)	Perhitungan transportasi produk fisi dalam grafit
BRUCHP (PZAHLO, IFJN)	Lepasan dari partisi partikel yang rusak
INSTAT	Perhitungan pelepasan produk fisi keadaan <i>unsteady</i>
KUDIF (N, R, DTI, UEZ, DI, Q, ZERFK, T0, T, GES)	Integrasi numerik difusi produk fisi untuk bahan bakar bola untuk satu langkah waktu
PADIFF (FREI, C00)	Perhitungan difusi produk fisi dari partikel dan dari butiran grafit (recoil diperhitungkan dalam fungsi sumber)
RADIF (R, N, R2, N1, N2)	Partisi bola dalam zona untuk perhitungan difusi
RECOIL (Q, RCFRPK, RCFRP)	Perhitungan pelepasan recoil dari kernel, partikel, dan elemen bahan bakar.
SICOR (TT)	Perhitungan penipisan lapisan SiC karena korosi
ZOZA (R, N)	Penentuan jumlah zona dengan data transportasi berbeda
ADSORP (T,C)	Perhitungan rasio antara konsentrasi lapisan batas dan konsentrasi permukaan dari isotherm sorpsi untuk grafit A3 Matriks
AINVE (R, C, N1, N2)	Integrasi konsentrasi dalam cangkang bola antara posisi N_1 dan N_2 (profil linier di antaranya)
BETA (V, P, T)	Koefisien perpindahan massa pada grafit batas / helium
DIFKO(T)	Koefisien difusi untuk butiran grafit
DIFPA (T, I)	Koefisien difusi. Untuk kernel dan lapisan partikel. I: jumlah zona partikel, 1 = pusat.
DIFPAD (T,I)	Koefisien difusi. untuk kernel partikel cacat CP. I: jumlah zona partikel, 1 = pusat.
DIFPO (T,I)	Koefisien difusi. Dalam pori-pori grafit, I: jumlah zona grafit, 1 = tengah.
PBRUCH (ZEIT,TEMPER)	Fungsi kegagalan partikel
QUELLK (ZEIT)	Fungsi bergantung waktu dan lokasi untuk sumber produk fisi dalam butir grafit
QUELLP (I)	Fungsi bergantung waktu dan lokasi untuk sumber produk fisi dalam partikel
QUPOR (ZEIT)	Fungsi bergantung waktu dan lokasi untuk sumber produk fisi dalam pori-pori grafit.
TEMP (ZEIT)	Suhu elemen bahan bakar

Tabel 3.2: Daftar fungsi dan subrutin pada FRESCO-II

Fungsi / Subrutin	Deskripsi
TRIDAG (N, A, B, C, D, T)	Solusi sistem persamaan tridiagonal menggunakan prosedur eliminasi gauss
POLAT (X, X1, X2, Y1, Y2)	Interpolasi linier



Gambar 3.5: Interaksi antara subrutin ANFANG dan subrutin lain



Gambar 3.6: Interaksi antara subrutin INSTAT dan subrutin lain

Daftar Referensi

- [1] K. Verfondern and H. Nabielek, “Fresco-ii verification and validation,” J Tech. Rep., 2012.
- [2] A. C. Kadak, “A future for nuclear energy: pebble bed reactors,” *Int. J. Critical Infrastructures*, vol. 1, no. 4, 2005.
- [3] J. Keshaw, “Reverse engineering of getter a fission product release code for pbmr,” Master’s thesis, Potchefstroom campus, Northwest University, 2007.
- [4] K. Verfondern and H. Nabielek, “The mathematical basis of the panama-i code for modelling pressure vessel failure of triso coated particles under accident conditions,” Julich Research Center, Germany, Tech. Rep., 1990.
- [5] K. Verfondern, J. Cao, T. Liu, and H.-J. Allelein, “Conclusions from v&v studies on the german codes panama and fresco for htgr fuel performance and fission product release,” *Nuclear Engineering and Design*, vol. 271, pp. 84 – 91, 2014, sI : HTR 2012. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029549313005992>
- [6] A. A. Waskita and T. Setiadipura, “The development of TRIAC-BATAN: a triso fuel performance analysis code,” vol. 1198, no. 2. IOP Publishing, apr 2019, p. 022035. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088%2F1742-6596%2F1198%2F2%2F022035>
- [7] B. E. Bari, “Analisis dasar subroutine kalkulasi konsentrasi produk fisi pada program fresco-ii,” PTKRN - BATAN, Tech. Rep., 2018, laporan Kerja Praktik.