

PENGEMBANGAN PAKET PROGRAM KOMPUTER PEMANTAUAN RADIASI GAMA DI SEKITAR FASILITAS NUKLIR

Yus R. Akhmad
Pudjijanto MS.

ABSTRAK

PENGEMBANGAN PAKET PROGRAM KOMPUTER PEMANTAUAN RADIASI GAMA DI SEKITAR FASILITAS NUKLIR. Paket program komputer untuk pemantauan radiasi gama di sekitar fasilitas nuklir telah dikembangkan sehingga dapat dicangkokkan pada portable gama analyzer yang tersedia secara komersial. Tahap paling penting dari kegiatan pada tahun pertama telah berhasil dilewati; yaitu bahwa paket program telah dicoba dan berhasil mentransfer file data (distribusi tinggi pulsa) dari luaran spektrometer MicroNOMAD (produk ORTEC) kemudian mengolahnya menjadi data besaran dosimetri dan fisika. Paket program ini diberi nama GABATAN (Gamma Analyzer of Batan) dan NAGABAT (Natural Gamma Analyzer of Batan). Program GABATAN dapat digunakan di berbagai fasilitas nuklir untuk menganalisis medan foton gama sampai energi 9 MeV. Sedangkan program NAGABAT digunakan untuk menganalisis sumbangan foton gama alam terhadap laju paparan di suatu lokasi.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF THE COMPUTER CODE TO MONITOR GAMMA RADIATION IN THE NUCLEAR FACILITY ENVIRONMENT. Computer codes for gamma radiation monitoring in the vicinity of nuclear facility which have been developed could be introduced to the commercial portable gama analyzer. The crucial stage of the first year activity was succeeded; that is the codes have been tested to transfer data file (pulse high distribution) from MicroNOMAD gamma spectrometer (ORTEC product) and to convert them into dosemetry and physics quantities. Those computer codes are called as GABATAN (Gamma Analyzer of Batan) and NAGABAT (Natural Gamma Analyzer of Batan). GABATAN code can isable to used at various nuclear facilities for analyzing gamma field up to 9 MeV, while NAGABAT could be used for analyzing the contribution of natural gamma rays to the exposure rate in the certain location.

PENDAHULUAN

Untuk memenuhi kebutuhan praktek keselamatan kerja radiasi, perlu diupayakan penyediaan / penguasaan teknik pengukuran yang andal. Penerapan metoda matrik respon untuk menganalisis medan radiasi gama dari hasil pengukuran dengan spektrometer gama yang menggunakan detektor sintilasi NaI(Tl) telah lama diusulkan oleh peneliti terdahulu^{1,2,3)}. Dengan cara ini distribusi fluks (spektrum energi) di lokasi detektor dapat ditentukan melalui prosedur matematik, dikenal dengan istilah *unfolding*, yang dikenakan kepada distribusi tinggi pulsa terhadap salur. Dari data fluks ini dapat dihitung berbagai besaran lain seperti laju paparan, energi merata, laju dosis

serap di berbagai media, dan lain lain.

Dalam perkembangannya, walaupun teknik ini andal untuk mengkarakterisasi medan radiasi gama, tetapi pada masa lalu tidak umum untuk penggunaan survei rutin di lapangan karena memerlukan peralatan yang tidak praktis. Pada saat ini, dengan pesatnya perkembangan teknologi komputer dan elektronika, maka sudah memungkinkan untuk penyederhanaannya sehingga teknik ini dapat dikembangkan dan melengkapi peralatan survei. *Multichannel analyzer* (MCA) dan komputer pribadi (PC) berukuran kecil (*portable*) sudah tersedia secara komersial. Oleh karena itu di PRSG metoda matrik respon dikembangkan guna melengkapi peralatan pengawasan maupun penelitian.

Proses keluarnya (mengalirnya) energi kalor dari dinding pipa berlangsung secara konduksi melalui ketebalan dan lapisan pipa, kombinasi konveksi alam dan radiasi panas pada udara di luar pipa. Adapun konveksi alam terjadi oleh panasnya udara dekat dinding pipa yang kemudian densitasnya turun, udara panas naik berpindah serta ditempati oleh udara lain dan seterusnya. Kondisi perpindahan kalor semacam ini dapat diselesaikan dengan metoda yang dikemukakan oleh *Heilmann* dengan bantuan korelasi empiris.

Tujuan

Berdasarkan uraian dalam pendahuluan di atas, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung jumlah energi kalor yang hilang di sepanjang pipa pendingin primer RSG-GAS, dengan demikian dapat memberikan informasi besarnya deviasi pengukuran daya secara kalorimetri. Di masa mendatang hasil perhitungan ini dapat diaplikasikan dalam analisis termal pada kondisi tunak sistem *loop* pendingin primer.

TEORI

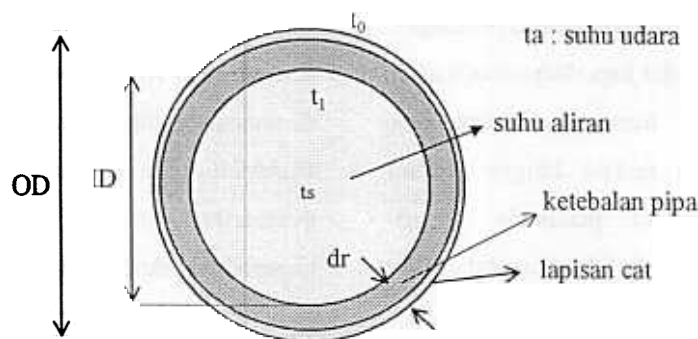
Besaran suhu di luar dinding pipa (di udara) tidak hanya tergantung pada resistansi permukaan kalor saja, tapi juga pengaruh

fenomena pendinginan udara di sekelilingnya yang mengambil kalor dari permukaan luar pipa.

Kalor yang mengalir dari dalam suatu pipa silinder, luas permukaan perpindahan kalornya adalah perkalian diameter pipa dengan panjang pipa yang dinyatakan dengan $(2r) \pi L$ dan gradien suhunya merupakan inkremen panjang dr sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1. Pada gambar tersebut, tampak bahwa pipa diisolasi atau dilapis dan membawa aliran air kalor pada suhu t_s dan suhu udara di luar t_a . Perbedaan suhu total antara suhu aliran di dalam pipa dengan suhu udara di luar pipa adalah $t_s -$

Resistan aliran kalor, terjadi melalui lapisan-lapisan sebagai berikut :

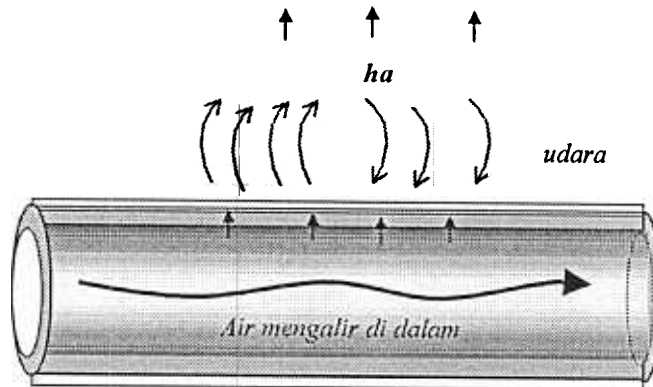
1. Resistan aliran kalor dari permukaan pipa bagian dalam melalui ketebalan pipa menuju permukaan pipa bagian luar
2. Resistan lapisan cat pada dinding luar pipa, biasanya sangat kecil karena ketebalan cat sangat tipis, jadi besarnya t_1 dan t_0 mendekati sama
3. Resistan dari bahan isolasi. (dalam kasus pipa pendingin primer RSG-GAS, resistansi ini tidak diisolasi)
4. Resistan sekeliling udara yang mengambil kalor dari permukaan luar pipa.



Gambar 1. Penampang Pipa.

Akhirnya terlihat bahwa pelepasan energi kalor dipengaruhi oleh konveksi alam dan radiasi kalor yang terjadi karena perbedaan suhu antara permukaan luar pipa dengan suhu udara luar. Perpindahan kalor secara konveksi alam terjadi oleh terpanaskannya udara yang dekat

dengan dinding pipa yang kemudian densitasnya turun. Udara panas naik lalu ditempati oleh udara yang tidak panas dan seterusnya seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Perpindahan Kalor Konduksi, Konveksi Dan Radiasi.

Pengaruh gabungan konveksi alam dan radiasi kalor tidak dapat diselesaikan oleh resistansi pada persamaan perpindahan kalor konvensional seperti ini,

$$Ra = La / (ka A) \dots\dots\dots (1)$$

di mana,

- Ra : resistansi udara
- Ka : konduktivitas termal udara
- A : luas perpindahan kalor
- La : Panjang lintasan.

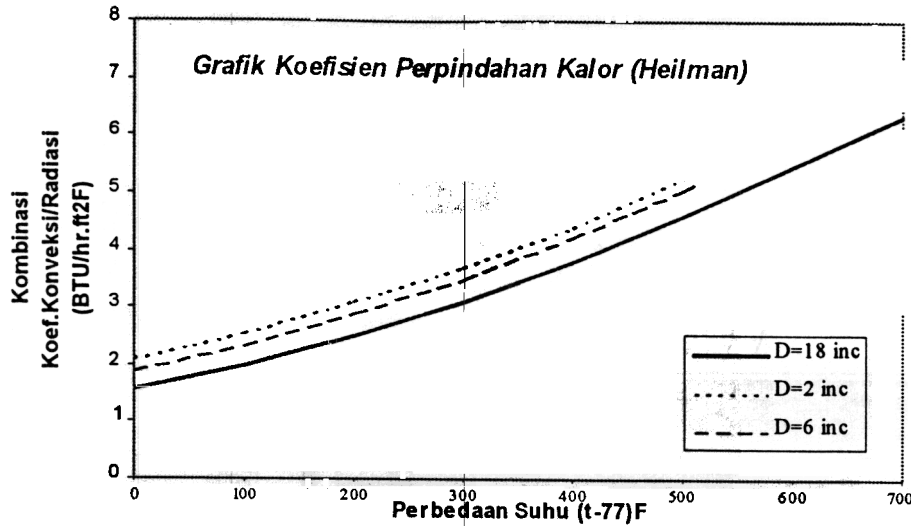
Hal ini disebabkan oleh karena La di udara tidak terdefinisi (tidak dapat ditentukan panjangnya) dan pengaruh udara ini juga sekaligus ditambahkan dengan perpindahan kalor oleh radiasi kalor. Secara eksperimen, perbedaan suhu antara dinding pipa dengan udara sekeliling ini bisa diketahui dengan cara mengukur suhu-suhu antara permukaan luar pipa dan suhu udara tersebut.

Dengan menggunakan besaran Q, A dan dt maka kombinasi resistansi kedua pengaruh

tersebut di atas dapat diperoleh sebagai dt/dQ . Aliran kalor dari pipa yang mempengaruhi udara di luar pipa yang biasa disebut *heat loss*, diperhitungkan sebagai satuan besaran konduktansi k/L ($\text{Watt/m}^2 \text{ external surface } ^\circ\text{C temperature difference}$). Besaran konduktansi ini merupakan kebalikan dari resistansi L/k yang menggantikan kebalikan resistansi untuk seluruh permukaan yakni $L/(k A)$. Dengan kata lain, besaran suku ini merupakan konduktansi per m^2 aliran kalor permukaan. Besaran resistansi didimensikan sebagai $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/Watt}$. Kebalikan satuan ini adalah ha yang didimensikan : $\text{Watt/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ dan ini merupakan koefisien perpindahan kalor permukaan. Gambar 3 di bawah menunjukkan contoh grafik plot koefisien perpindahan kalor permukaan dari pipa (dengan variasi diameter pipa) dan suhu permukaan ke udara sekitar 25°C (77°F), data ini diperoleh dari hasil empiris eksperimen *Heilman*

[3]. Data eksperimen ini digunakan dalam perhitungan sebagai pendekatan. Pengaruh

gerakan udara dalam proses perhitungan, digunakan faktor koreksi. [4]



Gambar 3. Perpindahan Kalor Konveksi / Radiasi Pada Pipa Horisontal

Berdasarkan uraian sebelumnya dapat disusun persamaan perpindahan kalor dalam pipasbb

Perpindahan kalor konduksi pada ketebalan pipa :

$$q = \frac{2\pi ks}{\ln OD/ID} (t_2 - t_1) \quad (2)$$

2. Perpindahan kalor melalui ketebalan cat pada dinding pipa :

$$q = \frac{2\pi kc}{\ln OD_1/ID_2} (t_0 - t_1) \dots \dots \dots (3)$$

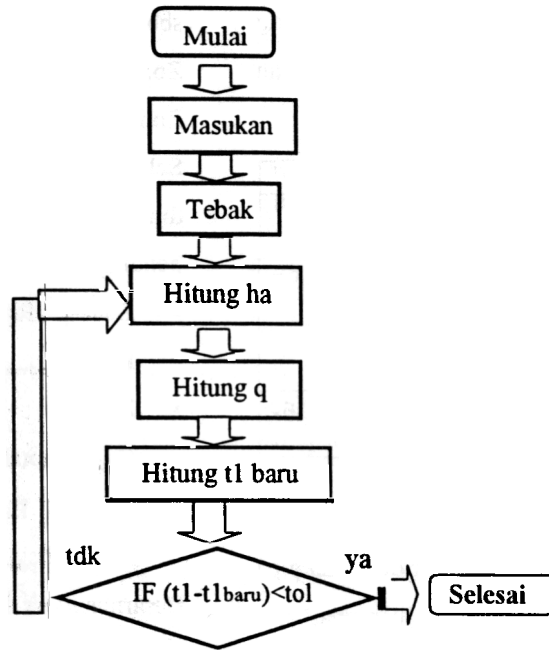
3. Radiasi dan Konveksi ke udara

$$q = ha\pi OD (t_a - t_0) \dots \dots \dots (4)$$

Persamaan (3) ini diabaikan karena (t₀ - t₁) sangat kecil sehingga gabungan dari persamaan di atas, jumlah heat loss diekspresikan sbb :

$$q = \frac{\pi (t_s - t_a)}{\ln(OD/ID)/(2ks) + 1/(haOD)} \dots (5)$$

Grafik yang dikemukakan oleh Heilman pada Gambar 3 terlihat bahwa koefisien ha tidak hanya tergantung pada suhu aliran yang dibawa tetapi juga suhu pada sisi luar dinding pipa dan udara. Kebalikan ini juga merupakan salah satu resistansi yang diperlukan untuk perhitungan perbedaan suhu total, dan ha sebagai koefisien perpindahan kalor permukaan tidak dapat dihitung langsung kecuali dengan metoda trial error. Langkah trial error ditampilkan pada gambar 4.



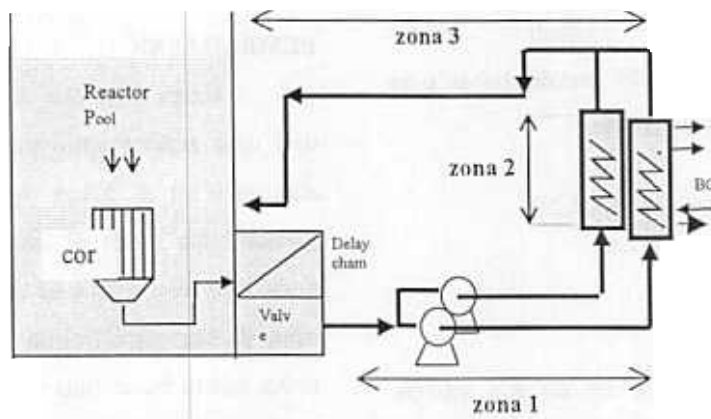
Gambar 4. Diagram Perhitungan

Perhitungan awal yang dikerjakan, diterapkan untuk zona 1 sebagaimana ditunjukkan di Gambar 5. Selanjutnya berdasarkan hasil yang diperoleh dari kasus pada zona 1, dapat diaplikasikan pada perhitungan di zona-zona yang lain. Di dalam sistem pipa pendingin primer RSG-GAS, daerah pelepasan kalor dapat di bagi menjadi 3 zona seperti ditunjukkan pada gambar 5 yakni :

Zona-I : Pipa antara kamar katup ke penukar kalor ($L_{ekivalen}$ total=24,445m)

Zona-II : Dinding *Shell* penukar kalor ($L_{ekivalen}$ total=16,030m)

Zona-III: Pipa dari Penukar kalor ke kolam reaktor ($L_{ekivalen}$ total=32,29m).



Gambar 4. Pembagian Zona Heat Loss Pendingin Primer

PERHITUNGAN

Data pipa sistem pendingin primer yang diketahui dan digunakan di dalam perhitungan pada zona I yakni sbb:^[2]

Bahan	Steel
Konduktivitas Termal Bahan (ks)	26 BTU/(lb °F) ^[1]
Suhu Udara rerata di luar pipa (ta)	27 °C = 80,6 °F
Suhu aliran rerata yang dibawa	45 °C = 113 °F
Diameter Pipa	600 mm ND =23,5 inc =1,83 ft

Dari data-data ini dapat dicari jumlah kalor yang mengalir dari aliran air di dalam pipa melalui ketebalan pipa ke udara di luar pipa,

Langkah asumsi awal :

Suhu aliran air $t_1 = 113 \text{ }^\circ\text{F}$
 $t_1 - 77 = 36 \text{ }^\circ\text{F}$

Dari Gambar 3 (menggunakan satuan *British*) diperoleh $ha = 2,1 \text{ BTU}/(\text{jam.ft}^2.\text{ }^\circ\text{F})$

Dan dengan menggunakan Persamaan 4, harga q dapat dihitung sbb,

$$q = \frac{\pi(113 - 77)}{\ln(23,5/21,25)/(2)(2,6) + 1/(2,1)(1,96)}$$

= 431,6BTU/jam.lin.ft

Pemeriksaan kembali proses perpindahan konduksi kalor melalui bahan pipa dengan persamaan 1 diperoleh :

$$113 - t_1 = \frac{431,6 \ln(23,5 / 21,25)}{2\pi(2,6)}$$

$t_1 = 110,3 \text{ }^\circ\text{F}$

Apabila harga t_1 ini dipakai sebagai asumsi untuk langkah perhitungan berikutnya maka akan konvergen dan didapat harga q_{loss} pada zona I = 405 BTU/(jam.ft) atau 380 watt/m panjang pipa. Dengan cara perhitungan yang

sama, q_{loss} pada zona II dan III dapat diperoleh

Zona II : $q_{loss} = 346 \text{ BTU}/\text{jam.ft}$

Zona III : $q_{loss} = 312 \text{ BTU}/\text{jam.ft}$

Seluruh *heat loss* dari pipa pendingin primer bisa dihitung dengan mengetahui panjang total pipa pendingin primer.

- Zona-I : Pipa antara kamar katup ke penukar kalor ($L_{ekivalen} \text{ total}=24,445\text{m}$)
- Zona-II : Dinding *Shell* penukar kalor ($L_{ekivalen} \text{ total}=16,030\text{m}$)
- Zona-III: Pipa dari Penukar kalor ke kolam reaktor ($L_{ekivalen} \text{ total}=32,290\text{m}$).

Besarnya q_{loss} ditampilkan pada tabel berikut :

Zona	$L_{ekivalen}$ (m)	q_{loss} (watt/m)	q_{loss} (watt)
I	24,445	380,0	9289,1
II	16,030	324,6	5203,3
III	32,290	292,7	9451,2
Total			23943,6

Energi kalor total yang lepas di sepanjang pipa pendingin primer $Q_{tot} = 23944 \text{ watt} = 23,9$

Jadi apabila daya reaktor 25 Mwatt maka besarnya *heat loss* sebesar 0,1 %.

PEMBAHASAN

Harga *heat loss* ini sangat tergantung dari daya reaktor yang membangkitkan energi atau suhu air di dalam pipa dan juga kondisi gerakan/suhu udara di luar pipa. Makin besar perbedaan suhu antara air di dalam pipa dengan suhu di luar pipa (makin besar daya reaktor) maka makin besar pula *heat loss* yang terjadi. Dalam perhitungan *heat loss* penelitian ini hanya digunakan harga pendekatan rerata pada daya reaktor 25 Mwatt yang dapat di anggap mewakili keadaan kondisi operasi reaktor.

Perlu disampaikan di sini bahwa besarnya *heat loss* dapat memberikan informasi sejauhmana deviasi yang terjadi pada pengukuran daya reaktor secara kalorimetri dan hasil menunjukkan bahwa harga *heat loss* ternyata relatif kecil yakni 23,944 kwatt.

KESIMPULAN

Pipa dan sistem pendingin primer RSG-GAS, suhu udara di luar dinding pipa rerata 25°C (udara tidak bergerak) dan di dalam pipa pendingin primer mengalirkan air dengan suhu antara 45°C maka terjadi *heat loss* sebesar 23,944 kwatt.

ACUAN PUSTAKA

1. KERN DQ, "*Process Heat Transfer*", International Edition, Mc.Graw Hill Int. Book Company, halaman 16-21.
2. BATAN, "*Safety Analysis Report MPR-30*", Revisi 8, Volume 1.
3. HEILMAN R.H, "*Industrial Engineering of Chemistry*", V.6, 1954.
4. COKER AK, "*Heat Tracer Requirements For heat loss from insulated pipelines*", Gulf Publishing Co, 1995, Chapter 8.

PERTANYAAN

Penanya : Jupiter S. Pane

Pertanyaan :

Apakah dalam desain sistem pemipaan primer RSG Gas faktor *heat loss* ini belum dipertimbangkan ?

Kalau sudah, bagaimana hasil perhitungan ini bila dibandingkan dengan data desain tersebut.

Jawaban :

Tidak dipertimbangkan dalam desain. Topik *heat loss* diangkat sebagai upaya memperoleh akurasi analisis termal hidrolika sistem loop pendingin primer

Penanya : Endiah Puji Hastuti

Pertanyaan :

Darimana persamaan empiris itu dibuat ?

Apakah dari hasil eksperimen sendiri ?

Bagaimana batasan-batasan berlakunya persamaan tersebut ?

Jawaban :

Persamaan empiris hasil eksperimen heilman dengan batasan suhu udara 77°F.

Penanya : Tukiran

Pertanyaan :

Bisa tidak kita menentukan berapa % *heat loss* akibat proses konduksi, konveksi dan radiasi masing-masing perhitungan sementara ?

Jawaban :

Heat loss (*q*) merupakan besaran energi yang mengalir dari fluida panas melalui ketebalan pipa ke udara diluar pipa. Jadi $q_{\text{konduksi}} = q_{\text{konveksi}} + q_{\text{radiasi}}$

Rambatan panas (secara seri)