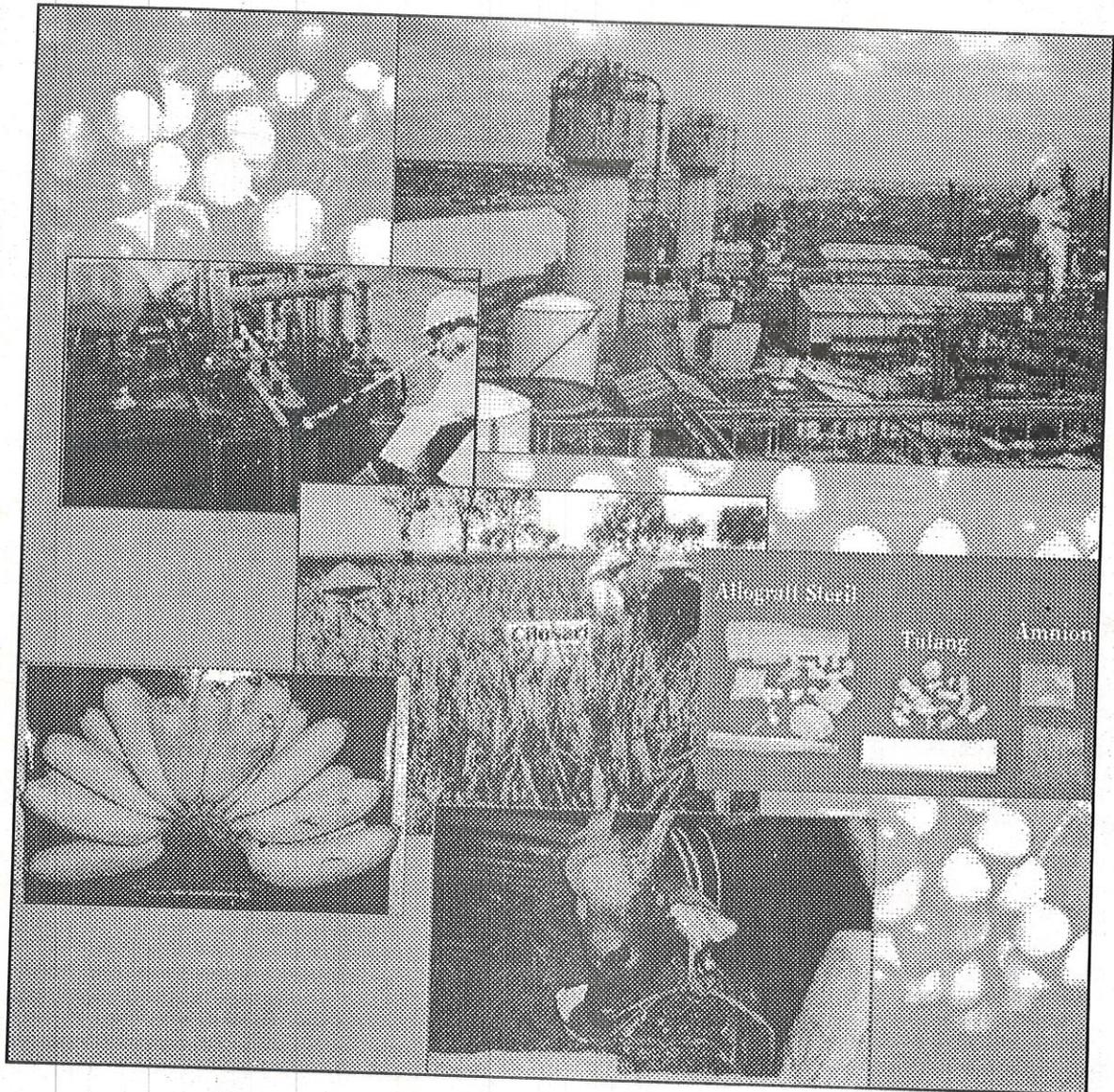


# RISALAH PERTEMUAN ILMIAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI



**Industri, Lingkungan, Kesehatan,  
Pertanian dan Peternakan**



**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL  
PUSLITBANG TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI  
JAKARTA, 2002**

ISBN 979-83708-3-4

RISALAH PERTEMUAN ILMIAH  
PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN  
APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI



Industri, Lingkungan, Kesehatan,  
Pertanian dan Peternakan

BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL  
PUSITANG TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI  
JAKARTA, 2002



**RISALAH PERTEMUAN ILMIAH  
PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN  
APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI  
2001**

Jakarta, 6 - 7 Nopember 2001

Industri, Lingkungan, Kesehatan,  
Pertanian dan Peternakan



**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL  
PUSLITBANG TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI**

RISALAH PERTEMUAN ILMIAH  
PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN  
APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI

2001

Jakarta, 6 - 7 Nopember 2001

Industri, Lingkungan, Kesehatan,  
Pertanian dan Peternakan



BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL  
PUSITBANG TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI

**Penyunting :**

1. Dra. Nazly Hilmy, Ph.D, APU
2. Dr. Ir. Moch. Ismachin, APU
3. Dr. F. Suhadi, APU
4. Ir. Elsje L. Pattiradjawane, MS, APU
5. Dr. Singgih Sutrisno, APU
6. Marga Utama, B.Sc, APU
7. Ir. Wandowo
8. Dr. Made Sumatra, MS, APU
9. Dr. Mugiono, APU
10. Drs. Edih Suwadji, APU
11. Dr. Sofjan Yatim
12. Dr. Ishak, M.Sc. M.ID, APU
13. Dr. Nelly D. Leswara
14. Dr. Ir. Komaruddin Idris

P3TIR - BATAN  
Universitas Indonesia  
Institut Pertanian Bogor

---

PERTEMUAN ILMIAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI (2002 : JAKARTA), Risalah pertemuan ilmiah penelitian dan pengembangan aplikasi isotop dan radiasi, Jakarta, 6 - 7 Nopember 2001 / Penyunting, Nazly Hilmy ... (et al) -- Jakarta : Badan Tenaga Nuklir Nasional, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi, 2002.  
1 jil.; 30 cm

Isi jil. 1. Industri, Lingkungan, Kesehatan, Pertanian dan Peternakan

ISBN 979-95709-8-0

I. Isotop - Seminar I. Judul II. Nazly Hilmy

---

541.388

Alamat : Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi  
Jl. Cinere Pasar Jumat  
Kotak Pos 7002 JKSKL  
Jakarta 12070  
Telp. : 021-7690709  
Fax. : 021-7691607; 7513270  
E-mail : p3tir@batan.go.id; sroji@batan.go.id  
Home page : <http://www.batan.go.id/p3tir>

1	Dr. Nur Hilmi, Ph.D. APU	P31R - BATAN
2	Dr. Ir. Mochamad Fauzan, APU	P31R - BATAN
3	Dr. Ir. Mochamad Fauzan, APU	P31R - BATAN
4	Dr. Ir. Fiqih J. Harnandjawan, MS, APU	P31R - BATAN
5	Dr. Ir. Mochamad Fauzan, APU	P31R - BATAN
6	Dr. Ir. Mochamad Fauzan, B.Sc., APU	P31R - BATAN
7	Dr. Ir. Mochamad Fauzan, APU	P31R - BATAN
8	Dr. Ir. Mochamad Fauzan, MS, APU	P31R - BATAN
9	Dr. Ir. Mochamad Fauzan, APU	P31R - BATAN
10	Dr. Ir. Mochamad Fauzan, APU	P31R - BATAN
11	Dr. Ir. Mochamad Fauzan, APU	P31R - BATAN
12	Dr. Ir. Mochamad Fauzan, MS, APU	P31R - BATAN
13	Dr. Ir. Mochamad Fauzan, MS, APU	P31R - BATAN
14	Dr. Ir. Mochamad Fauzan, MS, APU	P31R - BATAN
15	Dr. Ir. Mochamad Fauzan, MS, APU	P31R - BATAN

PERTEMUAN LAMBAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN APLIKASI  
 (TOPIC DAN RENCANA) (2001) JAKARTA) Rincian pertemuan sudah tersedia  
 dan terdapat dalam buku katalog dan terdapat dalam buku katalog  
 Penelitian dan Pengembangan Teknologi Energi dan Radiasi 2001  
 (2001)

bagian 4 industri kesehatan, kesehatan, penelitian dan penelitian

ISBN 978-9971-8-0

1. book - science / food / study / study

211,788

Alamat :  
 B. Gedung Teknologi Pangan dan Kesehatan  
 Jl. Cincin Prabu Timur  
 Blok P-1003 KERTAS  
 Jakarta 12170  
 Telp : 021-7907309  
 Fax : 021-7901307, 7811370  
 E-mail : [info@wpt.kemkes.go.id](mailto:info@wpt.kemkes.go.id), [regional@wpt.kemkes.go.id](mailto:regional@wpt.kemkes.go.id)  
 Https://www.wpt.kemkes.go.id

## DAFTAR ISI

Pengantar .....	i
Daftar Isi .....	iii
Laporan Ketua Panitia Pertemuan Ilmiah .....	vii
Sambutan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional .....	ix
<b>MAKALAH UNDANGAN</b>	
Strategi Pengembangan Sumber Daya Manusia untuk Pemberdayaan Usaha Kecil Menengah PROF. Dr. ERIYATNO (Deputi SDM - BPSD KUKM) .....	1
Role of Isotopes and Radiation for Industrial Development and Advance Materials Dr. TADAO SEGUCHI (TRCRE, JAERI) .....	5
Strategi Pengembangan Industri Nasional Memasuki Abad Ke-21 Dirjen Industrial Kimia, Agro dan Hutan Industri .....	9
<b>MAKALAH PESERTA</b>	
Penyelidikan tingkat kebocoran bendungan Jatiluhur dengan pendekatan isotop alam dan hidro-kimia PASTON SIDAURUK, INDROJONO, DJIONO, EVA RISTA RISTIN, SATRIO, dan ALIP .....	25
Penyelidikan daerah imbuhan air tanah Bekasi dengan teknik hidroisotop SYAFALNI, M. SRI SAENI, SATRIO, dan DJIJONO .....	33
Indikasi erosi di daerah perkebunan teh - gunung mas - Puncak - Jawa Barat menggunakan isotop alam <sup>137</sup> Cs NITA SUHARTINI, BAROKAH ALIYANTA, dan ALI ARMAN LUBIS .....	43
Penentuan konsentrasi <sup>226</sup> Ra dalam air minum dan perkiraan dosis interna dari beberapa lokasi di Jawa dan Sumatera SUTARMAN, MARZAINI NAREH, TUTIK INDIYATI, dan MASRUR .....	49
Daerah resapan air tanah cekungan Jakarta WANDOWO, ZAINAL ABIDIN, ALIP, dan DJIJONO .....	57
Radioaktivitas lingkungan pantai Makassar : Pemantauan unsur torium dan plutonium dalam sedimen permukaan A. NOOR, N. KASIM, Y.T. HANDAYANI, MAMING, MERLIYANI, dan O. KABI .....	65
Metode perunut untuk menganalisis sifat aliran air dalam jaringan pipa SUGIHARTO, PUGUH MARTYASA, INDROJONO, HARIJONO, dan KUSHARTONO..	69
Penentuan nilai $\delta^{34}\text{S}$ dalam pupuk dan aplikasinya untuk menentukan sumber sulfur pada air tanah kampung Loji Krawang E. RISTIN PUJI INDIYATI, ZAINAL ABIDIN, JUNE MELLAWATI, PASTON SIDAURUK, dan NENENG L.R., .....	75
Pembuatan komposit campuran serbuk kayu - poliester - serat sabut kelapa untuk papan partikel SUGIARTO DANU, DARSONO, PADMONO, dan ANGESTI BETTY .....	81
Kombinasi pelapisan permukaan kayu lapis Meranti ( <i>Shorea spp</i> ) dengan metode konvensional dan radiasi Ultra Violet DARSONO, dan SUGIARTO DANU .....	89

Studi kopolimerisasi radiasi stirena ke dalam film karet alam (Pengaruh dosis iradiasi dan kadar monomer) SUDRAJAT ISKANDAR, ISNI MARLIYANTI, dan MADE SUMARTI K. ....	95
Pengaruh pencucian dan pemanasan terhadap sifat fisik mekanik barang celup dari lateks alam iradiasi MADE SUMARTI K., MARGA UTAMA, dan DEVI LISTINA .....	103
Studi distribusi waktu tinggal pada proses pencampuran kontinyu dengan model bejana berderet SUGIHARTO, INDROJONO, KUSHARTONO, dan IGA WIDAGDA .....	109
Studi radiasi latar belakang sinar Gamma di laboratorium Sedimentologi, P3TIR, BATAN dengan spektrometri Gamma ALI ARMAN LUBIS, BAROKAH ALIYANTA, dan DARMAN .....	117
Penentuan Uranium dan Thorium sedimen laut dengan metode aktif dan pasif ALI ARMAN LUBIS, dan JUNE MELLAWATI .....	125
Deteksi virus hepatitis B (VHB) dalam serum darah dengan teknik PCR ( <i>Polymerase Chain Reaction</i> ) LINA, M.R., DADANG S., dan SUHADI, F., .....	131
Pendahuluan pembuatan Kit Ria mikroalbuminuria untuk pemeriksaan albuminuria SUKIYATI D.J., SITI DARWATI, GINA M., DJOHARLY, TRININGSIH, dan SULAIMAN .....	137
Ekstraksi Uranium dari limbah cair artifisial dengan teknik membran cair aliran kontinyu RUSDIANASARI, dan BUCHARI .....	143
Meningkatkan akurasi probabilitas pancaran sinar Gamma energi 165.9 keV untuk $^{139}\text{Ba}$ dengan peralatan koinsiden $4\pi\beta\text{-}\gamma$ NADA MARNADA, dan GATOT WURDIYANTO .....	149
Efek demineralisasi dan iradiasi gamma terhadap kandungan Kalsium dan kekerasan tulang <i>Bovine</i> liofilisasi B. ABBAS, F. ANAS, S. SADJIRUN, P. ZAKARIA, dan N. HILMY .....	155
<i>Rejection study of cancelous allograft in emergency orthopaedic operation</i> MENKHER MANJAS, and NAZLY HILMY .....	161
<i>Experience of using amniotic membrane after circumcision</i> MENKHER MANJAS, ISMAL, and DODY EFMANSYAH .....	165
<i>Using amniotic membrane as wound covering after cesarean section operation</i> MENKHER M., and HELFIAL HELMI .....	169
Efek <i>Glutathione</i> terhadap daya tahan khamir <i>Schizosaccharomyces pombe</i> yang diiradiasi dalam $\text{N}_2$ , $\text{N}_2\text{O}$ , dan $\text{O}_2$ NIKHAM .....	173
Radiolisis pati larut sebagai senyawa model polisakarida. I. Efek pelarut dan laju dosis iradiasi YANTI S. SOEBIANTO, SITI MEILANI S., dan DIAH WIDOWATI .....	181
Pengaruh iradiasi gamma terhadap derajat kekuningan ( <i>Yellowness Index</i> ) dan sifat mekanik plastik pengemas makanan RINDI P. TANHINDARTO, dan DIAN I. ....	191
Metode analisis unsur dengan spektrometri <i>total reflection x-ray fluorescence</i> YULIZON MENRY, ALI ARMAN LUBIS, dan PETER WOBRAUSCHEK .....	205

Pembentukan galur tanaman kacang tanah yang toleran terhadap Aluminium melalui kultur <i>in vitro</i> ALI HUSNI, I. MARISKA, M. KOSMIATIN, ISMIATUN, dan S. HUTAMI .....	215
Pembentukan kalus dan <i>spot</i> hijau dari kultur Antera galur mutan cabai keriting ( <i>Capsicum annuum</i> L.) secara <i>in vitro</i> AZRI KUSUMA DEWI, dan ITA DWIMAHYANI .....	221
Peningkatan toleransi terhadap Alumunium dan pH rendah pada tanaman kedelai melalui kultur <i>in vitro</i> IKA MARISKA, SRI HUTAMI, dan MIA KOSMIATIN .....	225
Efek radiasi sinar gamma dosis rendah pada pertumbuhan kultur jaringan tanaman ciplukan ( <i>Pysalis angulata</i> L.) ROSMIARTY A. WAHID .....	235
Pengujian galur mutan Sorghum generasi M4 terhadap kekeringan di Gunung Kidul SOERANTO, H., CARKUM, SIHONO, dan PARNO .....	241
Evaluasi penampilan fenotip dan stabilitas beberapa galur mutan kacang hijau di beberapa lokasi percobaan RIYANTI SUMANGGONO, dan SOERANTO HUMAN .....	247
Penggunaan pupuk hayati fosfat alam untuk meningkatkan produksi tanaman jagung di lahan kering HAVID RASJID, J. WEMAY, E.L. SISWORO, dan W.H. SISWORO .....	255
Pertumbuhan dan produksi kacang hijau pada kondisi ketersediaan air terbatas THOMAS .....	261
Peningkatan keragaman sifat agronomi tanaman melati <i>Jasminum sambac</i> (L.) W. Ait dengan teknik mutasi buatan LILIK HARSANTI, dan MUGIONO .....	273
Pengaruh sumber eksplan dan <i>Thidiazuron</i> dalam media terhadap regenerasi eksplan mutan nilam ( <i>Pogostemon cablin</i> Benth.) ISMIYATI SUTARTO, MASRIZAL, dan YULIASTI .....	281
Kombinasi bahan organik dan pupuk N inorganik untuk meningkatkan hasil dan serapan N padi gogo IDAWATI, dan HARYANTO .....	287
Kuantifikasi transformasi internal <sup>15</sup> N untuk memprediksi daya suplai Nitrogen pada lahan paska deforestasi I.P. HANDAYANI, P. PRAWITO, dan E.L. SISWORO .....	295
Pengaruh fosfat alam dan pupuk kandang terhadap efisiensi pemupukan P pada oxisol Sumatera Barat JOKO PURNOMO, KOMARUDDIN IDRIS, SUWARNO, dan ELSJE L. SISWORO .....	305
Studi kandungan unsur mikro pada UMMB sebagai suplemen pakan ternak ruminansia FIRSONI, YULIZON MENRY, dan BINTARA HER SASANGKA .....	313
Penggunaan suplemen pakan dan pemanfaatan teknik <i>radioimmunoassay</i> (RIA) untuk meningkatkan efisiensi Inseminasi Buatan (IB) TOTTI TJIPTOSUMIRAT, DADANG SUPANDI, dan FIRSONI .....	319
Pembuatan antibodi pada kelinci yang diimunisasi dengan <i>Brucella abortus</i> SUHARNI SADI .....	325

Pengaruh dosis inokulasi <i>Trypanosoma evansi</i> terhadap gambaran darah hewan inang mencit M. ARIFIN .....	333
Penentuan dosis iradiasi pada <i>Fasciola gigantica</i> (cacing hati) yang memberi perlindungan pada kambing B.J. TUASIKAL, M. ARIFIN, dan TARMIZI .....	337
Pengalihan jenis kelamin ikan nila gift ( <i>Oreochromis nilotichus</i> ) dengan pemberian hormon testosteron alami ADRIA P.M. HASIBUAN, dan JENNY M. UMAR .....	345
Pengamatan klinis dan serologis pada domba pasca vaksinasi L-3 iradiasi cacing <i>Haemonchus contortus</i> dalam uji skala lapangan SUKARJI PARTODIHARDJO, dan ENUH RAHARJO .....	349
Pengaruh iradiasi terhadap cemaran bakteri pada udang windu ( <i>Penaeus monodon</i> ) HARSOJO, DIDI ROHADI, LYDIA ANDINI S., dan ROSALINA S.H. ....	355
Kondisi optimal untuk penentuan radioaktivitas serangga hama bertanda P-32 dengan menggunakan pencacah sintilasi cair YARIANTO S., BUDI SUSILO, dan S. SUTRISNO .....	361
Kemandulan terinduksi radiasi pada hama kapas <i>Helicoverpa armigera</i> Hubner (Lepidoptera : Noctuidae) dan kemandulan yang diturunkan pada generasi F1 SUHARYONO, dan S. SUTRISNO .....	367
Pengembangan parasitasi <i>Biosteres</i> sp pada larva <i>Bactrocera carambolae</i> (DREW & HANCOCK) sebagai komplementer teknik serangga mandul DARMAWI SIKUMBANG, INDAH A. NASUTION, M. INDARWATMI, dan ACHMAD N. KUSWADI .....	373
Pengaruh iradiasi gamma terhadap Thiamin & Riboflavin pada ikan tuna ( <i>T. thynnus</i> ) dan salem ( <i>Onchorhynchus gorbuscha</i> ) segar RINDY P. TANHINDARTO, FOX, J.B., LAKRITZ, L., dan THAYER, D.W. ....	379
Budidaya ikan Nila gift yang diberi pakan pelet kelapa sawit YENNI M.U., dan ADRIA P.M. ....	385
Sintesis hidrogel kopolimer (2-hidroksi etil metakrilat/N-vinil pirrolidon) dengan iradiasi gamma dan imobilisasi ametrin ERIZAL .....	389

## STUDI DISTRIBUSI WAKTU TINGGAL PADA PROSES PENCAMPURAN KONTINYU DENGAN MODEL BEJANA BERDERET

Sugiharto\*, Indrojono\*, Kushartono\*, dan I.G.A Widagda\*\*

\* Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta

\*\* Universitas Udayana, Bali

### ABSTRAK

**STUDI DISTRIBUSI WAKTU TINGGAL PADA PROSES PENCAMPURAN KONTINYU DENGAN MODEL BEJANA BERDERET.** Model bejana berderet telah diimplementasikan untuk menganalisa kurva distribusi waktu tinggal yang diperoleh dari pencampuran kontinyu air yang mengalir didalam tabung *rig* simulasi. Model mengasumsikan bahwa air mengalir dari satu bejana ke bejana lain secara berurutan. Persamaan-persamaan matematika digunakan untuk menerangkan aliran air berdasarkan tinjauan teoritis. Parameter model adalah pola aliran yang disebabkan oleh lamanya molekul-molekul air berada didalam tabung ( $n$ ). 0.6 cc isotop  $^{99m}\text{Tc}$  yang diinjeksikan kedalam *inlet* tabung diasumsikan mengikuti fungsi Dirac,  $\delta$ , dan dimonitor pada *outlet* tabung. Konstruksi tabung, panjang 90 cm and diameter 30 cm, dilengkapi dengan pengaduk pelat dan sekat pembatas konsentrik telah digunakan sebagai sistem proses. Dalam penelitian ini nilai  $n$  yang dihitung dengan model adalah sebesar 3,7 menunjukkan bahwa aliran air didalam tabung cenderung mengikuti aliran tercampur sempurna dan tabung telah berfungsi sebagai sistem proses dengan tingkat pencampuran tinggi.

### ABSTRACT

**STUDY ON THE RESIDENCE TIME DISTRIBUTION OF CONTINUOUS MIXING PROCESS BY TANKS-IN-SERIES MODEL.** The tanks-in-series model has been implemented to analyze the residence time distribution curve obtained from continuous mixing of water flow in the cylindrical tube of the simulation rig. The model assumes that water flow from one tank to another consecutively. A number of mathematical equations have been introduced to describe the water flow in term of theoretical consideration. The parameter model is the flow patterns due to time spend by water molecules in the tube ( $n$ ). A 0.6 cc of  $^{99m}\text{Tc}$  isotope which was injected into the inlet of the tube was assumed to have a Dirac function,  $\delta$ , and it was monitored at the outlet of the tube. The tube construction, 90 cm in length and 30 cm in diameter, equipped with the plate stirrers and concentric baffles has been used as the processing system. In this research, the value of  $n$  calculated by the model was 3.7 which indicates that the water flow in the tube prefer to be well-mixed and the tube was able to serve as a processing system of high mixing degree.

### PENDAHULUAN

Unjuk kerja suatu sistem proses sangat tergantung pada rancangan sistem proses itu sendiri dan variabel-variabel yang mengaturnya, seperti tekanan, temperatur kerja, kecepatan pengaduk dan lain sebagainya. Rancangan dan variabel-variabel tersebut sangat menentukan interaksi antar komponen material yang terlibat didalam sistem proses yang pada akhirnya menentukan kualitas produk yang dihasilkan. Itu sebabnya mengapa dalam kebanyakan sistem industri proses, material dialirkan melalui beberapa bejana proses untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Semakin banyak material dan semakin tinggi tingkat reaksi yang terjadi didalam sistem proses menyebabkan proses interaksi material semakin kompleks dan semakin sulit ditangani [1, 2].

Salah satu metode untuk mengetahui unjuk kerja suatu sistem ialah dengan cara merunut dan mengamati dinamika aliran material didalam sistem proses. Karena metoda pengamatan bersifat merunut maka harus ada sedikit material perunut yang diinjeksikan kedalam material yang diamati tingkah lakunya tanpa menimbulkan gangguan, seperti serapan, endapan, reaksi kimia dan lain sebagainya [3,4].

Sebagai bagian dari suatu teknik pemecahan masalah, model bejana berderet memberikan kontribusi sebagai pendekatan awal untuk memecahkan masalah didalam sistem proses. Penyimpangan-penyimpangan fungsi dalam industri seperti adanya volume mati dan *channeling* didalam bejana proses dapat diketahui dengan cara memplotkan kurva RTD model bejana berderet dengan kurva RTD percobaan. Beberapa contoh pemakaian model bejana berderet telah dilaporkan oleh Hill [5] dan Pant [6].

Dalam makalah ini akan dibahas suatu metode matematika yang disebut model bejana berderet (*tanks-in series model*) untuk mengamati unjuk kerja sistem proses berupa tabung terbuat dari bahan PVC dengan ukuran panjang 90 cm, diameter 30 cm dan didalamnya diisi air demineral – selanjutnya disebut air, sebanyak 58 liter. Model bejana berderet didasarkan pada prinsip kesetimbangan material dengan mengasumsikan bahwa aliran material didalam tabung *rig* simulasi identik dengan aliran material didalam sejumlah  $n$  bejana-bejana kecil yang disusun berderet. Sedikit isotop  $^{99m}\text{Tc}$  diinjeksikan pada *inlet* tabung akan memberikan respon berupa data atau kurva distribusi waktu tinggal (*Residence Time Distribution-RTD*) pada *outlet* tabung. Kurva RTD ini yang akan dievaluasi untuk menghitung

parameter model, yaitu nilai  $n$ . Nilai  $n$  yang diperoleh dari perhitungan-perhitungan akan menunjukkan unjuk kerja tabung.

Makalah ini menekankan pada aspek teoritis melalui asumsi-asumsi model aliran untuk menyederhanakan persoalan. Persamaan-persamaan matematika digunakan untuk menerangkan model aliran material dan bersama sama dengan beberapa besaran statistika, seperti nilai rata-rata dan keragaman (*variance*) digunakan untuk mengevaluasi kurva RTD untuk mendapatkan nilai parameter model,  $n$ . Walaupun dikerjakan secara numerik, persamaan-persamaan yang ditampilkan dalam makalah ini tetap dipertahankan dalam bentuk persamaan-persamaan differensial atau integral untuk memberikan gambaran yang utuh kepada arti fisis dari persamaan-persamaan tersebut.

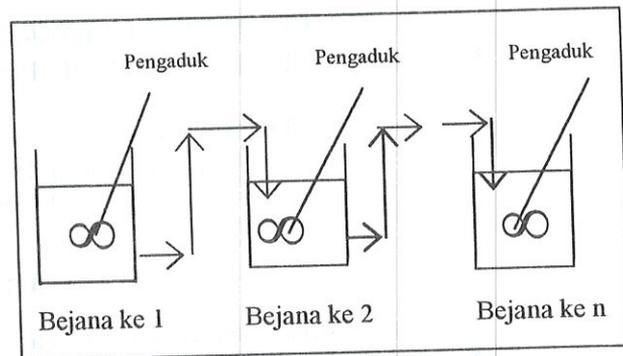
### TINJAUAN TEORI

Secara teoritis dikenal dua macam model aliran material didalam bejana proses yaitu model aliran *plug* dan model aliran tercampur sempurna (*well-mixed flow*). Dalam model aliran *plug* setiap komponen material akan tinggal didalam bejana proses dengan waktu yang sama. Pada model aliran *plug* kurva RTD *outlet* sama persis seperti kurva RTD inlet - seolah olah kurva RTD *outlet* merupakan duplikasi kurva RTD *inlet*. Aliran semacam itu hanya mungkin terjadi jika setiap komponen material tidak mengalami pencampuran kearah depan maupun belakang [3, 4].

Berbeda dengan model aliran *plug*, pada model aliran tercampur sempurna setiap komponen material akan tinggal dalam waktu yang berbeda-beda didalam bejana proses. Dalam tinjauan perunut radioaktif, sifat-sifat aliran semacam itu hanya mungkin terjadi jika sedikit isotop yang diinjeksikan kedalam bejana proses segera tercampur merata keseluruhan volume bejana proses. Penjelasan yang lebih detil tentang kedua model aliran ideal tersebut dan bentuk kurva RTD yang dihasilkan dari keduanya dapat dijumpai dalam beberapa pustaka yang diacu dalam makalah ini [2, 4].

Dalam industri, kedua model aliran ideal tersebut tidak pernah dijumpai. Kurva RTD yang diperoleh dari bejana proses industri senantiasa menunjukkan bentuk kurva antara kurva-kurva aliran ideal tersebut. Salah satu cara untuk menganalisa bentuk kurva RTD yang diperoleh dari bejana proses adalah dengan menggunakan model bejana berderet (*tanks-in series model*), rinciannya sebagai berikut :

Model bejana berderet. Dalam model bejana berderet, diperlihatkan pada Gambar 1, material diasumsikan mengalir didalam bejana-bejana kecil yang disusun secara berderet. Diasumsikan juga pola aliran didalam bejana-kecil mengikuti pola aliran tercampur sempurna dan volume masing masing bejana adalah sama. Andaikan volume bejana proses adalah  $V$  dan volume bejana kecil adalah  $v$ , maka dalam volume  $V$  akan terdapat  $n$  volume bejana kecil. Jika dinyatakan secara matematika maka  $V = nv$ .



Gambar 1. Model bejana berderet

Karena material diasumsikan mengalir secara berurutan dari bejana ke 1 ke bejana ke 2 dan seterusnya maka isotop yang diinjeksikan, dianggap mengikuti fungsi Dirac,  $\delta$ , didalam bejana kecil ke 1 akan memperlihatkan respon pada bejana ke  $n$  dinyatakan dalam persamaan (1). [1- 4]

$$C(\theta) = \frac{n^n \theta^{n-1} e^{-n\theta}}{(n-1)!} \quad (1)$$

dengan  $C(\theta)$  adalah konsentrasi perunut radioaktif, tak berdimensi

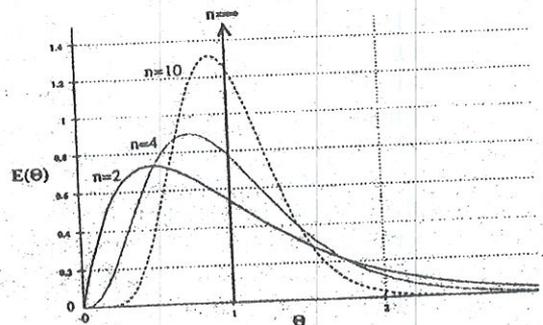
$n$  adalah jumlah bejana kecil

$\theta$  adalah waktu tereduksi,  $= t/\tau$ , tak berdimensi

$\tau$  adalah waktu tinggal rata-rata, dalam detik.

$t$  adalah kurun waktu proses, dalam detik

Jika nilai  $n$  yang berbeda-beda dimasukkan kedalam persamaan (1) maka akan diperoleh berbagai macam kurva RTD yang memperlihatkan kecenderungan aliran material didalam bejana proses. Jika  $n \rightarrow 0$  maka aliran material cenderung mengikuti aliran tercampur sempurna, sedangkan jika  $n \rightarrow \infty$  pola aliran *plug* yang akan diikuti oleh material. Bentuk-bentuk kurva RTD untuk nilai  $n$  yang berbeda-beda diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva RTD untuk nilai  $n$  yang berbeda beda [diadopsi dari Gambar 1]

Letak dan bentuk kurva RTD, selain nilai  $n$ , dalam Gambar 2 menunjukkan unjuk kerja dari bejana proses. Titik berat kurva RTD menunjukkan nilai rata rata dari distribusi waktu tinggal, sedangkan

keragaman ( $\sigma^2$ ) menunjukkan kuantitas penyebaran distribusi waktu tinggal. Nilai keragaman ini juga yang digunakan untuk menghitung nilai  $n$ . [1- 4]

## BAHAN DAN METODE

**Bahan dan Alat.** (a) Tabung rig simulasi, terbuat dari pvc, panjang 90 cm, diameter 30 cm (detil rancangan diperlihatkan pada gambar 4); (b) Sumber radiasi Isotop  $^{99m}\text{Tc}$  dengan waktu paro 6 jam dan energi gamma 140 keV; (c) Resin penukar ion; (d) Pompa air; (e) Detektor Sintilasi IPP-4, *Ratemeter* dan Rekorder; (f) Kolimator Pb dan Lembaran Pb; (g) Alat injeksi, kapasitas 1 cc dan gelas ukuran.; (h) Sarung tangan, plastik lembaran dan kertas merang; (i) Alat tulis kantor dan tissue; (j) Monitor perorangan: *surveymeter*, *film badge* dan *dosimeter* saku

**Percobaan.** Percobaan dilakukan di laboratorium kelompok industri, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi-BATAN. Rig simulasi dirancang untuk berbagai keperluan aliran material dan skema tabung rig simulasi untuk percobaan ini diperlihatkan pada gambar 4. Percobaan pencampuran kontinyu telah dilakukan sebagai berikut: (a) Detektor sintilasi IPP-4, yang telah tersambung dengan *ratemeter* dan rekorder dipasang pada *inlet* dan *outlet* (keduanya terbuat dari pipa pvc berdiameter 1 inci) tabung rig simulasi dan diaktifkan; (b) Katup aliran material, dalam percobaan ini digunakan air diatur sesuai dengan arah aliran yang dikehendaki; (c) Pompa air dihidupkan untuk mengalirkan air didalam rig simulasi untuk keperluan tes *dummy* dan cacahan latar belakang diukur dan dicatat; (d) Putaran motor diatur sebesar 1035 putaran per menit untuk mengaduk air didalam tabung rig simulasi; (e) Sebanyak 0,6 cc isotop  $^{99m}\text{Tc}$  diinjeksikan kedalam *inlet* tabung rig simulasi dan respon pada *outlet* rig simulasi diukur dan dicatat oleh rekorder.

## HASIL DAN PEMBAHASAN.

Data yang diperoleh dari perconaan pencampuran kontinyu ini berupa kurva kontinyu antara cacahan terhadap waktu. Kurva tersebut diproses lebih lanjut dengan cara menentukan nilai cacahan setiap detik sehingga diperoleh data percobaan dalam bentuk diskrit, seperti yang diperlihatkan di Tabel 1, kolom 1 dan 2. Selanjutnya data diskrit tersebut diproses secara numerik untuk mendapatkan besaran-besaran yang perlu diperhitungkan dan untuk keperluan pemodelan.

Seperti telah disebutkan diatas bahwa material mengalir dari bejana ke 1 ke bejana ke 2 dan seterusnya, sehingga output bejana ke 1 merupakan input bejana ke 2. Dalam hal demikian kesetimbangan material (*material balance*) pada bejana ke 1, dapat dinyatakan dalam pers (2).

$$v_1 (dC_1/dt) = -vC_1 \quad (2)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (2) diperoleh solusi konsentrasi isotop  $^{99m}\text{Tc}$  pada bejana ke 1 yaitu

$$C_0 e^{-t/\tau_1} \quad (3)$$

dengan  $C_0$  adalah konsentrasi isotop  $^{99m}\text{Tc}$  yang diinjeksikan

$C_1$  adalah konsentrasi isotop  $^{99m}\text{Tc}$  pada bejana ke 1

$v_1$  adalah volume bejana ke 1.

$v$  adalah kecepatan aliran

Karena debit aliran dipertahankan konstan (353,5  $\text{Cm}^3/\text{detik}$ ) selama percobaan berlangsung dan volume masing-masing bejana kecil adalah sama maka debit aliran air didalam bejana ke 1 sama dengan debit aliran di bejana ke 2 dan seterusnya. Dengan demikian MRT air didalam bejana ke 1 sama dengan MRT didalam bejana ke 2,  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_i$ . Karena  $v_i$  adalah volume bejana ke  $i$  maka  $\tau_i$  adalah harga MRT didalam satu bejana dan bukannya nilai MRT seluruh tabung.

Kesetimbangan material didalam bejana ke 2 adalah :

$$v_2 (dC_2/dt) = v(C_1 - C_2) \quad (4)$$

karena  $(v_2/v) = \tau_2$  sedangkan  $\tau_2 = \tau_i$  dan dengan mengganti  $C_1$  dengan  $C_0 e^{-t/\tau}$  maka persamaan (4) diatas dapat dieliminasi kedalam bentuk persamaan differensial orde pertama, seperti yang dinyatakan dalam persamaan (5)

$$(dC_2/dt) + (C_2/\tau_i) = (C_0/\tau_i) e^{-t/\tau_2} \quad (5)$$

Persamaan (5) dapat diselesaikan dengan menerapkan faktor integrasi  $e^{t/\tau}$  dengan kondisi awal  $C_2 = 0$  pada  $t = 0$ , sehingga diperoleh konsentrasi bejana ke 2 yang dinyatakan dalam persamaan (6)

$$C_2 = (C_0/\tau_i) e^{-t/\tau} \quad (6)$$

Penurunan persamaan-persamaan kesetimbangan material seperti dilakukan diatas dapat diteruskan sampai pada bejana ke  $n$  sehingga diperoleh konsentrasi  $^{99m}\text{Tc}$  yang keluar dari bejana ke  $n$ , yang solusinya diperlihatkan pada persamaan (1)

Luas area kurva RTD identik dengan jumlah isotop  $^{99m}\text{Tc}$  yang diinjeksikan dan nilainya dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan integral Simpson. Luas area kurva RTD diperlihatkan dalam tabel 1 kolom 3. Keuntungan menggunakan integral Simpson adalah pendekatan integral Simpson memberikan hasil eksak asalkan fungsi kurva RTD dapat dinyatakan dalam persamaan differensial orde tiga atau kurang [7]. Karena kurva RTD menggambarkan distribusi tiap komponen material tinggal didalam bejana proses, maka kurva RTD tersebut perlu dinormalisasikan sehingga luas kurva RTD sama dengan satu.

Fungsi RTD ternormalisasi dapat dinyatakan dalam waktu  $t$  atau dalam waktu tereduksi,  $\theta = t/\tau$ , tabel 1 kolom 6, dengan  $\tau$  adalah nilai MRT, tabel 1 kolom 5. Fungsi RTD ternormalisasi dalam  $t$  dan  $\theta$  masing masing diperlihatkan pada tabel 1 kolom 4 dan 7. Untuk keperluan model, fungsi RTD ternormalisasi

biasanya dinyatakan dalam satuan waktu tereduksi  $\theta$  sehingga hubungan antara fungsi RTD ternormalisasi dalam  $t$  dan  $\theta$  adalah  $E(\theta) = \tau \cdot E(t)$ , dengan  $E(t)$  adalah fungsi RTD ternormalisasi dalam kurun waktu  $t$ . Besaran waktu tereduksi,  $\theta$ , menggambarkan material yang telah tinggal didalam tabung dalam waktu  $t$ . Keuntungan menggunakan besaran waktu tereduksi adalah tingkah laku aliran material didalam bejana dengan ukuran berbeda beda dapat diperbandingkan secara langsung [8].

Adanya radioperunut  $^{99m}\text{Tc}$  dengan konsentrasi rendah yang turut terdeteksi menimbulkan ekor pada kurva RTD, sehingga kurva RTD tersebut harus dikoreksi dengan menggunakan persamaan empiris

$$E_c(\theta) = P \cdot E(\theta) \cdot (1 - R\theta) \quad (7)$$

dengan subscript  $c$  pada  $E_c(\theta)$  menunjukkan kurva RTD ternormalisasi yang terkoreksi. Besaran  $P$  dan  $R$  masing masing adalah faktor koreksi untuk luas area kurva dan faktor koreksi untuk keragaman. Perhitungan fungsi RTD terkoreksi disajikan dalam tabel 1, kolom 8.  $P$  dihitung dengan menggunakan pendekatan integral Simpson pada fungsi RTD yang menunjukkan luas area kurva,  $\int \theta \cdot E_c(\theta) \cdot d\theta$  dan  $R$  dihitung dengan mengintegral-kan fungsi yang menunjukkan keragaman,  $\int \theta^2 \cdot E_c(\theta) \cdot d\theta$ .

**Perhitungan parameter model,  $n$ .** Dalam tinjauan statistika, kurva RTD selalu dikarakteristikan dengan nilai waktu rata-rata dan nilai keragamannya. Nilai keragaman,  $\sigma^2$ , yang menunjukkan seberapa besar penyebaran kurva RTD digunakan untuk menghitung nilai parameter model,  $n$ , melalui hubungan.

$$\sigma_\theta^2 = (1/n) = \int \theta^2 \cdot E_c(\theta) \cdot d\theta - 1 \quad (8)$$

Dengan menerapkan persamaan (8) maka  $n$  dihitung sebesar 3,7. Dengan memasukkan nilai  $n = 3,7$  untuk nilai  $\theta$  yang berbeda-beda kedalam persamaan (1) maka diperoleh kurva RTD model, ditunjukkan dalam tabel 1 kolom 9. Seberapa jauh penyimpangan kurva RTD model terhadap kurva RTD percobaan, yang sudah dinormalisasi dan dinyatakan dalam  $\theta$ , dapat dilakukan dengan menerapkan *curve fitting* yang nilai kedekatannya dinyatakan dalam akar kuadrat terkecil (*Root Mean Square-RMS*). [6]

$$\text{RMS} = \sqrt{(1/N_T) \sum \{E_c(\theta) - E(\theta, n)\}^2} \quad (9)$$

dengan  $N_T$  adalah jumlah data

$E_c(\theta)$  adalah fungsi RTD percobaan ternormalisasi

$E(\theta, n)$  adalah kurva RTD model ternormalisasi.

Menurut Sharma [6], penerapan *curve fitting* memadai jika nilai akar kuadrat terkecil pada persamaan (9) adalah  $\leq 0,04$ .

**Analisa rancangan tabung rig simulasi.** Manipulasi persamaan-persamaan matematika telah dilakukan untuk menganalisa kurva RTD dan dengan menghitung harga keragaman diperoleh nilai parameter model,  $n$ . Nilai  $n$  diperoleh sebesar 3,7 dan dengan

memplotkan kurva RTD model untuk  $n = 3,7$  maka diperoleh Gambar 3.

Jika Gambar 3 diplotkan kedalam Gambar 2 maka akan terlihat kedekatan antara kurva RTD model dengan kurva RTD percobaan. Nilai  $n$  sebesar 3,7 menunjukkan bahwa aliran air didalam tabung rig simulasi cenderung mengikuti aliran tercampur sempurna. Dengan kata lain rancangan tabung rig simulasi mampu menghomogenkan campuran isotop  $^{99m}\text{Tc}$  dengan air yang mengalir didalam tabung. Hal ini dapat terjadi karena tabung rig simulasi diberi perangkat pengaduk dan diputar dengan laju putaran yang cukup tinggi, yaitu 1035 putaran permenit. Putaran pengaduk berfungsi meningkatkan intensitas pencampuran isotop dengan air. Adanya sekat-sekat pembatas yang dipasang didalam tabung berfungsi menahan aliran air kearah bawah (Gambar 4). Nilai akar kuadrat terkecil yang diperoleh sebesar 0,016, menunjukkan bahwa model bejana berderet cukup layak diaplikasikan untuk menyelidiki proses pencampuran kontinyu didalam tabung rig simulasi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa model bejana berderet cukup layak diaplikasikan untuk mempelajari proses pencampuran pada proses kontinyu didalam tabung rig simulasi. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa tabung mampu menghomogenkan campuran isotop  $^{99m}\text{Tc}$  dengan air yang mengalir didalam tabung dengan tingkat pencampuran yang cukup tinggi. Hal ini dibuktikan dengan nilai  $n$  yang diperoleh sebesar 3,7 dan dengan mengacu pada kurva-kurva RTD yang disajikan pada Gambar 2 menunjukkan bahwa aliran air didalam tabung lebih cenderung mengikuti pola aliran tercampur sempurna.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. H.J. Pant - expert IAEA yang telah menguji hasil penelitian ini, untuk menghitung MRT dan nilai parameter model,  $n$ , menggunakan perangkat lunak THYNRTD (dibuat oleh Dr. J. Thyn - expert IAEA terdahulu). Hasil Perhitungan MRT and nilai  $n$  secara manual sangat sesuai dengan hasil perhitungan menggunakan perangkat lunak THYNRTD.

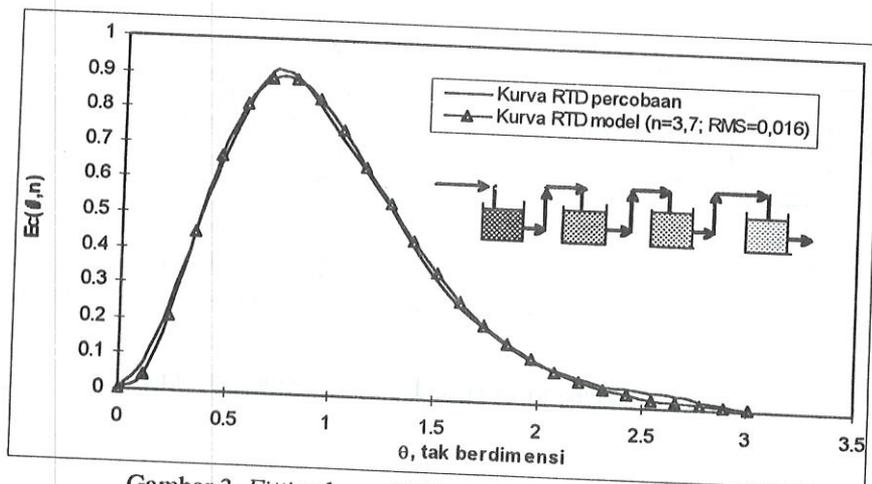
## DAFTAR PUSTAKA

1. LEVENSPIEL, O, *Chemical Reaction Engineering*, Wiley, New York. (1972)
2. FOGLER, H.S., , *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall International Inc, (1986) 762-765.
3. CHARLTON, J.S., , *Radioisotope Techniques for Problem Solving in Industrial Process Plants*, Leonard Hill, London, (1986).

4. IAEA, *Guidebook on Radioisotope Tracers in Industry*, Technical Report Series, 316, IAEA, Vienna (1990).
5. HILLS, A.E, *Practical Guidebook for Radioisotope-Based Technology in Industry*, (1999) 62-65, IAEA/RCA/RAS/8/078.
6. PANT, H.J, *Residence Time Distribution-Case Studies*, Lecture Note, RTC on Radiotracers and Sealed Sources Application in Petroleum Industry, Mumbai (1999).
7. THOMAS, G.B Jr, and Finney, R.L, , *Calculus and Analytic Geometry*, 6<sup>th</sup> edition, Addison Wesley, Massachusetts (1984) 308-309.
8. JOVAN THERESKA (1999), Komunikasi pribadi.
9. SHARMA, B.V, *Mathematical Analysis of Tracer Data*, Larsen and Toubro Limited.

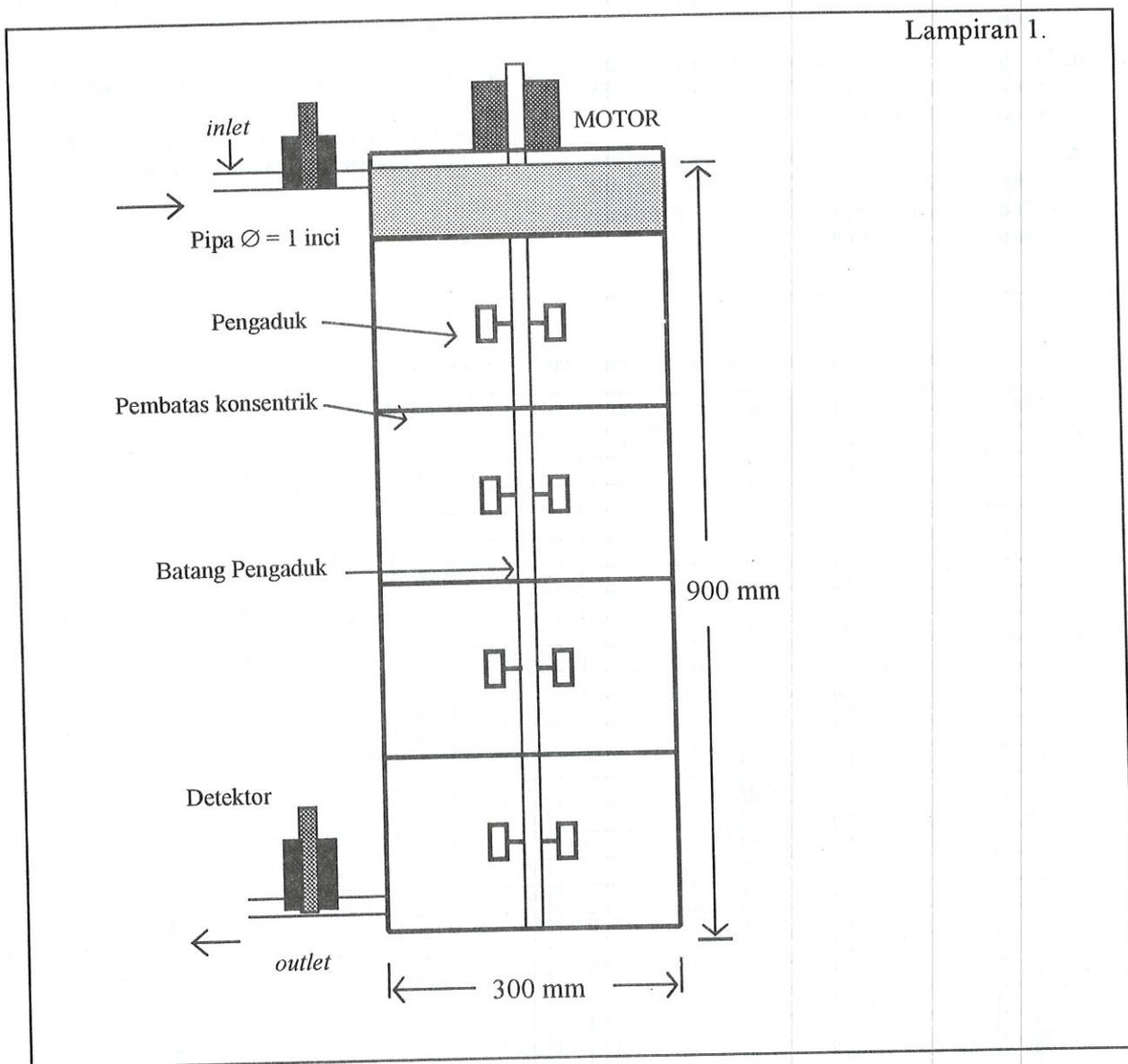
Tabel 1. Data percobaan dan hasil perhitungan dengan model bejana berderet

Waktu	cps	area	E(t)	$\tau = \text{MRT}$	$\theta = t/\tau$	E( $\theta$ )	Ec( $\theta$ )	Ec( $\theta, n$ )	RMS
0	0	1998.7	0.00	8.644	0.00	0.00	0.00	0.00	0.016
1	18	1998.7	0.01		0.12	0.08	0.08	0.04	
2	55	1998.7	0.03		0.23	0.24	0.24	0.21	
3	103	1998.7	0.05		0.35	0.45	0.45	0.45	
4	148	1998.7	0.07		0.46	0.64	0.64	0.66	
5	184	1998.7	0.09		0.58	0.80	0.80	0.82	
6	210	1998.7	0.11		0.69	0.91	0.91	0.89	
7	208	1998.7	0.10		0.81	0.90	0.90	0.89	
8	190	1998.7	0.10		0.93	0.82	0.82	0.83	
9	167	1998.7	0.08		1.04	0.72	0.72	0.75	
10	147	1998.7	0.07		1.16	0.64	0.64	0.65	
11	123	1998.7	0.06		1.27	0.53	0.53	0.54	
12	99	1998.7	0.05		1.39	0.43	0.43	0.44	
13	77	1998.7	0.04		1.50	0.33	0.33	0.35	
14	61	1998.7	0.03		1.62	0.26	0.26	0.28	
15	48	1998.7	0.02		1.74	0.21	0.21	0.22	
16	37	1998.7	0.02		1.85	0.16	0.16	0.16	
17	28	1998.7	0.01		1.97	0.12	0.12	0.12	
18	23	1998.7	0.01		2.08	0.10	0.10	0.09	
19	18	1998.7	0.01		2.20	0.08	0.08	0.07	
20	14	1998.7	0.01		2.31	0.06	0.06	0.05	
21	12	1998.7	0.01		2.43	0.05	0.05	0.04	
22	10	1998.7	0.01		2.55	0.04	0.04	0.03	
23	9	1998.7	0.00		2.66	0.04	0.04	0.02	
24	6	1998.7	0.00		2.78	0.03	0.03	0.01	
25	3	1998.7	0.00		2.89	0.01	0.01	0.01	
26	0	1998.7	0.00		3.01	0.00	0.00	0.01	

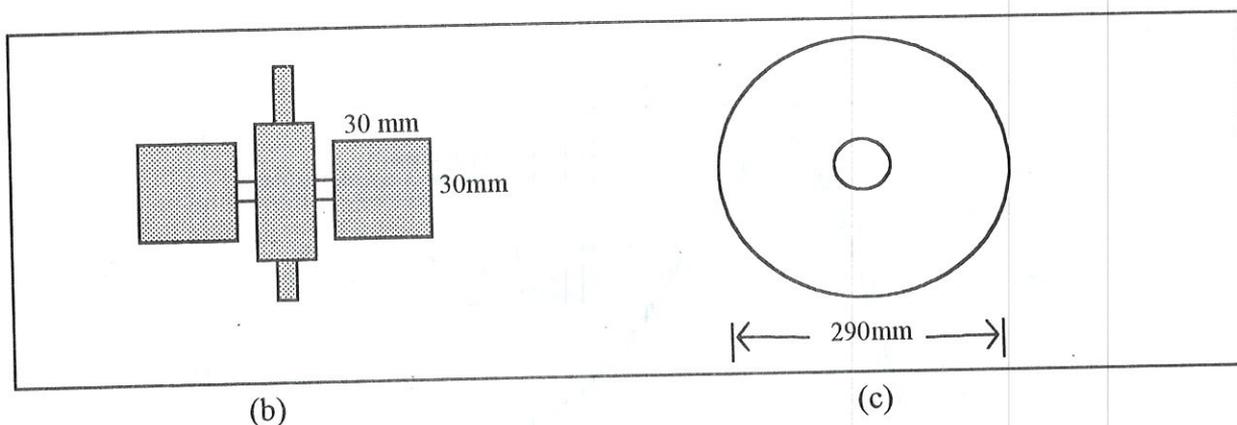


Gambar 3. Fitting kurva RTD model and kurva percobaan

Lampiran 1.



Gambar 4.a. Skema konstruksi tabung rig simulasi



(b)

(c)

Gambar 4.b. Skema (b) Pengaduk plat, (c) Pembatas konsentrik

## DISKUSI

ALI ARMAN

Fitting curve yang digunakan menggunakan persamaan matematika apa ?

SUGIHARTO

Kami mengkonstruksi suatu model menggunakan model persamaan bejana berderet yang merupakan persamaan matematika differensial integral. Selanjutnya kurva model ini kami plotkan pada kurva percobaan. Nilai kedekatan (fitting) antara kurva model dengan kurva percobaan dinyatakan dengan persamaan akar kuadrat rata-rata (root mean square) yang dinyatakan dalam persamaan

$$RMS = \sqrt{(1/N_T) \sum \{E_c(\theta) - E(\theta, n)\}^2}$$

Dengan  $N_T$  adalah jumlah data  
 $E_c(\theta)$  adalah fungsi RTD percobaan ternormalisasi  
 $E_c(\theta, n)$  adalah kurva RTD model ternormalisasi

ABDUL JAMI

1. Dari hasil penelitian ini, saran apa yang harus anda inputkan ke pihak PT. Petro Kimia Gresik ?
2. Bagaimana dampak dari hasil penelitian ini terhadap pipa didistribusi tersebut yang dikaitkan dengan model/ pola aliran distribusi tersebut ?
3. Bagaimana dengan kecepatan alirannya ?

SUGIHARTO

1. Saran untuk PT. Petro kimia, Gresik praktis tidak ada, penelitian memberikan informasi kepada PT. Petro Kimia, Gresik bahwa jalur pipa sepanjang desa Moro Kelang ke desa Deket tidak dijumpai kebocoran. Saran-saran telah diberikan kepada pihak PT. Petro Kimia Gresik oleh Lembaga Uji Kontruksi (LUK) - LIPI. Dalam inspeksinya LUK telah melaporkan adanya korosi pit (sejenis korosi sumur) yang terjadi pada dinding dalam pipa penyalur tersebut. Korosi pit ini sangat berbahaya karena berpotensi kebocoran pada pipa.
2. Hasil penelitian dengan teknik tracer menunjukkan bahwa pola aliran air didalam pipa penyalur bersifat laminar dengan sedikit dispersi. Dengan demikian aliran air didalam pipa penyalur masih mengikuti aliran plug. Hasil ini menunjukkan bahwa tidak terdapat halangan aliran air didalam pipa. Terjadinya dispersi yang kecil kemungkinan besar disebabkan oleh friksi antar molekul air dan dinding dalam pipa penyalur yang mengalami korosi pit
3. Kecepatan aliran telah dihitung dengan menggunakan metode *peak to peak* yang memberikan hasil kecepatan air adalah 6,26 km/jam. Angka ini adalah data yang kami berikan kepada pihak PT. Petro Kimia, Gresik dengan cara mempercepat/memperlambat putaran kipas pompa pendorong yang terpasang di sumber pasokan air Bengawan Solo di desa Babat. Debit aliran air dipertahankan konstan saat penelitian berlangsung karena jalur dilengkapi dengan fasilitas *venting*, yaitu suatu peralatan yang dapat mengeluarkan udara dari dalam pipa manakala pipa tersebut kemasukan udara.

