

**RISALAH PERTEMUAN ILMIAH
APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI**

Jakarta, 9 - 10 Januari 1996

BUKU I

**PROSES RADIASI, INDUSTRI,
DAN LINGKUNGAN**

**BADAN TENAGA ATOM NASIONAL
PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI**

JL. CINERE PASAR JUMAT KOTAK POS 7002 JKSKL, JAKARTA 12070; INDONESIA
TELP. 7690709 - KAWAT/CABLE: JUMATOM - TELEX 47113 CAIRCA IA FAX. 7691607

Penyunting : Buku I, II, dan III

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Ir. Munsiah Maha | Ketua merangkap Anggota |
| 2. Ir. F. Sundardi, APU | Wakil Ketua merangkap Anggota |
| 3. Dra. Nazly Hilmy, Ph.D., APU | Anggota |
| 4. Dr. Ir. Moch. Ismachin, APU | Anggota |
| 5. Ir. Elsjje L. Sisworo, M.Si., APU | Anggota |
| 6. Ir. Wandowo | Anggota |
| 7. Dr. Made Sumatra | Anggota |
| 8. Dr. Ir. Mugiono | Anggota |
| 9. Dr. Yanti Sabarinah S. | Anggota |

Perpustakaan Nasional : Katalog Dalam Terbitan (KDT)

PERTEMUAN ILMIAH APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI (1996 : JAKARTA)
Risalah pertemuan ilmiah aplikasi isotop dan radiasi, Jakarta, 9 - 10 Januari 1996/
Penyunting, Munsiah Maha.-- (et al.).-- Jakarta : Badan Tenaga Atom Nasional,
Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, 1996.
3 Jil.; 30 cm.

Isi : jil. 1. Proses radiasi, industri, dan lingkungan
 jil. 2. Pertanian
 jil. 3. Peternakan, biologi, dan kimia

ISBN 979-8500-11-3 (no. jil. lengkap)

ISBN 979-8500-12-1 (jil. 1)

ISBN 979-8500-13-X (jil. 2)

ISBN 979-8500-14-8 (jil. 3)

I. Isotop - Kongres I. Judul II. Maha, Munsiah

541.388

Alamat : Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi - BATAN

Jl. Cinere Pasar Jumat

Kotak Pos 7002 JKSKL

Jakarta 12070

PENGANTAR

Sebagaimana pertemuan ilmiah sebelumnya, Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi (APISORA) ke-8 yang diselenggarakan oleh Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Atom Nasional pada tanggal 8-9 Januari 1996 bertujuan untuk menyebarluaskan informasi dan hasil penelitian yang berkaitan dengan aplikasi teknik nuklir dalam bidang Proses Radiasi, Industri, Hidrologi, Sedimentologi, Kimia, Biologi, Lingkungan, Pertanian, dan Peternakan. Dengan demikian, ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah dikembangkan dalam bidang ini dapat diketahui dan dimanfaatkan oleh pihak-pihak terkait untuk kepentingan masyarakat pada umumnya.

Pertemuan ilmiah kali ini dihadiri oleh 183 orang peserta yang terdiri dari para ilmuwan, dan peneliti, serta wakil-wakil dari berbagai instansi pemerintah, BUMN, dan swasta.

Dalam pertemuan ilmiah ini dibahas dua makalah utama yang dibawakan oleh pejabat senior, yaitu tentang Program Riset Unggulan Strategis Nasional, dan Peranan Sains dan Teknologi Nuklir dalam Menunjang Pertumbuhan Industri dan Pengelolaan Lingkungan. Selanjutnya, dibahas sebanyak 77 makalah hasil penelitian yang dibagi dalam tiga kelompok dan dipresentasikan secara paralel.

Penerbitan risalah pertemuan ilmiah ini diharapkan dapat menambah sumber informasi dan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan teknik nuklir bagi pihak yang membutuhkan untuk menunjang keberhasilan pembangunan di masa mendatang.

Penyunting

PENGANTAR

Keberhasilan pertemuan ilmiah sebelumnya, Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi (APRORA) ke-8 yang diselenggarakan oleh Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Atom Nasional pada tanggal 8-9 Januari 1998 bertujuan untuk memperluas informasi dan hasil penelitian yang berkaitan dengan aplikasi teknik nuklir dalam bidang pertanian, kedokteran, hidrologi, sedimentologi, kimia, biologi, lingkungan, pertanian, dan peternakan. Dengan demikian, ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah dikembangkan dalam bidang ini dapat diadopsi dan dimanfaatkan oleh pihak-pihak terkait untuk kepentingan masyarakat pada umumnya.

Pertemuan ilmiah kali ini diadakan oleh 183 orang peserta yang terdiri dari para ilmuwan dan peneliti serta wakil-wakil dari berbagai instansi pemerintahan, BUMN, dan swasta.

Dalam pertemuan ilmiah ini dibahas dua makalah utama yang dibawakan oleh pejabat senior yaitu tentang Program Riset Unggulan Strategis Nasional dan Program Sains dan Teknologi Nuklir dalam Meningkatkan Pertumbuhan Industri dan Pengelolaan Lingkungan. Selanjutnya, dibahas beberapa hal berkaitan hasil penelitian yang dibagi dalam tiga kelompok dan dipresentasikan secara paralel.

Keberhasilan pertemuan ilmiah ini diharapkan dapat membuka sumber informasi dan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan teknik nuklir bagi pihak-pihak yang membutuhkan untuk menunjang keberhasilan pembangunan di masa mendatang.

Pertemuan

DAFTAR ISI

Pengantar	i
Daftar isi	iii
Laporan Ketua Panitia Pertemuan Ilmiah	ix
Sambutan Direktur Jenderal Badan Tenaga Atom Nasional	xi
MAKALAH UNDANGAN	
Peranan sains dan teknologi nuklir dalam menunjang pertumbuhan industri dan pengelolaan lingkungan PROF. DR. AZHAR DJALOEIS	1
Program riset unggulan strategis nasional DR. MOHAMMAD RIDWAN	9
BUKU I : PROSES RADIASI, INDUSTRI, DAN LINGKUNGAN	
Karakteristik kopolimer tempel LDPE-g-PDMAEA MIRZAN T. RAZZAK, A. WIDADI, DARSONO, dan SITI SOEDARINI	13
<u>Crosslinking</u> dan degradasi polietilen oksida dalam larutan air dengan radiasi sinar gamma ZAINUDDIN	21
Kopolimerisasi cangkok 4-vinil piridin pada serat polipropilen dengan metode peroksidasi secara iradiasi untuk penukar ion ITA YULITA, ENDANG ASIJATI W., MIRZAN T. RAZZAK, dan DARSONO	29
Efek iradiasi terhadap kompon polietilen densitas rendah ANIK SUNARNI, ISNI MARLIJANTI, MIRZAN T. RAZZAK, dan GATOT T.M.	35
Pengaruh <u>flame retardant</u> terhadap kecepatan nyala pada kompon polietilen ISNI MARLIJANTI, ANIK SUNARNI, MIRZAN T. RAZZAK, dan GATOT TRIMULYADI	41
Pengaruh berat molekul oligomer uretan akrilat dan monomer reaktif pada sifat perekat peka tekanan DARSONO, T. SASAKI, YANTI SABARINAH SOEBIANTO, dan MIRZAN T. RAZZAK ..	45
Analisis spektrum NMR proton emulsi karet alam metil metakrilat KRISNA LUMBANRAJA, KADARIJAH, SUDIRMAN, dan BUNJAMIN	53
Identifikasi gugus fungsi kopolimer karet alam-stiren iradiasi berbahan pemeka normal butil akrilat dengan FTIR dan NMR KADARIJAH, SRI PUJIASTUTI, dan MARGA UTAMA	61
Sifat kelistrikan film karet dari kopolimer lateks karet alam stiren hasil iradiasi MADE SUMARTI K., JUNE MELLAWATI, dan MARGA UTAMA	67

Analisis residu monomer dalam kopolimer KA-St dan KA-MMA dengan kromatografi gas. HERWINARNI, MARGA UTAMA, MADE SUMARTI, dan RISWIYANTO	73
Pengaruh struktur monomer pada hasil impregnasi dan polimerisasi radiasi kayu karet (<i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Agr.) NURWATI HABIB, AGUS ISMANTO, dan MARGA UTAMA.	81
Kualitas bambu betung (<i>Dendrocalamus asper</i>) yang diimpregnasi polimerisasi radiasi dengan stirena MARGA UTAMA, Y.S. HADI, I. WAHYUDI, F. FEBRIANTO, A. RUSLIADI, dan A. JUNAEDI	87
Sifat-sifat lapisan poliester akrilat hasil iradiasi dengan sinar ultraviolet SUGIARTO DANU, MARSONGKO, M. ARDIARTSI, dan J.K. JULIATI	93
Kopolimerisasi asam laktat dengan beta-propiolakton tanpa katalisator SUHARNI SADI, MASA HARU ASANO, dan MINORU KUMAKURA	101
Karakterisasi hidrogel poli(vinilalkohol) yang dikopolimerisasi radiasi dengan N-isopropil akrilamida ERIZAL, SUNARKO, BASRIL A, DARMAWAN D., R. CHOSDU, dan HASAN R.	109
Studi sifat kompatibilitas darah dan sifat kimia pembalut luka hidrogel poli vinil pirolidon (PVP) DARMAWAN DARWIS, RAHAYU CHOSDU, dan NAZLY HILMY	117
Pengaruh iradiasi gamma pada kualitas sediaan kosmetika bayi RAHAYUNINGSIH CHOSDU, DARMAWAN, dan ERIZAL.....	123
Studi air tanah di dataran aluvial Tangerang dengan pendekatan geohidrologi dan isotop lingkungan SIMON MANURUNG, NITA SUHARTINI, dan ALI ARMAN LUBIS	129
Studi air tanah dangkal PPTA Pasar Jumat dengan isotop alam BAROKAH ALIYANTA, SYAFALNI, DJIONO, dan WIBAGYO	139
Penentuan suhu reservoir panas bumi dengan metode geotermometer isotop ZAINAL ABIDIN, WANDOWO, INDROJONO, DJIONO, ALIP, dan EVARISTA	147
Penentuan rasio isotop $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ standar kerja J-1 dengan spektrometer massa EVARISTA RISTIN P.I., ZAINAL ABIDIN, dan DJIONO	155
Metode flow velocity untuk mengukur debit aliran dan menguji kurva distribusi waktu tinggal dengan model bejana berderet SUGIHARTO, INDROJONO, KUSHARTONO, PUGUH MARTYASA, DJOLI SUMBOGO, dan SLAMET SUTIKNO	161
Studi potensi mata air di Cimelati dengan metode hidrologi isotop SYAFALNI, SIMON MANURUNG, MURSANTO, DJIONO, dan TOMMY HUTABARAT.....	171
Pengaruh penyepuhan permukaan lumpur terhadap sifat fisik lumpur alam NITA SUHARTINI, SUWIRMA S., TARYONO, dan DARMAN	177
Pembuatan kaca bertanda ^{46}Sc untuk studi pergerakan sedimen MADE SUMATRA, INDROJONO, NITA SUHARTINI, JUNE MELLAWATI, dan SAID ADAM	185

Estimasi pembentukan ozon di dalam ruang iradiasi mesin berkas elektron PUGUH MARTYASA, dan H SUNAGA	189
BUKU II : PERTANIAN	
Evaluasi daya hasil galur padi sawah OBS-1647/PsJ MUGIONO.....	13
Pemetaan gen Gametophyte (ga-2,ga-3) pada RFLP linkage map tanaman padi SOBRIZAL	19
Variasi somaklonal seleksi umur genjah dari galur mutan padi (<i>Oryza sativa</i> L.) varietas Sentani ITA DWIMAHYANI dan ISHAK	25
Ketahanan terhadap penyakit karat daun (<i>Phakopsora pachirizi</i> Syd.) dua galur mutan kedelai genjah no. 157/Psj dan no 325/Psj dibandingkan Varietas Lokon serta Tidar RIVAIE RATMA, dan ACHMAD NASROH KUSWADI	31
Seleksi <i>in vitro</i> untuk ketahanan asam dan aluminium pada tanaman kedelai DAMERIA HUTABARAT, dan RIVAIE RATMA	37
Keefektifan simbiotik sejumlah strain Bradyrhizobium pada galur mutan kedelai di lahan masam GANDANEGARA, S., HARSOYO, dan HENDRATNO	43
Korelasi beberapa sifat komponen hasil dengan berat polong isi kacang tanah KUMALA DEWI, MASRIZAL, dan M. ISMACHIN	49
Seleksi lanjutan pada populasi galur mutan tanaman gandum untuk perbaikan produksi biji SOERANTO H.	53
Pengaruh iradiasi gamma pada eksplan terhadap regenerasi tanaman pisang (<i>Musa sp.</i>) varietas Ambon Kuning ISHAK, BOB JAYA BUANA PUTRA, dan ISMIYATI S.	59
Peningkatan keragaman genetik tanaman nilam melalui kultur kalus dan iradiasi IKA MARISKA, HOBIR, ENDANG GATI, dan DELIAH SESWITA	65
Mikropropagasi nilam penampakan khimera hasil radiasi pada kalus DELIAH SESWITA, IKA MARISKA, dan ENDANG GATI	73
Enkapsulasi dan daya regenerasi tanaman nilam khimera pengaruh radiasi dan kalus ENDANG GATI, IKA MARISKA, dan DELIAH SESWITA	79
Pengaruh radiasi sinar gamma terhadap pertumbuhan dan produksi jahe SITTI FATIMAH SYAHID., IKA MARISKA, dan YADI RUSYADI	83
Penggunaan batang bawah klonal pada pembibitan durian dan mangga ISMIYATI SUTARTO, M. JAWAL A.S., ELLINA MANSYAH dan SOERTINI GANDANEGARA	89

Serapan hara P oleh tanaman padi pada beberapa jenis tanah yang dipengaruhi pemberian pupuk hijau kacang panjang HARYANTO dan IDAWATI	95
Serapan hara dan pertumbuhan padi sawah sehubungan dengan status unsur P pada tanah Pusakanegara IDAWATI, HARYANTO, dan HAVID RASJID.....	103
Penggunaan fosfat alam sebagai pupuk P pada budi daya padi sawah HAVID RASJID, ELSJE L. SISWORO, dan WIDJANG H. SISWORO	111
Serapan P tanaman padi yang diberi $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ dan pupuk kandang M.M. MITROSUHARDJO, dan AFDHAL FIRDAUS	117
Upaya peningkatan produksi kedelai dan jagung melalui aplikasi mulsa dan lembaran plastik penutup tanah AFDHAL FIRDAUS, dan M.M. MITROSUHARDJO	123
Tanggapan dua varietas kedelai terhadap cara pengolahan lahan dinyatakan dalam berbagai parameter nitrogen tanaman SRI HARTI SYAUKAT, JOHANNIS WEWAY, dan ELSJE L. SISWORO	129
Penggunaan lapisan Azolla pada padi sawah serta pengaruhnya terhadap efisiensi N urea JOHANNIS WEMAY, ELSJE L. SISWORO, HAVID RASJID, dan WIDJANG H. S.	137
Efisiensi serapan unsur N-urea bertanda ^{15}N dan proporsi fiksasi N setelah pemetikan kotiledon pada budi daya basah kedelai SHOLEH AVIVI, W.Q. MUGNISJAH, K. IDRIS, dan E.L. SISWORO	147
Kemungkinan penggunaan urea bertanda ^{15}N bagi penentuan efisiensi pupuk N pada tanaman kelapa sawit LUQMAN ERNINGPRADJA, M.M. SIAHAAN, Z. POELOENGAN, dan ELSJE L. SISWORO	153
Efisiensi transpirasi tanaman Chickpea THOMAS dan M.M. MITROSUHARDJO	161
Serapan radiofosfor ^{32}P dan radioseng ^{65}Zn pada tanaman cabe (<i>Capsium annum</i> L.) yang ditanam pada larutan hidropnik T. SUGIYANTO	167
Peranan jasad renik pelarut fosfat dalam meningkatkan keefisienan pupuk P dan pertumbuhan tebu M. EDI PREMONO, I. ANAS, G. SOEPARDI, R.S. HADIOETOMO, S. SAONO, dan W.H. SISWORO	177
Variasi ketahanan beberapa galur mutan kacang hijau <i>Vigna radiata</i> L. terhadap hama ulat grayak <i>Spodoptera litura</i> F. A. N. KUSWADI, R. SUMANGGONO, dan D. SUPRIYATNA	187

BUKU III: PETERNAKAN, BIOLOGI, DAN KIMIA

Pengaruh temperatur lingkungan pada konsumsi, pencernaan ransum, dan tingkat kebuntingan sapi peranakan ongole (PO), serta pengaruh pemberian mikroba terpilih pada tingkat kebuntingan Sapi Sumba Ongole (SO) M. WINUGROHO, Y. WIBISONO, dan M. SABRANI	13
Penampilan reproduksi domba Merino berlaktasi setelah kelahiran (<u>post partum</u>) yang diberi suplementasi urea dan protein langsung (<u>bypass</u>) T. TJIPTOSUMIRAT dan G.N. HINCH	19
Kemanfaatan hijauan leguminosa pohon dan protein <u>bypass</u> sebagai pakan ternak ruminansia SUHARYONO, BINTARA H.S., ACHMAD S., dan TITIN M.	25
Menggunakan ekstrak metanol daun enterolobium untuk meningkatkan fermentasi pakan dan massa bakteri dengan proses defaunasi protozoa rumen pada kambing R. BAHAUDIN, A. SYAMSI, T. MARYATI, N. LELANINGTYAS, dan S. MARUSIN	31
Pelet kotoran ayam iradiasi sebagai pakan tambahan ikan gurami (<i>Osphronemus gouramy</i>) HARSOJO, L. ANDINI S., SUWIRMA S., dan NAZLY HILMY	37
Analisis darah domba yang diimunisasi dengan metaserkaria iradiasi melawan infeksi cacing <i>Fasciola gigantica</i> BOKY JEANNE TUASIKAL, ENING WIEDOSARI, dan SRI WIDJAJANTI	45
Daya perlindungan metaserkaria <i>Fasciola gigantica</i> yang diiradiasi di dalam melawan infeksi cacing pada domba WIEDOSARI, E., S. WIJAYANTI, dan B.J. TUASIKAL	49
Penggunaan nisbah albumin/globulin dan total fraksi protein untuk pendugaan terjadinya kekebalan pada domba SUKARDJI PARTODIHARDJO	53
Studi tanggap kebal pada marmut dan kelinci yang diinokulasi dengan <i>Tripanosoma evansi</i> MUCHSON ARIFIN, IRTISAM, SIGIT WITJAKSONO, dan SRI S. ANDAYANI	57
Kerusakan dan penyembuhan DNA <i>Deinococcus radiodurans</i> setelah diiradiasi ADRIA P.M. HASIBUAN, M. KIKUCHI, Y. KOBAYASHI, dan H. WATANABE	61
Sensitivitas isolat <i>Salmonella sp.</i> terhadap iradiasi, suhu, dan pH ANDINI, L.S., HARSOYO, ROSALINA S.H., dan SRI POERNOMO	69
Pertumbuhan jamur kayu pada beberapa limbah pertanian yang diiradiasi dengan sinar gamma DARMAWI, dan EDIH SUWADJI	77
Tanggapan pertumbuhan protokorm Anggrek <i>Dendrobium</i> terhadap dosis iradiasi sinar gamma SOERTINI SOEDJONO, NINA SOLVIA, dan SUSKANDARI	83
Pengaruh iradiasi neutron cepat terhadap metabolit kalus <i>Chrysanthemum morifolium</i> Linn. LUKMAN UMAR dan IRWANSJAH	89
Pengaruh iradiasi gamma terhadap penguraian dan penghilangan zat warna disperse blue dalam larutan air AGUSTIN S.M. BAGYO, WINARTI ANDAYANI, dan SURTIPANTI SADJIRUN.....	95

Pengaruh iradiasi, penambahan <u>sludge</u> kelapa sawit, dan $Al_2(SO_4)_3$ pada zat warna dispersi orange-25 dalam air WINARTI ANDAYANI, AGUSTIN SUMARTONO, dan SURTIPANTI S.	103
Akumulasi, distribusi, dan toksisitas Cd terhadap ikan lele (<i>Clarias batrachus</i>) dalam air YUMIARTI, JUNE MELLAWATI, dan SUWIRMA S.	109
Studi pengaruh pakan terhadap kontribusi mineral dalam darah dan organ hewan JUNE MELLAWATI, SUHARYONO, dan SURTIPANTI S.	115
Penentuan unsur dalam beberapa bahan acuan standar dari IAEA dengan spektrometer pendar sinar-X YULIZON MENRY, JUNE MELLAWATI, dan YUMIARTI	123
Penyerapan dan distribusi monokrotofos dalam tanaman kacang hijau pada fase vegetatif dan generatif M. SULISTYATI TUNGGULDIHARDJO	133
Studi perilaku residu karbaril (1-naftil-N-metilkarbamat) dalam tanah dengan teknik perunut ^{14}C ERRY ANWAR dan M. SULISTYATI TUNGGULDIHARDJO	137
Pembuatan formula dan pelepasan terkendali insektisida aseptat ^{14}C menggunakan matriks zeolit dan penerapannya SOFNIE M. CHAIRUL, SULISTYATI, M.M., dan ULFA TAMIN	145
Aplikasi formulasi pelepasan terkendali karbofuran- ^{14}C pada tanaman tomat ULFA TAMIN, SOFNIE M. CHAIRUL, dan M. SULISTYATI	151
Memacu aktivitas sistem SOS- <i>Escherichia coli</i> teradiasi neutron cepat dengan dapar fosfat dan natrium klorida IRWANSYAH	157

METODE FLOW-VELOCITY UNTUK MENGUKUR DEBIT ALIRAN DAN MENGUJI KURVA DISTRIBUSI WAKTU TINGGAL DENGAN MODEL BEJANA BERDERET

Sugiharto, Indrojono, Kushartono, Puguh Martyasa, Djoli Soembogo, dan Slamet Sutikno

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

ABSTRAK

METODE FLOW-VELOCITY UNTUK MENGUKUR DEBIT ALIRAN DAN MENGUJI KURVA DISTRIBUSI WAKTU TINGGAL DENGAN MODEL BEJANA BERDERET. Teknik perunut radioisotop telah lama dikenal dan dapat digunakan sebagai sebuah alat untuk penyelidikan proses industri. Salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk mengukur debit aliran adalah metode flow-velocity. Dalam percobaan ini telah diukur debit aliran di dalam saluran tertutup sistem proses simulasi. Sebagai pembanding digunakan metode konvensional. Dari kedua metode pengukuran tersebut diperoleh perbedaan hasil yang cukup berarti, disebabkan oleh beberapa faktor pengukuran. Model matematika dapat digunakan dan mempunyai keuntungan untuk menggambarkan pola aliran, terutama untuk memahami distribusi waktu tinggal. Untuk keperluan ini diperkenalkan model bejana berderet. Pemakaian model bejana berderet didasarkan pada kenyataan bahwa tidak ada bejana yang ideal. Dalam model ini bejana yang sesungguhnya diasumsikan terdiri dari beberapa bejana berderet dengan ukuran sama dan mempunyai sifat tercampur sempurna.

ABSTRACT

FLOW-VELOCITY METHOD FOR MEASURING FLOW VOLUME AND TESTING THE RESIDENCE TIME DISTRIBUTION CURVE BY TANKS IN-SERIES MODEL. Radioactive tracer technique has been known and can be used as a tool in industrial process investigations. One of the methods which is most frequently used to measure the volume rate of flow is flow velocity method. In this experiment, the volume rate of flow was measured in closed conduit of process system simulation. Conventional method was used as the standard for comparison. Significant different results of the two methods due to some factors which influence measurement was obtained. Mathematical model can be applied and have benefit to describe the pattern of flow, especially to understand the residence time distribution. For this purpose, the Tanks in-Series model was introduced. Application of the Tanks in-Series model is based on the facts that there are no ideal vessel. In this model, the actual vessel is assumed to be subdivided into a large number of perfectly mixed-connected vessels of equal size.

PENDAHULUAN

Sejak ditemukannya unsur-unsur zat radioaktif maka berkembang pula teknik-teknik pengukuran debit aliran menggunakan perunut radioaktif. Dalam keberadaannya, teknik perunut radioaktif dapat melengkapi teknik-teknik pengukuran konvensional yang sudah ada. Di samping itu, teknik perunut radioaktif dapat mengatasi kelemahan-kelemahan yang dijumpai pada teknik pengukuran debit aliran menggunakan perunut non-radioaktif. Keuntungan pengukuran debit aliran dengan menggunakan perunut radioaktif antara lain: (a) pengukuran dapat dilakukan setempat (in-situ), dan (b) jumlah isotop yang diinjeksikan sedikit karena radioisotop memancarkan radiasi (terutama sinar- α) yang mampu menembus dinding saluran dan ditangkap oleh detektor yang sangat sensitif. Dengan keunggulan-keunggulan semacam ini diharapkan hasil pengukuran akan lebih akurat.

Salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk mengukur debit aliran adalah metode flow-velocity, karena mudah diaplikasikan. Dalam percobaan ini yang diukur adalah debit aliran air yang mengalir di dalam selang plastik. Sebagai pembanding dilakukan pula pengukuran debit aliran dengan metode konvensional, yaitu

air yang mengalir di dalam selang plastik ditampung dalam waktu tertentu dan diukur volumenya.

Penggunaan model bejana berderet dimaksudkan sebagai usaha untuk memahami proses yang terjadi di dalam sistem yang diamati. Kenyataan menunjukkan bahwa dalam setiap proses yang sesungguhnya selalu terjadi pencampuran. Besarnya pengaruh pencampuran di dalam sistem proses ditunjukkan oleh nilai (jumlah) bejana model (N) dari kurva distribusi waktu tinggal. Dengan kata lain, dengan mengetahui nilai bejana model, maka dapat diketahui pola aliran yang terjadi di dalam sistem proses.

TEORI

Dalam teknik perunut radioaktif untuk mengukur debit aliran umumnya digunakan: (a) Metode Flow-Velocity, (b) Metode Total-Count, dan (c) Metode Continuous (total) Sampling. Dalam percobaan ini untuk mengukur laju aliran digunakan Metode Flow-Velocity, sehingga yang akan dibahas hanya metode Flow-Velocity.

Metode Flow-Velocity. Metode Flow-Velocity atau kadang-kadang disebut juga metode Pulse-Velocity merupakan salah satu metode yang paling mudah dan

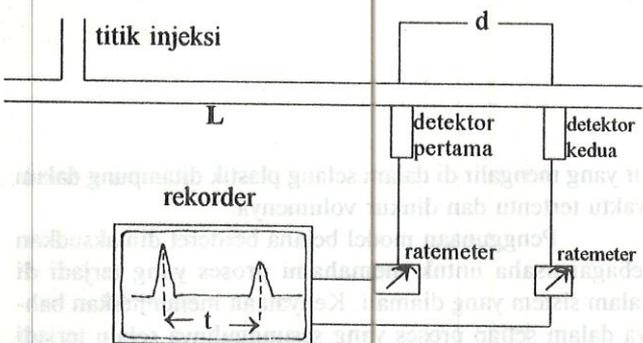
paling banyak digunakan untuk mengukur laju aliran. Prinsip Metode Flow-Velocity adalah seperti pada Gambar 1.

Isotop diinjeksikan melalui titik injeksi dalam waktu yang sangat singkat sehingga membentuk pulsa yang tajam. Dua buah detektor dipasang secara tetap pada dinding luar pipa selang plastik yang akan diukur laju aliran airnya. Jarak antara kedua detektor tersebut adalah d . Masing-masing detektor dihubungkan dengan ratemeter dan rekorder. Jarak antara titik injeksi dengan detektor pertama adalah L , dibuat cukup jauh untuk menjamin terjadinya proses pencampuran antara isotop dengan air. Setiap kali isotop melewati detektor maka detektor akan merekam dan ratemeter akan mencacah serta rekorder akan menggambarkan pulsa tersebut pada kertas rekorder. Waktu yang ditempuh oleh isotop yang bergerak dari detektor pertama ke detektor kedua adalah t . Dalam percobaan ini karena diameter selang plastik diketahui maka kecepatan aliran linier fluida dapat diubah menjadi aliran volume. Aliran volume (debit) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$Q = \frac{d \cdot A}{t} \dots \dots \dots 1.$$

di mana:

- Q = debit aliran (cm³/detik)
- d = jarak antara kedua detektor (meter)
- t = waktu yang ditempuh antara kedua detektor (detik)
- A = luas penampang selang plastik (cm²)



Gambar 1. Teknik pengukuran laju aliran

Model Bejana Berderet. Secara teoretis terdapat dua macam pola aliran ideal, yaitu pola aliran Plug Flow dan pola aliran Stirred-Tank Reactor. Aliran Plug Flow terjadi jika semua elemen fluida bergerak melalui bejana dengan laju yang sama dan di dalam bejana dianggap tidak terjadi pencampuran fluida baik ke arah depan maupun ke arah belakang. Aliran Stirred-Tank Reactor terjadi bila pengaduk diasumsikan mempunyai efisiensi yang sempurna, yaitu pengaduk tersebut mampu mendistribusikan isotop yang diinjeksikan secara merata ke seluruh volume bejana secara sangat cepat.

Pada model bejana berderet diasumsikan bahwa sistem sesungguhnya yang diselidiki digambarkan sebagai sederetan bejana yang mempunyai ukuran sama dan ber-

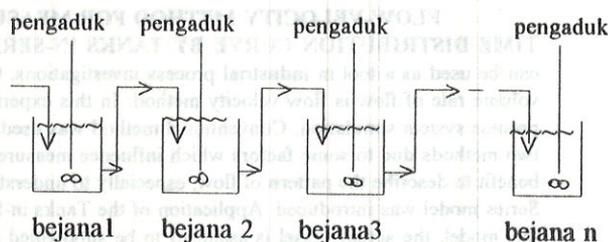
sifat sebagai bejana yang mempunyai pengaduk ideal. Gambar 2 memperlihatkan model bejana berderet. Jumlah keseluruhan dari masing-masing volume bejana sama dengan volume sistem yang sesungguhnya. Respons model bejana berderet terhadap isotop yang diinjeksikan dapat digambarkan dengan menggunakan integral konvolusi atau transformasi Laplace sebagai berikut:

$$C(\theta) = \frac{N^N \theta^{N-1} e^{-N\theta}}{(N - 1)!} \dots \dots \dots 2$$

di mana:

- N = jumlah (nilai) bejana, tidak berdimensi
- θ = waktu tidak berdimensi = waktu/waktu tinggal rata-rata = t/t'
- C(θ) = konsentrasi tidak berdimensi = C/Co pada waktu

Jika $N = 1$, maka model bejana berderet mengikuti model aliran stirred-tank reactor dan jika $N = \infty$, maka model bejana berderet mengikuti model aliran plug-flow.



Gambar 2. Model bejana berderet

Persamaan 2, akan menghasilkan kurva-kurva distribusi waktu tinggal (RTD-Residence Time Distribution) untuk harga N yang berbeda-beda. Untuk menguji kurva RTD percobaan, kurva RTD tersebut dicocokkan dengan kurva RTD yang diperoleh dari perhitungan model. Secara teoretis standar deviasi (momen kedua) dapat dinyatakan sebagai $\sigma^2 = 1/N$, di mana N adalah jumlah bejana model. Pencocokan kurva RTD percobaan dengan kurva RTD model disebut Curve Fitting. Besarnya penyimpangan kurva distribusi waktu tinggal yang diperoleh dari percobaan terhadap kurva distribusi waktu tinggal yang diperoleh dengan perhitungan model ditentukan oleh harga kuadrat rata-rata (RMS-Root Mean Square) dan dirumuskan sebagai:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (E_c(\theta) - E(\theta, X))^2 / N_T}{N_T}} \dots \dots \dots 3$$

di mana:

- N_T = jumlah data
- E_c (θ) = distribusi waktu tinggal secara percobaan
- E (θ, X) = distribusi waktu tinggal secara teoretis

Teori model menyatakan bahwa perbandingan kurva RTD percobaan dengan kurva RTD model dikatakan baik jika harga $RMS \leq 0,04$.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat. (a) Isotop ^{99m}Tc dengan energi 140 keV dan waktu paro 6 jam; (b) Detektor sintilasi, rate-meter dan rekorder; (c) Peralatan injeksi; (d) Kolimator; (e) Kertas rekorder, kertas merang dan tissue; (f) Air bebas mineral; (g) Sarung tangan; (h) Penghalang Pb; (i) Gelas ukur dan stopwatch, Surveymeter, dan monitor perorangan.

Percobaan. Pada percobaan ini sistem yang digunakan adalah suatu sistem proses tertutup yang dirancang untuk keperluan simulasi serba guna. Pada percobaan laju aliran, arah aliran dapat diatur melalui katup-katup penghubung sedemikian rupa sehingga arah aliran tampak seperti Gambar 4.

Percobaan laju aliran dilakukan sebagai berikut: (a) Detektor ditempatkan pada posisi tertentu menempel pada dinding luar selang plastik sedemikian rupa jarak antardetektor masing-masing 8 dan 9 meter; (b) Detektor dihubungkan dengan ratemeter dan rekorder; (c) Isotop yang akan diinjeksikan disiapkan; (d) Sistem proses dihidupkan; (e) Ratemeter dan rekorder untuk mencacah cacahan latar belakang dihidupkan; (f) Sebanyak 0,4 ml isotop ^{99m}Tc diinjeksikan pada titik injeksi untuk jarak antardetektor 8 meter dan 0,6 ml isotop ^{99m}Tc untuk jarak antardetektor 9 meter. Dengan cara demikian diperoleh data-data pengukuran laju aliran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemakaian isotop ^{99m}Tc dalam percobaan ini didasarkan pada suatu persyaratan, yaitu isotop yang diinjeksikan dapat bercampur secara merata dengan media yang diukur, yaitu air yang mengalir di dalam selang plastik. Satu atom zat radioaktif yang melewati titik pengamatan selalu mempunyai peluang tertentu (p). Peluang ini tidak dipengaruhi oleh adanya atau tidak adanya atom-atom zat radioaktif tetangganya. Jika terdapat A atom zat radioisotop, maka jumlah cacahan yang dicatat pada titik pengamatan mempunyai peluang Ap . Dalam percobaan ini detektor yang dipasang pada dinding selang plastik akan mencacat jumlah cacahan ketika isotop melewati detektor.

Data yang diperoleh dari percobaan ini berupa kurva distribusi kontinue. Karena perhitungan-perhitungan dilakukan secara analitik maka kurva distribusi kontinue tersebut harus diubah ke dalam bentuk distribusi diskrit. Data hasil percobaan diperlihatkan pada Tabel 1a dan 1b.

Dari Tabel 1a, terlihat bahwa jumlah data cacahan yang diperoleh detektor 1 (input) lebih banyak dibandingkan dengan jumlah data cacahan yang diperoleh detektor 2 (output). Hal demikian dapat saja terjadi disebabkan oleh adanya kekurangtelitian dalam melakukan pengukuran, terutama saat mempersiapkan pengukuran. Untuk mengukur debit aliran, data-data dari Tabel 1a dilakukan dengan cara mengambil waktu puncak, yaitu waktu di mana terjadinya cacahan paling tinggi.

Pada Tabel 1b, jumlah data cacahan yang diperoleh pada detektor 1 dan detektor 2 sama. Karena kurva yang dihasilkan tidak simetri, maka untuk menjaga keaku-

ratan perhitungan debit aliran perlu diajukan suatu besaran yang secara statistik menggambarkan waktu rata-rata lamanya atom-atom zat radioaktif tinggal di dalam bejana. Besaran yang dimaksud adalah waktu tinggal rata-rata (MRT-Mean Residence Time).

Pada percobaan ini digunakan rekorder yang dilengkapi dengan pemutar kertas rekorder. Kecepatan kertas masing-masing adalah 180 mm/menit untuk jarak antardetektor 8 meter dan 160 mm/menit untuk jarak antar detektor 9 meter. Kecepatan kertas tersebut menunjukkan kecepatan linier air. Dengan menghitung waktu transit dari data-data Tabel 1a dan 1b kemudian dimasukkan ke dalam persamaan 1, maka debit aliran yang diukur dengan metode flow-velocity diperoleh: $Q_{\text{flow-velocity}} = 353,5 \pm 29 \text{ cm}^3/\text{detik}$.

Sebagai pembanding, pada percobaan ini dilakukan pula pengukuran dengan metode konvensional, yaitu air yang mengalir dari selang plastik ditampung dan diukur volumenya dalam waktu tertentu. Data hasil pengukuran dengan metode konvensional diperlihatkan pada Tabel 2. Debit aliran yang diukur dengan metode konvensional diperoleh $Q_{\text{konvensional}} = 370 \pm 30 \text{ cm}^3/\text{detik}$.

Dalam percobaan ini detektor 1 berfungsi sebagai input dan detektor 2 berfungsi sebagai output masing-masing untuk pengukuran debit aliran untuk jarak antardetektor 8 dan 9 meter. Pola aliran yang diamati hanya ditentukan oleh kurva RTD yang dihasilkan oleh detektor 2. Kurva RTD dari percobaan dan kurva RTD dari perhitungan model diperlihatkan pada Gambar 5. Dari perhitungan diperoleh jumlah bejana model dan nilai RMS (Root Mean Square) untuk masing-masing kurva.

Jumlah bejana model untuk kurva RTD masing-masing $N = 5,02$ untuk kurva II dan $N = 6,9$ untuk kurva IV. Hal ini menunjukkan bahwa pola aliran yang terjadi di dalam selang plastik cenderung mengikuti pola aliran Plug-Flow, artinya kemungkinan terjadinya pencampuran ke arah depan maupun belakang kecil.

Nilai RMS untuk kurva RTD masing-masing 0,08 untuk kurva II dan 0,05 untuk kurva IV. Data RMS ini menunjukkan bahwa penyimpangan Curve Fitting lebih besar dari 0,04 (Curve Fitting dikatakan baik jika nilai RMS-nya 0,04). Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh fluktuasi data percobaan yang cukup besar. Kondisi seperti ini dapat saja terjadi dalam setiap pengukuran, karena nilai RMS ditentukan oleh jumlah dan data kurva RTD.

KESIMPULAN

Dari percobaan dapat dihitung besaran-besaran : debit aliran (Q), jumlah bejana model (N) dan akar kuadrat rata-rata (RMS). Dari perhitungan diperoleh $N = 5,0$ untuk kurva RTD II dan $N = 6,9$ untuk kurva RTD IV. Hasil ini menunjukkan bahwa aliran yang terjadi di dalam selang plastik cenderung mengikuti pola aliran plug-flow, artinya pengaruh pencampuran kearah depan maupun belakang kecil.

Dalam percobaan ini belum didapatkan hasil yang memuaskan, karena dari hasil perhitungan debit aliran dengan menggunakan metode konvensional dan metode

flow-velocity diperoleh perbedaan yang cukup besar. Di samping itu, harga RMS antara kurva distribusi waktu tunggal percobaan dan model bejana berderet 0,04 yang berarti kedua kurva tersebut tidak cocok.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada Dr. Thyn yang telah memberikan saran-saran cara memperlakukan data dan kepada Sdr. Ali Arman yang telah membantu pengetikan grafik.

DAFTAR PUSTAKA

1. CHARLTON, J.S., Radioisotope Techniques for Problem Solving, in Industry Process Plants, Leonard Hill (1986).
2. IAEA, Guidebook on Radioisotope Tracers in Industry, IAEA, Vienna (1990).
3. SHARMA, B.V., Mathematical Analysis of Tracer Data, Larsen & Toubro Limited.

Tabel 1.a. Cacahan netto yang dihasilkan dari percobaan. Jarak antardetektor 8 meter, cacahan latar belakang 20 cps

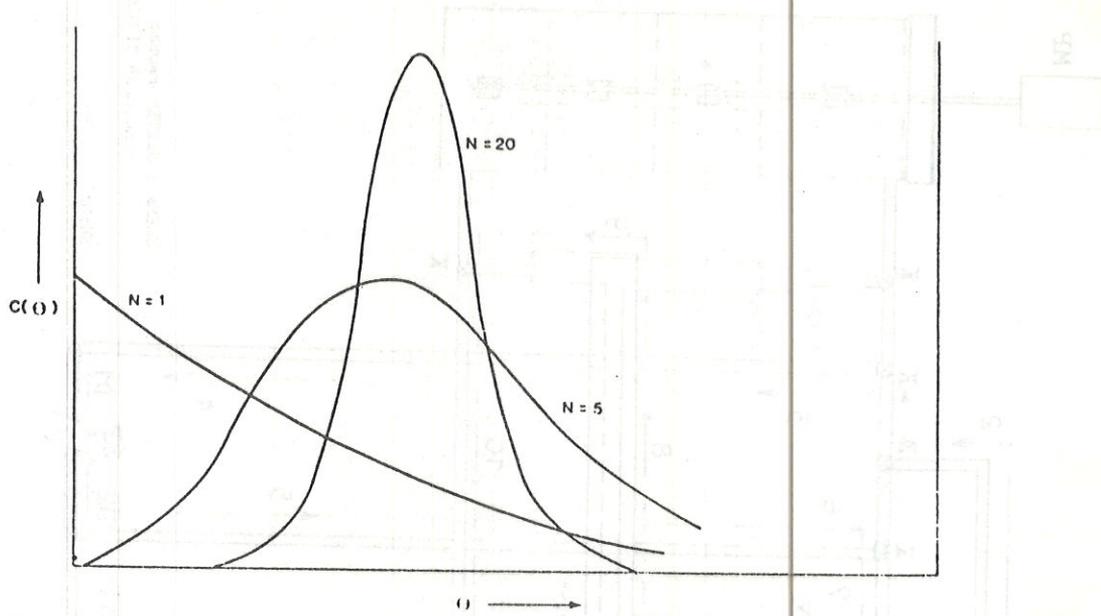
Waktu (detik)	Cacahan pada detektor I (cps)	Waktu (detik)	Cacahan pada detektor II (cps)
0	0	12	0
1	50	13	159
2	135	14	245
3	232	15	286
4	278	16	315
5	320	17	278
6	257	18	225
7	242	19	180
8	184	20	103
9	120	21	65
10	99	22	40
11	66	23	65
12	48	24	21
13	35	25	0
14	23		
15	0		

Tabel 1.b. Cacahan netto yang dihasilkan dari percobaan. Jarak antardetektor 9 meter. Cacahan latar belakang 20 cps.

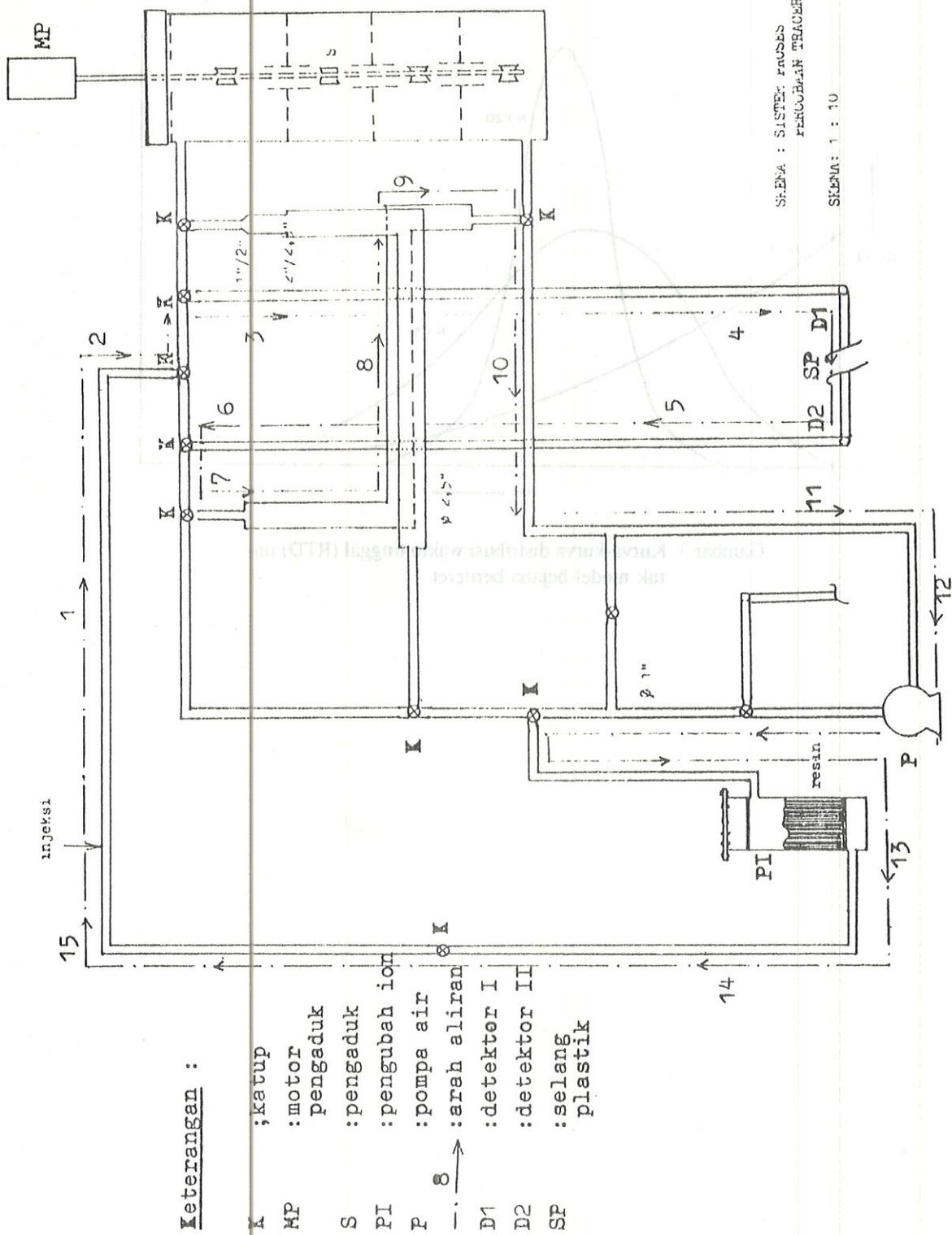
Waktu (detik)	Cacahan pada detektor I (cps)	Waktu (detik)	Cacahan pada detektor II (cps)
0	0	11,88	0
1,25	76	13,13	20
2,50	212	14,38	88
3,75	325	15,63	198
5,00	380	16,88	383
6,25	343	18,13	464
7,50	262	19,38	420
8,75	178	20,63	338
10,00	118	21,88	240
11,25	88	23,13	157
12,50	63	24,38	96
13,75	45	25,63	48
15,00	25	26,88	20
16,25	0	28,13	0

Tabel 2. Hasil pengukuran debit aliran dengan metode konvensional

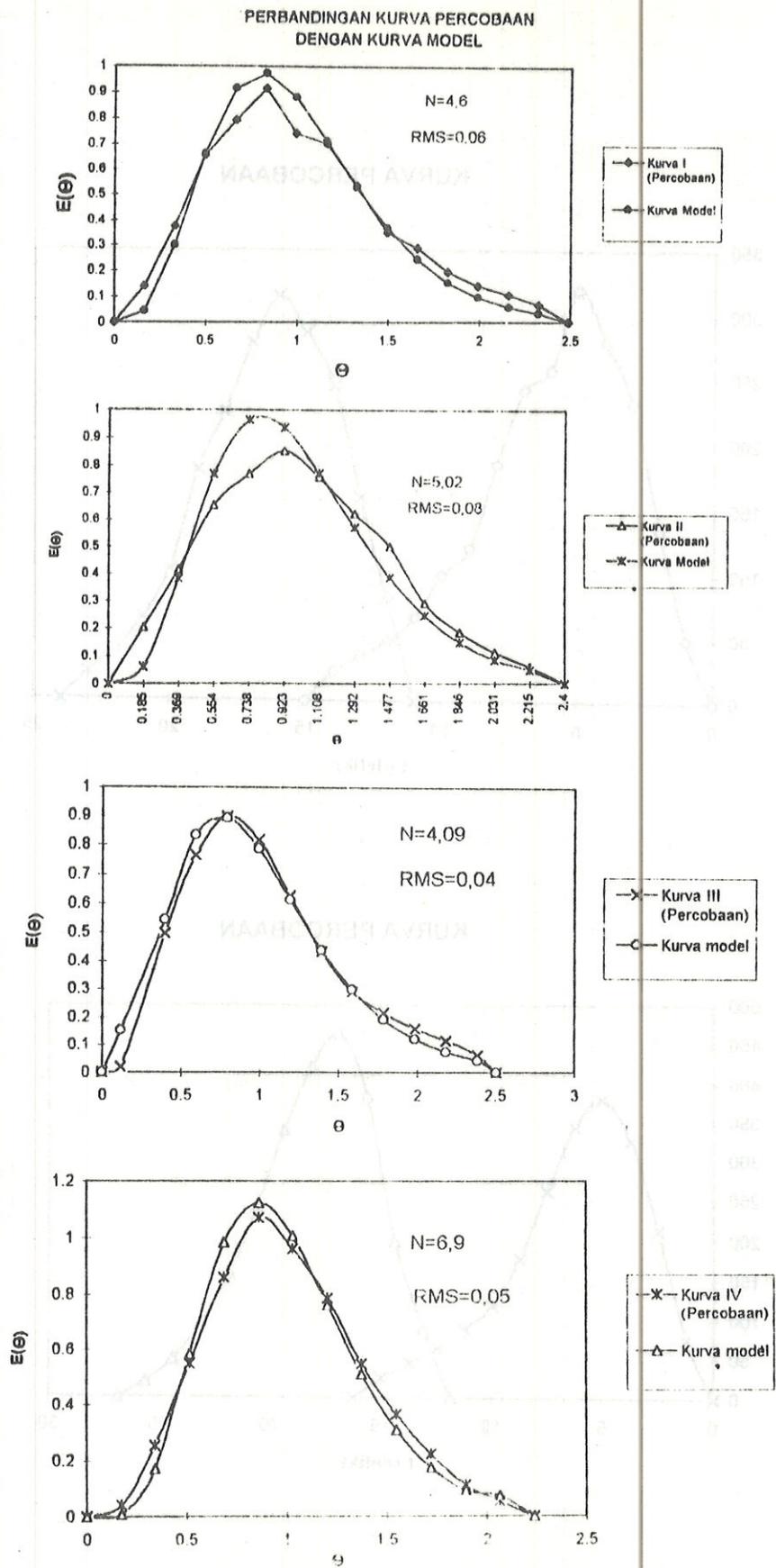
Waktu (detik)	Volume (cm ³)	Debit (cm ³ /detik)
8,6	2750	31977
6,8	2700	39706
8,1	2995	36975
7,1	2700	38028
8,3	3200	38554



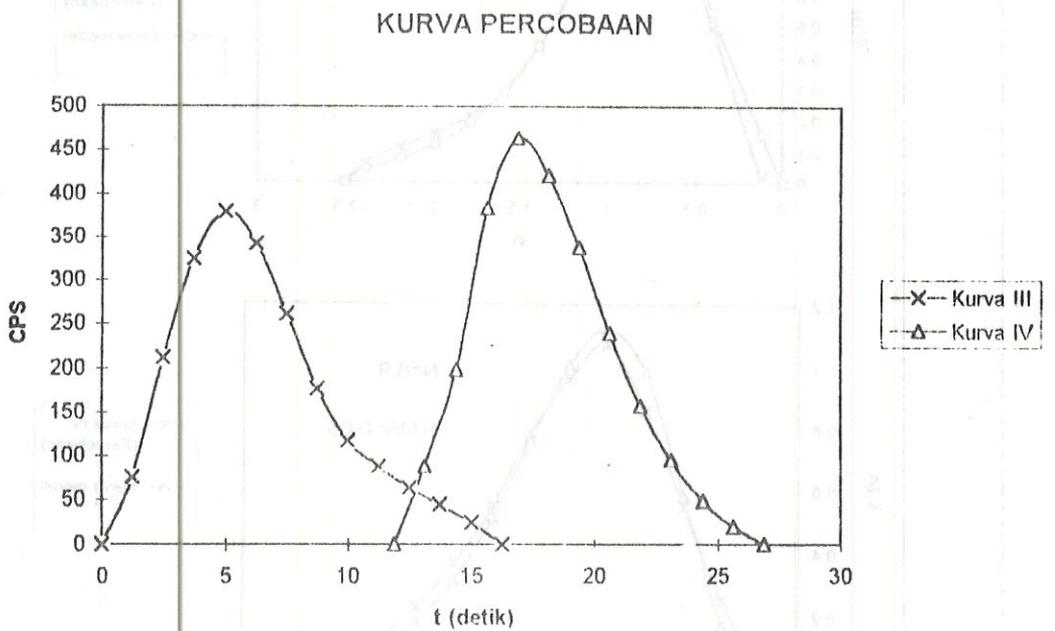
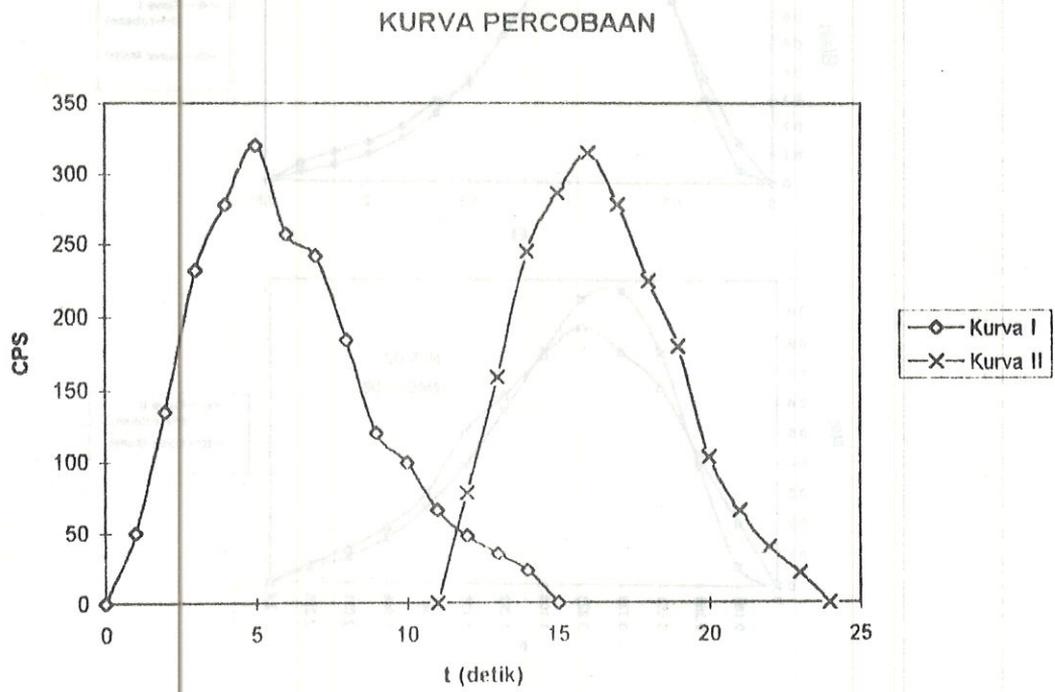
Gambar 3. Kurva-kurva distribusi waktu tinggal (RTD) untuk model bejana berderet



Gambar 4. Rancangan sistem simulasi



Gambar 5. Perbandingan kurva percobaan dengan kurva model bejana berderet



Gambar 6. Kurva hasil percobaan

DISKUSI

LILI ARLINA BARDAN

Menurut Anda metode mana yang paling baik dipakai untuk penelitian ini? MRT atau Peak to Peak?

SUGIHARTO

1. Kedua-duanya baik, hanya saja metode Peak to Peak lebih praktis digunakan (kalau kurva yang diperoleh berbentuk simetri gauss), tetapi penerapan metode peak to peak mempunyai kesalahan lebih besar (jika kurva yang diperoleh cenderung miring - skew).
2. Kalau kurva percobaan berbentuk simetri Gauss, maka pasti, nilai Peak = nilai NMR. Jika lebar kurva input > lebar kurva output, maka hanya metode Peak to Peak yang dapat digunakan.

KABUL MULYONO

Bagaimana menurut penjelasan Anda tentang perbedaan besarnya bejana dan diameter pipa yang digunakan, apakah hasil laju aliran dan bagaimana masalah belokan-belokan sistem pipa instalasi antara prototip percobaan dengan aplikasi lapangan?

SUGIHARTO

Persamaan differensial untuk model bejana berderet $V^{dC_i}/dt = Q(C_{i-1} - C_i)$, V = Volume sistem proses, Q = debit aliran.

Sedangkan $Q = V.A$, A = luas penampang pipa.

Persamaan datar dapat ditulis $dC_i/dt = A(C_{i-1} - C_i)$ dari persamaan ini terlihat bahwa diameter pipa tidak mempengaruhi pengukuran, karena A = konstan. Tentu saja untuk pipa dengan diameter yang lebih besar maka isotop yang diinjeksikan juga harus lebih besar agar secara signifikan dapat dibedakan dengan laju cacahan latar belakang.

Dalam model bejana berderet, sistem yang sesungguhnya dapat dinyatakan sebagai sistem yang tersusun dari sejumlah bejana model.

Contoh

Dari hasil perhitungan diperoleh $n = 4,09$ ini artinya menurut model sistem proses tersebut disusun oleh 4,09 bejana model.

Adanya belokan-belokan pada rig percobaan simulasi mengakibatkan terjadinya turbulensi pada aliran, sehingga memperbesar terjadinya pencampuran.

Dalam percobaan, kami melakukan pendekatan dengan mengajukan model bejana berderet untuk memahami dinamika sistem proses dengan cara menganalisis kurva-kurva RTD.

Di lapangan, model bejana berderet dapat diaplikasikan pada sistem yang sebenarnya, karena sistem proses di lapangan dapat disimulasikan dalam sistem proses simulasi.

ZAINAL ABIDIN

1. Fenomena apa yang dapat diambil dari perbedaan kurva ideal dan percobaan?
2. Pengaruh Scaling dan korosi dapat terdeteksi?

SUGIHARTO

1. Kurva ideal dibangun dari anggapan-anggapan aliran ideal yang dinyatakan dalam persamaan differensial. Data-data percobaan digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial dan dinyatakan dalam bentuk kurva, kemudian kurva percobaan dibandingkan dengan kurva ideal. Perbedaan kurva ideal dengan kurva percobaan menunjukkan tingkat kesesuaian 'fitting' dan dinyatakan dalam nilai RMS (Root Mean Square). Menurut teori 'fitting' baik, jika $RMS \leq 0,04$, sedangkan bentuk (lebar dan tinggi) kurva menentukan besarnya pengaruh proses pencampuran yang terjadi di dalam sistem proses.
2. Pengaruh Scaling dan korosi secara prinsip dapat dideteksi dengan model matematika, karena kurva RTD yang dihasilkan hanya dipengaruhi oleh pola aliran di dalam sistem proses.

SRI WAHYUNI

Anda melakukan pengukuran dan perhitungan dari model matematik.

1. Dengan cara apa memecahkan masalah dari model matematika tersebut?
2. Jika secara komputasi, program dan bahasa apa yang Anda pakai?

SUGIHARTO

1. Dengan cara menganalisis kurva/fungsi distribusi waktu tinggal {RTD (Residensi Time Distribution)}.
2. Dalam menghitung/menganalisis fungsi RTD, kami menghitung secara manual numerik tidak dengan program komputer.

Model matematika dapat diprogram ke dalam bahasa basic/Quick Basic

DISKUSI

Di lapangan, model belajar tersebut dapat di-aplikasikan pada sistem yang sebenarnya, karena sistem proses di lapangan dapat dimodelkan dalam sistem proses simulasi.

ZAINAL ABIDIN

- 1. Fenomena apa yang dapat diambil dari perbedaan kurva ideal dan percobaan?
- 2. Pengaruh Scaling dan faktor apa yang terdapat?

SUCHARTO

1. Kurva ideal dibangun dari anggapan-anggapan utama ideal yang diletakkan dalam persamaan diferensial. Data-data percobaan digunakan untuk menyesuaikan persamaan diferensial dan dinyatakan dalam bentuk kurva. Kemudian kurva percobaan dibandingkan dengan kurva ideal. Perbedaan kurva ideal dengan kurva percobaan menunjukkan tingkat kesesuaian fitting dan dinyatakan dalam nilai RMS (Root Mean Square). Mean square error (MSE) baik jika RMS < 0.04, sedangkan bentuk (lebar dan tinggi) kurva menunjukkan besarnya pengaruh proses pendinginan yang terjadi di dalam sistem proses.

- 2. Pengaruh Scaling dan faktor secara prinsip dapat di-telusuri dengan model matematika, karena kurva RTD yang dihasilkan hanya dipengaruhi oleh pola aliran di dalam sistem proses.

SRI WAHYUNI

- 1. Anda melakukan pengalokasian dan perhitungan dari model matematika.
- 2. Dengan cara apa memecahkan masalah dari model matematika tersebut?
- 3. Jika secara komputer program dan bahasa apa yang Anda pakai?

SUCHARTO

- 1. Dengan cara menggunakan kurva fitting diplot walai (tanggul) (RTD (Residence Time Distribution)).
- 2. Dalam menghitung/menganalisis tanggul RTD, kami menghitung secara manual namun tidak dengan program komputer.
- 3. Model matematika dapat diprogram ke dalam bahasa basic/Quick Basic.

LEI ARLINE BARDAN

Metode Anda metode mana yang paling baik dipakai untuk pemecahan soal? (MRT dan Peak to Peak?)

SUCHARTO

- 1. Kedua-duanya baik, hanya saja metode Peak to Peak lebih praktis digunakan (karena kurva yang diperoleh ber-bentuk simetri Gauss) tetapi penggunaan metode peak to peak mempunyai kesalahan lebih besar (jika kurva yang diperoleh cenderung miring - skew).
- 2. Kalau kurva percobaan berbentuk simetri Gauss maka persamaan $Peak = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{1}{2}(\frac{t - \mu}{\sigma})^2)$ dapat dipakai untuk mencari μ dan σ dari kurva input. Jika kurva output maka hanya metode Peak to Peak yang dapat digunakan.

KARLA MELLYONO

Bagaimana pendapat penjelasan Anda tentang per-cobaan tersebut? Apakah diameter pipa yang digunakan dapat mempengaruhi besarnya masalah belokan? Apakah masalah belokan tersebut mempengaruhi perbedaan antara prototipe percobaan dengan aplikasi lapangan?

SUCHARTO

Program differential untuk model panas per-cobaan $V \frac{dT}{dt} + Q_c(T - T_c) = V \rho C_p \frac{dT}{dt}$ Volume sistem proses.

Volume sistem proses $V = A \cdot L$ (A = luas penampang pipa, L = total aliran).

Persamaan diferensial $V \frac{dT}{dt} + Q_c(T - T_c) = V \rho C_p \frac{dT}{dt}$ dapat persamaan ini terdapat bahwa diameter pipa tidak berpengaruh terhadap kurva karena $A = konstan$. Untuk itu maka pipa dengan diameter yang lebih besar agar secara fisik dan matematika yang harus lebih besar agar secara matematika dapat dibedakan dengan lain cacahan lain be-lakangan.

Terdapat model panas percobaan sistem yang sangat-sangat tepat dan akurat dengan sistem yang terasim dan semudah dengan model.

Contoh: Untuk hasil perbandingan diperoleh $n = 4.09$ ini artinya menurut model hasil proses tersebut haruslah lebih dari 4.09 bagian model.

Adanya belokan belokan pada uji percobaan ini menunjukkan bahwa terjadinya turbulensi pada aliran, sehingga mempengaruhi hasil percobaan.

Dalam percobaan, kami melakukan percobaan dengan menggunakan model panas percobaan untuk mem-bantu memahami sistem proses dengan cara menggunakan kurva-kurva RTD.