

PENGGUNAAN MODEL MIGRASI RADIONUK-
LIDA DALAM PENELITIAN AIR TANAH

Syafalni, Simon Manurung,
dan Indroyono

PENGGUNAAN MODEL MIGRASI RADIONUKLIDA DALAM PENELITIAN AIR TANAH*

Syafalni**, Simon Manurung**, dan Indrojono**

ABSTRAK

PENGGUNAAN MODEL MIGRASI RADIONUKLIDA DALAM PENELITIAN AIR TANAH. Persamaan matematis model migrasi radionuklida dengan menggunakan solusi analitik untuk injeksi sesaat dapat dipakai untuk menghitung distribusi radionuklida dalam sistem air tanah. Model ini dimanfaatkan hanya untuk media homogen dan dituangkan dalam bahasa pemrograman komputer BASIC atau bahasa pemrograman lainnya. Aplikasi dalam penelitian air tanah, model dapat digunakan untuk memperkirakan aktivitas radionuklida yang diinjeksikan sehingga kesalahan penelitian dapat dihindari dengan menghitung aktivitas radionuklida yang akan dihasilkan. Disamping itu dapat juga menghitung "tracer recovery" pada lokasi dan waktu tertentu. Pengujian program model ini dilakukan dengan data penelitian lapangan minyak LIRIK SAGO.

ABSTRACT

THE USE OF RADIONUCLIDE MIGRATION MODEL FOR GROUNDWATER INVESTIGATIONS. Mathematical equation of radionuclide migration model by using analytical solution for instantaneous injection can be applied for calculation of radionuclide distribution in the groundwater system. The model is applicable only to homogeneous media and can be written in BASIC computer programming language or others computer programming language. In the application for groundwater investigation, the model can be used to estimate radionuclide activities which will be injected in order to avoid investigation error. And then, It can also be used to calculate the tracer recovery at certain location and time. The verification of the model program was carried out by using the data from LIRIK SAGO.

*Disajikan dalam Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir IV, 2 - 3 Februari 1994

**Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi - BATAN

PENDAHULUAN

Studi pergerakan air tanah dengan teknik perunut (tracer) radioaktif pada dasarnya menganut falsafah keselamatan radiasi baik terhadap pekerja, manusia maupun keselamatan lingkungan yang berpedoman pada prinsip proteksi radiasi. Dalam pelaksanaan penelitian air tanah, agar tidak terjadi pencemaran baik terhadap pekerja, manusia dan lingkungan, maka sangat perlu dilakukan evaluasi terhadap aktivitas radionuklida yang akan digunakan dalam penelitian air tanah. Hal ini dapat dilaksanakan dengan perhitungan ilmu air tanah secara manual ataupun dengan program komputer model migrasi radionuklida. Disamping itu model tersebut juga dapat digunakan untuk menghitung "tracer recovery" yang dapat dipakai untuk menghitung efisiensi sumur dalam ilmu air tanah dan juga untuk studi AMDAL (Analisis mengenai dampak lingkungan) pada suatu lokasi.

Dalam pelaksanaan penelitian pergerakan air tanah dengan perunut radioaktif, aktivitas perunut radioaktif yang dipakai (diinjeksikan) dihitung berdasarkan luas distribusi dan titik pengukuran. Dalam pelaksanaannya distribusiaktivitas tersebut harus berada diantara nilai batas konsentrasi maksimum yang diizinkan (Maximum permissible concentration atau MPC) dan nilai minimum yang dapat dideteksi (minimum detectable atau MD).

Pada prakteknya model digunakan dengan menggunakan data formasi lokasi penelitian dengan asumsi bahwa formasi daerah penelitian homogen.

Beberapa tahun terakhir ini dari literatur-literatur terlihat bahwa para peneliti ternyata semakin banyak menggunakan model matematis dalam membantunya memecahkan masalahnya,

sehingga penggunaan program komputer dan pemodelan menjadi sangat bermanfaat.

MODEL MATEMATIK MIGRASI

Migrasi radionuklida dalam media geologi dapat dijelaskan dengan persamaan transport radionuklida. Berbagai-bentuk persamaan transport telah dipublikasikan dalam literatur-literatur untuk mempredik pergerakan zat pencemar atau perunut dalam media geologi.

Persamaan model migrasi radionuklida (1,2,3) dalam sistem air yang melewati media poros dapat ditulis secara matematis dalam dua dimensi sbb,

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{D_{xx}}{R_d} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{D_{yy}}{R_d} \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \frac{V_x}{R_d n_e} \frac{\partial C}{\partial x} - \lambda C \quad (1)$$

yang mana,

R_d = faktor retardasi

C = konsentrasi radionuklida

D_{ii} = koefisien dispersi

V_x = kecepatan aliran arah x

λ = konstanta peluruhan

n_e = porositas efektif

Parameter koefisien dispersi yang terdapat pada persamaan diatas didefinisikan sebagai berikut,

$D_{xx} = a_L V_x / n_e$ atau $D_{xx} = a_L v$

$D_{yy} = a_T V_x / n_e$ atau $D_{yy} = a_T v$

v = kecepatan aliran rata-rata

a_L = dispersivitas longitudinal

a_T = dispersivitas transpersal

Bila persamaan (1) diatas diselesaikan dengan solusi analitik untuk injeksi sesaat dengan anggapan bahwa massa G yang terdistribusi kedalam sistem dengan tebal lapisan formasi poros B dan porositas ne maka persamaan akan menjadi sbb,

$$C = \frac{G}{4\pi B n_e v t (aL + aT)^{1/2}} e^{-[\{(x-v/Rd t)^2/(4aL v/Rd t)\} + \{y^2/(4aT v/Rd t)\} + \lambda t]} \quad (2)$$

Persamaan transport massa tersebut diselesaikan dengan solusi analitik pada kondisi awal dan batasan yang dipengaruhi oleh geometri lapangan.

Persamaan (1) dapat juga diselesaikan dalam bentuk persamaan satu dimensi, menjadi sebagai berikut :

$$C = \frac{G}{2B n_e Rd (\pi aL v/Rd t)^{1/2}} e^{-\lambda t} * e^{-\{(x-v/Rd t)^2/(4aL v/Rd t)\}} \quad (3)$$

yang mana,

B = tebal lapisan

G = jumlah perunut (aktivitas perunut)

C = konsentrasi perunut pada waktu (t) dan tempat tertentu.

Penggunaan solusi analitik diatas dalam aplikasinya dilakukan dengan menuangkannya dalam bahasa pemrograman BASIC dengan INPUT sebagai berikut,

- Kecepatan aliran rata-rata (m/hari)
- Faktor retardasi
- Konstanta peluruhan (1/hari)
- Tebal lapisan formasi media poros (meter)
- Porositas efektif
- Dispersivitas longitudinal
- Massa pollutan (jumlah pollutan)
- Jarak sumur injeksi dan sumur produksi atau sumur pengamatan

(meter)

OUTPUT yang dihasilkan adalah dalam konsentrasi (aktivitas) pada tempat dan waktu tertentu.

APLIKASI MODEL

Program dapat diaplikasikan untuk menghitung distribusi konsentrasi radionuklida dengan memberi data INPUT pada program yang disiapkan.

Penentuan jumlah perunut yang diinjeksikan dalam suatu penelitian air tanah dapat dilakukan dengan menggunakan model migrasi. Dalam pelaksanaannya semua data INPUT dievaluasi dari data hidrogeologi lokasi yang parameteranya seperti data INPUT diatas. Contoh data INPUT secara keseluruhan sbb,

- Kecepatan aliran (m/hari) dapat dihitung memakai persamaan Darcy berikut,

$$v = \frac{K}{ne} \frac{h}{L}$$

yang mana v = kecepatan aliran

K = koefisien permeabilitas

h = perbedaan tinggi muka air

L = jarak titik injeksi dan titik pengamatan

- Faktor retardasi adalah mengacu pada jenis radionuklida yang diinjeksikan yang dalam makalah ini digunakan Tritium dengan senyawa air nilainya adalah 1.
- Konstanta peluruhan yang tergantung pada jenis radionuklida yang digunakan untuk perunut.
- Ketebalan formasi atau akuifer dari data hidrogeologi
- Porositas efektif nilainya disesuaikan dengan data formasinya.
- Dispersivitas longitudinal dapat mengacu pada literatur yang

disesuaikan jenis formasi media poros yang diteliti.

- Massa polutan adalah total aktivitas radionuklida yang diinjeksikan

Evaluasi data dari studi rembesan waduk Bening Nganjuk, Jawa Timur (4) yang digunakan sebagai data INPUT sebagai contoh simulasi perhitungan jumlah aktivitas tritium yang diinjeksikan adalah,

1. Kecepatan aliran = 0,7945 m/hari
2. Faktor retardasi = 1
3. Konstanta peluruhan = 0,0001549
4. Tebal formasi = 20 meter
5. Porositas efektif = 0,25
6. Dispersivitas longitudinal = 0,05
7. Massa polutan = 1 Ci
8. Jarak sumur injeksi dan sumur pengamatan = 580 meter

Hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ,
Tabel 1 : Hasil simulasi rembesan waduk Bening, Nganjuk

WAKTU (hari)	Aktivitas (Ci/m ³)
580	0
600	0
620	2,150E-36
640	1,451E-24
660	1,521E-15
680	4,389E-09
700	5,771E-05
720	5,423E-03
740	5,435E-03
760	8,315E-05
780	2,679E-08
800	2,427E-13
820	8,036E-20
840	1,231E-27
860	1,081E-36
880	0
900	0

Pada Tabel 1 tersebut aktivitas Tritium yang akan muncul adalah pada 740 hari dengan aktivitas maksimum 5,435E-03

Ci/m³ atau 5,435E-03 μ Ci/ml. Data INPUT dan OUTPUT dari contoh ini dapat dilihat pada Lampiran.

Penggunaan data INPUT dari proyek "waterflood" lapangan minyak PERTAMINA-LIRIK PETROLEUM (JOB) yang injeksi perunut Tritium dilakukan pada 6 April 1993 sebanyak 5 Ci. Data geologi lapangan LIRIK SAGO yang didapat dari ahli teknik reservoir lapangan untuk sumur produksi LS-106 adalah (3),

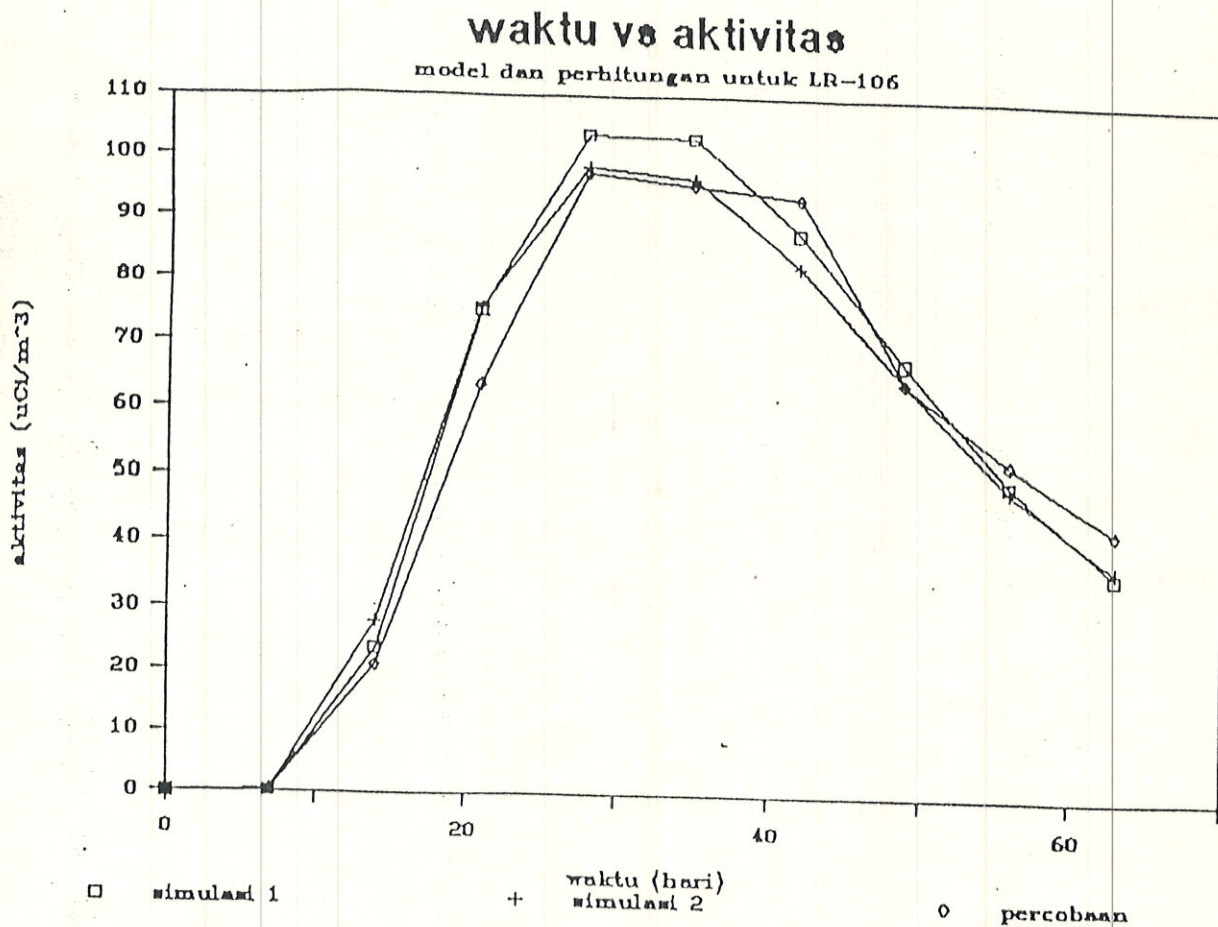
- jarak dari LS-98 = 120 meter
 - ketebalan lapisan formasi = 25,6 meter
 - porositas = 0,242 - 0,2734
 - estimasi waktu terobos 73,81 - 126,52 hari
- dan untuk sumur produksi LS-121 adalah,
- jarak dari LS-98 = 200 m
 - ketebalan lapisan formasi = 25,6 meter
 - porositas 0,242 - 0,2734

Data perunut Tritium adalah data penelitian yang diinjeksikan dan hasil yang keluar pada sumur produksi LS-106 dan LS-121. Sebagai contoh data input untuk simulasi adalah data sumur LS-106 dalam simulasi 1 sbb,

1. kecepatan aliran = 3,43 m/hari
2. Faktor retardasi = 1
3. konstanta peluruhan = 0,0001549
4. ketebalan formasi poros = 25,6 meter
5. Porositas efektif = 0,26
6. Dispersivitas longitudinal = 14 m
7. Massa pollutan = 100000 μ Ci
8. Jarak sumur = 120 meter

Hasil perbandingan simulasi dan percobaan dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Hasil simulasi tersebut didapat

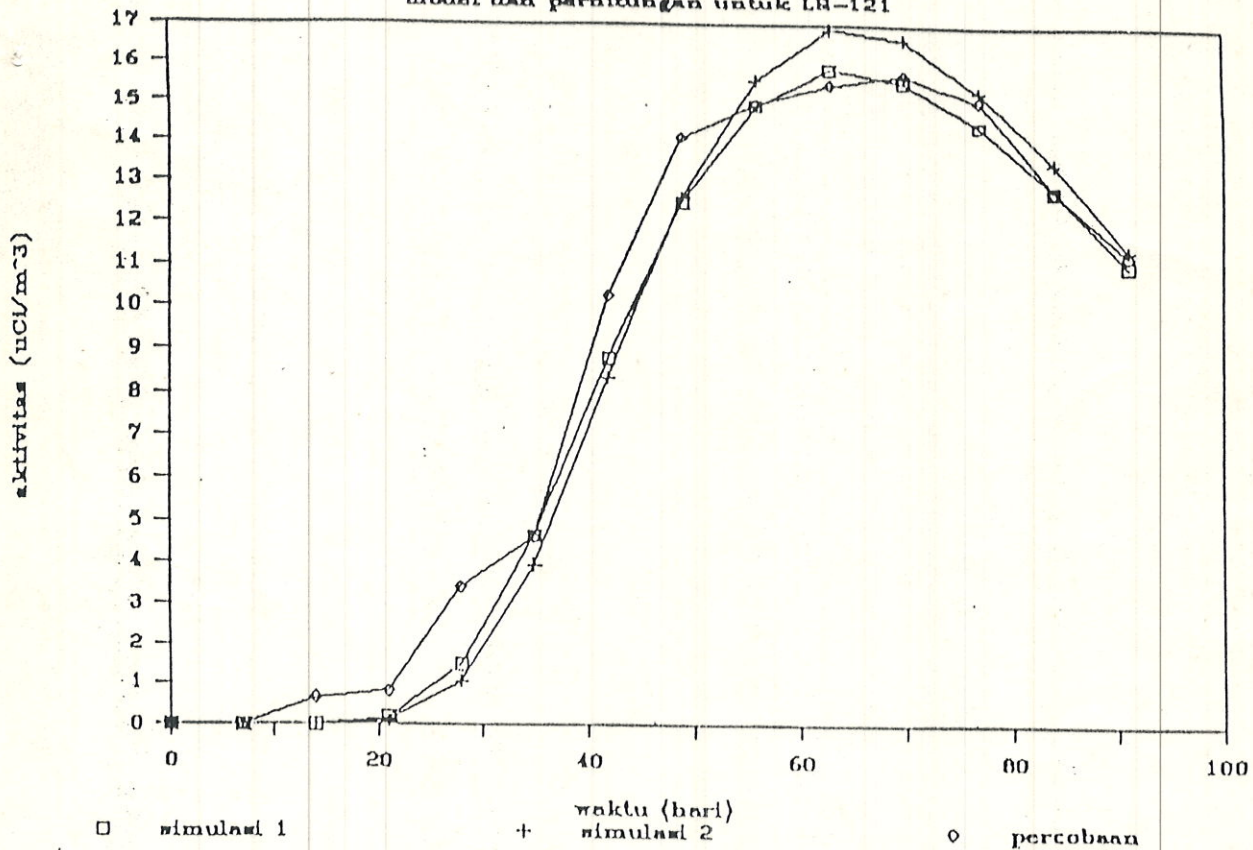
dengan mengatur kecepatan aliran, massa pollutan dan dispersivitas serta parameter lainnya sehingga luas kurva hasil percobaan mendekati sama dengan kurva yang dihasilkan simulasi. Dengan hasil tersebut model telah dapat diuji untuk suatu lapangan.



Gambar 1. Perbandingan antara hasil percobaan dengan Simulasi 1 dan Simulasi 2 untuk sumur produksi LS-106

waktu vs aktivitas

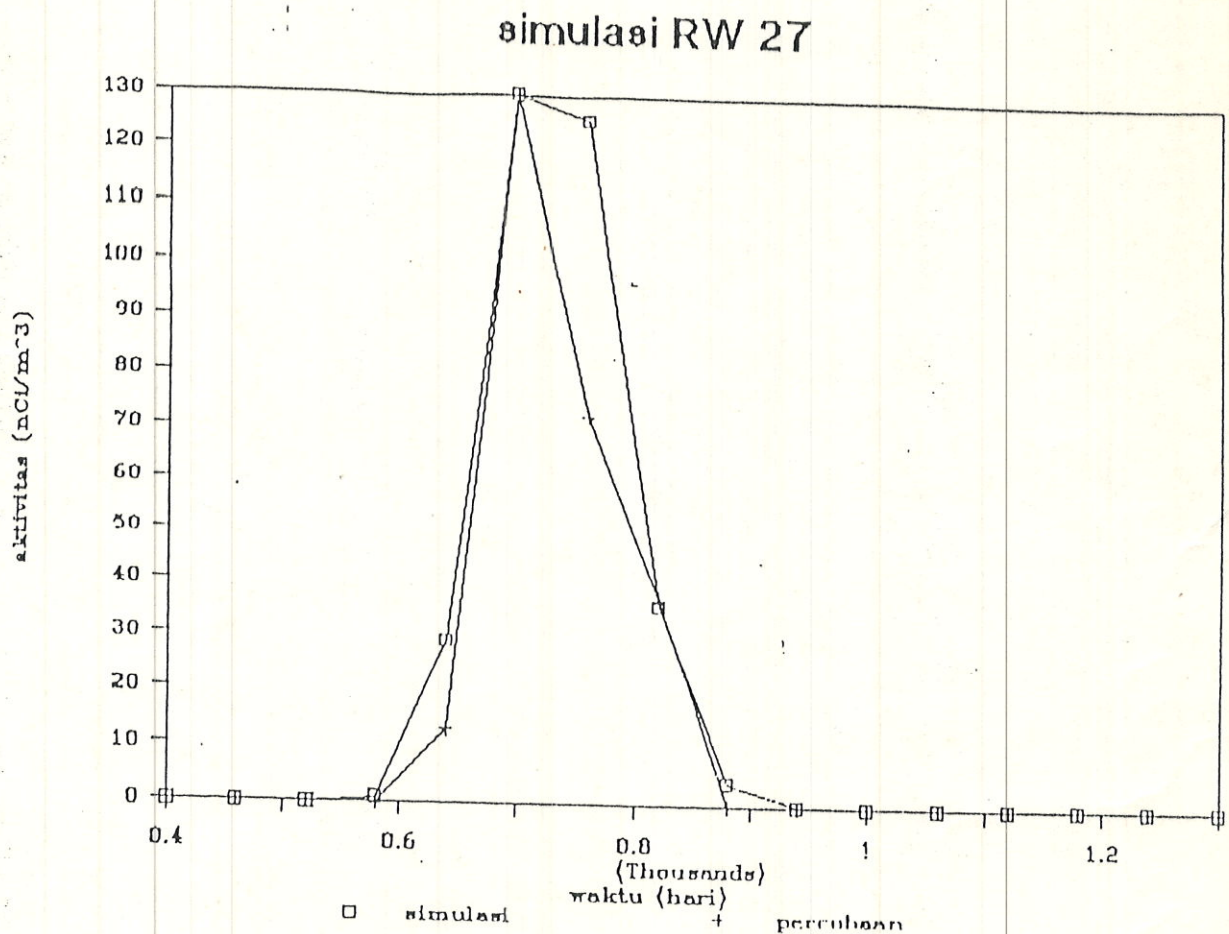
model dan perhitungan untuk LR-121



Gambar 2. Perbandingan antara hasil percobaan dengan Simulasi 1 dan Simulasi 2 untuk sumur produksi LS-121

Penggunaan data INPUT dari Studi Rembesan Waduk Bening Nganjuk, Jawa Timur yang dalam hal ini memakai data dari sumur pengamatan RW 27 dapat dilihat pada Gambar 3 dengan data INPUT sebagai berikut,

1. Kecepatan aliran = 0,7945 m/hari
2. Faktor retardasi = 1
3. Konstanta peluruhan = 0,0001549
4. Ketebalan formasi = 20 meter
5. Dispersivitas longitudinal = 1,45
6. Massa polutan (G) = 87000 μCi
7. Jarak sumur = 580 meter



Gambar 3. Perbandingan antara hasil percobaan dengan simulasi untuk RW 27.

Perbedaan antara hasil percobaan dan simulasi pada studi rembesan Bendung Bening untuk RW 27 adalah disebabkan waktu pengambilan sampel.

KESIMPULAN

Dengan menggunakan model migrasi radionuklida maka jumlah perunut radionuklida yang akan diinjeksikan dan yang keluar dari sumur pengamat dapat dihitung.

DAFTAR PUSTAKA

1. W. KINZELBACH "Groundwater Modelling", Elsevier, Amsterdam, 1986
2. D. KLOZT, K.P> SEILER, H. MOSER and NUUMAIR " Dispersivity and velocity relationship from Laboratory and field experiments", Journal of hydrology, 45 (1980), pp 169-184
3. SYAFALNI DKK "Penentuan "tracer recovery" dengan model migrasi radionuklida untuk studi "waterflood"", APISORA, PAIR, Jakarta 1993
4. HIDROLOGI BAFI BATAN "Studi rembesan bendungan pada proyek pengembangan wilayah Widas Basin", Final report, Jakarta 1986

Lampiran 1.

Program Model migrasi radionuklida

```
10 REM Perhitungan distribusi konsentrasi radionuklida
20 REM      untuk penentuan tracer recovery
30 REM      Oleh : Syafalni
40 REM      PAIR - BATAN
50 REM      Agustus 1993
55 OPEN "D",E1,"DATAOUT"
60 PRINT "Perhitungan 1-D dan 2-D"
70 PRINT "Distribusi konsentrasi"
80 PRINT "untuk injeksi sesaat"
90 PRINT : PRINT "Kecepatan konstan dan aliran parallel terhadap sumbu X"
100 REM INPUT Parameter dan Data
110 INPUT "Anda bekerja dalam 1-D atau 2-D (1/2):";DI
120 IF DI<>1 AND DI<>2 THEN GOTO 110
130 DIM C(7000)
140 REM Parameter
150 PRINT : PRINT "PARAMETER": PRINT "======"
160 INPUT "Kecepatan aliran (M/H)      :";U
170 IF U<=0 THEN GOTO 160
180 INPUT "Faktor Retardasi   (-)      :";R
190 IF R<1 THEN GOTO 180
200 INPUT "Konstanta Peluruhan (1/H)   :";LA
210 IF LA<0 THEN GOTO 200
220 INPUT "Ketebalan akuifer   (M)      :";M
230 IF M<=0 THEN GOTO 220
240 INPUT "Porositas efektif   (-)      :";NE
250 IF NE<=0 THEN GOTO 240
260 INPUT "Long. Dispersivitas (M)      :";AL
270 IF AL<=0 THEN GOTO 260
280 IF DI=2 THEN INPUT "Trans. Dispersivitas (M) :";AQ:IF AQ<=0 THEN GOTO 260
290 INPUT "Mass Pollutan      (G)      :";DM
300 PRINT : PRINT : INPUT "Apakah semua parameter OK ? (Y/N):";A$
310 IF A$ = "N" THEN GOTO 150
320 PI=3.141592654E
330 PRINT:PRINT "WAKTU DAN LOKASI  ": PRINT "=====":PRINT
340 INPUT "WAKTU PERHITUNGAN :";T
350 INPUT "JARAK WAKTU PERHITUNGAN :";TAI
360 INPUT "WAKTU AWAL PERHITUNGAN :";K
370 IF T=0 THEN PRINT : PRINT "Singularitas": GOTO 600
380 INPUT "LOKASI PADA SUMBU-X (M) :";X
390 IF DI=2 THEN INPUT "LOKASI PADA SUMBU-Y (M) :";Y
400 PRINT : PRINT
410 PRINT "WAKTU","KONSENTRASI"
415 PRINT E1,"WAKTU","KONSENTRASI"
420 PRINT "HARI","G/M^3"
425 PRINT E1,"HARI","G/M^3"
430 PRINT "====="
435 PRINT E1,"====="
440 IF DI=2 GOTO 530
450 FOR I=K TO T STEP TAI
```

```

460 REM 1-D INJEKSI SESAAT
470 UK=U*I/R
475 IF I=0 THEN GOTO 495
480 AR=(X-UK)^2/(4*AL*UK)
490 C(I)=DM/(2*M*NE*R*SQR(PI*AL*UK))*EXP(-AR)*EXP(-LA*I)
495 C(0)=0
500 PRINT I,C(I)
505 PRINT E1,I,C(I)
510 NEXT I
520 GOTO 600
530 REM 2-D INJEKSI SESAAT
540 FOR I=K TO T STEP TAI
550 UK=U*I/R
555 IF I=0 THEN GOTO 575
560 AR=(X-UK)^2/(4*AL*UK)+Y^2/(4*AD*UK)+LA*I
570 C(I)=DM/(4*PI*HE*M*U*SQR(AL*AD*I))*EXP(-AR)
575 C(0)=0
580 PRINT I,C(I)
585 PRINT E1,I,C(I)
590 NEXT I
595 CLOSE E1
600 PRINT:INPUT "Apakah ingin mencoba dengan parameter baru ? (Y/N)";A$
610 IF A$="Y" THEN GOTO 140
620 PRINT : INPUT "Waktu dan Lokasi baru ? (Y/N)";A$
630 IF A$="Y" THEN GOTO 330
640 END

```

Lampiran 2.

OUTPUT Program

Perhitungan 1-D dan 2-D
Distribusi konsentrasi
untuk injeksi sesaat

Kecepatan konstan dan aliran parallel terhadap sumbu X
Anda bekerja dalam 1-D atau 2-D (1/2):? 1

PARAMETER

=====

Kecepatan aliran (M/H) :? 0.7945
Faktor Retardasi (-) :? 1
Konstanta Peluruhan (1/H) :? 0.0001549
Ketebalan akuifer (M) :? 20
Porositas efektif (-) :? 0.25
Long. Dispersivitas (M) :? 0.05
Mass Pollutan (G) :? 1

Apakah semua parameter OK ? (Y/N):? Y

Waktu dan Lokasi baru ? (Y/N)? Y

WAKTU DAN LOKASI

=====

WAKTU PERHITUNGAN :? 900
JARAK WAKTU PERHITUNGAN :? 20
WAKTU AWAL PERHITUNGAN :? 550
LOKASI PADA SUMBU-X (M) :? 550

WAKTU HARI	KONSENTRASI G/M ³
=====	=====
580	0
600	0
620	2.15041E-36
640	1.450685E-24
660	1.521415E-15
680	4.388647E-09
700	5.771733E-05
720	5.423354E-03
740	5.435455E-03
760	8.315488E-03
780	2.678925E-08
800	2.427592E-13
820	8.035697E-20
840	1.230769E-27
860	1.080829E-36
880	0
900	0

Apakah ingin mencoba dengan parameter baru ? (Y/N)?