

ESTIMASI AKTIVITAS RADIO PERUNUT TRITIUM UNTUK STUDI INTERKONEKSI DI LAPANGAN PANAS BUMI

Rasi Prasetyo dan Satrio

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440
email: rasi_p@batan.go.id

ABSTRAK

ESTIMASI AKTIVITAS RADIO PERUNUT TRITIUM UNTUK STUDI INTERKONEKSI DI LAPANGAN PANAS BUMI. Radio perunut ^3H (tritium) telah banyak diaplikasikan pada berbagai lapangan panas bumi di seluruh dunia. Aplikasi ini dilakukan dengan jalan menginjeksikan radio perunut dengan aktivitas tertentu ke dalam sumur reinjeksi yang bertujuan untuk mengetahui interkoneksi antara sumur injeksi dengan sumur-sumur produksi di sekitarnya. Aktivitas radio perunut yang diinjeksikan harus disesuaikan dengan kondisi lapangan dan cakupan atau volume reservoir, limit deteksi alat serta aspek keamanan dan keselamatan terhadap pekerja maupun lingkungan sekitarnya dari bahaya radiasi. Perencanaan proses injeksi harus mempertimbangkan konsentrasi maksimum yang masih diijinkan atau maximum permissible concentration (MPC) dan konsentrasi minimum yang masih dapat terukur oleh alat pencacah atau minimum detection limit (MDL). Berdasarkan perhitungan, injeksi radio perunut tritium pada lapangan panas bumi Kamojang dapat dilakukan dengan aktivitas minimal 0,15 Ci dan maksimal 22100 Ci, sementara pada lapangan Lahendong minimal 0,65Ci dan maksimal 7230 Ci. Pada kedua studi injeksi tersebut, tritium terdeteksi pada sumur monitoring dalam batas MDL dan MPC. Dengan perhitungan estimasi ini aktivitas perunut yang dilepas ke lingkungan tetap dalam batas aman, sementara tidak terdeteksinya tritium pada sumur monitoring menandakan tidak adanya hubungan antara sumur tersebut dengan sumur reinjeksi.

Kata Kunci: radio perunut, tritium, reservoir, panas bumi, MDL, MPC

ABSTRACT

ESTIMATION OF TRITIUM RADIOTRACER ACTIVITY FOR INTERCONNECTION STUDY IN GEOTHERMAL FIELD. Tritium radiotracer (^3H) has been applied widely in many geothermal fields around the world. This application was done by injecting radiotracer with certain amount of activity into reinjection well in order to investigate interconnection between reinjection well with surrounding production wells. The activity of injected radiotracer must meets the field condition and the volume of reservoir, detection limit of instrument, as well as safety aspect for the workers and environment from radioactive hazard. The planning of injection process must consider the maximum permissible concentration (MPC) and minimum detection limit (MDL). Based on calculation, tritium radiotracer injection in Kamojang geothermal field can be done with minimal activity of 0.15 Ci and maximum 22100 Ci, while in Lahendong field minimum activity of 0.65 Ci and maximum 7230 Ci. In these two injection studies, tritium was detected in monitoring wells between MDL and MPC limit. By using this estimation calculation, the activity of tritium that released into the environment within safety limit, thus monitoring wells with undetectable tritium infer no connectivity between those wells with reinjection well.

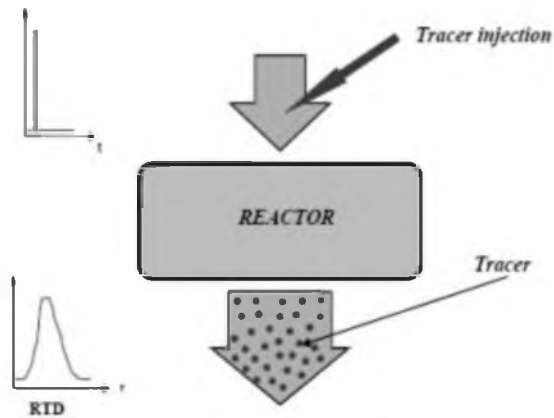
Keywords: radiotracer, tritium, reservoir, geothermal, MDL, MPC

PENDAHULUAN

Perunut (*tracer*) merupakan senyawa yang ditambahkan ke dalam suatu reaktor atau sistem dimana deteksi senyawa setelah melewati sistem akan menggambarkan karakteristik sistem tersebut (Gambar 1). Metode perunut banyak digunakan dalam bidang panas bumi dan dilakukan dengan cara menginjeksikan sejumlah perunut dengan konsentrasi tertentu ke dalam sumur injeksi.

Metode radio perunut secara kualitatif dilakukan untuk menentukan interkoneksi atau keterhubungan antara sumur injeksi dengan sumur produksi di

sekitarnya. Sementara secara kuantitatif teknik tersebut dilakukan untuk menentukan waktu terobosan (*break through time*) perunut dari sumur injeksi ke sumur produksi serta *recovery* (perolehan kembali) dari perunut [1]. Selain itu, metode perunut juga dikembangkan untuk identifikasi patahan (*fracture*) yang berkontribusi terhadap produksi fluida panas bumi [2]. Keberhasilan injeksi perunut akan menentukan manajemen sistem reinjeksi di lapangan panas bumi yang merupakan kunci suksesnya keberlangsungan eksploitasi panas bumi [3].



Gambar 1. Prinsip kerja perunut [7]

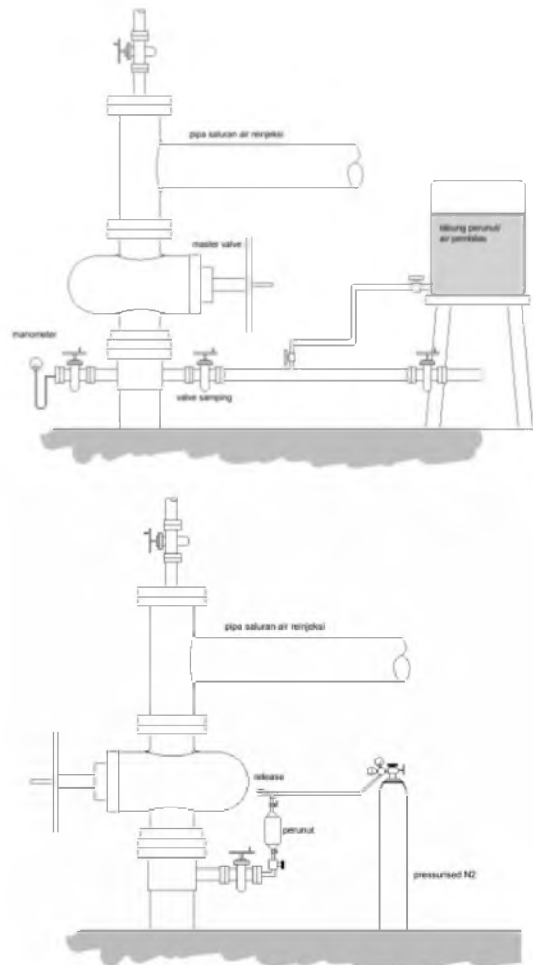
Ada dua jenis perunut yang biasa digunakan, yaitu perunut kimia (organik) dan radio perunut. Perunut organik memiliki beberapa kelemahan antara lain sifatnya yang mudah terdegradasi dalam temperatur tinggi dan volume injeksi yang relatif besar [4, 5]. Sementara isotop radioaktif yang sering digunakan antara lain ^3H (tritium), ^{125}I dan ^{60}Co yang merupakan pemancar β dan larut sempurna dalam air [6]. Sementara itu, besarnya aktivitas radio perunut yang akan diinjeksikan disesuaikan dengan kondisi lapangan dan cakupan atau volume reservoir serta dengan mempertimbangkan aspek keselamatan bagi pekerja maupun lingkungan. Hal ini sangat menentukan karena berkaitan dengan *maximum permissible concentration* (MPC) atau batas maksimum konsentrasi yang diijinkan maupun *minimum detection limit* (MDL) atau batas minimum konsentrasi yang masih dapat terukur oleh alat pencacah.

Dalam makalah ini proses pemilihan radio perunut, estimasi aktivitasnya, sistem injeksi hingga monitoringnya beserta contoh di beberapa lapangan panas bumi dijelaskan sebagai pedoman untuk melaksanakan injeksi perunut di lapangan panas bumi.

TATA KERJA

Sistem injeksi

Radio perunut dengan aktivitas tertentu diinjeksikan di sumur injeksi melalui sistem injektor dan secara berkala dimonitor di sumur-sumur produksi. Pemantauan kemunculan radioperunut dilakukan dengan cara mengambil sampel air kondensat di sumur-sumur produksi pada periode yang telah direncanakan sebelumnya. Skema koneksi antara sumur injeksi dan sumur produksi serta kelengkapannya diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Sistem injeksi perunut: negative pressure (atas), positive pressure (bawah).

Pemilihan Jenis Perunut

Pemilihan radio perunut untuk proses injeksi di lapangan panas bumi merupakan hal yang sangat penting dilakukan agar dalam pelaksanaannya dapat mencapai hasil yang diharapkan. Terdapat beberapa jenis radio perunut yang bisa dipilih antara lain ^{60}Co , ^{125}I dan ^3H (tritium). Pemilihan perunut harus memperhatikan beberapa hal:

1. Konsentrasi natural. Perunut harus tidak terdapat di dalam alam atau memiliki konsentrasi di alam (*background*) dalam jumlah yang sangat rendah dan konstan. Dengan demikian kemunculan perunut saat monitoring dapat dipastikan berasal dari perunut yang diinjeksikan.
2. Jenis fluida. Bentuk senyawa perunut harus dapat larut sempurna dalam fluida pembawa. Dalam reservoir panas bumi fluida dapat berbentuk air (cair), uap (gas), maupun campuran keduanya.

3. Sifat fisik. Perunut tidak boleh mudah teradsorpsi oleh medium yang dilaluinya (batuan), juga tidak mudah terdegradasi akibat panas dalam reservoir panas bumi. Perunut juga harus aman terhadap lingkungan dan kesehatan dalam batas yang ditoleransi.
4. Waktu paro. Perunut harus dapat dideteksi setidaknya dalam kurun waktu monitoring di sumur produksi, jangan sampai perunut sudah meluruh sebelum waktu monitoring selesai.
5. Faktor ketersediaan dan penanganan. Perunut sebaiknya tersedia secara komersial dengan harga yang tidak terlalu mahal (*reasonable*). Selain itu perunut juga harus mudah ditangani saat teknis injeksi (volume rendah).

Beberapa radio perunut yang umum digunakan untuk keperluan studi injeksi di lapangan panas bumi antara lain ^{60}Co (β , $t_{1/2}$ 5,2 tahun) dalam senyawa kompleks sianat, ^{125}I (β , $t_{1/2}$ 60 hari) dalam bentuk garam iodida, ^3H atau tritium (β , $t_{1/2}$ 12,33 tahun) dalam bentuk senyawa air (HTO) dan ^{133}Xe (β , $t_{1/2}$ 5,25 hari) [8]. Perbandingan antara radio perunut tersebut dengan kesesuaiannya dalam lapangan panas bumi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan beberapa radio perunut untuk aplikasi panas bumi.

Parameter	Radio perunut			
	^{60}Co	^{125}I	^3H	^{133}Xe
Latar rendah	ya	ya	ya	ya
Sifat fisik:				
- Adsorpsi	ya	-	-	-
- Tahan panas	< 90°C	ya	ya	ya
Waktu paro:				
- Singkat	-	-	-	ya
- Sedang	-	ya	-	-
- Panjang	ya	-	ya	-
Fasa:				
- Cair	ya	ya	ya	-
- Gas	-	-	ya	ya
- Dua fasa	-	-	ya	-

Berdasarkan perbandingan dalam tabel di atas, terlihat bahwa tritium merupakan radio perunut yang sangat ideal untuk studi interkoneksi di berbagai jenis lapangan panas bumi. Sifatnya dalam bentuk senyawa air juga memudahkan dalam transportasi dan preparasi.

Satuan aktivitas tritium dalam air dapat dinyatakan dalam unit Bq/L atau Bq/m³ maupun mCi/L atau mCi/m³ sebagaimana umumnya satuan radioaktivitas. Namun dalam aplikasi hidrologi dan perunut, terdapat juga satuan lain yaitu Tritium Unit (TU) dimana 1 TU didefinisikan sebagai 1 molekul HTO dalam 1018 molekul air yang setara dengan 0,118 Bq/L atau 3,25 pCi/L.

Estimasi jumlah radio perunut

Estimasi konsentrasi radio perunut yang akan diinjeksikan sangat penting untuk memenuhi dua keadaan, yaitu tidak terlalu besar sehingga tetap memenuhi aspek keselamatan lingkungan maupun pekerja (di bawah MPC) dan tidak terlalu rendah sehingga perunut dapat dideteksi oleh alat ukur atau berada di atas limit deteksi (MDL). Persamaan estimasinya seperti berikut

$$A = V_r \times C_{\max} \quad (1)$$

Dimana A = aktivitas radio perunut yang diinjeksikan (Ci), V_r = volume reservoir (m³) dan C_{\max} = aktivitas maksimum yang ingin terdeteksi saat monitoring ($\mu\text{Ci/L}$).

Untuk volume reservoir, dapat diestimasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_r = \pi x^2 h \phi \quad (2)$$

Dimana x = jarak antara sumur *monitoring* dengan sumur injeksi (m), h = tebal reservoir (m) dan ϕ = porositas batuan reservoir.

Maximum permissible concentration (MPC) tritium dalam air limbah sebesar 1 $\mu\text{Ci/L}$ [9] sementara untuk *minimum detection limit* (MDL) menggunakan *Liquid Scintillation Analyzer* sebesar 3 pCi/L. Ini berarti bahwa konsentrasi radiot perunut yang diinjeksikan harus berada diantara kedua nilai tersebut.

Analisis Perunut

Radio perunut tritium dianalisis menggunakan *Liquid Scintillation Counter* (LSC) di laboratorium isotop hidrologi PAIR - BATAN. Sampel air dicacah menggunakan metode *direct counting* dimana sampel didestilasi untuk menghilangkan pengotor sebelum dicampur dengan larutan sintilator. Aktivitas tritium dinyatakan dalam konsentrasi TU atau pCi/L dan faktor koreksi peluruhan dapat diabaikan jika waktu pengamatan kurang dari 2 tahun.

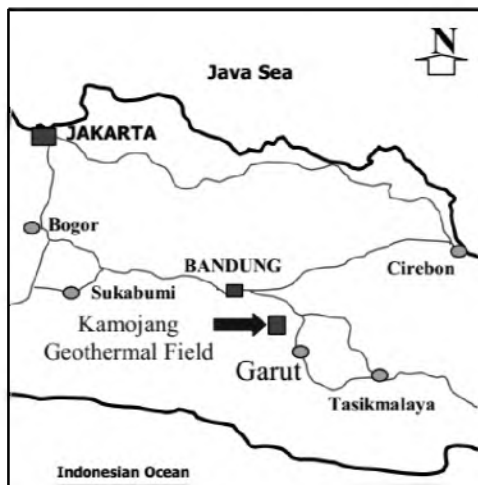
HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi kasus 1: Lapangan panas bumi Kamojang, Jawa Barat

Injeksi radio perunut dilakukan di sumur KMJ-15 dengan tekanan kepala sumur negatif [10]. Monitoring dilakukan pada beberapa sumur produksi dengan jarak sumur terdekat adalah 838 m (KMJ-11) dan terjauh adalah 1272 m (KMJ-27) [11]. Berdasarkan persamaan (1) dan (2) serta asumsi porositas 10% dan tebal reservoir 100 m dapat dihitung rentang aktivitas tritium yang diinjeksikan seperti dalam tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan jumlah perunut di lapangan panas bumi Kamojang.

Parameter	Sumur	
	KMJ-11	KMJ-27
Jarak antar sumur (m)	838	1272
Tebal reservoir (m)	100	100
Porositas batuan (%)	10	10
Volum reservoir (m ³)	2,2.10 ⁷	5,1.10 ⁷
A _{max} (Ci)	22100	50800
A _{min} (Ci)	0,06	0,15
Parameter	Sumur	
	KMJ-11	KMJ-27
Jarak antar sumur (m)	838	1272
Tebal reservoir (m)	100	100



Gambar 3. Lapangan panas bumi Kamojang, Jawa Barat [12].

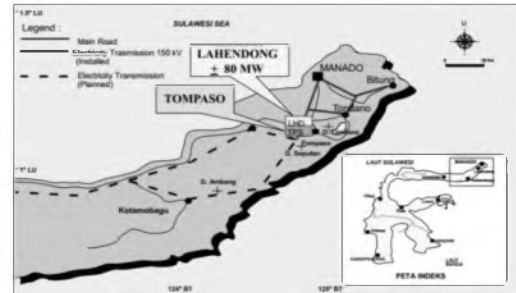
Dari tabel 2 terlihat bahwa aktivitas tritium yang harus diinjeksikan minimal 0,15 Ci dan maksimal 22100 Ci. Dengan memperhatikan prinsip ALARA (*as low as reasonable achieved*) dan keekonomian, digunakan tritium dengan aktivitas 10 Ci untuk injeksi. Hasil monitoring pada sumur produksi menunjukkan aktivitas maksimum sebesar 25,9 TU (82,6 pCi/L) pada KMJ-11 dan 17,5 TU (55,8 pCi/L) pada KMJ-27, masih jauh di bawah MPC [10]. Studi injeksi radio perunut ini menunjukkan bahwa sistem reinjeksi panas bumi di Kamojang cukup efektif dalam mensuplai fluida ke sumur produksi di sekitarnya.

Studi kasus 2: Lapangan panas bumi Lahendong, Sulawesi Utara

Injeksi radio perunut tritium dilakukan di sumur LHD-21 dengan kepala sumur bertekanan positif dan dilakukan monitoring di beberapa sumur produksi dengan jarak terdekat 480 m (LHD-28) dan terjauh 2630 m (LHD-18). Perhitungan aktivitas radio perunut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan jumlah perunut di lapangan panas bumi Lahendong.

Parameter	Sumur	
	LHD-28	LHD-18
Jarak antar sumur (m)	480	2630
Tebal reservoir (m)	100	100
Porositas batuan (%)	10	10
Volum reservoir (m ³)	7,2.10 ⁶	2,2.10 ⁸
A _{max} (Ci)	7230	2,1.10 ⁵
A _{min} (Ci)	0,02	0,65



Gambar 4. Lapangan panas bumi Lahendong, Sulawesi Utara [13].

Dari tabel 3 terlihat bahwa aktivitas minimum tritium yang diinjeksikan harus dalam rentang 0,65 Ci sampai 7230 Ci. Dengan memperhatikan hasil tersebut serta ketersediaan radio perunut, maka aktivitas tritium yang diinjeksikan sebesar 15 Ci. Pengamatan setelah injeksi menunjukkan aktivitas maksimum tritium di LHD-28 sebesar 0,06 μ Ci/L dan di LHD-18 sebesar 168,8 pCi/L. Kedua aktivitas tersebut berada dalam rentang MDL dan MPC. Studi injeksi radio perunut ini juga menunjukkan bahwa sistem reinjeksi di lapangan Lahendong cukup efektif untuk mensuplai fluida sumur produksi.

KESIMPULAN

Dari kedua studi kasus di atas terlihat bahwa dengan memperhatikan terlebih dahulu jumlah radio perunut yang akan diinjeksikan, studi interkoneksi antar sumur dapat terlaksana dengan optimal tanpa kekhawatiran terjadinya kontaminasi terhadap lingkungan maupun tidak terdeteksinya perunut karena konsentrasi atau aktivitas yang terlampaui rendah. Dengan demikian, tidak terdeteksinya radio perunut di suatu sumur produksi dalam rentang waktu monitoring dapat diartikan bahwa memang tidak ada interkoneksi antara sumur injeksi dengan sumur produksi tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. Pertamina Geothermal Energy area Kamojang dan Lahendong atas kerjasamanya dalam beberapa studi injeksi perunut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ayling, B., Hogarth, R., Rose, P. *Tracer Testing at the Habanero EGS Site, Central Australia*. Geothermics (63) 2016.
2. Julia G., Horst B., Martin S. *Petrothermal and Aquifer-based EGS in the Northern German Sedimentary Basin, Investigated by Conservative Tracers During Single-well Injection-flowback and Production Tests*, Geothermics 2016.
3. Diaz, A.R., Kaya, E., Zarrouk, S.J. *Reinjection in geothermal fields - A worldwide review update*. Renewable and Sustainable Energy Reviews (53) 2016.
4. Rose, P., Benoit, W., Kilbourn, P., *The Application of Polyaromatic Sulfonates as Tracer in Geothermal Reservoirs*. Geothermics (20) 2001.
5. Leecaster, K., Ayling, B., Moffit, G., Rose, P., *Use of Safranin T as A Reactive Tracer for Geothermal Reservoir Characterization*. Proceedings 37th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, 2012.
6. IAEA, *Radiotracer Applications in Industry - A Guidebook*, Technical Report Series no. 423, Vienna 2004.
7. IAEA, *Radiotracer Residence Time Distribution Method for Industrial and Environmental Applications*, Training Course Series 31, Vienna 2008.
8. Armansson, H., et al, *A Tracer Test on Well IDDP-2, Reykjanes, Iceland*. Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne, Australia, 2015.
9. Zemel B., *Tracers in the Oil Field*, Development in Petroleum Science 43, Elsevier 1995
10. Abidin, Z., Prasetyo, R., Prayoto. *Geothermal Reservoir Characterization for Steam Field Management in Kamojang Geothermal Field - West Java*. Atom Indonesia (35) 2009.
11. Abidin, Z. *Karakterisasi Reservoir Panas bumi untuk Manajemen Lapangan Uap di Lapangan Kamojang - Jawa Barat*. Desertasi. Universitas Gadjah Mada, 2003.
12. Tavip D., Zainal A., Yustin K., Sunaryo D., Hasibuan A., Prayoto. *Tracer Injection Evaluation in Kamojang Geothermal Field, West Java*. Proceedings World Geothermal Congress, Antalya - Turkey, 2005
13. Teguh P., Dhanie My., Sigit S., Marihot S. *Tracer Test Implementation and Analysis in Order to Evaluate Reinjection Effects in Lahendong Field*, Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne - Australia, 2015.

TANYA JAWAB**Wibisono**

- Apakah di mungkin menggunakan bahan perunut yang non nuklir untuk tujuan yang sama?
- Apa keuntungan menggunakan bahan perunut radioaktif di bandingkan dengan perunut non nuklir (akurasi dengan biaya)?

Rasi Prasetyo

- Perunut non nuklir di mungkin, namun memiliki beberapa kelemahan seperti terdegradasi pada temperatur tinggi dan di perlukan jumlah yang jauh lebih besar sehingga lebih sulit dalam penanganannya.
- Perunut radioaktif, misalnya tritium, sangat stabil dan dapat terdeteksi dalam jumlah yang sangat rendah. Biaya material memang lebih mahal, tapi dengan volume penggunaan yang jauh lebih kecil, total biaya tidak terpaut jauh.