

PENGAJIAN UNJUK KERJA KOMPONEN *NEAR SURFACE DISPOSAL*: COVER UNTUK *DEMOPLANT DISPOSAL*

Hendra Adhi Pratama

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

ABSTRAK

PENGAJIAN UNJUK KERJA KOMPONEN *NEAR SURFACE DISPOSAL*: COVER UNTUK *DEMOPLANT DISPOSAL*. *Near Surface Disposal (NSD)* memiliki tiga komponen *barrier* utama yaitu kemasan limbah, tapak dan fasilitas disposal. Pada tahun ini telah dilakukan pengkajian unjuk kerja *cover* sebagai bagian dari penghalang teknis pada fasilitas disposal *NSD* untuk rekomendasi *cover* fasilitas *Demoplant Disposal*. Metode yang diterapkan adalah metode deskripsi dengan cara penelusuran pustaka, mengumpulkan informasi tentang berbagai tipe disposal dari negara lain dengan tujuan mendapatkan data untuk mendukung pembangunan *Demoplant NSD* di IPLR Kawasan Nuklir Serpong. Analisis unjuk kerja *cover* menggunakan perangkat lunak HELP (*Hydrologic Evaluation of Landfill Performance*) versi 3.07 dengan basis data cuaca Serpong dan karakteristik tanah default perangkat lunak. Kawasan Nuklir Serpong merupakan daerah yang memiliki curah hujan yang cukup tinggi dan lokasi calon *Demoplant NSD* terletak di SP4 dengan luas area 6.300 m² dan memiliki kemiringan lereng di bagian Barat sehingga rekomendasi tipe *cover* yaitu *multi-layered cover* dengan bentuk desain berupa kubah (slope 2-3 %) disertai dengan sistem drainase. Komponen *cover* terdiri dari *layer* resapan yang juga berfungsi sebagai *layer* proteksi biologis berupa vegetasi dengan tanah, batuan dan kerikil, dua *layer* drainasi (primer dan sekunder berupa lapisan pasir) yang dipisahkan oleh *layer* membran, dan *layer barrier* dengan impermeabilitas rendah berupa lempung atau bentonit terkompaksi.

Kata kunci: *Near Surface Disposal, cover, penghalang teknis, hydrologic.*

ABSTRACT

STUDY OF PERFORMANCE ASSESSMENT OF NEAR SURFACE DISPOSAL COMPONENT: COVER FOR DEMOPLANT DISPOSAL. *Near Surface Disposal (NSD)* has three components as main barrier system such as waste package, site and disposal facilities. At this year, study of cover performance as part of the engineering barrier system in the *NSD disposal facilities* has been conducted for recommendation suit cover in the *Demoplant Disposal facilities*. Method of work is description method by literature study, gathering information about various disposal type that has been applied in another countries with the purpose to obtain supporting data in the development of *Demoplant NSD* in Serpong Nuclear Zone. Performance assessment of cover has been analysed by software HELP version 3.07 with weather data based on Serpong area and using default soil texture from database. Serpong Nuclear Zone are an area that has fairly high rainfall and the site of *Demoplant NSD* are located in SP4 with an area 6.300 m² that having a slope area in the west side of *Demoplant NSD* site. So that recommendation for cover type is *multi-layered cover* with dome type design (slope 2-3 %) that accompanied with drainage system. Cover material consists of vertical percolation layer that also as protection layer (consists of vegetated soil, coarse rock and gravel), two drainage layer (primer and secondary consists of sand layer) that separated by membran liner, and barrier layer that is low-impermeability material such as bentonite or clays.

Keywords: *Near Surface Disposal, cover, engineering barrier, hydrologic.*

PENDAHULUAN

Tujuan utama dari unjuk kerja fasilitas disposal limbah radioaktif adalah untuk melindungi atau menjamin keselamatan publik dan juga lingkungan sekitarnya dari potensi lepasnya zat radioaktif. Pilihan terbaik untuk disposal limbah radioaktif tingkat rendah – sedang dengan waktu paruh pendek menurut IAEA adalah fasilitas *Near Surface Disposal (NSD)*[1]. *Near Surface Disposal (NSD)* memiliki tiga komponen *barrier* utama diantaranya yaitu kemasan limbah, tapak dan fasilitas disposal. Keselamatan keseluruhan sistem disposal ini ditentukan oleh unjuk kerja masing-masing komponen individunya. Dengan demikian menjadi sangat penting untuk memilih material yang digunakan sebagai *cover*, *backfill* dan *barrier* fasilitas disposal yang disesuaikan dengan tipe dan sifat limbah radioaktif serta karakteristik tapak. Untuk fasilitas NSD, *cover* atau *cap* merupakan bagian penting dan sistem penghalang yang pertama dalam mengisolasi limbah.

Menurut Philippe Convert[2], persyaratan untuk mengisolasi limbah harus memenuhi tiga kriteria desain utama untuk *cover* akhir fasilitas disposal, yaitu impermeabilitas, reabilitas dan proteksi. Pada kriteria impermeabilitas, jumlah air hujan yang masuk ke dalam *cover* dan mencapai limbah harus sangat rendah untuk menghindari terjadinya pelindihan dan migrasi radionuklida. Kriteria reabilitas dimaksudkan bahwa daya impermeabilitas *cover* harus tetap terjaga hingga masa pengawasan aktif (*institutional control*) berakhir. Material yang akan digunakan harus dipilih untuk menjamin kemampuannya dalam jangka waktu yang panjang. Sebagai fungsi dari kriteria proteksi, *cover* harus tahan terhadap gaya eksternal seperti erosi, proses kimia air dan organisme hidup. Untuk itu *cover* harus dibuat cukup tebal dan terbuat dari material yang tahan dari gaya eksternal tersebut. Sedangkan dalam dokumen standar teknis IAEA [3], ada lima kriteria yang harus dipenuhi oleh *cover* yaitu *impermeability*, *integrity*, *elasticity*, *protection* dan *repairability*. Kriteria *integrity* dan *elasticity* sebenarnya merupakan penjabaran dari kriteria reabilitas yang dimaksud oleh Philippe Convert. Syarat kriteria *integrity* yaitu daya impermeabilitas *cover* harus tetap terjaga pada segala kondisi lingkungan termasuk oksidasi, terkena garam mineral dan asam organik yang terkandung dalam air yang masuk, dan juga gangguan mikro-organisme dan beban mekanik. Kriteria *elasticity* yang dimaksud adalah daya impermeabilitas *cover* tetap tidak berubah akibat perubahan topografi yang mungkin timbul karena terjadi *subsidence* (ambles) dan *settling* (pergeseran) kemasan limbah. Dan kriteria *repairability* yang harus dipenuhi *cover* adalah kemampuan untuk dapat diperbaiki performa impermeabilitasnya dan juga didesain untuk meminimalkan perawatan.

Cover fasilitas disposal biasanya menggunakan material seperti pasir, batu kerikil, aspal atau *concrete*, dan lempung, serta tanah yang dikondisikan untuk vegetasi. Pada prinsipnya penggunaan *cover* ini adalah menahan dan mengalirkan air hujan agar tidak melakukan kontak limbah radioaktif yang disimpan. Pada tahun ini telah dilakukan pengkajian unjuk kerja *cover* sebagai bagian dari *engineering barrier* pada fasilitas disposal NSD. Kawasan Nuklir Serpong merupakan daerah yang memiliki curah hujan yang cukup tinggi dan iklim tropis sehingga hal ini perlu dipertimbangkan dalam menentukan material dan desain fasilitas Demoplant Disposal. Lokasi calon *Demoplant NSD* terletak di SP4 Kawasan Nuklir Serpong dengan luas area 6.300 m² dan memiliki kemiringan lereng di bagian Barat.

METODE

Metode yang diterapkan adalah metode deskripsi dengan cara penelusuran pustaka, mengumpulkan informasi tentang berbagai tipe disposal dari negara lain dengan tujuan mendapatkan data untuk mendukung pembangunan *Demoplant NSD* di IPLR Kawasan Nuklir Serpong. Analisis unjuk kerja *cover* menggunakan perangkat lunak HELP (*Hydrologic Evaluation of Landfill Performance*) versi 3.07 dengan basis data cuaca Serpong dan karakteristik tanah dari tetapan perangkat lunak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep generik untuk fasilitas NSD berdasarkan pengalaman negara lain yaitu *covered trench*, *closed vault*, *domed vault* dan *open vault*. Pada umumnya tipe *cover* yang digunakan pada fasilitas NSD tersebut adalah *multi-layered cover* kecuali tipe *covered trench* yang hanya menggunakan material tanah sebagai covernya. Fungsi umum dari *cover* yaitu membatasi infiltrasi air hujan, mengontrol pelepasan gas, sebagai *barrier* atau penghalang baik dari intrusi manusia atau biologi (tanaman dan hewan), dan juga sebagai penghalang erosi.

Material yang umum digunakan yaitu lempung, aspal atau membran polimer, tanah/pasir,

batuan kerikil/kerakal, *geotextiles*, *concrete slabs*, dan vegetasi (tanaman). Parameter kunci yang harus dikaji pada pemilihan desain dan komponen material *cover* adalah permeabilitas vertikal, kapasitas menampung air, kelenturan (*plasticity*), daya tahan (*time to failure*) dan sebagainya.

Ada dua jenis *cover* (cap) yaitu :

1. *Cover* yang bagian strukturnya didukung oleh lempeng beton (*concrete slabs*) yang kokoh yang menutupi limbah dibawahnya
2. *Cover* yang tidak didukung secara struktur

Lempeng Beton (*Concrete slabs*)

Karakteristik kekuatan dari lempeng beton sebagai contoh pada fasilitas disposal El Cabril (Spanyol) adalah 350 kg/cm^2 . Permeabilitas struktur beton sebagai contoh pada fasilitas disposal RCM di Keswick (Inggris) adalah $1 \times 10^{-13} \text{ m/s}$. Permeabilitas efektif dari lempeng beton ini cenderung lebih tinggi dikarenakan pelindihan di sekitar penempatan lempeng. Nilai permeabilitas juga dapat dilihat dari nilai porositasnya yang bernilai $37,7 \text{ m}^3/\text{kg}$.

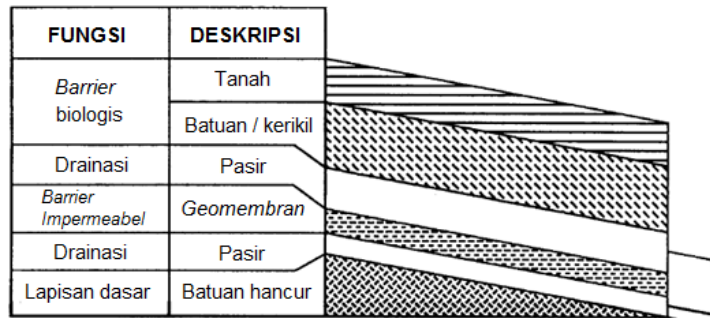
Lempung permeabilitas rendah (*Low permeability clays*)

Pada umumnya material yang digunakan dalam jumlah besar sebagai *cover* adalah lempung. Lempung mudah untuk didapatkan dan murah. Spesifikasi untuk lempung yang digunakan secara umum dibatasi oleh laju infiltrasi air ke dalam *cover* yang merupakan fungsi iklim dan dapat diperkirakan sebagai bagian dari pengkajian performa fasilitas disposal. Permeabilitas untuk lempung Drigg telah diukur sebesar $6,4 \times 10^{-8}$ hingga $4,1 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ dan nilai permeabilitas untuk bentonit alam dari China sebesar $3,26 \times 10^{-11} \text{ m/s}$. Lapisan / *layer* lempung yang ditempatkan dengan lapisan lain yang lebih *permeable* pada tipe *cover* yang tidak didukung secara struktur harus memiliki kemampuan untuk menahan yang lebih baik. Sebagai contoh pada uji yang dilakukan *multilayer cap* pada fasilitas disposal Drigg, kemampuan lapisan lempung dengan ketebalan 500 mm dengan lapisan 1,7% tanah, 10% pasir dan 20% kaolin dapat ditolerir tanpa kehilangan performanya. Susunan lapisan *cover* ini mampu menahan curah hujan lokal sebesar 0,75 m/tahun tanpa ditemukan infiltrasi yang signifikan.

Beberapa negara yang menggunakan sistem *multi layer* untuk *cover* fasilitas NSD limbah radioaktif yaitu :

1. Fasilitas disposal Centre de la Manche, Perancis
Multilayer cover pada fasilitas disposal Centre de la Manche ini terdiri dari enam lapisan, yaitu (mulai dari lapisan bawah):
 - 1). Lapisan bawah yang didesain untuk menciptakan *basic slope* disposal dan menjaga kedap air *cover* secara global.
 - 2). Lapisan drainase sekunder yang terbuat dari lapisan pasir halus untuk mengalirkan air yang masuk di bawah lapisan *bituminous geotextile*.
 - 3). Lapisan *bituminous geomembran* yang terbuat dari bitumen *geotextile* jenuh.
 - 4). Lapisan drainase primer yang terbuat dari pasir halus untuk mengalirkan air yang masuk panghalang biologi di atasnya.
 - 5). Lapisan semi impermeabel untuk meminimasi jumlah air yang masuk (infiltrasi) dan untuk melindungi membran dari akar tanaman dan binatang penggali.
 - 6). Lapisan paling atas adalah lapisan tanah tempat untuk menumbuhkan vegetasi rumput untuk mencegah erosi dan meminimasi infiltrasi air hujan.

Air yang masuk ke dalam *layer* drainasi akan ditampung untuk kemudian dimonitoring secara periodik. Untuk itu kemiringan pada *layer* drainasi diatur sudut kemiringannya yaitu 6 - 14 %.



Gambar 1. Cross-section cover pada fasilitas Centre de la Manche[3]

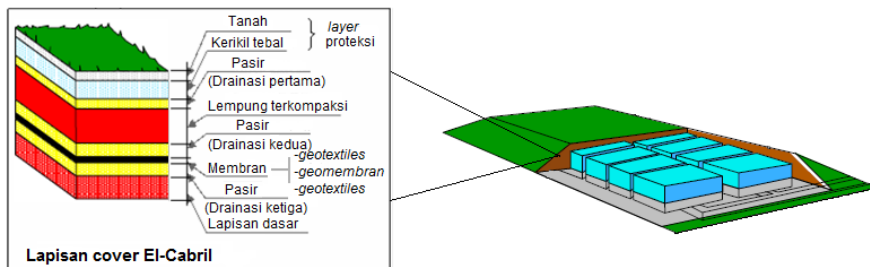
2. Fasilitas disposal VLLW, Rusia

Lapisan cover yang digunakan untuk menutupi limbah yaitu :

- 1). Batuan yang telah dihancurkan atau pasir kerikil (*very fine gravel-sand*) untuk mengisi celah di antara kemasan limbah dan untuk mendirikan 0,5m lapisan di atas kemasan VLLW;
- 2). Dua lapisan material tak tembus air (ketebalan totalnya 3 mm) yang ditempatkan di atas pasir halus atau kerikil;
- 3). Lapisan kerikil atau pasir halus dengan ketebalan ~0,5 m;
- 4). Lapisan batuan kerikil dengan ukuran yang lebih besar, total ketebalan adalah ~1,5 m. Alur atau lekukan pada *slab* dibuat dengan pertimbangan untuk mendrainase pengendapan air. Kemiringan slab berkisar 2-3 % terhadap bangunan. Air yang masuk ke dalam akan dialirkan lewat alur ke dalam lapisan sorpsi hingga ke tempat penampungan air dimana dilakukan sampling untuk pengujian kontaminasi air. Fasilitas disposal kemudian dibentuk menyerupai kubah.

3. Fasilitas NSD El-Cabril, Spanyol

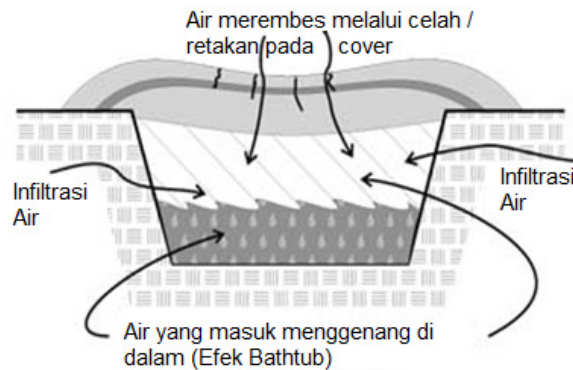
Pada fasilitas NSD El-Cabril, *multi-layered cover* terdiri dari lapisan proteksi, lapisan drainase hingga tiga lapis dan lapisan *impermeable* dari lempung sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Cover pada fasilitas NSD El-Cabril, Spanyol[4].

Faktor yang mempengaruhi unjuk kerja cover

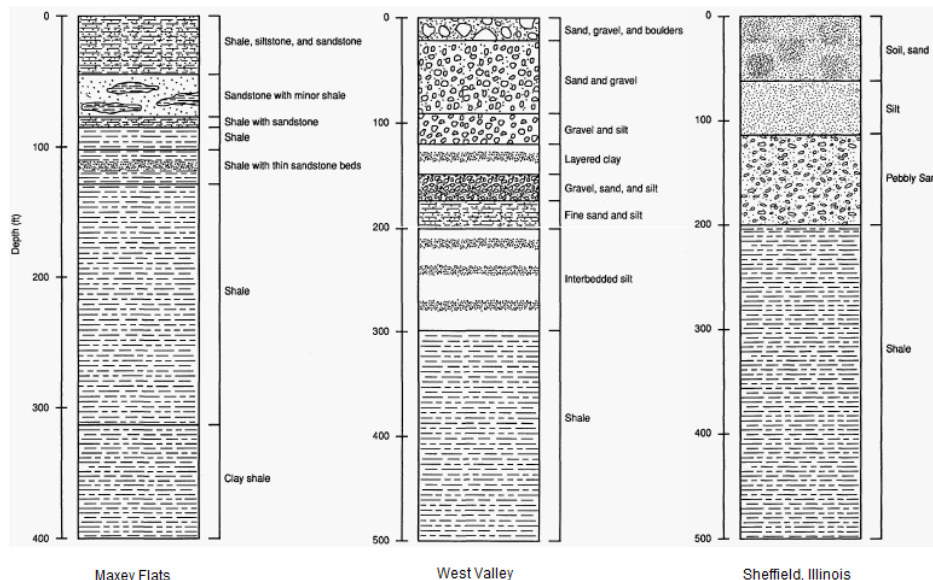
Kegagalan isolasi hidrologi oleh *cover* dapat terjadi akibat besarnya laju rembesan (*seepage*) ke dalam sistem disposal sebagaimana yang terjadi pada *burial trench* disposal di Maxey Flats dan West Valley, Amerika[5]. Air yang masuk ke dalam *trench disposal* ini akan menggenang dan dapat mengakibatkan korosi pada kontainer limbah dan bahkan dapat menyebabkan migrasi radionuklida ke lingkungan. Kejadian ini disebut sebagai efek *bathtub* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Efek *bathtub* pada Disposasi[5]

Salah satu faktor yang menyebabkan efek *bathtub* ini adalah amblasnya *cover* karena terjadi retakan atau infiltrasi air sedikit demi sedikit ke dalam disposasi akibat sistem drainasi yang kurang sempurna. Penempatan limbah yang tidak tertata rapi juga dapat menyebabkan rusaknya *cover* dari bagian dalam disposasi. Hal ini sebenarnya dapat dihindari dengan menata kemasan limbah secara terstruktur dan mengisi celah-celah diantaranya dengan *backfill material* sehingga stabil.

Healy (1989) mempublikasikan bahwa *seepage* terjadi pada *trench cover* fasilitas disposasi limbah radioaktif tingkat rendah di Illinois, Amerika disebabkan oleh tingginya pengendapan air akibat badai[6]. Dari hasil perhitungan menggunakan metode *Darcy* menunjukkan bahwa *seepage* yang terjadi pada bagian tepi *trench cover* hampir sepuluh kali lebih besar daripada yang terjadi di bagian tengah *cover*. Dari kejadian ini maka dapat dipelajari bahwa desain *cover* untuk menghindari *seepage* adalah dengan cara meningkatkan sistem drainase pada permukaan yaitu pada bagian tepi *cover* yang saling berdekatan dan menggunakan lapisan *cover* yang lebih tebal pada bagian tepinya terutama lapisan impermeabel dibawahnya yang telah dikompaksi. Gambar susunan lapisan *multi layer cover* fasilitas disposasi yang mengalami *seepage* tersebut di atas ditunjukkan pada Gambar 4.



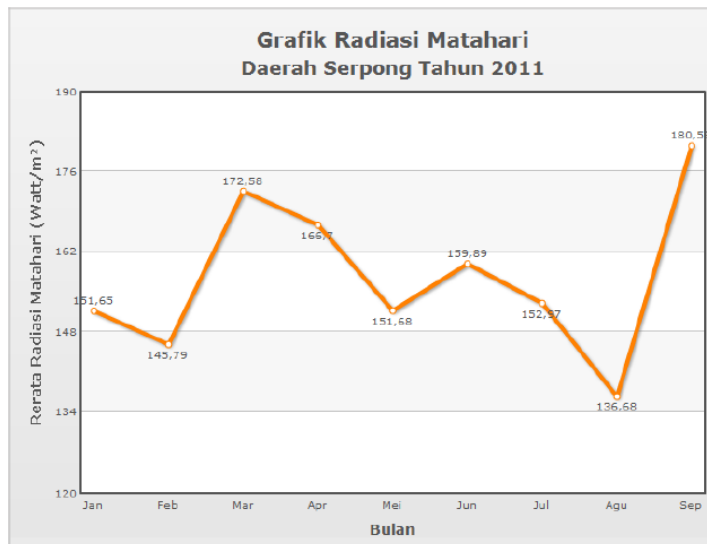
Gambar 4. Susunan lapisan *trench cover* yang mengalami rembesan (*seepage*)[7]

Analisis unjuk kerja cover dengan perangkat lunak HELP

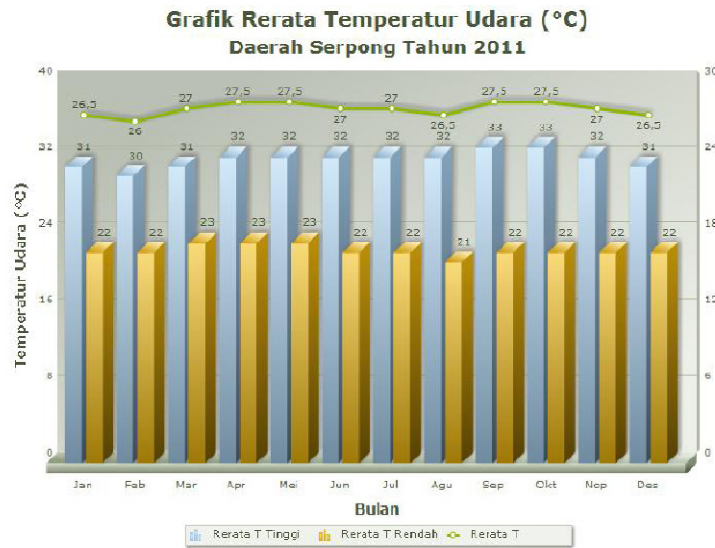
Untuk mengetahui unjuk kerja cover maka dari beberapa desain dilakukan analisis menggunakan perangkat lunak HELP versi 3.07 dengan basis cuaca untuk daerah Serpong yang diperoleh dari data Meteo Bidang Keselamatan Lingkungan PTLR untuk tahun 2011 dan situs www.worldweatheronline.com[8]. Data cuaca disajikan pada Gambar 5



Gambar 5.a. Grafik curah hujan daerah Serpong,



Gambar 5.b. Grafik radiasi Matahari daerah Serpong



(C)[8]
Gambar 5.c. Grafik rerata temperatur udara daerah Serpong [8]

Analisis unjuk kerja *cover* dilakukan menggunakan data desain *cover* NSD Centre de la Manche dan El-Cabril. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak HELP ditunjukkan pada Tabel 1. Kurang lengkapnya data cuaca (data cuaca hanya bulan Januari – September) menyebabkan simulasi hanya dapat dilakukan untuk jangka waktu satu tahun. Dari data Tabel 1 dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah *layer* drainasi (lapisan pasir) sebagaimana ditunjukkan pada *cover* NSD El-Cabril memberikan jumlah air yang lebih sedikit pada *layer* paling bawah dibandingkan dengan *cover* NSD Centre de la Manche.

Tabel 1. Hasil analisis unjuk *cover* desain Centre de la Manche dan El Cabril dengan basis data cuaca Serpong menggunakan perangkat lunak HELP

Layer	Jumlah air yang tertampung pada tiap layer pada akhir tahun 2011					
	Centre de la Manche			El Cabril		
	Tipe layer	(cm)	vol/vol	Tipe layer	(cm)	vol/vol
1	Tanah	2.5049	0.1252	Tanah	3.7958	0.1265
2	Batuan & kerikil	10.9692	0.0756	Kerikil	0.8595	0.0286
3	Pasir	1.9929	0.0664	Pasir	1.8604	0.0620
4	Geomembran	0.0000	0.0000	Lempung terkompaksi	28.7400	0.4790
5	Pasir	1.2400	0.0620	Pasir	101.0671	3.3689
6	Lempung	28.0000	0.4000	Geotextile	0.0000	0.0000
7				Geomembran	0.0000	0.0000
8				Geotextile	0.0000	0.0000
9				Pasir	3.1000	0.0620
10				Layer barrier	13.3500	0.4450

Unjuk kerja dari berbagai desain *cover* tersebut disesuaikan dengan tipe limbah dan desain fasilitas disposal masing-masing negara. Sehingga komponen dan desain untuk *Demoplant* NSD dapat direkomendasikan sebagai berikut :

1. Komponen *cover* berupa *multi-layered cover*, yang terdiri dari *layer* resapan yang juga berfungsi sebagai *layer* proteksi biologis berupa vegetasi dengan tanah, batuan dan pasir, kemudian *layer* dengan impermeabilitas rendah yang dapat berupa lempung atau bentonit terkompaksi, *layer* drainasi yang ditempatkan secara bertingkat yaitu primer dan sekunder dengan *layer* membran yang ditempatkan diantara dua *layer* drainasi.
2. Ketebalan masing-masing lapisan tergantung pada jenis limbah radioaktif dan tipe disposal *Demoplant* NSD yang saat ini masih dikaji. Mengingat lokasi calon *Demoplant* yang memiliki curah hujan yang tinggi maka ketebalan *layer* drainasi harus cukup tebal dengan desain kubah memiliki kemiringan (*slope*) 2 - 3 °.
3. Sistem drainasi merupakan bagian dalam desain *cover* yang terdiri dari lapisan primer dan sekunder sehingga harus diperhitungkan dengan cermat desain secara keseluruhan untuk menjamin fungsi isolasi limbah radioaktif.

KESIMPULAN

Unjuk kerja *cover* dalam fasilitas disposal ditentukan oleh desain, tipe dan bahan yang digunakan untuk mengisolasi limbah radioaktif. Rekomendasi tipe *cover* untuk fasilitas *Demoplant* yaitu *multi-layered cover* dengan bentuk desain berupa kubah (*slope* 2-3 %) disertai dengan sistem drainase baik dalam lapisan *cover* maupun di sekitar modul dalam fasilitas *Demoplant*. Komponen *cover* terdiri dari *layer* resapan (proteksi biologis), *layer* drainasi primer, membran, *layer* drainasi sekunder dan *layer barrier* berupa lempung atau bentonit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. IAEA: Performance of Engineered Barrier Materials in Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, *IAEA Tecdoc 1255* (2001).
- [2]. Convert, P.: *Final Closure of the Centre de la Manche Radioactive Waste Disposal Facility*. <http://www.wmsym.org/archives/1992/V2/144.pdf>. Diakses pada tanggal 12 Maret 2011 pukul 14.29 WIB
- [3]. IAEA: Technical Considerations in the Design of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, *IAEA Tecdoc 1256* (2001).
- [4]. Zuloaga, P., Saaltink, M. W., & Castellote, M.: Capillarity in Concrete Disposal Vaults and Its Influence in the Behavior of Isolation Barriers at El Cabril Low and Intermediate Level Radioactive Waste Disposal Facility in Spain – 9015. *WM 2009 Conference, March 1-5, 2009*, Phoenix, AZ.
- [5]. Fentiman, A. W., Henkel, J. A., & Meredith, J. E.: *Lessons Learned from Existing Low-Level Radioactive Waste Disposal Facilities*, http://ohioline.osu.edu/rer-fact/rer_44.html. Diakses pada tanggal 1 Maret 2011 pukul 16.03 WIB
- [6]. Healy, R. W.: Seepage Through a Hazardous-Waste Trench Cover. *Journal of Hydrology*, 108: 213-234 (1989).
- [7]. Idaho National Laboratory (INL):. *Directions in Low-Level Radioactive Waste Management: A Brief History of Commercial Low-Level Radioactive Waste Disposal* (1994)
- [8]. <http://www.worldweatheronline.com/Serpong-4-weather/Jawa-Barat/ID.aspx>. Diakses pada tanggal 28 April 2011 pukul 11.01 WIB