



**PROGRAM KREATIVITAS MAHASISWA**

**OPTIMALISASI PERAN BAKTERI *Deinococcus radiodurans* SEBAGAI  
BIOREMEDIATOR PENCEMARAN LIMBAH RADIOAKTIF  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR**

**BIDANG KEGIATAN  
PKM-GAGASAN TERTULIS**

Diusulkan oleh :

|                        |           |               |
|------------------------|-----------|---------------|
| Ayu Arthuria R.        | G84070015 | Angkatan 2007 |
| Muhammad Iqbal Akbar M | G84070027 | Angkatan 2007 |
| Riani Meryalita        | G84080024 | Angkatan 2008 |

**INSTITUT PERTANIAN BOGOR**

**BOGOR**

**2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Kegiatan : Optimalisasi peran bakteri *Deinococcus radiodurans*  
Sebagai Bioremediator Pencemaran Limbah Radioaktif  
Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir
2. Bidang Kegiatan : ( ) PKM-AI (✓) PKM-GT
3. Ketua Pelaksana Kegiatan:
  - a. Nama Lengkap : Ayu Arthuria Rizqiyanti
  - b. NIM : G84070015
  - c. Jurusan : Biokimia
  - d. Universitas/Institut : Institut Pertanian Bogor

Menyetujui,  
Ketua Departemen Biokimia

(Dr. Ir. I Made Artika, M.App Sc)  
NIP. 19630117 198903 1 000

Wakil Rektor Bidang Akademik dan  
Kemahasiswaan

(Prof. Dr. Ir. Yonny KoesModule, MS)  
NIP. 19581228 198503 1 003

Bogor, 23 Februari 2011

Ketua Pelaksana Kegiatan

(Ayu Arthuria R)  
NIM. G84070015

Ketua Departemen Biokimia

(Dr. Syamsul Falah, S.Hut., M.Si.)  
NIP. 19700503 200501 1 001

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr.Wb.*

Syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan kekuatan dan hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan karya tulis ilmiah dalam bentuk usulan penelitian yang berjudul “Optimalisasi peran bakteri *Deinococcus radiodurans* sebagai bioremediator pencemaran limbah radioaktif Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir”. Karya tulis ini diajukan untuk diikutsertakan pada lomba Program Kreativitas Mahasiswa bidang Gagasan Tertulis tahun 2011. Shalawat dan salam semoga tercurah pula kepada Rasulullah Muhammad SAW, dan para sahabat. Teriring doa dan harap semoga Allah meridhoi upaya yang kami lakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi dari bakteri *Deinococcus radiodurans* dalam proses pengembalian kembali produktifitas tanah dan air yang tercemar dengan agen biologi yang disebabkan oleh pencemaran limbah nuklir oleh Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang banyak memberi bimbingan dan arahan kepada penulis dalam melakukan penulisan dan penelitian.

Penulis berharap penelitian ini bermanfaat baik bagi penulis, pembaca dan yang paling utama adalah bangsa Indonesia yang berusaha kembali mengembalikan kejayaannya lewat ilmu pengetahuan yang berguna bagi kesejahteraan umat manusia.

*Wassalamu'alaikum Wr.Wb.*

Bogor 23 Februari 2011

*Penulis*

## DAFTAR ISI

|   | <b>Halaman</b> |
|---|----------------|
| HALAMAN PENGESAHAN.....                           | ii             |
| KATA PENGANTAR .....                              | iii            |
| DAFTAR ISI.....                                   | iv             |
| DAFTAR GAMBAR .....                               | v              |
| RINGKASAN .....                                   | vi             |
| PENDAHULUAN .....                                 | 1              |
| Latar Belakang .....                              | 1              |
| Tujuan .....                                      | 3              |
| Manfaat .....                                     | 4              |
| GAGASAN .....                                     | 5              |
| Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) .....     | 5              |
| <i>Deinococcus radiodurans</i> .....              | 7              |
| a. Sistem Instalasi Bioremediasi.....             | 9              |
| Bioreaktor Basah <i>In Situ</i> .....             | 9              |
| Desain dari Bioreaktor In Situ Bioremediasi ..... | 10             |
| b.Sistem Poros Kontak Biologis .....              | 10             |
| KESIMPULAN.....                                   | 12             |
| DAFTAR PUSTAKA .....                              | 13             |
| LAMPIRAN.....                                     | 15             |

## DAFTAR GAMBAR

|  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| 1 Skema prinsip kerja PLTN .....               | 5              |
| 2 Bakteri <i>Deinococcus radiodurans</i> ..... | 8              |
| 3 Sistem Bioreaktor Basah.....                 | 10             |
| 4 Sistem Poros Kontak Biologis. ....           | 11             |

## RINGKASAN

Kebutuhan terhadap energi listrik sebagai penggerak utama pembangunan terus meningkat sebesar 18% rata-rata setiap tahun. Namun, pasokan bahan bakar yang dapat menghasilkan energi listrik tidak sepadan dengan peningkatan kebutuhan terhadap energi listrik saat ini. Oleh karena itu, perlu adanya alternatif pengganti bahan bakar fosil. Energi yang dibutuhkan untuk menggantikan peranan energi fosil harus mempunyai berkelanjutan dan efektif dalam menghasilkan bahan bakar yang melimpah dan tidak menimbulkan emisi gas rumah kaca yang mencemari udara seperti gas SO<sub>x</sub>, CO<sub>x</sub>, dan NO<sub>x</sub>.

Dari berbagai macam sumber energi yang dapat diperbaharui dan energi terbarukan yang telah ada saat ini, sumber energi yang hampir memiliki semua kelebihan yang telah disebutkan di atas adalah energi nuklir. Pemerintah bermaksud membangun Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) pertama pada tahun 2016 di wilayah sekitar Muria tetapi menghadapi banyak hambatan. Hal ini disebabkan oleh kekhawatiran masyarakat akan dampak buruk dari limbah yang dihasilkan dari proses nuklir pada reaktor. Limbah tersebut menghasilkan radiasi yang akan merugikan manusia seperti kebocoran yang terjadi pada reaktor TMI-2 dan Chernobyl-4 (Subki 1986).

Bocornya limbah radioaktif ini sangat berpengaruh bagi kelestarian lingkungan, khususnya pada air dan tanah disekitar kawasan rektor nuklir. Untuk itu, diperlukan suatu inovasi yang yang tepat untuk mengatasi masalah ini yaitu dengan menggunakan bakteri *Deinococcus radiodurans* sebagai agen bioremediasi. Melalui teknik rekayasa genetika, bakteri ini diyakini dapat membantu membersihkan tanah dan air yang terkontaminasi oleh 10 juta kubik yards limbah radioaktif yang sudah terkumpul dalam bentuk cair maupun padat. Mekanisme yang digunakan bakteri ini adalah dengan menjerap radioistop yakni Fe<sup>55</sup> dan Sr<sup>90</sup>. Oleh karena itu, bakteri *D. radiodurans* dapat ditempatkan pada sistem Kontak Poros Biologis dan Sistem Bioreaktor Basah *In Situ* sebagai pengamanan berlapis untuk mencegah kebocoran limbah radioaktif.

Kata kunci: PLTN, Limbah radioaktif, *Deinococcus radiodurans*, boremediasi.

# PENDAHULUAN

## Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi nasional menyebabkan kebutuhan terhadap energi listrik sebagai penggerak utama pembangunan terus meningkat (Sudarsono, 1986). Pada tahun 1990 diprediksi tingkat pertumbuhan kebutuhan energi listrik di Indonesia sekitar 8,2 % setiap tahunnya, kenyataannya ramalan tersebut jauh berbeda dengan kenyataan bahwa di tahun 1992 kebutuhan energi listrik Indonesia justru meningkat secara mengejutkan yakni 18% rata-rata setiap tahun (Rohi, 2007).

Saat ini sumber utama energi listrik adalah bahan bakar fosil. Batubara masih menduduki peringkat tertinggi, yaitu 45%, dan gas alam 27%. Sisanya dipasok dari energi minyak sebesar 13% dan energi terbarukan 15% (Rohi, 2007). Porsi penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama yang cukup besar perlahan-lahan akan menyebabkan krisis energi listrik karena keberadaan bahan bakar fosil yang semakin lama semakin menipis. Oleh karena itu, diperlukan suatu sumber energi listrik yang dapat menggantikan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

Energi yang dibutuhkan untuk menggantikan peranan energi fosil harus mempunyai sifat tidak mudah habis, berkelanjutan, efektif dalam menghasilkan bahan bakar yang melimpah dan tidak menimbulkan emisi gas rumah kaca yang mencemari udara seperti gas SO<sub>x</sub>, CO<sub>x</sub>, dan NO<sub>x</sub>. Dari berbagai macam sumber energi yang dapat diperbaharui dan energi terbarukan yang telah ada saat ini, sumber energi yang hampir memiliki semua kelebihan yang telah disebutkan di atas adalah energi nuklir.

Prospek dan kelebihan yang dimiliki oleh energi nuklir dapat digunakan dalam rangka terlepas dari ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, khususnya minyak bumi sebagai penyedia energi listrik. Hal ini membuat pemerintah telah mengeluarkan Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional yakni tahun 2025 penggunaan energi nuklir sudah mencapai 2% tepatnya 1,993% dari kebutuhan energi nasional. Pemerintah bermaksud membangun

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) pertama pada tahun 2016 (Zamroni dan Jaka, 2007).

Proses persiapan PLTN yang rencananya akan dibangun di kawasan Semenanjung Muria menimbulkan suatu perdebatan dari berbagai pihak. Perdebatan yang marak tentang keberadaan PLTN di Indonesia membuat masyarakat menjadi ragu akan keamanan energi nuklir sebagai sumber energi berkelanjutan di Indonesia bahkan di dunia. Perdebatan ini difokuskan pada tiga hal antara lain, pemaparan radioaktifitas yang menimbulkan efek pada manusia dan lingkungan, pengelolaan sampah radioaktif tingkat tinggi, dan keselamatan PLTN (Subki, 1986). Selain itu, keraguan mereka juga disebabkan karena biaya yang dihabiskan begitu mahal, keamanan lingkungan yang tidak terjamin, dan jaminan terhadap kesehatan manusia (Dreyer, 2003).

Limbah radioaktif didefinisikan sebagai bahan radioaktif sisa atau yang sudah tidak terpakai, atau bahan yang terkontaminasi dengan sejumlah zat radioaktif pada kadar atau tingkat radioaktivitas yang melampaui nilai batas keselamatan yang ditetapkan. Limbah radioaktif secara volumetrik jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan limbah industri dan limbah perkotaan. Limbah radioaktif yang telah diolah disimpan sementara di gudang penyimpanan limbah yang kedap air (10-50 tahun) sebelum disimpan secara lestari. Tempat penyimpanan limbah lestari dipilih di lokasi khusus, dengan kondisi geologi yang stabil. Limbah radioaktif yang dihasilkan dalam pengoperasian PLTN berdasarkan aktivitasnya, terdiri atas limbah radioaktif aktivitas rendah, sedang, dan tinggi. Selain itu, limbah yang ditimbulkan dari operasi PLTN yang dilihat dari bentuk fisiknya dibagi menjadi menjadi tiga bagian yaitu, limbah radioaktif padat, cair dan gas. (Zamroni dan Jaka, 2007).

Permasalahan pencemaran limbah radioaktif belum dapat diselesaikan seluruhnya dengan cara penyimpanan secara lestari karena kemungkinan kebocoran dapat saja terjadi. Hal yang perlu diperhatikan adalah kebocoran limbah radioaktif yang berbentuk cair. Limbah cair yang jumlahnya paling banyak ini berpotensi untuk mencemari tanah dan air (Zamroni dan Jaka, 2007). Jika permasalahan tersebut tidak segera diatasi maka pencemaran lingkungan akibat limbah radioaktif akan menjadi masalah yang lebih besar di kemudian hari. Oleh



karena itu, dibutuhkan solusi yang tepat untuk mengatasi masalah ini. Inovasi yang dibutuhkan bersifat solusi dan tidak menimbulkan masalah baru. Kesimpulannya adalah diperlukan adanya sesuatu agen yang dapat meremediasi tanah dan air yang tercemar limbah radioaktif agar lebih aman untuk lingkungan.

Kebanyakan makhluk hidup tinggal dan berkembang di lokasi yang normal, yaitu lokasi yang tidak terlalu panas atau terlalu dingin, tidak terlalu basa dengan pH (derajat keasaman) tinggi, atau terlalu asam dengan pH rendah, dengan pasokan oksigen cukup, berada di atas permukaan tanah atau di dalam tanah dan bukan di dalam batuan, terbebas dari radiasi yang mematikan serta lokasi yang bukan berlimpah kandungan garamnya. Namun, ada makhluk yang menyukai lokasi yang berkebalikan dengan di atas. Para ahli menyebut makhluk yang biasanya berukuran mikro ini dengan istilah *extremophile*. Arti harfiahnya adalah makhluk hidup yang menyukai lingkungan ekstrem (Pelczar dan Chan, 2007).

Salah satu bakteri *extremophile* adalah *Deinococcus radiodurans*. *D. radiodurans* adalah mikroba yang dapat bertahan di lingkungan radioaktif berdosis tinggi yang membunuh hampir semua makhluk hidup lain (Battista, 2003). *Deinococcus* memiliki keunikan yang tidak umum, tahan terhadap radiasi sinar gamma, yang membuatnya tetap dapat hidup setelah di ekspos sinar gamma dengan dosis beberapa kali dari dosis yang dapat mematikan manusia (Daly, 2006). Dosis yang dapat memutus-mutus genom menjadi beberapa fragmen DNA, akan tetapi enzim bakteri ini dapat memperbaiki kerusakan genom yang parah ini. Sehingga dengan rekayasa genetik, bakteri ini diyakini dapat membantu membersihkan tanah dan air yang terkontaminasi oleh 10 juta kubik yards limbah radioaktif yang sudah terkumpul di USA (Brim, 2000).

## **Tujuan**

Gagasan tertulis ini bertujuan menggali gagasan atau ide, mengkaji, serta menganalisis, bahwa bakteri *D. radiodurans* berpotensi sebagai agen pencegah sekaligus bioremediator bagi pencemaran yang diakibatkan oleh kebocoran limbah radioaktif. Inovasi tersebut ditujukan sebagai alternatif solusi terhadap permasalahan kebocoran limbah radioaktif yang berbentuk cair hasil PLTN.

**Manfaat**

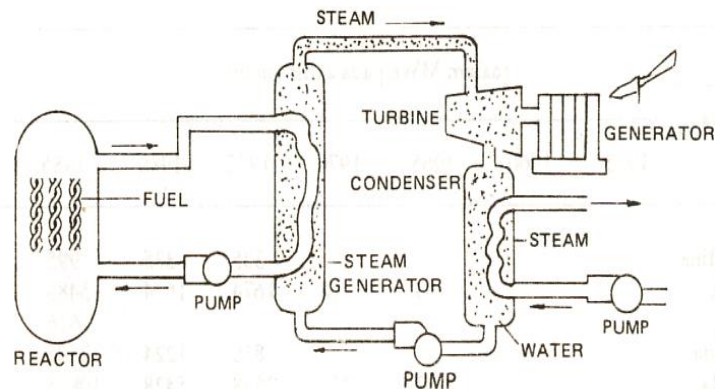
Banyak manfaat yang didapat dari penggunaan bakteri *D. radiodurans* pada pengolahan limbah radioaktif nuklir ini, (1) bagi ilmu pengetahuan dan lingkungan, penggunaan bakteri *D. radiodurans* ini memberikan kontribusi terhadap upaya pelestarian lingkungan alam. Dengan menggunakan bakteri *D. radiodurans* dampak limbah radioaktif yang dihasilkan PLTN dapat berkurang sehingga lingkungan sekitar dapat lebih sehat. Selain itu, (2) bagi masyarakat, dengan menggunakan bakteri *D. radiodurans* pada pengolahan limbah radioaktif nuklir, kekhawatiran masyarakat terhadap dampak buruk dari limbah radioaktif akan berkurang dan masyarakat dapat terhindar dari penyakit akibat radiasi limbah radioaktif, dan (3) bagi kebutuhan energi alternatif dapat menyelesaikan kelangkaan energi yang sedang melanda bangsa Indonesia.

## GAGASAN

### Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

Prinsip kerja PLTN melibatkan disiplin ilmu yaitu teknik fisika nuklir. Reaksi fisika yang terjadi adalah reaksi pembelahan inti. Reaksi pembelahan inti uranium terjadi dalam reaktor. Di dalam reaktor reaksi tersebut terjadi secara berantai pada saat inti dari uranium dalam hal ini U-235 atau U-233 terbelah bereaksi dengan neutron yang akan menghasilkan berbagai unsur lainnya dalam waktu yang sangat cepat, proses ini akan menimbulkan panas dan neutron-neutron baru. Panas yang berasal dari inti reaktor dialirkan ke sistem pendingin primer, untuk kemudian dilewatkan pada alat penukar panas dan selanjutnya panas dibuang ke lingkungan melalui sistem pendingin sekunder.

PLTN di Indonesia akan menggunakan reaktor jenis PWR (*Pressurized Water Reactor*) karena teknologi reaktor ini banyak digunakan di seluruh dunia. Reaktor jenis ini terdiri dari sebuah bejana yang penuh air yang diletakkan bahan bakar yang disusun dalam pipa-pipa yang dipasang berkelompok. Bahan bakar yang dipakai adalah U-235 untuk menghasilkan panas yang akan memanaskan air. Karena bejana terisi penuh, maka tidak terjadi uap melainkan tekanan tinggi yang akan disalurkan ke penghasil uap untuk kemudian memutar turbin bagi menghasilkan energi listrik.



Gambar 1 Skema prinsip kerja PLTN (Rohi, 2007)

Fragmen-fragmen yang diproduksi selama reaksi pembelahan inti disebut hasil belahan, yang kebanyakan berupa atom-atom radioaktif seperti xenon-133,

krypton-85 dan iodine-131. Zat radioaktif ini meluruh menjadi atom lain dengan memancarkan radiasi alpha, beta, gamma atau neutron (Krane, 1988).

Selama proses peluruhan, radiasi yang dipancarkan dapat diserap oleh bahan-bahan lain yang berada di dalam reaktor, sehingga energi yang dilepaskan berubah menjadi panas. Panas ini disebut panas peluruhan yang akan terus diproduksi walaupun reaktor berhenti beroperasi. Oleh karena itu, reaktor dilengkapi dengan suatu sistem pembuangan panas peluruhan. Selain hasil belahan, dalam reaktor dihasilkan pula bahan radioaktif lain sebagai hasil aktivitas neutron. Bahan radioaktif ini terjadi karena bahan-bahan lain yang berada di dalam reaktor (seperti kelongsongan atau bahan struktur) menangkap neutron sehingga berubah menjadi unsur lain yang bersifat radioaktif. Radioaktif adalah sumber utama timbulnya bahaya dari suatu PLTN. Oleh karena itu, semua sistem pengamanan PLTN ditujukan untuk mencegah atau menghalangi terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan dengan aktivitas yang melampaui nilai batas ambang yang diizinkan menurut peraturan yang berlaku.

Limbah radioaktif cair yang ditimbulkan dari PLTN secara umum dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu aktivitas rendah dan aktivitas sedang. Radioaktif cair ini kebanyakan berasal dari pendingin reaktor baik pendingin primer maupun pendingin sekunder, kebocoran-kebocoran pada alve, pompa-pompa, bocoran pada lantai, limbah *laundry*, limbah dekontaminasi, larutan regenerasi resin, dan personel dekontaminasi. Pada PLTN jenis PWR, limbah terbanyak dalam hal volume dan aktivitasnya adalah berupa cairan, terutama cairan lebih dari pendingin primer (Djokolelono dan Mursyid, 1975). Jenis radionuklida yang terdapat dalam limbah radioaktif cair antara lain,  $Fe^{55}$ ,  $Fe^{59}$ ,  $Sr^{89}$ ,  $Sr^{90}$ , dan  $Sr^{91}$ . Limbah radioaktif cair yang timbul dari PLTN jumlahnya cukup besar, akan tetapi limbah radioaktif cair tersebut dapat diolah untuk reduksi volume limbah dengan berbagai cara seperti evaporasi, pengendapan, penggunaan membran, filter dan resin penukar ion. Setelah mengalami pengolahan maka volumenya akan tereduksi. Limbah cair yang telah diolah selanjutnya dilakukan pengangkutan limbah melalui proses pemadatan dengan semen.

Berbagai usaha pengamanan dilakukan untuk melindungi kesehatan dan keselamatan masyarakat, para pekerja reaktor dan lingkungan PLTN. Usaha ini

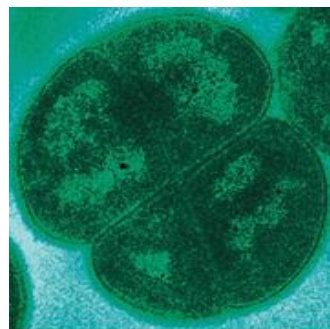
dilakukan untuk menjamin agar radioaktif yang dihasilkan reaktor nuklir tidak terlepas ke lingkungan baik selama operasi maupun jika terjadi kecelakaan. PLTN mempunyai sistem pengaman yang ketat dan berlapis-lapis, sehingga kemungkinan terjadi kecelakaan maupun akibat yang ditimbulkannya sangat kecil. Sebagai contoh, zat radioaktif yang dihasilkan selama reaksi pembelahan inti uranium sebagian besar akan tetap tersimpan di dalam matriks bahan bakar, yang berfungsi sebagai penghalang pertama. Selama operasi maupun jika terjadi kecelakaan, kelongsongan bahan bakar akan berperan sebagai penghalang kedua untuk mencegah terlepasnya zat radioaktif tersebut keluar kelongsongan. Dalam hal zat radioaktif masih dapat keluar dari dalam kelongsongan, masih ada penghalang ketiga yaitu sistem pendingin. Lepas dari sistem pendingin, masih ada penghalang keempat berupa bejana tekan dibuat dari baja dengan tebal  $\pm 20$  cm. Penghalang kelima adalah perisai beton dengan tebal 1,5-2 m. Bila zat radioaktif itu masih ada yang lolos dari perisai beton, masih ada penghalang keenam, yaitu sistem pengungkung yang terdiri dari pelat baja setebal  $\pm 7$  cm dan beton setebal 1,5-2 m yang kedap udara.

### ***Deinococcus radiodurans***

*D. radiodurans* merupakan bakteri gram positif, tidak membentuk spora, dan membutuhkan media yang kompleks untuk membentuk koloni yang berwarna merah jambu (Battista, 2003). Bakteri ini mempunyai beberapa karakteristik yang unik seperti resisten terhadap genotoksik kimia, kerusakan oksidatif, dehidrasi, ionisasi tingkat tinggi dan radiasi ultraviolet (Federikson, 2000). Akibatnya *D. radiodurans* disebut sebagai "*world's toughest bacterium*". Kekebalan *D. radiodurans* dapat dipaparkan sebagai berikut, dosis dari 10 Gy dari radiasi pengion mampu membunuh manusia dan dosis dari 60 Gy mampu membunuh semua sel dalam kultur *E. coli*, *D. radiodurans* mampu bertahan dari dosis yang seketika itu juga lebih dari 5000, tetapi tetap bisa melangsungkan hidupnya dan dosis lebih 15.000 Gy dengan 37% kemampuan bertahan hidup. Dosis 5000 Gy diperkirakan mampu memperkenalkan beberapa ratus kerusakan yang menyeluruh pada DNA makhluk hidup.

*D. radiodurans* ditemukan pada tahun 1956 oleh A.W. Anderson di Oregon Agricultural Experiment Station, Corvallis, Oregon. Eksperimen yang dilakukan untuk menentukan apabila makanan kalengan bisa disterilisasikan dengan menggunakan dosis tinggi sinar gamma. Sekaleng daging diberikan radiasi yang bisa membunuh semua jenis kehidupan yang ada, sesudah itu daging tersebut hancur dan *D. radiodurans* diisolasi. Urutan DNA yang lengkap dipublikasikan pada tahun 1999 oleh TIGR, sedangkan keterangan yang lebih detail dan analisis terhadap genom dipublikasikan pada tahun 2001.

Banyak penelitian telah mengungkapkan penyebab kekebalan pada *D. radiodurans*. Penelitian yang paling awal lebih difokuskan pada mekanisme perbaikan DNA. Mikroba lain dapat memperbaiki DNA hanya tiga sampai lima strain, tetapi *D. radiodurans* bisa memperbaiki lebih dari 200 strain. Selain itu, adanya cincin DNA juga berpengaruh pada kekebalan bakteri ini. Penelitian yang dilakukan pada tahun 2002 oleh Avi Minsky dan rekannya di Weizmann Institute of Science's Organic Chemistry Department. Mereka menemukan bahwa DNA mikroba diatur dalam cincin fragmen DNA yang unik, yang mencegah bagian-bagian DNA rusak oleh radiasi ke dalam cairan sel. Tidak seperti organisme lain yang kehilangan fragmen DNA oleh radiasi, mikroba ini tidak kehilangan informasi genetiknya karena potongannya disimpan rapat di dalam cincin yang jumlahnya ratusan bila hal tersebut perlu dilakukan. Mekanisme pertahanan unik yang muncul berfungsi untuk membantunya dalam menghadapi dehidrasi membuktikan kelebihanannya dalam memproteksi dirinya dari radiasi.



Gambar 2 Bakteri *Deinococcus radiodurans* (*Encyclopedia of Alternative Energy & Sustainable Living* 2007).

Penelitian terkini yang mengungkap tentang kemampuan pertahanan diri dari *D. radiodurans* diungkapkan oleh Michael Daly dan kawan-kawannya pada tahun

2007 di Universitas Ilmu Kesehatan di Bethesda, Maryland. Mereka menemukan bahwa kekebalan sel tersebut berhubungan dengan jumlah mangan (II) ion di dalam sel. Mangan mencegah kerusakan akibat oksidasi dalam memperbaiki protein dan membiarkannya untuk melanjutkan ke tahap selanjutnya setelah radiasi menghancurkannya. Jadi seberapa hancur DNA mikroba ini karena radiasi, ia akan kembali ke bentuknya yang semula. Implikasi bila proses perbaikan tersebut tetap utuh, selanjutnya pertahanan hidup bahkan mungkin saja mampu menahan radiasi yang lebih tinggi.

*Scanning Electron Microscopy* analisis telah menunjukkan bahwa DNA *D. radiodurans* diatur oleh kemasan toroida yang kompak yang memfasilitasi perbaikan DNA. Sebuah tim dari Kroasia dan Perancis telah mendebat *D. radiodurans* dalam studi mekanisme perbaikan DNA. Dua salinan DNA paling tidak dengan kerusakan yang acak bisa membentuk fragmen DNA melewati proses pengkelatan logam. Sebagian fragmen tumpang tindih kemudian digunakan untuk mensintesis bagian yang homolog melewati D-loop yang akan melanjutkan tambahan sampai menemukan utas pasangan tambahan. Pada tahap akhir, ada pindah silang sebagai rekombinasi homolog yang bergantung pada Rec-A.

#### a. **Sistem Instalasi Bioremediasi**

Ada dua sistem yang diajukan dalam menangani limbah PLTN ini yaitu dengan menggunakan sistem bioreaktor basah *in situ* dan Sistem Poros Kontak Biologis.

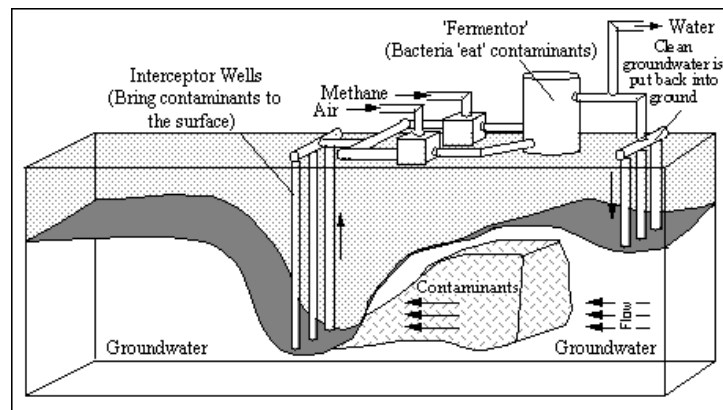
##### **Bioreaktor Basah *In Situ***

Pembangunan bioreaktor difungsikan sebagai bejana bioremediasi. Konteks bioreaktor dalam hal penanganan limbah di dalam tanah dan air berhubungan dengan sebuah bejana raksasa sebagai tempat pendegradasian limbah Sr<sup>90</sup> yang sudah disolasi dan dikontrol. Bioreaktor dalam hal ini akan memisahkan kontaminan berbahaya di dalam tanah untuk dimasukkan ke dalam tangki penampungan tahap dua yang keadaan lingkungannya yang bisa diawasi dan dikontrol keadaannya. Mekanisme perlakuan yang paling penting dalam bioreaktor ini adalah degradasi alami dari populasi bakteri *Deinococcus radiodurans*.

Bioreaktor ini telah terbukti sangat efektif dalam meremediasi limbah di dalam tanah, dan juga beberapa kasus limbah di dalam air. Selain itu bioreaktor ini juga telah mampu menyelesaikan permasalahan polusi oleh bahan bakar hidrokarbon (minyak, bensin, dan diesel) (Fall, 1996).

### Desain dari Bioreaktor In Situ Bioremediasi

Desain bioreaktor ini bergantung oleh limbah yang akan diremediasi, media yang telah terkontaminasi, dan kendala dalam masalah dana. Ada dua tipe bioreaktor ini, yaitu bioreaktor kering dan basah (*slurry*). Pada kesempatan ini, fokus limbahnya adalah limbah cair yang ditampung di dalam tanah, sehingga sistem yang memang sesuai adalah bioreaktor basah. Bioreaktor untuk penanganan limbah cair ini biasanya berupa lapisan atau sebuah bentukan dari endapan reaktor teraktivasi. Endapan reaktor teraktivasi merupakan sebuah bejana yang akan menjadi tempat bercampurnya mikroba dan nutriennya dengan limbah  $Sr^{90}$ . Bioreaktor ini dapat dioperasikan dalam pada tempat yang menjadi aliran dari limbah tersebut. Sistem bioreaktor dapat diamati pada gambar di bawah ini,



Gambar 3 Sistem Bioreaktor Basah (Fall,1996).

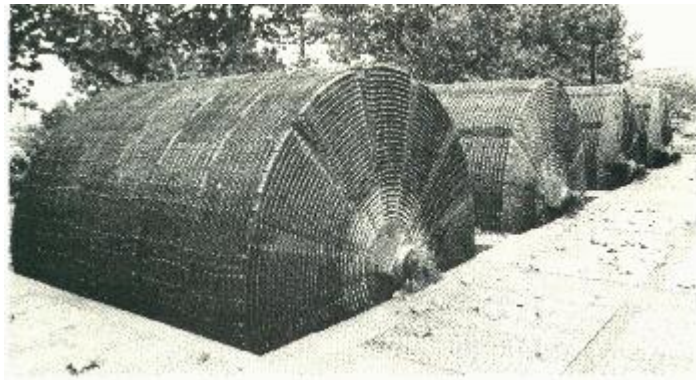
### b. Sistem Poros Kontak Biologis

Sistem poros kontak biologis ini merupakan teknologi bioremediasi limbah cair tahap ke dua yang melibatkan kontak dengan medium biologis yang memfasilitasi pembersihan limbah  $Sr^{90}$  ini. Laporan paling awal tentang penanganan limbah cair ini dengan menggunakan teknik perendaman telah dicobakan pada tahun 1929, akan tetapi tidak sampai tahun 1965, penggunaan



sistem inilah dikomersialkan. Ada beberapa desain yang sampai sekarang dibuat, tetapi sistem yang paling sederhana yang ditujukan sebagai solusi adalah sistem Poros Kontak Biologis. Sistem ini terdiri dari gabungan cakram-cakram yang menjulang, membentuk poros batang yang digerakkan oleh mesin sehingga gulungan cakram tersebut berputar ke arah kanan sehingga menghasilkan gelombang menuju ke aliran pembuangan limbah cair.

Gulungan cakram tersebut terbuat dari plastik (Polietilena, PVC, dan Polistirena) dan 40% dari gulungan tersebut ditenamkan ke dalam aliran air. Gulungan cakram tersebut disusun menjadi beberapa kelompok dengan memberikan jarak antara kelompok untuk meminimalisasi arus gelombang atau hubungan singkat arus. Tangki penampungan mencakup beberapa unit kecil dan unit besar yang biasanya ditempatkan di dalam sebuah gedung tersendiri. Hal ini dilakukan untuk mengurangi dampak dari cuaca terhadap lapisan biofilm aktif yang dapat berikatan dengan permukaan cakram.



Gambar 4 Sistem poros kontak biologis.

Sistem poros kontak biologis ini dibuat pada tangki beton, sehingga permukaan limbah cair yang melewati tangki ini mencapai poros biologis ini. Gulungan poros cakram ini berputar dengan kecepatan 1 sampai 2 rpm, dan lapisan mikroba akan ditumbuhkan dengan ketebalan 2 sampai 4 mm pada permukaan yang basah pada setiap cakraannya. Pertumbuhan mikroba ini akan menjadi solusi ketika berasimilasi dengan material  $Sr^{90}$  yang ada dalam limbah cair. Pengupuan dilakukan pada saat pemutaran poros cakram setelah kontak dengan limbah cair tersebut.

## KESIMPULAN

Nuklir memiliki potensi yang besar sebagai sumber energi, sehingga diharapkan mampu mengatasi permasalahan krisis energi di dunia lewat pembangunan Pusat Listrik Tenaga Nuklir. Hal tersebut masih menjadi polemik di kalangan masyarakat karena pemikiran akan bahaya yang ditimbulkan jika terjadi kebocoran. Solusi yang dibutuhkan adalah suatu sistem yang mampu menjamin kebocoran itu terjadi dan mampu meremediasi hasil limbahnya. Inovasi yang kami tawarkan yaitu dengan menggunakan bakteri *Deinococcus radiodurans* sebagai alternatif terhadap permasalahan kebocoran limbah radioaktif yang berbentuk cair hasil PLTN.

## DAFTAR PUSTAKA

- Battista JR *et al.* 2003. The structure of *Deinococcus radiodurans*. *Science*, 302, 567-568.
- Brim *et al.* 2000. Engineering *Deinococcus radiodurans* for metal remediation in radioactive mixed waste environments. *Nature Biotechnology* 18, 85-90.
- Daly MJ. 2006. Modulating radiation resistance: Insights based on defenses against reactive oxygen species in the radioresistant bacterium *Deinococcus radiodurans*. *Clin Lab Med*, 26(2), 491-504.
- Djokolelono, Mursid. 1975. *PWR sebagai jenis PLTN paling laku saat ini* [prosiding]. Jakarta : Prosiding Teknologi Pusat Listrik Tenaga Nuklir, BATAN.
- Encyclopedia of Alternative Energy & Sustainable Living. 2007. *Deinococcus radiodurans* [terhubung berkala]. [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/D/D\\_radiodurans.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/D/D_radiodurans.html) [23 Februari 2011)
- Fredrickson JK, HM Kostandarithes, AW Li, AE Pyle, Michael JD. 2000. Reduction of Fe(III), Cr(VI), U(VI), and Tc(VII) by *Deinococcus radiodurans*. *Appl. Environ. Microbiol.* 66, 2006-2011.
- Ghosal D *et al.* 2005. How Radiation Kills Cells: Survival of *Deinococcus radiodurans* and *Shewanella oneidensis* Under Oxidative Stress. *FEMS Microbiology Reviews*, 29, 361-375. Supplemental Material.
- Krane, Kenneth S. 1988. *Introductory Nuclear Physics*. Canada : John Wiley&Sons, Inc.
- Pelczar, Chan. 2007. *Mikrobiologi Dasar*. Depok : UI Press.
- Rohi D. 2007. Mengkaji Kontroversi Penggunaan Energi Nuklir dalam Mendukung Kelistrikan Nasional [Makalah]. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Subki I. 1986. Keselamatan Reaktor Nuklir Suatu Pendekatan Komprehensif. Di dalam : *Proceedings Seminar Teknologi Reaktor dan Pusat Listrik Tenaga Nuklir*; Bandung, 2-4 September. Bandung. Badan Teknologi Atom Nasional; 1986. hlm 33-37.
- Sudarsono B. 1986. Prospek Energi Nuklir di Indonesia. Di dalam : *Proceedings Seminar Teknologi Reaktor dan Pusat Listrik Tenaga Nuklir*; Bandung, 2-4 September. Bandung. Badan Teknologi Atom Nasional; 1986. hlm 18-33.

Zamroni H, Jaka R. 2007. Limbah Radioaktif yang ditimbulkan dari operasional AL PLTN PWR 1000 MWe. Di dalam : *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah VI*. Tangerang : Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN.

## LAMPIRAN

### DAFTAR RIWAYAT HIDUP

#### 1. Ketua Pelaksana Kegiatan

- a. Nama Lengkap : Ayu Arthuria R.
- b. NIM : G84070015
- c. Tempat/Tanggal lahir : Jakarta, 21 Agustus 1989
- d. Fakultas/Departemen : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Biokimia
- e. Perguruan Tinggi : Institut Pertanian Bogor
- f. Karya Ilmiah yang Pernah Dibuat :
  - Martabak Telur Bhineka Tunggal Ika dengan Bahan Dasar Tepung Ubi Jalar (*Ipomoea batata L*) : Kudapan Sehat, Lezat dan Bergizi
  - Rahasia Kebesaran Allah dalam QS Maryam 23-27 tentang Kurma (*Phoenix dactylifera l.*) Sebagai Asupan Nutrisi pada Wanita Pasca Melahirkan
- g. Penghargaan Ilmiah yang Diraih :
  - Program Kreativitas Mahasiswa bidang Kewirausahaan didanai DIKTI Tahun 2011
  - Juara 2 Lomba Karya Tulis Ilmiah Al-Qur`an Tingkat Nasional SERUM G IPB 2010
  - Juara 3 Lomba Kompetisi Karya Tulis Mahasiswa Nasional INDEX 2010

#### 2. Anggota Pelaksanaan Kegiatan

- a. Nama Lengkap : Muhammad Iqbal Akbar M.
- b. NIM : G84070027
- c. Tempat/Tanggal lahir : Sukabumi, 1 Agustus 1988
- d. Fakultas/Departemen : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Biokimia
- e. Perguruan Tinggi : Institut Pertanian Bogor
- f. Karya Ilmiah yang Pernah Dibuat :
  - Identifikasi dan Karakterisasi Polimorfisme pada DNA Kerbau Toraja Hasil Persilangan
  - *Floating Aquatic Plant System* Sebagai Fitoremediasi Untuk Menanggulangi Pencemaran Perairan oleh Limbah Tapioka
  - Isolasi dan Nanoenkapsulasi Lutein dari Mikroalga *Scenedesmus sp.* untuk Aplikasi Pewarna Alami Pangan

- Pemanfaatan Ekstrak Polifenol dari Limbah Kulit Buah Delima (*Punica granatum L.*) Budidaya Asal Lampung Utara Sebagai Inhibitor Hepatotoksik
- Fortifikasi Yogurt Susu Kerbau (Dadih) dengan *Bifidobacterium bifidum* dalam Bentuk Tablet Hisap *Effervescent*

g. Penghargaan Ilmiah yang Diraih :

- Juara 2 Kompetisi Inovasi dan Agroteknologi – FORCES IPB 2011
- Juara 2 Kompetisi Karya Tulis Mahasiswa – INDEX 2011
- Juara Poster Terbaik Kompetisi Inovasi dan Agroteknologi
- Finalis PIMNAS XXIII-UNMAS
- Program Kreativitas Mahasiswa bidang Penelitian didanai DIKTI Tahun 2010
- Program Kreativitas Mahasiswa bidang Penelitian didanai DIKTI Tahun 2011

3. Anggota Pelaksanaan Kegiatan

- a. Nama Lengkap : Riani Meryalita
- b. NIM : G84080024
- c. Tempat/Tanggal lahir : Pacitan, 10 Mei 1990
- d. Fakultas/Departemen : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Biokimia
- e. Perguruan Tinggi : Institut Pertanian Bogor
- f. Karya Ilmiah yang Pernah Dibuat :
- Pemanfaatan Ekstrak Polifenol dari Limbah Kulit Buah Delima (*Punica granatum L.*) Budidaya Asal Lampung Utara Sebagai Inhibitor Hepatotoksik
  - Program Kreativitas Mahasiswa didanai DIKTI bidang Penelitian 2010

**NAMA DAN BIODATA DOSEN PENDAMPING**

1. Nama Lengkap dan Gelar : Dr. Syamsul Falah, S.Hut., M.Si.
2. NIP : 197005032005011001
3. Jabatan Fungsional : Dosen
4. Fakultas/Departemen : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/  
Biokimia
5. Bidang Keahlian : Kimia Kayu