

**LAPORAN TEKNIS 2018**

**502/AIR 2/OT 02 02/01/2019**

**Dokumen Teknis Sedimen Budget DAS, Prediksi Perubahan  
Iklim Melalui Coral Reef dan Bioremediasi Lahan**

**Ali Arman, Barokah Aliyanta, Tri Retno Diah L., Nana Muyana, Dadang Sudrajat, Nita Suhartini,  
Tommy Hutabarat, Untung Sugiharto, Arief Adhari, dan Darman**



**PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI  
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL  
2019**

# LAPORAN TEKNIS 2018

502/AIR 2/OT 02 02/01/2019

## Dokumen Teknis Sedimen Budget DAS, Prediksi Perubahan Iklim Melalui Coral Reef dan Bioremediasi Lahan

Ali Arman, Barokah Aliyanta, Tri Retno Diah L., Nana Muyana, Dadang Sudrajat, Nita Suhartini, Tommy Hutabarat, Untung Sugiharto, Arief Adhari, dan Darman

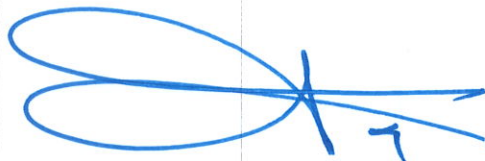
Mengetahui/Menyetujui

Kepala Bidang Industri dan Lingkungan



Dr. Roziq Himawan, M.Eng  
NIP. 19700721 198911 1001

Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi



Totti Tjiptosumirat  
NIP. 19630830 198803 1 002

## DOKUMEN TEKNIS SEDIMEN BUDGET DAS, PREDIKSI PERUBAHAN IKLIM MELALUI CORAL REEF DAN BIOREMEDIASI LAHAN

Ali Arman, Barokah Aliyanta, Tri Retno Diah L., Nana Mulyana, Dadang Sudrajat, Nita Suhartini, Tommy Hutabarat, Untung Sugiharto, Arief Adhari, dan Darman.

### ABSTRAK

Pengembangan aplikasi perunut dan isotop alam untuk membangun sedimen budget daerah DAS Ciujung telah dilaksanakan. Dengan asumsi titik outlet adalah bendung Pamarayan, maka dalam pelaksanaan penelitian tidak memasukan sub-DAS Ciujung Hilir. Prediksi perubahan iklim masa datang seperti suhu permukaan laut diperlukan untuk adaptasi dan mitigasi. Model prediksi memerlukan data time series hingga ratusan tahun ke masa lampau. Data yang tersedia terbatas hanya pada beberapa tahun ke belakang dan hanya pada beberapa lokasi di daerah perairan Indonesia. Pada penelitian ini dilakukan analisis terumbu karang daerah perairan Morotai, Maluku Utara. Selain itu dilakukan juga pengambilan sampel fosil terumbu karang untuk kajian perubahan iklim hingga zaman holocene. Aplikasi Teknik Radiasi untuk Meningkatkan Kemampuan Inokulan Mikroba Terpilih dalam Pengujian Remediasi Lahan Terdegradasi dan Peningkatan Kualitas Lingkungan dengan telah dilakukan: Perbaikan Genetik Kapang *Trichoderma reesei* dengan Iradiasi Gamma untuk meningkatkan aktivitas enzim kitinase dan selulase. Informasi tentang perubahan genetik akibat iradiasi pada fungi *Trichoderma reesei* sangat diperlukan dalam rangka meningkatkan kemampuan isolat tersebut untuk aktivitas enzim kitinase dan selulase. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik molekular isolat fungi *T. reesei* setelah diiradiasi dengan sinar gamma melalui pendekatan marka molekuler *Random Amplified Polymorphic DNA* (RAPD). Dan yang kedua adalah formulasi Inokulan Mikroorganisme Agen Bioproses Substrat Kitin dan Bahan Lignoselulosa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan fungi *Phanerochaete chrysosporium* dan *Trichoderma harzianum* dalam biodeliognifikasi dan proses biodegradasi kitin. Kegiatan ini meliputi formulasi bahan pembawa padat, orientasi dosis sinar gamma pada sterilisasi bahan pembawa padat formulasi terpilih, uji kemampuan agen bioproses kitin selama penyimpanan, uji kemampuan agen biodeliognifikasi selama penyimpanan dan studi pengaruh pengayaan rizosfer terhadap serapan C atmosferik.

Untuk membangun sedimen budget DAS Ciujung diperlukan beberapa komponen sebagai parameter yang diperlukan. Parameter tersebut antara lain laju erosi lahan, laju sedimentasi daratan banjir, kontribusi sumber sedimen dalam DAS, beban sedimen suspense dan debit aliran sungai. Tiga parameter pertama dapat diperoleh melalui pengambilan sampel di lapangan baik sampel tanah permukaan, sampel dengan kedalaman olah tanah setempat (20 cm) pada berbagai tataguna lahan dan sampel profil pada sedimen daratan banjir. Sedangkan, data sedimen suspense dan debit aliran sungai diperoleh dari data sekunder. Sampel terumbu karang *Porites spp* menggunakan alat bor stainless steel. Sampel karang dipotong dan selanjutnya digunakan radiografi sinar-X untuk menentukan umur (annual banding) dan laju pertumbuhan linier karang. Menggunakan sampel yang sama dilakukan sub-sampling setiap 1 mm (interval

bulanan), dan diukur kandungan Sr, Ca dan Mg dengan ICP-OES. Pengukuran umur fosil terumbu karang menggunakan tehnik dating karbon-14 (C-14) dengan Liquid Scintillation Counter (LSC). Dosis iradiasi yang digunakan dalam penelitian Perbaikan Genetik Kapang *Trichoderma reesei* dengan Iradiasi Gamma untuk meningkatkan aktivitas enzim kitinase dan selulase adalah 6 taraf yaitu 0; 250; 500; 750; dan 1000 Gy dengan laju dosis 63,42 kGy/jam. Ekstraksi DNA isolat kapang dilakukan dengan ekstraksi CTAB-fenol-kloroform. Analisis DNA RAPD isolat fungi teriradiasi dilakukan untuk melihat polimorfisme DNA dan sidik mutasi akibat pengaruh radiasi. Tiga jenis primer RAPD yang digunakan adalah 5 buah untuk isolat *T. reesei*. Kedua jenis formulasi bahan pembawa terpilih disterilkan dengan *autoclave* pada 121 °C selama 15-30 menit (U1, U2) dan iradiasi gamma pada 10, 20, 30 kGray (G10, G20, G30). Metode sterilisasi yang dipilih ditentukan berdasarkan beberapa karakteristik fisik bahan pembawa (pH, bahan organik, nisbah C/N) dan sterilitas bahan pembawa (total bakteri aerob, kapang).

Hasil kegiatan meliputi wilayah sub DAS Ciberang, sub DAS Ciujung Hulu dan sub DAS Ciujung Tengah. Kegiatan tahun ini, melakukan penambahan pengambilan sampel tanah permukaan, tanah secara transek dengan kedalaman 20 cm, sedimen suspensi dan pencarian lokasi pembanding untuk wilayah DAS Ciujung. Di wilayah sub-DAS Ciberang, aktivitas Pb-210 excess pada tanah permukaan bervariasi dari 1,95 Bq/kg sampai 44,93 Bq/kg dengan rata-rata 20,50 Bq/kg untuk keseluruhan tataguna lahan, dan aktivitas Cs-137 bervariasi dari 0,13 Bq/kg sampai 0,67 Bq/kg di semua jenis tataguna lahan dengan rata-rata 0,28 Bq/kg. Di wilayah sub-DAS Ciujung Hulu, aktivitas Pb-210 excess pada tanah permukaan bervariasi dari 3,87 Bq/kg sampai 35,27 Bq/kg untuk keseluruhan tataguna lahan, dan aktivitas Cs-137 bervariasi dari 0,44 Bq/kg sampai 1,59 Bq/kg di semua jenis tataguna lahan. Sedangkan, untuk wilayah sub-DAS Ciujung Tengah, aktivitas Pb-210 excess pada tanah permukaan bervariasi dari 0,83 Bq/kg sampai 26,64 Bq/kg untuk keseluruhan tataguna lahan, dan aktivitas Cs-137 bervariasi dari 0,89 Bq/kg sampai 1,58 Bq/kg di semua jenis tataguna lahan. Nilai inventori pembanding untuk Pb-210 excess adalah 4039 Bq/m<sup>2</sup> dan untuk Cs-137 adalah 213 Bq/m<sup>2</sup>. Sedimen di bendung Pamarayan diestimasi berkontribusi dari subDAS Ciujung Hulu berkisar (21,9 ± 2,5) %, dari sub-DAS Ciberang berkisar (62,5 ± 4,6) % dan dari sub DAS Ciujung Tengah berkisar (15,8 ± 2,5) %. Laju sedimentasi di dataran banjir bervariasi dari kisaran 1 cm/tahun sampai 3,2 cm/tahun. Hasil penelitian menunjukkan pertumbuhan karang peningkatan yang tidak signifikan, akan terlihat adanya fluktuasi dari laju pertumbuhan yang kemungkinan berkaitan dengan adanya kejadian ENSO untuk rentang waktu sekitar 50 tahun. Korelasi rasio Sr/Ca dengan SPL diperoleh  $Sr/Ca(mmole/mole) = -0,52(SST) + 23,35$ . Penelitian sampel fosil karang menunjukkan umur fosil karang tersebut adalah 12248 ± 900 tahun BP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas optimum enzim selulase optimum diperoleh dari *T. reesei* hasil iradiasi pada dosis 750 Gy. Hasil Uji RAPD- PCR menggunakan primer OPH-16, menunjukkan polimorfisme pada dosis iradiasi 500; 750; dan 1000 Gy. Selanjutnya, telah dilakukan formulasi bahan pembawa padat untuk kapang *T. harzianum* dan *P. chrysosporium*. Berdasarkan hasil uji viabilitas dan aktivitas kapang *T. harzianum* dan *P. chrysosporium*, dari 8 jenis formulasi diperoleh 2 jenis formulasi terbaik yang sesuai untuk memelihara kelangsungan hidup dan

aktivitas kapang (aktivitas selulase dan LiP). Formulasi bahan pembawa dan konsorsium mikroorganisme agen bioproses substrat kitin (TRICHOMIX) dan lignoselulosa (DELIGNO) berpotensi untuk diaplikasikan pada skala lapang sebagai bio-kontrol pada remediasi lahan sawah.

**Kata kunci:** Pb-210 excess, Cs-137, Perubahan iklim, digital radiografi sinar-X, ICP-OES, terumbu karang *Porites spp*, polimorfise DNA, sinar gamma, fungi.

## ABSTRACT

*The research has been conducted on the nuclear technologies application for sediment budget, climate change and land remedial related to getting parameter data of land use in river flow, sea surface temperature for climate change and the capabilities of agent of functional microbial. The application of trace and nature isotope was developed to enhance river basin (DAS) Ciujung. Bendung Pamayaran was assumed as outlet spot that made the research was not involved sub-DAS Ciujung downstream. Climate change prediction in the future such as Sea Surface Temperature (SST) is an important parameter for environmental adaptation and mitigation research. Prediction model set requires time series data of hundreds of years into the past. Limited data was faced in global data sheet in the past few years and in small number of locations in Indonesia. This research will analyst the coral reef from Morotai, North Maluku and will collect the fossil corals for Holocene climate change study. The application of radiation techniques to improve the ability of selected microbial inoculants has been conducted for remediation of land degradation test and improving the quality of environmental. The first project is using gamma irradiation in genetic improvement of *Trichoderma Reesei* to increase the activity of chitinase and cellulase enzymes. This information is needed to improve the isolates capability activating the enzymes discovering the molecular characteristics isolates of *T. reesei* after having gamma radiation process using the Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) as molecular marker approach. The second project is the formulation of microorganism inoculant agents of bioprocess chitin substrate and lignocellulose material. The main purpose of this project is to determine the ability of *Phanerochaete chrysosporium* and *Trichoderma harzianum* fungus in bio-delignification and biodegradation of chitin. This activity includes the formulation of solid carrier materials, the orientation of gamma ray dosage on the sterilization of selected solid carrier materials, testing the ability of chitin bioprocess agents during storage, testing the ability of bio-delignification agents during storage and studying the effect of rhizosphere enrichment on atmospheric carbon uptake.*

*Building the sediment budget of DAS Ciujung needs a few parameters such as rate of land erosion, flood, sedimentation rate, sediment source contribution in DAS, sediment suspended load and river flow discharge. The first three parameters can be obtained by sampling in the field both surface soil samples with local soil depth (20 cm) at various land uses and profile samples on flooded land sediments. Meanwhile, suspended sediment and river flow data were obtained from secondary data. Corals sample of *Porites spp* was collected using stainless steel drill tools, cut and analyzed using X-ray to measure the age (annual banding) and linear growth rate. The coral sample was measured every 1 mm (monthly interval) for its Sr, Ca, and Mg composition using ICP-OES. The age of fossil corals was analyzed using carbon-14 (C-14) dating technique with Liquid Scintillation Counter (LSC) instrument. In genetic improvement of *Trichoderma Reesei* project were using gamma dose to increase the activity of chitinase and cellulase enzymes in six stages of gamma dose: 0; 250; 500; 750; dan 1000 Gy with dose rate was 63,42 kGy/hour. DNA extraction has been done using*

CTAB-phenol-chloroform extraction method. DNA RAPD then was analyzed to measure polymorphism DNA and mutation due to radiation effects. Three RPAD premiers used five *T. reesei* isolates. The chosen formulation material carrier was sterilized by autoclave at 121°C for 15-30 minutes (U1, U2) and gamma irradiation at 10,20,30 kGray (G10, G20, G30). Sterilized methods were chosen depending on physical characteristic of material carrier (pH, organic material, C/N ratio) and sterility of carrier material (the amount of aerobic bacterial, mold). The result of this year covered sub area of DAS Ciberang, upstream Ciujung and central Ciujung. The additional collection has been done for surface sediment, transect sediment with 20 cm depth, sediment suspension, and exploring the area of DAS Ciujung for comparison. The Pb-210 excess activity on surface soil of sub-DAS Ciberang varies from 1.95 Bq/kg to 44.93 Bq/kg with an average of 20.50 Bq/kg for the overall land use, and Cs-137 activity varies from 0.13 Bq/kg to 0.67 Bq/kg in all types of land use with an average of 0.28 Bq/kg. Where the sub-DAS upstream Ciujung has variety of Pb-210 excess activity on the land surface at 3,87 Bq/kg to 35,27 Bq/kg for overall land use, and Cs-137 activity varies from 0,44 Bq/kg to 1,59 Bq/kg for overall land use. When the Pb-210 excess activity at sub-DAS central Ciujung area varies at surface land from 0,83 Bq/kg to 26,64 Bq/kg overall land use, and Cs-137 activity varies from 0,89 Bq/kg to 1,58 Bq/kg overall land use. The comparative inventory value for Pb-210 excess is 4039 Bq/m<sup>2</sup> and for Cs-137 is 213 Bq/m<sup>2</sup>. The sediments at the Pamarayan dam were estimated to have contributed from the Ciujung Hulu sub-basin ranging (21.9 ± 2.5) %, from the Ciberang watershed ranged (62.5 ± 4.6) % and from the Ciujung Tengah watershed ranged (15.8 ± 2.5) %. Sedimentation rates in floodplains vary from 1 cm/year to 3.2 cm/year. In corals project, there is no significant coral growth result since there was also a fluctuated in growth rate correlated to ENSO in past 50 years. The correlation between Sr/Ca ratio and SPL creates equation: Sr/Ca (mmol/mol) = -0,52(SST)+23,35. Fossil corals showed its age that is 12248 ± 900 years BP. In environmental project resulted that the optimize activity of cellulose enzyme was given by *T. reesei* irradiated at 750 Gy. RAPD-PCR test using OPH-16 primary resulted polymorphism at irradiation dose 500, 750, and 1000 Gy. The next stage was formulating the solid carrier material for *T. harzianum* dan *P. chrysosporium* mold that has the result of the viability test and activity from eight types of formulation that two of the best types were obtained that were suitable for maintaining mold survival and activity (cellulase and LiP activity). There is a great potential for the carrier material formulation and the consortium of chitin substrate bioprocess agent (TRICHOMIX) and lignocellulose (DELIGNO) to be applied on a field scale as bio-control in the remediation of paddy fields.

**Keywords;** Pb-210 excess, Cs-137, climate change, digital x-ray radiograph, ICP-OES, coral reef porites spp, DNA polimorfs, gamma radiation, fungi.

## PENDAHULUAN

DAS Ciujung terbagi kedalam lima wilayah daerah pemerintahan tingkat dua, yakni Kota Serang, Kabupaten Serang, Kabupaten Pandeglang, Kabupaten Lebak dan Kabupaten Bogor. DAS Ciujung terbagi dalam 4 sub DAS yaitu sub DAS Ciberang, sub DAS Ciujung Hulu, sub DAS Ciujung Tengah dan sub DAS Ciujung Hilir. Sungai Ciujung mengalir dari sisi selatan dari puncak gunung di wilayah sub DAS Ciberang ke utara menuju pantai utara Jawa.

Kondisi kualitas dan kuantitas air Sungai Ciujung dirasakan semakin memburuk dari tahun ke tahun, yang diindikasikan keruhnya air yang mengalir sepanjang tahun baik di musim kering apalagi di musim hujan. Selama sepuluh tahun terakhir mutu air Sungai Ciujung di bagian hilir semakin merosot, terutama akibat pencemaran dan sedimentasi. Sungai Ciujung juga sering meluap terutama di pertemuan antara Sungai Ciberang dan Ciujung Hulu serta di Jalan Tol Jakarta- Merak yang merupakan jalan vital transportasi antara Pulau Jawa dan Sumatera. Beberapa faktor yang berkontribusi paling kuat terhadap kualitas dan kuantitas air Sungai Ciujung adalah ketidakpatuhan terhadap tata ruang yang dilanjutkan dengan pemutihan terhadap pelanggaran yang terjadi, pengelolaan pertanian yang kurang memperhatikan konservasi, perambahan hutan melalui penebangan kayu dan adanya penambangan liar. Atau dengan kata lain telah terjadi kerusakan lahan di dalam kawasan DAS Ciujung[1].

Dalam rangka pengelolaan DAS yang efektif, khususnya terkait dengan pengelolaan dinamika sedimen dalam kawasan DAS dan strategi untuk mengontrolnya, diperlukan informasi berbagai komponen sedimen dalam DAS seperti sumber-sumber sedimen dominan, laju erosi tata guna lahan yang ada, deposisi sedimen dan sedimen yield[2]. Menurut Des Walling[3], konsep sedimen budget dapat menyediakan kerangka yang berguna untuk mengintegrasikan berbagai informasi tersebut dalam rangka untuk mengkaji tiap aspek kuantitas sumber dan hubungannya dalam keseluruhan respon DAS.

Dengan gambaran ini, membangun model sedimen budget DAS Ciujung dapat diupayakan melalui pengumpulan data di lapangan secara bertahap, yaitu melalui pengumpulan data berbasis sub DAS yang diantaranya dapat dihasilkan dengan teknik pengukuran radionuklida fallout Cs-137 dan Pb-210 excess. Mengingat wilayah sub DAS Ciujung Hilir merupakan wilayah di bawah bendung Pamarayan, maka untuk kegiatan pengambilan sampel tidak dilakukan. Dengan pengambilan sampel tanah (baik tanah permukaan maupun tanah cdoring 20 cm) , sedimen suspense sungai serta sedimen daratan banjir yang mewakili keseluruhan DAS Ciujung serta data sekunder terkait diharapkan dapat dibangun sebuah konstruksi sedimen budget yang menggambarkan dinamika sedimen dalam kawasan DAS sampai titik outlet DAS, yang dalam hal ini adalah bendung Pamarayan.

Dengan data yang dapat dihasilkan dengan teknik radionuklida dan data sekunder terkait dengan sedimen yield (river discharge and suspended sediment)



skeleton karang. Kalibrasi suhu dengan menggunakan Sr/ Ca tidak berpengaruh secara signifikan pada individu karang yang hidup dalam area yang sama, hal ini belum tentu berlaku pada daerah lain (Patzold dan Felis, 2004).

Aplikasi Teknologi Nuklir untuk rekonstruksi perubahan iklim hingga zaman Holocene menggunakan terumbu karang daerah Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) dilakukan di daerah pesisir Morotai Maluku Utara. Pesisir Morotai, Maluku Utara adalah termasuk daerah yang dilalui oleh Arus Lintas Indonesia atau disebut juga *Indonesian Through Flow* (ITF). Rekonstruksi perubahan iklim dilakukan mulai zaman modern (menggunakan terumbu karang hidup) hingga zaman Holocene (menggunakan fosil karang). Kegiatan ini menunjang riset kontrak IAEA CRP K-41015 "Radioanalytical and Isotopic Studies of Climate Trends and Variability in Marine Paleo-records". Riset kontrak tersebut diikuti oleh negara sebagai berikut: Amerika Serikat, Inggris, Monaco, Australia, Indonesia, Sri Lanka, Cuba, Singapura dan Philippines.

Pemanfaatan teknologi nuklir untuk penelitian dalam kegiatan ini telah dilakukan secara bertahap di PAIR-BATAN dalam rangka implementasi kegiatan IAEA TC-INS 7006 "*Applying Nuclear Technologies to Enhance Climate Change Research and an Observation for Corals*", Regional Asia Pasifik IAEA-RCA RAS/7/024 "*Supporting Nuclear and Isotopic Techniques to Assess Climate Change Impact for Sustainable Marine Ecosystem Management*" dan Riset kontrak RC-IAEA CRP K41015-"*Radioanalytical and Isotopic Studies of Climate Trends and Variability in Marine Paleo-records*".

Penelitian mengenai penggunaan iradiasi gamma untuk meningkatkan kemampuan mikroba dalam bioremediasi dan bioproses telah banyak dilakukan. Hasil penelitian Abo-State dkk.[3] telah melakukan iradiasi *Aspergillus niger* penghasil enzim selulase dengan sinar gamma dengan maksud meningkatkan aktivitas enzim. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa beberapa jenis kapang teriradiasi mampu meningkatkan kualitas lingkungan. Oleh karena itu dilakukan uji kemampuan terhadap isolat *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma reesei* dan *Phanerochaete chrysosporium* dalam mendelignifikasi serta sebagai agent pengendali biohayati. Oleh karenanya akan dilakukan penelitian tentang informasi perubahan genetik mikroba tersebut melalui pendekatan marka RAPD-PCR. RAPD-PCR merupakan salah satu teknik molekuler berupa pengguna penanda tertentu untuk mempelajari keanekaragaman genetik. Dasar analisis RAPD adalah menggunakan mesin PCR yang mampu mengamplifikasi sekuen DNA secara *in vitro*. Teknik ini melibatkan penempelan primer tertentu yang dirancang sesuai dengan kebutuhan. Tiap primer boleh jadi berbeda untuk menelaah keanekaragaman genetik kelompok yang berbeda. Penggunaan teknik RAPD memang memungkinkan untuk mendeteksi polimorfisme fragmen DNA yang diseleksi dengan menggunakan satu primer arbitrase, terutama karena amplifikasi DNA secara *in vitro* dapat dilakukan dengan baik dan cepat dengan adanya PCR. Penggunaan penanda RAPD relatif sederhana dan mudah dalam hal preparasi. Teknik RAPD memberikan hasil yang lebih cepat dibandingkan dengan

teknik molekuler lainnya. Keuntungan utama penerapan marka *RAPD* ialah karena marka ini menghasilkan polimorfisme yang cukup tinggi [5]. *Random sampling* dalam genom total dan secara teknis juga cukup cepat dan mudah dilakukan. Teknik ini juga mampu menghasilkan jumlah karakter yang relatif tidak terbatas, sehingga sangat membantu untuk keperluan analisis keanekaragaman organisme yang tidak diketahui latar belakang genomnya. Penanda *RAPD* adalah alat penting untuk evaluasi dari variabilitas antara isolat yang berbeda dari spesies, tingkat hubungan genetik diantara isolat, dan juga berguna untuk membantu mendeteksi adanya mutasi dalam isolat mikroba akibat iradiasi sinar gamma [6]. Keragaman genetik yang tinggi dari suatu populasi dapat terjadi karena adanya mutasi genetik akibat iradiasi [7].

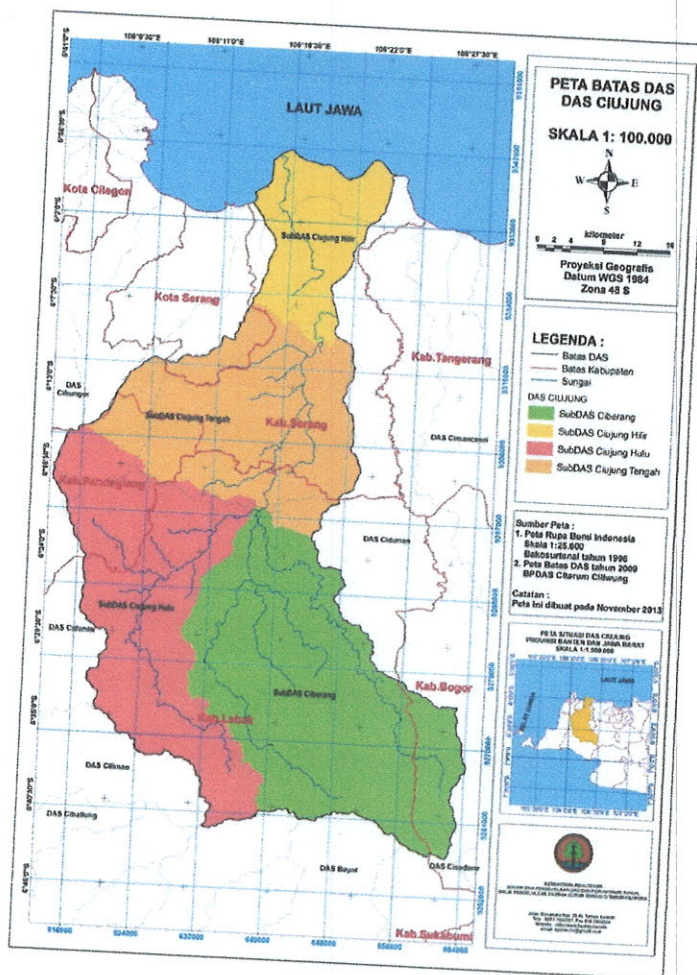
Penelitian sebelumnya membuktikan bahwa fungi berperan besar dalam bioremediasi dengan cara mensekresi enzim ekstraseluler dan ketahanannya untuk tumbuh dibawah kondisi stres (nutrisi rendah, pH, dan aktivitas air) (George-Okafor *et al.* 2009). Kemampuan pelekatan fungi dalam memulai serangan awal menghalau polutan juga dapat memfasilitasi serangan sekunder oleh bakteri (Das & Chandran 2011). Fungi seperti *aspergillus sp.* dapat memanfaatkan keberadaan hidrokarbon sebagai substrat dengan cara mengolah sumber karbon dari minyak untuk kegiatan selular (Chikere dan Azubuike 2014). Pada fungi *Phanaerochaete chrysosporium*, sekresi enzim Lignin Peroksidase (LiP) dalam kondisi lignolitik mampu mendegradasi polutan aromatic (Fraser 2005).

Limbah kitin dan lignoselulosa merupakan sumber daya lingkungan yang terbarukan dan tersedia berlimpah. Substrat kitin dan bahan lignoselulosa berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pada produksi enzim kitinase dan N-asetil glukosamin. Residu biomassa tanaman atau bahan lignoselulosa berpotensi untuk digunakan pada produksi enzim selulase, enzim lignin peroksidase, glukosa dan produk turunan lainnya. Pemanfaatan sumber daya lingkungan tersebut dapat dilakukan melalui bioproses dengan mikroorganisme fungsional. Bioproses substrat kitin sering menggunakan kapang kitinolitik seperti *T.harzianum*, *T.viridie* dan *T.riseei* sedangkan boproses residu biomassa tanaman sering menggunakan kapang lignolitik dan/atau selulolitik seperti *P.chrysosporium* dan *A.niger*. Pada tahun 2018 akan dilakukan pengembangan bahan pembawa padat untuk pembuatan agen bioproses cangkang udang dan agen biodelignifikasi residu biomassa tanaman yang lebih mudah dikembangkan di daerah. Sterilisasi bahan pembawa padat dengan sinar gamma pada dosis 10-20 kGy dilakukan untuk memperoleh jaminan kualitas dan sterilitas yang baik. Pertumbuhan dan kemampuan agen hayati selama periode penyimpanan serta setelah perbanyakan dalam medium padat akan dievaluasi di laboratorium. Substrat hasil biodelignifikasi dan inokulan mikroorganisme fungsional akan digunakan pada studi biogeokimia pengaruh pengayaan rizosfer terhadap serapan <sup>13</sup>C atmosferik oleh tanaman rumput gajah dan indigofera.

## BAHAN DAN METODE

### 1. Pengembangan Aplikasi Perunut dan Isotop Alam untuk Membangun Sedimen Budget Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciujung: sub-DAS Ciujung Tengah.

Penelitian tahun ini dilakukan pada DAS Ciujung (minus sub DAS Ciujung Hilir) yang merupakan bagian dari DAS Ciujung dengan total luasan area sub DAS ini berkisar 191.449 Ha yang merupakan 89 % dari luas DAS Ciujung. Adapun peta DAS Ciujung dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta DAS Ciujung

#### Pengambilan sampel

Pengambilan sampel tanah dilakukan baik tanah permukaan maupun tanah dengan coring 20 cm pada tempat yang dirasakan perlu di cakupan wilayah sub DAS Ciujung Hul, sub DAS Ciujung Tengah dan sub DAS Ciberang. Pemilihan titik pengambilan sampel didasarkan pada evaluasi dari pengambilan sampel yang telah dilakukan sebelumnya, baik sampel tanah, sedimen daratan banjir maupun sedimen suspensi, khususnya sedimen suspensi yang ada di bendung Pamarayan. Disamping itu, pengambilan sampel di lokasi yang dapat dijadikan pembanding.

Secara umum, pengambilan sampel coring (20 cm) dilakukan masing-masing sebanyak 2 titik dan dicampur menjadi satu komposit sampel diaduk-aduk dan dipisahkan kembali menjadi 2 bagian, 1 bagian untuk analisis parameter kualitas tanah dan sebagian lain untuk analisis aktivitas radionuklida jatuhan (Pb-210 excess dan Cs-137).

Untuk melakukan kajian sumber sedimen telah diambil sampel komposit tanah permukaan dengan kedalaman 0-2 cm pada tata guna lahan yang sama dengan pengambilan sampel transek 20 cm. Pengambilan sampel sedimen suspensi untuk kali ini, diambil dari endapan yang ada pada bendung Pamarayan. Pengambilan sampel sedimen di dataran banjir dilakukan secara profil dengan interval kedalaman 10 cm. Titik pengambilan sampel dipertimbangkan telah mewakili seluruh wilayah sub DAS Ciujung Hulu, sub DAS Ciberang dan sub DAS Ciujung Tengah.

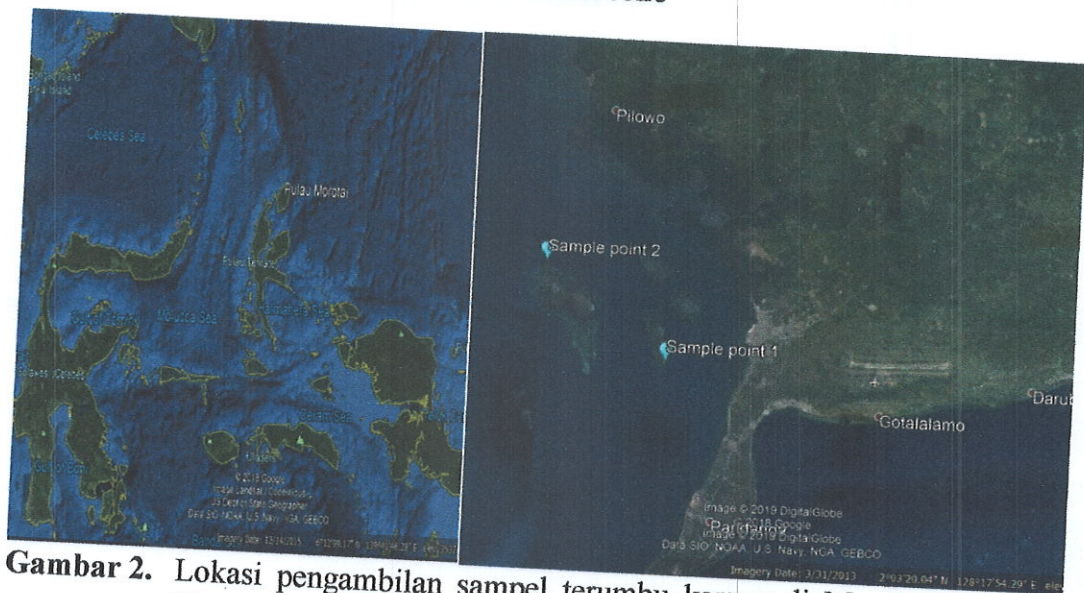
### **Preparasi dan Pengukuran sampel**

Sampel tanah yang didapat dengan cara transek sedalam 20 cm merupakan komposit sampel (2cores) agar dapat menjamin kecukupan sampel untuk analisis radionuklida jatuhan dan analisis parameter kualitas tanah. Sampel komposit dihomogenisasi dengan dikocok-kocok dalam wadah, diambil sebanyak kurang lebih 300 gr untuk analisis parameter kualitas tanah dan sisanya diperlakukan lebih lanjut untuk analisis radionuklida jatuhan.

Sampel tanah sisa ini, dikeringanginkan, diagregasi butirannya, diayak lolos 1 mm ayakan, ditimbang sebanyak 400 gr dan ditempatkan di tabung merrineli dan ditutup rapat dan dibiarkan kurang lebih 1 bulan agar tercapai keseimbangan sekuler antara Ra-226 dan anak luruhnya. Sampel profil kedalaman dari sedimen di daratan banjir, dikeringkan dan diukur keseluruhannya. Masing-masing sampel diukur aktivitas Cs-137 dan Pb-210 excess menggunakan gamma MCA dengan relatif efisiensi 30 %.

Khusus sampel sedimen suspensi dilakukan pengeringan dengan cara dioven dengan suhu 40<sup>0</sup> C selama 3sampai 4 hari. Sampel kering ditumbuk atau diaggregasi dan diayak lolos 1 mm ayakan, ditimbang sebanyak 400 gr dan ditempatkan di tabung merrineli dan ditutup rapat dan dibiarkan kurang lebih 1 bulan.

2. Aplikasi Teknik Nuklir untuk rekonstruksi perubahan iklim menggunakan terumbu karang *Porites spp* daerah Indonesian Through Flow (ITF) pesisir Morotai, Maluku Utara hingga zaman holocene



Gambar 2. Lokasi pengambilan sampel terumbu karang di Morotai, Maluku Utara

Tabel 1. Data sampel karang *Porites spp* dari Morotai, Maluku Utara.

No	Kode sampel	Kordinat	Panjang sampel	Kedalaman airlaut hingga permukaan karang
1.	Sample point 1	2° 03'55.0"N 125°14'48.8"E	67 cm	1 m
2.	Sample point 2	2° 02'39.1"N 128°16'26.6"E	45 cm	3 m

Sampling terumbu karang dilakukan di 2 lokasi penelitian di Morotai, Maluku Utara (Gambar 2) dengan kordinat seperti tercantum dalam Tabel 1. Pengambilan sampel melalui proses pemboran dilakukan di dalam air. Alat bor yang digunakan adalah pneumatic dengan diameter pipa 3 cm, panjang 50 cm dan dapat diperpanjang hingga 3 m. Pengeboran dilakukan secara vertikal dari permukaan hingga dasar karang. Panjang sampel yang diperoleh adalah 67 cm dari Pulau Morotai point 1 dan 45 cm dari Pulau Morotai point 2. Sampel karang dibelah membentuk lempeng searah panjang dengan ketebalan 5 mm. Selanjutnya dibersihkan dengan *ultrasonic bath* dan dikeringkan. Lempeng disinari menggunakan digital radiografi sinar-X 30 keV selama 1 detik di laboratorium klinik layanan kesehatan.

Pembelahan sample mengikuti arah pertumbuhan karang dan dijadikan bentuk *ledge* dengan tebal 2 mm dan lebar 2,5 mm. Kemudian dibersihkan dengan air suling di dalam *ultrasonic bath* untuk menghilangkan sisa potongan karang yang menempel di permukaan *ledge* dan dikeringkan di dalam oven selama 24 jam pada suhu 40°C. Selanjutnya sampel yang telah kering dijadikan serbuk dengan alat CNC (*Computer Numerical Control*) *Milling machine* MM-250S3 yang dioperasikan dengan menggunakan computer. Interval milling adalah 1 mm untuk mendapatkan resolusi

bulanan. Sampel serbuk dari setiap interval dimasukkan ke dalam vial plastik untuk analisis unsur Sr dan Ca.

Serbuk sampel halus hasil milling ditimbang masing-masing dengan berat antara 300 – 350 mikro gram ( $\mu\text{g}$ ) dan dilarutkan menjadi 3 mL dengan 4 mol/L  $\text{HNO}_3$  dan air suling Milli-Q. Konsentrasi unsur Sr dan Ca diperoleh dengan membandingkan dengan larutan seri standar Sr dan Ca dengan konsentrasi yang bervariasi mengikuti kandungan konsentrasi Sr dan Ca yang ada di standar kontrol Pories Jcp-1.

Data suhu permukaan laut bulanan untuk rentang waktu yang sama dengan karang diperoleh dari data satelit *Integrated Global Ocean Services System- National Oceanic and Atmospheric Administration (IGOSS-NOAA)* Amerika. Data suhu tersebut akan dibandingkan dengan hasil analisis rasio Sr/Ca dan akan diperoleh korelasinya.

### **3. Aplikasi Teknik Radiasi untuk Meningkatkan Kemampuan Inokulan Mikroba Terpilih dalam Pengujian Remediasi Lahan Terdegradasi dan Peningkatan Kualitas Lingkungan.**

#### **Bahan dan Peralatan**

Bahan-bahan yang digunakan adalah media *Potatoes Dextrose Agar - PDA* (Difco), Agarose (*Invitrogen*), Larutan buffer ekstraksi (0.1M Tris-HCl, pH 8; 2.5 M NaCl; 3,5% CTAB), larutan bufer TE (10mM Tris-HCl pH 8, 1 mM EDTA), Larutan bufer TBE (Tris-Borate-EDTA), Proteinase-K (20mg/ml)(*Invitrogen*), larutan RNase A (*Sigma*), Larutan PCI (phenol:chloroform: isoamylalcohol (25:24:1), Larutan chloroform-isoamylalcohol (24:1), isopropanol (Merck), ethanol absolut (Merck), dNTP mix (*Invitrogen*), enzim *Taq DNA polymerase* (*Qiagen*), Oligonucleotide primer (*Invitrogen*). Peralatan yang digunakan antara lain, Alat PCR model *Mastercycler Gradient* (Effendorf-Germany), Pipet mikro (Gilson-USA), UV Transilluminator (Vilber Lourmat-France), Alat pemanas/*waterbath* (OHAEUS), Microcentrifuge (Sorvall, USA), Vortex (Kimax), Neraca Analitik (Acculab BL 210), dan peralatan gelas.

#### **Iradiasi Kapang.**

Isolat kapang yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Phanerochaete chrysosporium*, *Trichoderma reesei*, dan *Trichoderma harzianum* B. koleksi kelompok Lingkungan PAIR-BATAN. Masing-masing isolat fungi yang telah diremajakan, diinokulasikan pada medium PDA dalam cawan petri dan diinkubasi selama 3 hari pada suhu kamar. Biakan berumur 3 hari tersebut kemudian diiradiasi sinar Gamma dalam Iradiator Gamma Cell 220 Upgraded di Pusat Aplikasi Isotop Radiasi – BATAN, Pasar Jumat Jakarta dengan laju dosis 63, 42 kGy/jam. Dosis iradiasi yang digunakan adalah 0 kGy (kontrol, tanpa iradiasi); 250 Gy; 500 Gy; 750 Gy dan 1000 Gy. Dosis sterilisasi sinar gamma digunakan pada bahan pembawa sebesar: 10 kGy; 20 kGy dan 30 kGy.

### ***Seleksi Fungi Hasil Iradiasi.***

Ketiga isolat fungi hasil iradiasi ditumbuhkan dalam 25 ml medium cair *PDB* selama 7 hari dalam kondisi goyang pada suhu 30°C. Spora teriradiasi kemudian ditanam dalam medium padat *PDA* untuk dilakukan perhitungan jumlah koloni yang bertahan hidup setelah 3 hari.

***Pengujian Isolat Terseleksi dengan uji antagonis fungi patogen *Fusarium sp.****  
Isolat *T.reesei* yang diiradiasi pada dosis 0,250,500, 750 dan 1000 Gy hasil seleksi ditumbuhkan dalam medium *PDB* cair yang mengandung fungi patogen *Fusarium sp.* Sel yang bertahan hidup dalam uji antagonis kemudian diseleksi.

### ***Penyiapan Inokulum Isolat Fungi Iradiasi Hasil Seleksi.***

Fungi iradiasi hasil seleksi ditumbuhkan dalam 50 ml medium cair *PDB* selama 7 hari dalam kondisi goyang pada suhu 30°C. Pada akhir inkubasi, miselia sel kemudian dilakukan ekstraksi DNA.

### ***Ekstraksi DNA fungi Iradiasi Hasil Seleksi.***

Isolasi dan ekstraksi DNA dari miselia *T. reesei*, *T. harzianum*, *P. chrysosporium* iradiasi dilakukan menggunakan metode Iti-Gontia [8]. Miselia dari isolat fungi ( $\pm 200$  g) dimasukkan kedalam tabung mikrosentrifuse steril dan ditambahkan 800  $\mu$ l larutan bufer ekstraksi dan 150  $\mu$ l larutan proteinase K (20 mg/ml). Campuran divortex selama 5 menit, dan diinkubasi dalam *waterbath* pada suhu 60°C, selama 30 menit. Campuran disentrifuse 10.000 rpm selama 10 menit pada suhu kamar, supernatan dipindahkan pada tabung sentrifuse baru dan ditambahkan volume sama larutan phenol: khloroform: isoamilalkohol (25:24:1) dan divortex. Campuran disentrifuse 10.000 rpm selama 10 menit pada suhu kamar. Supernatan dipindahkan lagi pada tabung sentrifuse stril baru dan ditambahkan volume sama larutan khloroform: isoamilalkohol (24:1) dan divorteks sperti perlakuan diatas. Supernatan dipindahkan pada tabung sentrifuse steril baru dan ditambahkan volume sama larutan isopropanol dingin dan divorteks. Campuran disentrifuse 13.000 rpm selama 15 menit sampai terbentuk endapan DNA didasar tabung. Pelet DNA dicuci dengan 800  $\mu$ l etanol 70%. Pelet DNA dikeringkan dalam desikator. Dan dilarutkan dala 100  $\mu$ l larutan TE bufer. DNA divisualisasi dengan elektroforesis gel agarosa 0.8% dalam bufer Larutan bufer TBE (Tris-Borate-EDTA) dengan pewarna etidium bromida (0.5  $\mu$ g mL<sup>-1</sup>). Elektroforesis DNA dilakukan pada 100 V selama 45 menit dan DNA diamati dengan UV Transilluminator. Konsentrasi DNA ditentukan dengan cara membandingkan tingkat perpendaran band DNA hasil ekstraksi dengan DNA standar (SIGMA). yang sudah ditentukan konsentrasinya.

### ***Analisis Random Amplified Polymorphism DNA (RAPD) Kapang Iradiasi.***

Hasil ekstraksi DNA diamplifikasi dengan teknik RAPD-PCR menggunakan 3 jenis primer yaitu untuk *T. reesei* (5 buah), *T. harzianum* (5 buah), dan *P. chrysosporium* (4 buah) dengan urutan basa seperti terlihat pada Tabel 2, 3 dan 4.

Tabel 2. Urutan Basa primer untuk Amplifikasi DNA *T. reesei* iradiasi.

Nama Primer	Urutan Basa (5'----- 3')
1. AA-04	AATCGGGCTG
2. OPA-1	AGGGGTCTTG
3. OPA-4	AATCGGGCTG
4. OPH-7	CTGCATCGTG
5. OPH-16	TCTCAGCTGG

Tabel 3. Urutan Basa primer untuk Amplifikasi DNA *T. harzianum* B iradiasi.

Nama Primer	Urutan Basa (5'----- 3')
1. OPA-1	CAGGCCCTTC
2. OPA-4	AATCGGGCTG
3. OPH-16	TCTCAGCTGG
4. A-11	AGGGGTCTTG
5. OPH-7	TCTCAGCTGG

Tabel 4. Urutan Basa primer untuk Amplifikasi DNA *Phanerochaete chrysosporium* iradiasi.

Nama Primer	Urutan Basa (5'----- 3')
1. OPA-1	CAGGCCCTTC
2. OPA-4	AATCGGGCTG
3. A-11	AGGGGTCTTG
4. OPH-7	TCTCAGCTGG

Analisis RAPD dilakukan dengan menggunakan random primer dari Life Technologies- Invitrogen (Tabel 1), Reaksi PCR menggunakan HotStarTaq™ Master Mix kit (Qiagen, Clifton Hill, Vic.). Volume reaksi yang digunakan dalam analisa RAPD ini adalah 25 µl yang terdiri dari cetakan DNA (dengan konsentrasi 10ng), 12.5 µL HotStarTaq™ Master Mix (1× buffer PCR, 1.25 unit HotStarTaq™ polymerase, 200 mM untuk tiap-tiap dNTP), MgCl<sub>2</sub> (2.5 mM), dan primer (5 pmol). Program siklus termal adalah: aktivasi awal pada 95°C selama 15 menit diikuti dengan 30, 40 atau 45 siklus yang terdiri dari 1 menit pada 94°C, 1 menit pada 36°C dan 2 menit pada 72°C. Selanjutnya diikuti dengan 1 siklus pemanjangan final pada 72°C selama 10 menit. Hasil amplifikasi diamati dengan elektroforesis pada 1% gel agarose dalam buffer TBE dan diwarnai dengan etidium bromide.

Alat yang akan digunakan saat penelitian adalah GC-MS Shimadzu GC-14B, inkubator, oven, autoclave, pH meter, timbangan digital, sealer, cawan petri, tabung reaksi, plastic bag, gelas piala, Batang L, magnetstirrer, Erlenmeyer, mikropipet, jarum ose, tissue, aluminium foil, botol kecil, rak tabung, tips, microtube, shaker mekanis, stirrer, dan Laminar Air Flow (LAF). Adapun bahan yang akan digunakan adalah fungi *P.chrysosporium*, *T.harszianum* dan *T.reesei*, koleksi subkelompok Lingkungan Bidang Industri dan Lingkungan, Benzena, Toluena, Etanol, Potatoes



Dextrose Agar (PDA), Potatoes Dextrose Broth (PDB), Aquades, Alkohol,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , dan serbuk gergaji.

### Tata Kerja

#### Preparasi Kultur Kapang *Phanerochaete chrysosporium*, *Trichoderma harzianum* dan *Trichoderma reesei*.

Strain fungi *Phanerochaete chrysosporium*, *Trichoderma harzianum* dan *Trichoderma reesei* diperoleh dari koleksi kultur terseleksi yang dipelihara dalam cawan dengan media PDA pada 4°C di bidang Industri dan Lingkungan, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi. Strain fungi ini dikultivasi dalam media PDB dengan shaker mekanis pada 100 rpm dan suhu ruang sekitar 28-32°C selama 4 hari, kemudian disebarkan pada permukaan media PDA di dalam cawan petri dan diinkubasi pada 32°C selama 4 hari.

Satu ose kultur *Phanerochaete chrysosporium*, *Trichoderma harzianum* dan *Trichoderma reesei* masing-masing dipindahkan kedalam 50 ml media PDB, kemudian diinkubasi dalam shaker mekanis pada 100 rpm dan suhu ruang sekitar 28-32°C selama 4 hari. Kultur cair *P.chrysosporium* ini dipindah tanam pada permukaan media PDA dalam cawan petri dengan Ø 10 cm dengan pengenceran sebanyak 7 kali sedangkan *T.harzianum* dan *T.reesei* pengenceran sebanyak 6 kali. Ketiga jenis kapang tersebut kemudian diinkubasi selama 4-5 hari. Kedua strain dilakukan subkultur masing-masing sebanyak triplo (3 ulangan).

#### Preparasi dan Pembuatan matriks

Serbuk gergaji yang akan digunakan ditimbang sebanyak 1g kemudian dimasukkan kedalam plastik yang sudah disiapkan. Media cair PDB dibuat dengan mencampurkan 4.8g PDB,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  1g,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.2g,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  0.2g, dan  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.04g kedalam erlenmeyer dan dilarutkan dalam 200 ml aquades. Penambahan nutrisi berupa sukrosa dilakukan dengan variasi 1%, 5%, dan 10%. Sebanyak 1ml media cair yang sudah dibuat ditambahkan pada serbuk gergaji. Plastik yang sudah berisi serbuk gergaji dan media cair kemudian di *seal* dan disterilisasi menggunakan autoclave. Selesai disterilisasi, starter *P.chrysosporium*, *T.harzianum* dan *T.reesei* yang masing-masing memiliki 5 kali ulangan ditambahkan sebanyak 1ml kedalam jerami padi dan media cair. Plastik kemudian diséal kembali dengan menambahkan kertas saring pada ujung plastic sebagai filter dan sirkulasi udara. Media ini didiamkan selama 4-7 hari.

#### Analisis Aktivasi Lignin Peroksidase (LiP).

Sampel pada matriks dalam botol yang sudah diinkubasi selama 24 jam lalu ditambahkan 5 mL buffer asetat sebagai pelarut. Sampel campuran tersebut sebanyak 1.5 mL dimasukkan dalam tabung mikro untuk disentrifugasi selama 10 menit dengan suhu 4 °C dan kecepatan 12.000 rpm. Supernatan atau fase atas dalam tabung mikro tersebut digunakan sebagai analisis aktivitas LiP. Tabung reaksi 20 mL ditambahkan veratril alkohol sebanyak 0,4 mL, buffer asetat sebesar 0,8 mL dan akuades sebanyak

1,8 mL. Aktivitas LiP dianalisis berdasarkan reaksi dengan veratril alkohol menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 310 nm. Sebelum dianalisis, pada tabung reaksi ditambahkan 800  $\mu$ L sampel dan 100  $\mu$ L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, lalu tabung reaksi tersebut dihomogenkan sebelum dituang ke dalam cuvet dan diukur dengan spektrofotometer (t = 0). Seluruh sampel dimasukkan kembali ke dalam tabung reaksi dan diinkubasi selama 20 menit dengan suhu 28 – 32°C sebelum kembali diukur dengan spektrofotometer (t = 1). Satu Unit (U) aktivitas enzim LiP didefinisikan sebagai jumlah enzim yang menyebabkan perubahan 1  $\mu$ mol veratril alkohol per menit. Perhitungan aktivitas enzim dilakukan dengan menggunakan rumus berikut (Tien & Kirk, 1984) :

$$\text{Aktivitas enzim (U/ml)} = \frac{\Delta\text{OD}_{310} \times V_{\text{total}} \text{ (ml)} \times 10^9}{\epsilon_{\text{max}} \times d \times V_{\text{enzim}} \text{ (ml)} \times t}$$

Keterangan :

$\Delta\text{OD}$  = selisih absorbansi pada 10 dan 0 menit

$V_{\text{total}}$  = 1 ml

$V_{\text{enzim}}$  = 0,2 ml

$\epsilon_{\text{max}}$  = absorpsivitas molar veratryl-alkohol 9300/M.cm

d = tebal bagian dalam kuvet (cm)

#### Pengukuran Aktivitas Enzim Kitinase (Monreal & Reese, 1968)

Pengukuran aktivitas kitinase yang dilakukan dengan jamur *Trichoderma harzianum* ditumbuhkan pada media PDB dengan perbedaan adanya penambahan koloidal kitin 2% atau tidak, kemudian di shaker atau inkubasi 2 jam untuk menghasilkan ekstrak enzim kasar. Kitinase ditentukan oleh asam dinitrosalisilat (DNS). Metode ini bekerja pada konsentrasi N-asetil-glukosamin (NAG), yang dilepaskan sebagai akibat dari reaksi enzim. Ekstrak enzim kasar yang dihasilkan dari inkubasi 2 jam dipisahkan dengan cara disentrifugasi pada 4.000 rpm selama 5 menit. Diambil sebanyak 5 ml yang mengandung 0,2 ml dari koloidal kitin 1,0%, 3,4 buffer fosfat (pH 6,2) dan 1 ml ekstrak kasar enzim. Larutan tersebut divortex agar homogen, diinkubasi pada suhu 37°C pada waterbath selama 15 menit. Reaksi ditangkap dengan penambahan 0,4 mL reagen DNS diikuti dengan pemanasan pada 100°C selama 5 menit. Absorbansi sampel diukur pada 540 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Hitachi) bersama dengan substrat dan enzim kosong sebagai blanko. Satu unit (U) aktivitas kitinase didefinisikan sebagai jumlah enzim yang diperlukan untuk melepaskan 1  $\mu$ mol dari N-asetil-glukosamin per menit.

$$\text{Aktivitas Kitinase (Unit)} = \frac{[N-AGA] \times 1000 \times 2 \times T}{BMN-AGA}$$

Keterangan:

[N-AGA] = Konsentrasi N-asetil-glukosamin

BM N-AGA = Berat Molekul N-asetil-glukosamin

T = Waktu Inkubasi (menit)

### **Pengujian Aktivitas Enzim Selulase (Fadel *et al.*, 2013 dan Mastuti *et al.*, 2012)**

Sebanyak 3 gram jerami padi fermentasi ditambahkan 30 mL larutan buffer sitrat kemudian disentrifuse dengan kecepatan 12000 rpm. Supernatan merupakan ekstrak enzim selulase. Pada penentuan aktivitas enzim selulase, sebanyak 500  $\mu$ L substrat berupa *carboxymethylcellulose* (CMC) 1% ditambah dengan 500  $\mu$ L ekstrak enzim kasar lalu divortex dan diinkubasi selama 30 menit pada suhu 50°C. Setelah itu, campuran substrat dan enzim diambil sebanyak 500  $\mu$ L dan ditambah dengan 500  $\mu$ L DNS, dipanaskan sampai mendidih dan berubah warna kemudian didinginkan. Larutan kemudian ditambahkan 5 mL akuades. Aktifitas enzim diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm.

$$\text{Aktivitas enzim selulase } \left( \frac{\text{U}}{\text{g DM}} \right) = \frac{v \text{ buffer sitrat} \times f_p \times \text{Abs} \times a \times 0,37}{\text{berat kering sampel (gram)}} \dots (5)$$

Keterangan:

Fp : faktor pengenceran

Abs : absorbansi sampel

a : slope pada kurva standar glukosa

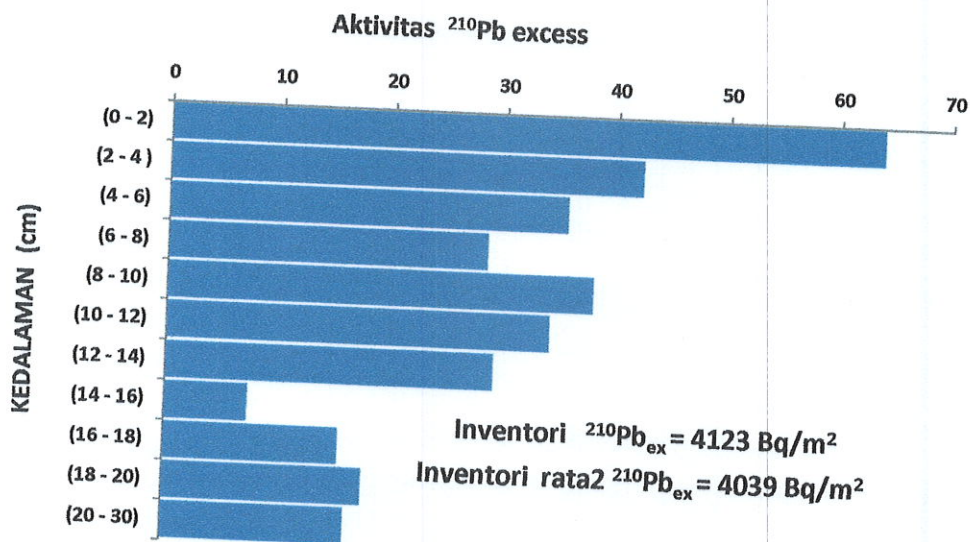
0,37 : standar internasional (1 unit enzim mampu menghasilkan 0,37 g glukosa)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

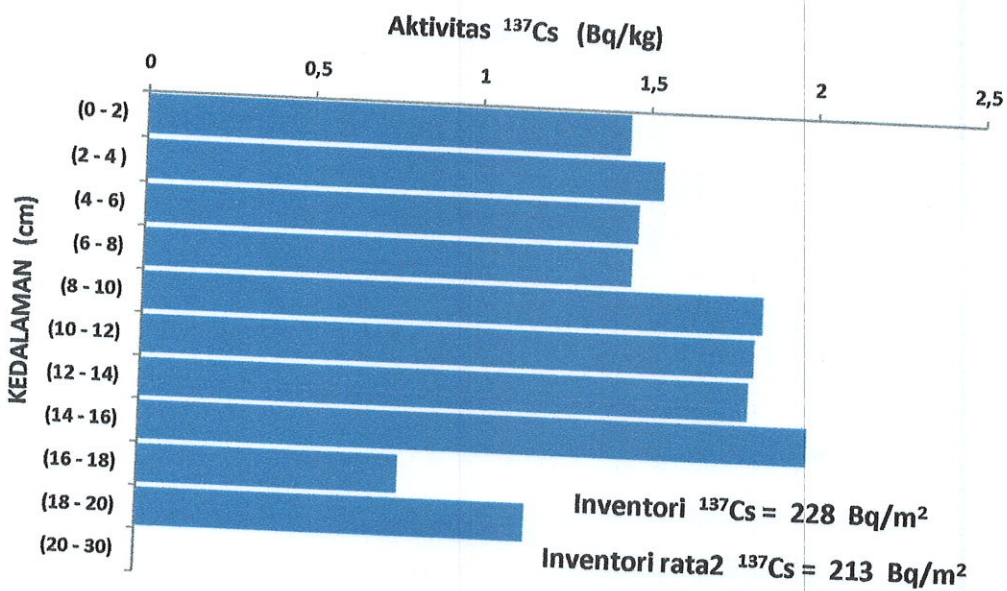
### 1. Pengembangan Aplikasi Perunut dan Isotop Alam untuk Membangun Sedimen Budget Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciujung: sub-DAS Ciujung.

#### a. Inventori di Lokasi Pembanding

Telah diperoleh inventori pembanding di DAS Ciujung yang berada pada lokasi dusun Kanekes dengan posisi  $06^{\circ} 35' 02,6''$  S dan  $106^{\circ} 13' 19,0''$  BT, dengan nilai inventori pembanding untuk Pb-210 excess adalah  $4039 \text{ Bq/m}^2$  yang merupakan nilai rata-rata dari 1 sampel profil dan 6 sampel coring. Demikian juga nilai inventori untuk Cs-137 adalah  $213 \text{ Bq/m}^2$  yang merupakan nilai rata-rata dari 1 sampel profil dan 6 sampel coring.



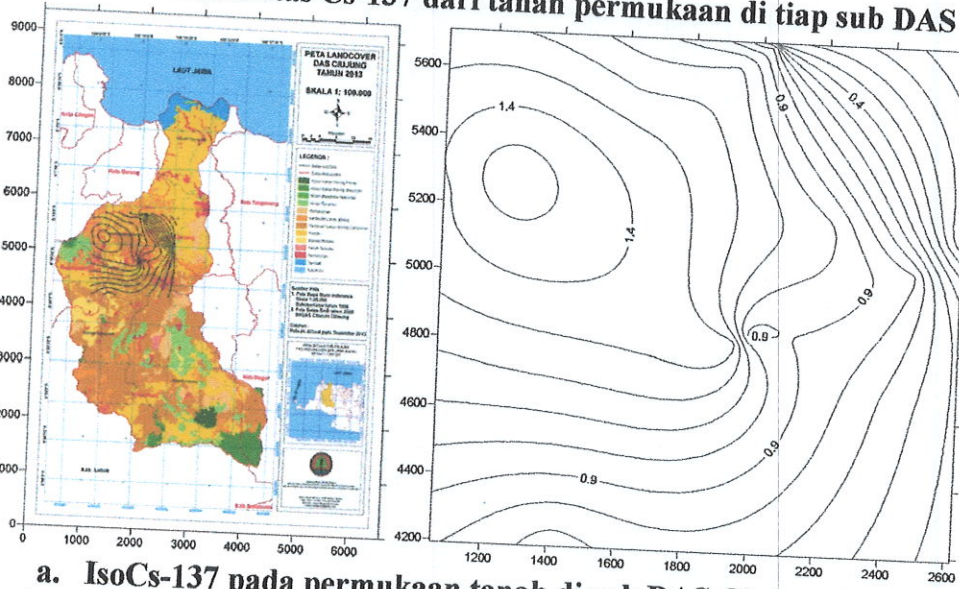
A) Profil Pb-210 excess



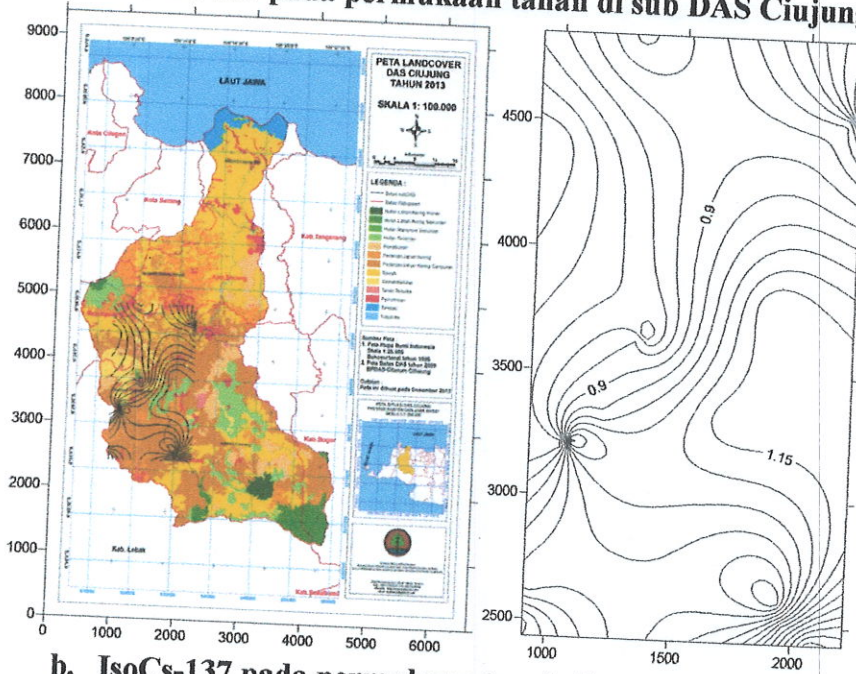
B) Profil Cs-137

Gambar 3. Profil aktivitas Pb-210 excess (A) dan Cs-137 (B) terhadap kedalaman

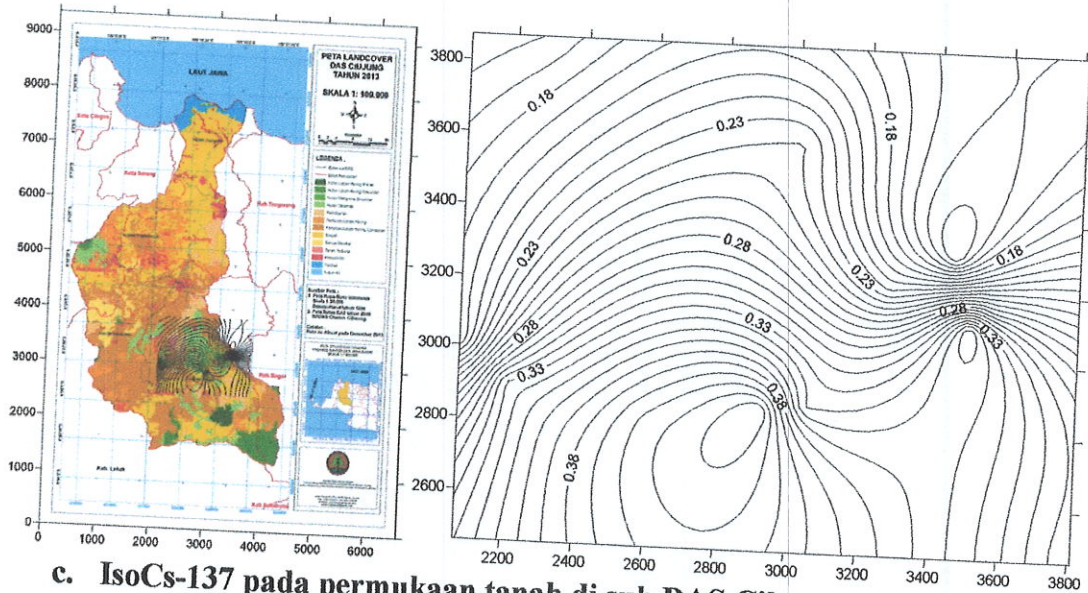
**b. Peta isoaktivitas Cs-137 dari tanah permukaan di tiap sub DAS**



**a. IsoCs-137 pada permukaan tanah di sub DAS Ciujung Tengah**



**b. IsoCs-137 pada permukaan tanah di sub DAS Ciujung Hulu**



c. IsoCs-137 pada permukaan tanah di sub DAS Ciberang

c. Kontribusi sedimen tiap subDAS terhadap sedimen di bendung Pamarayan  
 Mengaplikasikan konsep gambaran model mixing dapat ditulis dalam bentuk matrik berikut ini:

$$\begin{pmatrix} \bar{y}_{1,1} & \bar{y}_{1,2} & \dots & \bar{y}_{1,n} \\ \bar{y}_{2,1} & \bar{y}_{2,2} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{y}_{m,1} & \dots & \dots & \bar{y}_{m,n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_1 \\ \cdot \\ A_3 \\ \cdot \\ A_5 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ A_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{Y}_1 \\ \cdot \\ \bar{Y}_3 \\ \cdot \\ \bar{Y}_5 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \bar{Y}_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \epsilon_1 \\ \cdot \\ \epsilon_3 \\ \cdot \\ \epsilon_5 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \epsilon_m \end{pmatrix}$$

Dengan syarat batas dan parameter-parameter sebagai berikut:  
 Jumlah  $A_j (A_1, A_2, \dots, A_n) = 1$  (satu), dengan  $A_j$  adalah koefisien/prosentase kontribusi sumber sedimen  $j$ , dan nilai masing-masing  $A_j$  haruslah memenuhi  $0 \leq A_j \leq 1$ ;  $\bar{y}_{i,j}$  adalah konsentrasi rata-rata komponen radionuklida  $i$  dalam sumber sedimen  $j$ ;  $\bar{Y}_i$  adalah konsentrasi komponen radionuklida  $i$  dalam sedimen suspensi dan  $\epsilon_i$  adalah kesalahan *least square* terkait dengan komponen radionuklida  $Y_i$ . Persamaan matrik di atas dapat ditulis kembali dengan penyederhanaan bentuk sebagai berikut:

$$\epsilon_i \text{ total} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\bar{y}_{i,j} - \sum_{j=1}^m (\bar{y}_j A_j)}{\bar{y}_{i,j}} \right)^2$$

Dengan tidak membedakan jenis tataguna lahan, dan sampel tanah permukaan hanya dipertimbangkan berasal dari wilayah sub DAS terkait dengan asumsi karena erosi lembaran, dan menggunakan software iso-Source diperoleh kontribusi sedimen sebagai berikut. Sedimen di bendung Pamarayan diestimasikan berasal dari subDAS Ciujung Hulu berkisar  $(21,9 \pm 2,5) \%$ , dengan rentang nilai antara 17 % sampai 27 %; dari sub-DAS Ciberang berkisar  $(62,5 \pm 4,6) \%$ , dengan rentang nilai antara 55 % sampai 70 % ;dan dari sub DAS Ciujung Tengah berkisar  $(15,8 \pm 2,5) \%$ , dengan rentang nilai antara 11 % samapi 22 %.

d. Laju sedimentasi di dataran banjir



Gambar 4. Pengambilan sampel sedimen di dataran banjir

Tabel 5. Hasil pengukuran Pb-210 excess sedimen daratan banjir

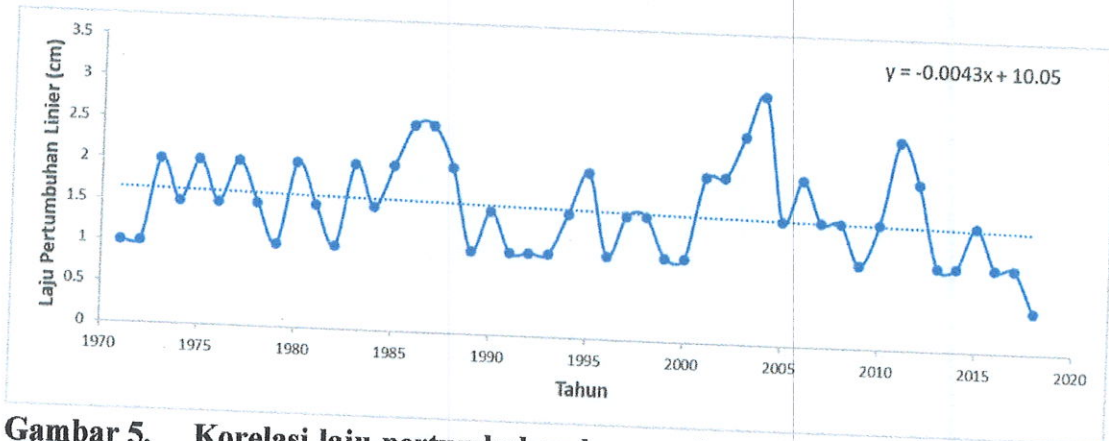
kedalaman (cm)	Pb-210 total (Bq/kg)	Pb-210 supported (Bq/kg)	DW (kg)	TOM (%)	TOC (%)	Kedalaman (cm)	Pb-210 total (Bq/kg)	Pb-210 supported (Bq/kg)	DW (kg)	TOM (%)	TOC (%)
(0 - 10)	76,83	22,02	0,34	17,12	8,05	(0 - 10)	24,07	14,59	0,287	19,42	9,13
(10 - 20)	71,49	17,40	0,38	12,72	5,98	(10 - 20)	80,55	25,19	0,302	16,71	7,85
(20 - 30)	24,75	15,19	0,42	9,93	4,67	(20 - 30)	53,57	17,20	0,372	15,76	7,41
(30 - 40)	49,06	26,08	0,27	12,83	6,03	(30 - 40)	60,31	14,67	0,441	15,72	7,39
(40 - 50)	22,47	18,54	0,194	14,21	6,68	(40 - 50)	36,08	16,74	0,398	15,15	7,12
(50 - 60)	23,57	14,21	0,224	16,68	7,84	(50 - 60)	19,64	19,15	0,353	15,23	7,16
(60 - 70)	54,03	17,94	0,323	13,19	6,20	(60 - 70)	46,33	13,79	0,449	16,08	7,56
(70 - 80)	31,28	27,11	0,215	15,17	7,13	(70 - 80)	43,97	25,76	0,344	15,53	7,30
(80 - 90)	69,65	23,63	0,256	16,01	7,52	(80 - 90)	58,91	14,54	0,550	14,55	6,84
(90 - 100)	67,73	33,27	0,191	13,84	6,50	(90 - 100)	54,73	17,83	0,556	17,33	8,15
(100 - 110)	47,37	10,26	0,421	11,66	5,48	(100 - 110)	32,85	15,26	0,734	16	7,52
(110 - 120)	30,74	16,43	0,541	6,45	3,03	(110 - 120)	55,66	20,79	0,575	16,11	7,57

Dengan menggunakan model CRS didapatkan rentang nilai laju sedimentasi dari kisaran 1 cm/th sampai 3,2 cm/tahun.

2. Aplikasi Teknologi Nuklir untuk rekonstruksi perubahan iklim hingga zaman Holocene menggunakan terumbu karang daerah Arus Lintas Indonesia pesisir Morotai Maluku Utara.

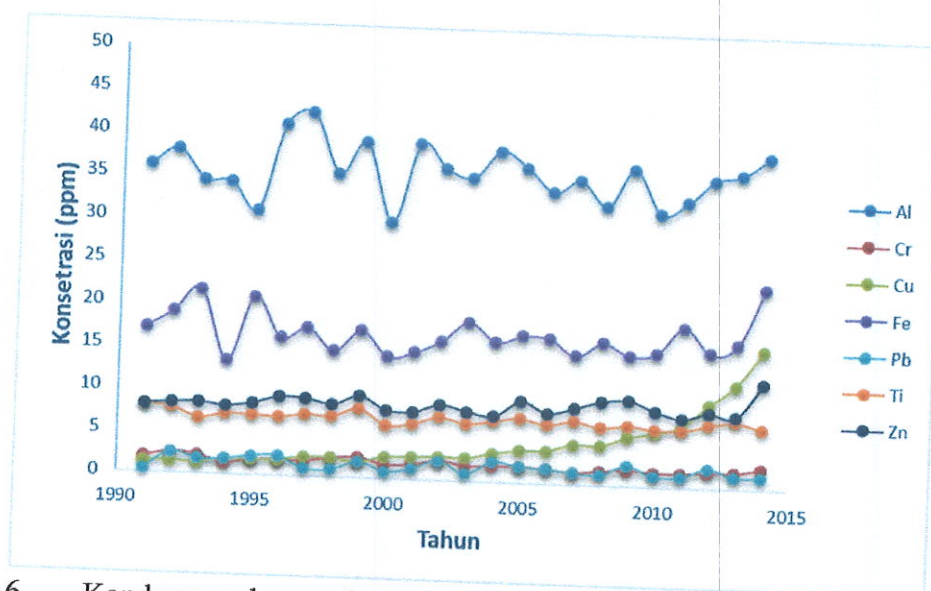
Analisis radiografi sinar-X untuk karang Morotai menunjukkan laju pertumbuhan linear karang dengan laju rata rata adalah 1,55 cm/tahun, laju minimum

adalah 0,5 cm/tahun, dan laju maksimum 3 cm/tahun. Hasil pengukuran laju pertumbuhan linier sepanjang coring dapat dilihat pada Gambar 5. Terlihat adanya trend penurunan laju pertumbuhan dari tahun 1970 hingga 2018, akan tetapi tidak signifikan yaitu kemiringan yang sangat kecil dari hasil regresi linier antara laju pertumbuhan linier dan umur karang. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan laju pertumbuhan karang akibat peningkatan suhu.



**Gambar 5.** Korelasi laju pertumbuhan karang dan umur karang *Porites* dari daerah Morotai.

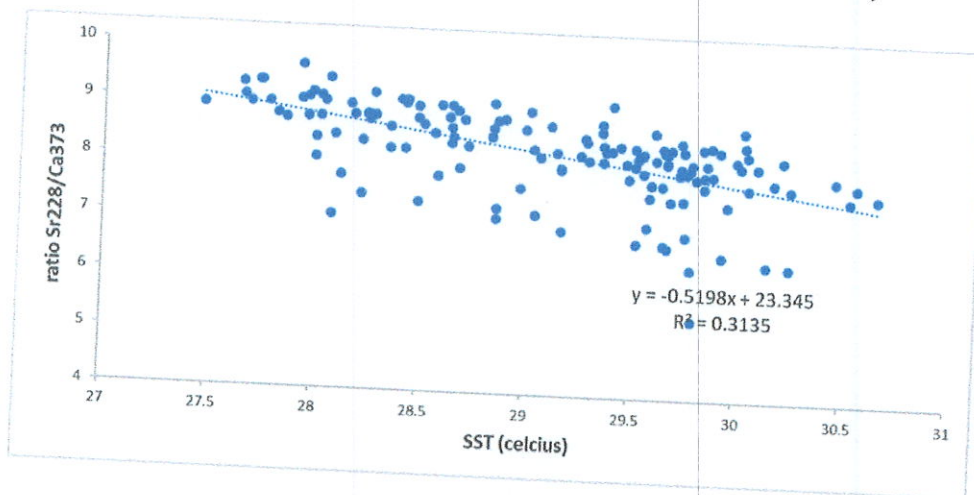
Kandungan logam berat Cu, Cr, Fe, Pb, As, Al dan Zn yang dianalisis pada setiap lingkaran tahun (*annual banding*) dapat dilihat pada Gambar 6. Terjadi peningkatan kandungan logam berat rata-rata mulai dari 10 tahun dari tahun 2014 ke belakang kecuali logam Al. Seperti diketahui bahwa logam Al bukan unsur antropogenik, sedangkan logam lainnya merupakan logam antropogenik. Peningkatan kandungan logam tersebut kemungkinan akibat dari aktivitas di daerah daratan yang berdampak ke daerah pesisir.



**Gambar 6.** Kandungan logam berat pada setiap lingkaran tahun karang *Porites* Morotai.



Analisis Sr dan Ca dengan instrumen ICP-OES pada setiap 1 mm sampel karang Morotai didukung data SST (Sea Surface Temperature) yang diperoleh dari data satelit IGOS (Integrated Global Ocean Services System) pada alamat website [https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/IGOS/nmc/Reyn\\_SmithOIV2/.monthly/.sst/index.html?Set-Language=en](https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/IGOS/nmc/Reyn_SmithOIV2/.monthly/.sst/index.html?Set-Language=en). Hasil analisis data Sr dan Ca dikorelasikan dengan SST untuk mendapatkan hubungan antara kedua parameter (Sr/Ca dan SST) sehingga diperoleh hasil persamaan sebagai berikut:  $Sr/Ca (^{\circ}C) = -0,52 (SST) + 23,35$ . Sedangkan grafik nya dicantumkan pada Gambar 7. Berdasarkan gambar tersebut diperoleh adanya dua nilai suhu maksimum dan dua nilai suhu minimum yang berulang pada setiap tahunnya. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kondisi di daerah tropis yang mempunyai hujan dan kemarau dan dua musim peralihan (pancaroba).



Gambar 7. Korelasi rasio Sr/Ca terhadap SST (Sea Surface Temperature) hasil analisis sampel terumbu karang Morotai.

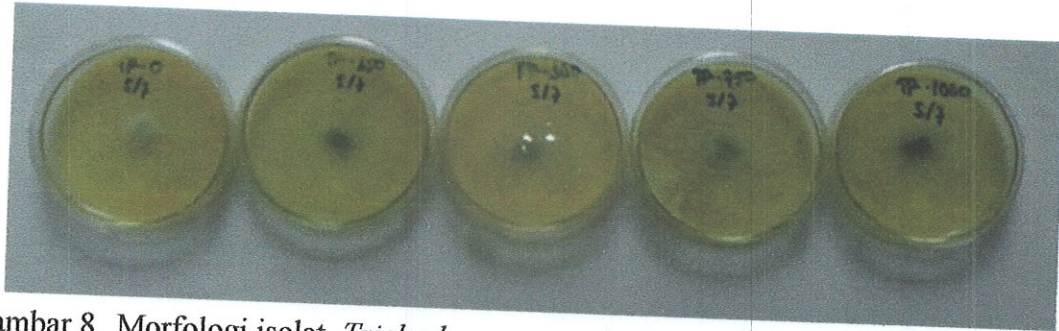
Pada penelitian ini juga telah dilakukan kajian perubahan iklim hingga zaman Holocene (10.000 tahun yang lalu) melalui analisis fosil karang Porites dari daerah Sulawesi Utara. Berdasarkan dating C-14 diperoleh umur fosil karang tersebut adalah  $12248 \pm 900$  years BP.

### 3. Aplikasi Teknik Radiasi untuk Meningkatkan Kemampuan Inokulan Mikroba Terpilih dalam Pengujian Remediasi Lahan Terdegradasi dan Peningkatan Kualitas Lingkungan.

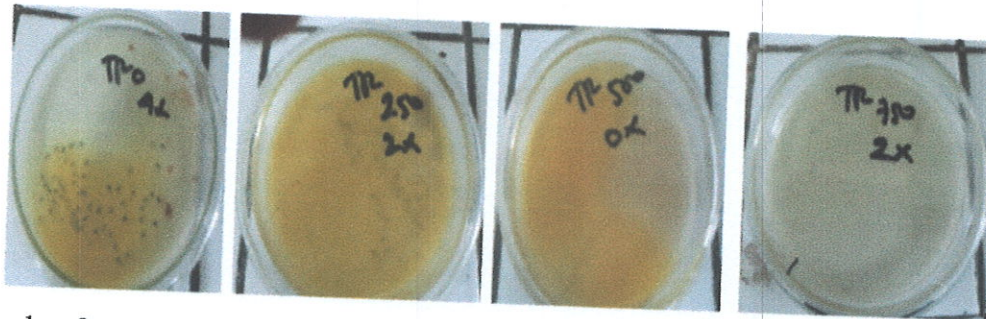
#### a) Perbaikan Genetik Kapang *Trichoderma reesei* dengan Iradiasi Gamma untuk meningkatkan aktivitas enzim kitinase dan selulase.

Isolat kapang *Trichoderma reesei* (Tr) yang diiradiasi pada dosis 0-1000 Gy terlihat mampu tumbuh pada medium PDA setelah inkubasi pada  $30^{\circ}C$  (Gambar 8). Terdapat perbedaan morfologi dari isolat *T. reesei* antara Kontrol (0 Gy) terutama pada dosis iradiasi 750 Gy. Hasil pengamatan karakterisasi *Trichoderma reesei*, secara makroskopis meliputi warna koloni dan bentuk koloni yang dapat dilihat pada Gambar1, menunjukkan bahwa dari 5 isolat *T. reesei* hasil iradiasi berdasarkan

morfologinya terjadi perkembangan warna koloni yang berbeda dari hari ke-1 sampai hari ke-7. Perkembangan warna koloni diawali dengan warna putih, kemudian kuning setelah setelah umur 7 hari. Isolat *T. reesei* pada dosis iradiasi 0-500 Gy memiliki morfologi yang sama kecuali pada dosis 750 Gy warna koloni menjadi agak pucat (Gambar 9).



Gambar 8. Morfologi isolat *Trichoderma reesei* iradiasi dalam media Padat PDA yang diiradiasi sinar gamma pada dosis 0, 250; 500; 750; dan 1000 Gy.

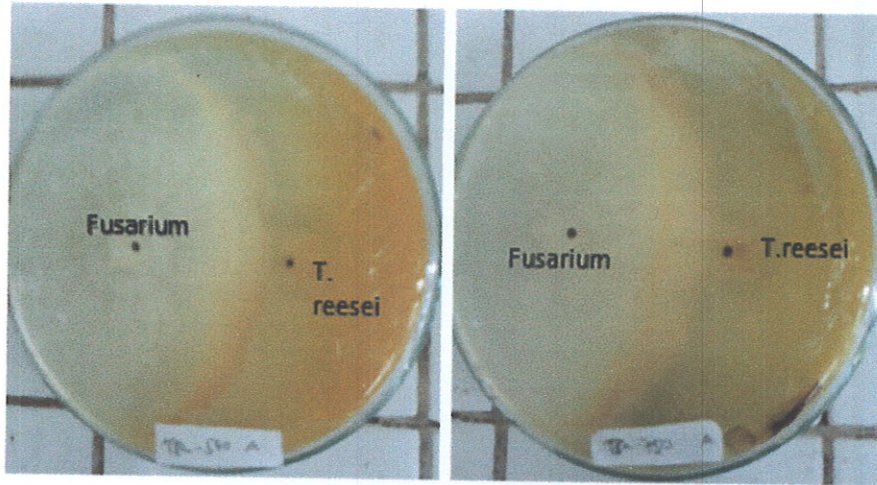


Gambar 9. Isolat isolat *Trichoderma reesei* yang diiradiasi diiradiasi sinar gamma pada dosis 0, 250; 500; dan 750 Gy

Pengaruh dosis iradiasi pada pertumbuhan sel *T. reesei* menunjukkan adanya penurunan jumlah koloni mulai dari dosis iradiasi 250; 500; 750; dan 1000 Gy masing-masing sebesar 12,13; 43,90; 46,00; dan 72,46%. Penurunan pertumbuhan sel isolat *T. reesei* mulai dosis iradiasi 250 Gy sampai dengan dosis 1000 Gy. Nilai  $D_{50}$  pada dosis radiasi 500 Gy (Tabel 6).

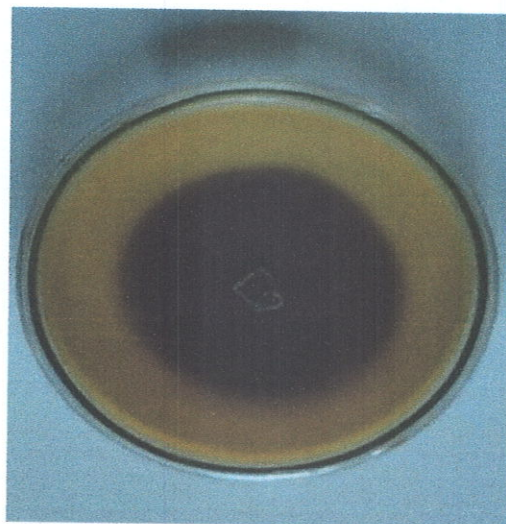
Tabel 6. Data Pengaruh dosis Iradiasi Sinar Gamma terhadap pertumbuhan isolat *Trichoderma reesei*.

Dosis Radiasi (Gy)	Jumlah Koloni (cfu/ml)	Log cfu
0	$7,4 \times 10^8$	8,57
250	$3,4 \times 10^7$	7,53
500	$6,4 \times 10^4$	4,80
750	$4,2 \times 10^4$	4,62
1000	$2,3 \times 10^2$	2,36

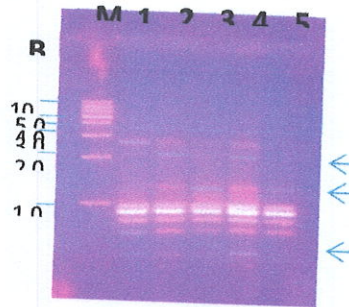


Gambar 10. Hasil uji antagonis terhadap fungi patogen *Fusarium sp* dari isolat kapang *Trichoderma reesei* iradiasi hasil seleksi pada dosis 500; dan 750 Gy.

Pada Gambar 11 menunjukkan bahwa pertumbuhan kapang *Trichoderma reesei* yang diiradiasi dengan sinar gamma dosis 750 Gy lebih dominan daripada fungi patogen *Fusarium sp* dibandingkan dengan kapang *Trichoderma reesei* yang diiradiasi dengan sinar gamma dosis 500 Gy. Hal ini ditunjukkan dengan  $R_1$ (jari-jari) pertumbuhan *Fusarium sp* pada dosis 750 Gy lebih kecil daripada  $R_1$  pertumbuhan *Fusarium sp* pada dosis 500 Gy. Hal ini ditunjukkan pada hasil uji kualitatif pada Gambar 10.



Gambar 11. Hasil uji kualitatif enzim kitinase pada medium BCP dari isolat kapang *Trichoderma reesei* yang diiradiasi sinar gamma pada dosis 750 Gy.



Gambar 12. Profil DNA RAPD *Trichoderma reesei* iradiasi produk amplifikasi dengan PCR menggunakan primer OPH-16. Lajur 1 (0 Gy); Lajur 2 (250 Gy); Lajur 3 (500 Gy); Lajur 4 (750 Gy); Lajur 5 (1000 Gy); M (Marker, 1Kb Plus ladder (Qiagen)).

Hasil analisis keragaman genetik dari isolat *Trichoderma reesei* radiasi berdasarkan amplifikasi RAPD-PCR, dengan primer OPH-16 menunjukkan pita polimorfik terdapat pada isolat hasil iradiasi 250 Gy; 500 Gy; 750 dan 1000 Gy masing-masing berjumlah 2, 1, 3, dan 1 buah. Primer OPH-16 mempunyai pita monomorfik pada ukuran 2600; 1300; 4 dan 600 bp (Tabel. 7).

Pita polimorfik muncul pada dosis 250 Gy; 500 Gy; 750 Gy dan 1000 Gy masing-masing berjumlah 2, 1, 3, dan 1 buah. Sedangkan pita yang tidak muncul (delesi) terdapat pada isolat hasil iradiasi 500 dan 1000 Gy dengan ukuran 2800 dan 2600 bp.

Dari hasil pengamatan diatas, maka mutasi radiasi dari isolat kapang terjadi *Trichoderma reesei* pada dosis iradiasi 500 – 1000 Gy. Suatu genotip dikategorikan sebagai mutan apabila profil DNA-nya berbeda dari profil DNA kontrol dan profil tersebut konsisten berbeda pada semua primer yang digunakan [10].

Tabel. 7. Pita monomorfik dan polimorfik dari *Trichoderma reesei* iradiasi dengan primer OPH-16.

Ukuran pasangan basa (bp)	Dosis Radiasi (Gy)				
	0 (kontrol)	250	500	750	1000
2800	---	---	*	---	*
2600	---	---*	*	---*	*
1300	---	---*	---*	---*	---*
1000	---	---	---	---	---
800	---	---	---	---	---
700	---	---	---	---	---
600	---	---	---	---	---
400	---	---	---	---*	---

Keterangan:

--- : pita yang muncul pada gel agarose

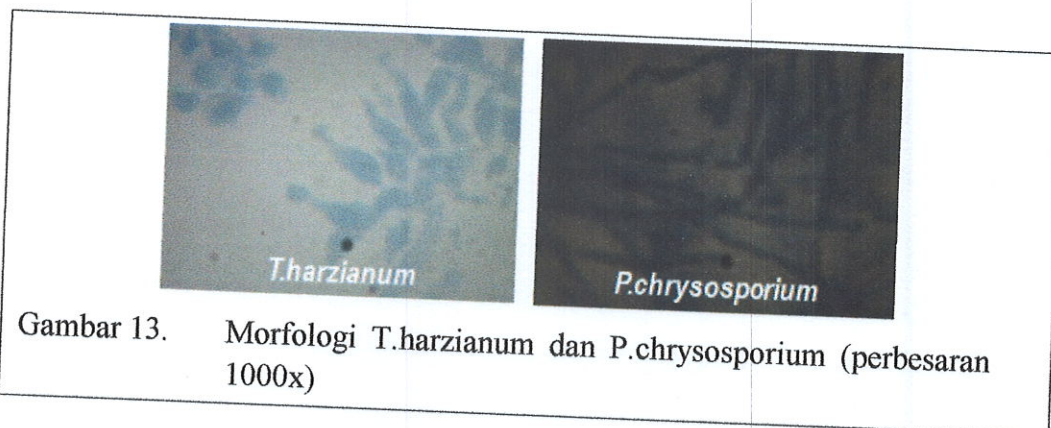
---\*: pita polimorfik.

\* : pita yang tidak muncul (delesi).

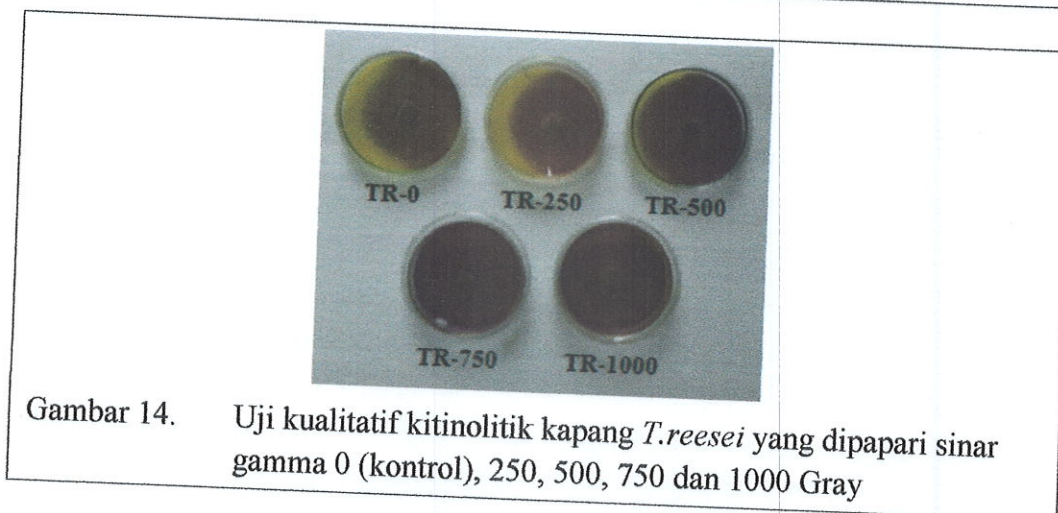
Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan urutan nukleotida pada jenis primer yang digunakan, sehingga menyebabkan perlekatan primer di sepanjang DNA genom sampel juga berbeda. Pita yang dihasilkan setelah amplifikasi DNA dengan PCR sangat bergantung pada bagaimana primer mengenal daerah komplementnya pada cetakan (*template*) DNA yang digunakan. Semakin banyak situs penempelan dari primer yang digunakan, maka semakin banyak jumlah pita DNA yang dihasilkan [11].

**b) Formulasi Inokulan Mikroorganisme Agen Bioproses Substrat Kitin dan Bahan Lignoselulosa.**

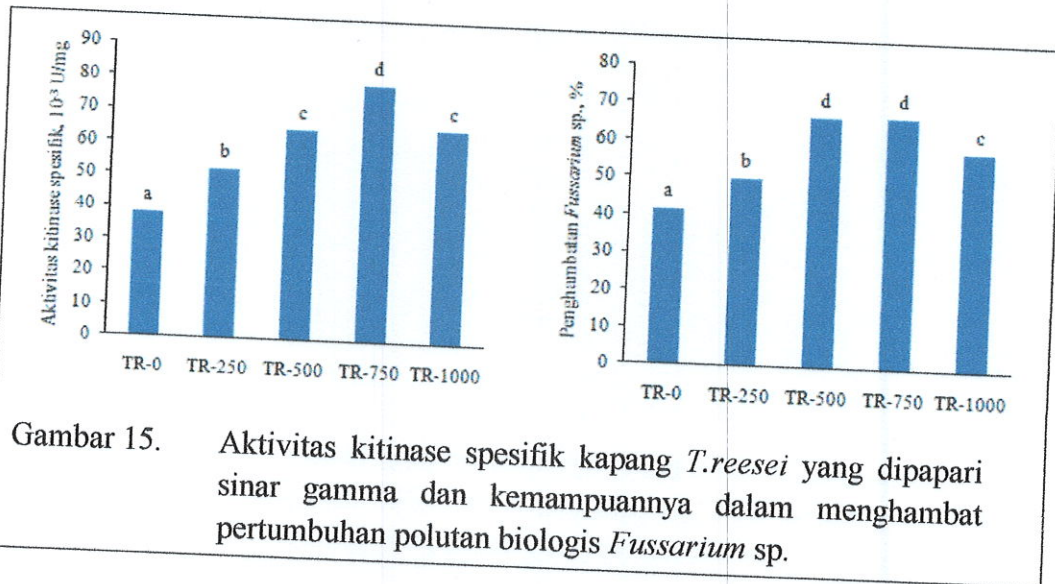
Berdasarkan hasil uji viabilitas dan aktivitas kapang *T.harzianum* dan *P.chrysosporium*, dari 8 jenis formulasi diperoleh 2 jenis formulasi terbaik yang sesuai untuk memelihara kelangsungan hidup dan aktivitas kapang (aktivitas selulase dan LiP), yakni formulasi E sesuai untuk *T.harzianum*: viabilitas =  $1,39 \times 10^6$  cfu/g dan aktivitas selulase = 5,45 U/g dan formulasi D sesuai untuk *P.chrysosporium* : viabilitas =  $1,49 \times 10^7$  cfu/g dan aktivitas LiP = 13149 U/g.



Gambar 13. Morfologi *T.harzianum* dan *P.chrysosporium* (perbesaran 1000x)



Gambar 14. Uji kualitatif kitinolitik kapang *T.reesei* yang dipapari sinar gamma 0 (kontrol), 250, 500, 750 dan 1000 Gray



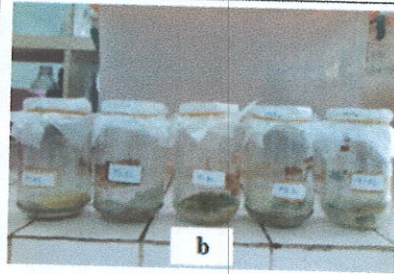
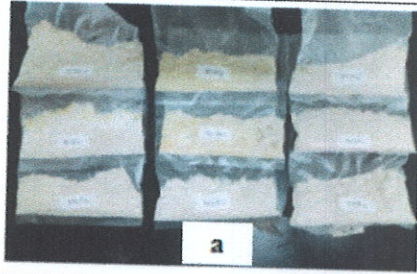
Gambar 15. Aktivitas kitinase spesifik kapang *T.reesei* yang dipapari sinar gamma dan kemampuannya dalam menghambat pertumbuhan polutan biologis *Fussarium* sp.

Pada Gambar 14 ditunjukkan hasil uji kualitatif kitinolitik kapang *T.reesei* yang dipapari sinar gamma 0 (kontrol), 250, 500, 750 dan 1000 Gy. Hasilnya menunjukkan bahwa kapang *T.reesei* yang dipapari sinar gamma dengan dosis 750 Gy menghasilkan aktivitas enzim kitinase yang optimal (Gambar 15).

Kedua jenis formulasi bahan pembawa terpilih disterilkan dengan *autoclave* pada 121 °C selama 15-30 menit (U1, U2) dan iradiasi gamma pada 10, 20, 30 kGray (G10, G20, G30) (Gambar 16). Metode sterilisasi yang dipilih ditentukan berdasarkan beberapa karakteristik fisik bahan pembawa (pH, bahan organik, nisbah C/N) dan sterilitas bahan pembawa (total bakteri aerob, kapang). Sterilisasi bahan pembawa dengan sinar gamma pada dosis 25-30 kGy memiliki jaminan sterilitas yang baik. Formula bahan pembawa terpilih (SC-18E) dengan sterilisasi gamma pada 20-25 kGy telah digunakan untuk pengembangan teknik produksi agen bioproses substrat kitin dan lignoselulosa. Formula bahan pembawa berbasis talek (SC-18E) yang diiradiasi gamma dapat disimpan selama 3 bulan dengan jaminan sterilitas baik serta mampu memelihara pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme target.



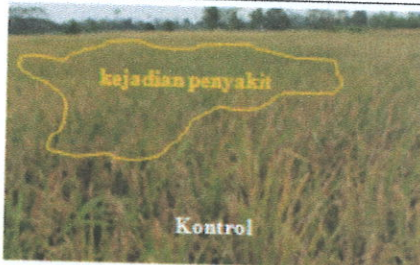
Gambar 16. Aktivitas kitinase beberapa konsorsium mikroorganisme sebagai bahan bio-aktif pada pembuatan agen hidrolisis substrat kitin.



Gambar 17. Inokulan mikroorganisme dengan bahan pembawa padat steril gamma untuk agen bioproses substrat kitin (a) dan bahan lignoselulosa (b).



Gambar 18. Analisis komponen lignoselulosa substrat biomassa tanaman.



Gambar 19. Perlakuan remediasi lahan dengan imr dan trichomix bekerjasama dengan koperasi satriajjaya blitar (jawa t imur)



Gambar 20. Pengambilan sampel rizosfer dan penjelasan tentang pengaruh bioremediasi terhadap perbaikan daerah perakaran tanaman padi



Gambar 21. Pengenalan dan teknik sederhana perbanyakan *Trichoderma harzianum* sebagai dasar evaluasi dan pengembangan produk agen remediasi lahan



## KESIMPULAN

1. Di wilayah sub-DAS Ciberang, aktivitas Pb-210 excess pada tanah permukaan bervariasi dari 1,95 Bq/kg sampai 44,93 Bq/kg dengan rata-rata 20,50 Bq/kg untuk keseluruhan tataguna lahan, dan aktivitas Cs-137 bervariasi dari 0,13 Bq/kg sampai 0,67 Bq/kg di semua jenis tataguna lahan dengan rata-rata 0,28 Bq/kg. Di wilayah sub-DAS Ciujung Hulu, aktivitas Pb-210 excess pada tanah permukaan bervariasi dari 3,87 Bq/kg sampai 35,27 Bq/kg untuk keseluruhan tataguna lahan, dan aktivitas Cs-137 bervariasi dari 0,44 Bq/kg sampai 1,59 Bq/kg di semua jenis tataguna lahan. Sedangkan, untuk wilayah sub-DAS Ciujung Tengah, aktivitas Pb-210 excess pada tanah permukaan bervariasi dari 0,83 Bq/kg sampai 26,64 Bq/kg untuk keseluruhan tataguna lahan, dan aktivitas Cs-137 bervariasi dari 0,89 Bq/kg sampai 1,58 Bq/kg di semua jenis tataguna lahan.
2. Tidak ada korelasi antara Pb-210 excess dengan Cs-137 yang ditunjukkan dengan koefisien determinasi yang cukup kecil yaitu  $r^2=0,14$  ;  $r^2=0,08$  dan  $r^2=0,33$  masing-masing untuk sub-DAS Ciujung Tengah; sub-DAS Ciujung Hulu dan sub-DAS Ciberang.
3. Telah diperoleh inventori pembanding di DAS Ciujung yang berada pada lokasi dusun Kanekes dengan posisi  $06^{\circ} 35' 02,6''$  S dan  $106^{\circ} 13' 19,0''$  BT, dengan nilai inventori pembanding untuk Pb-210 excess adalah  $4039 \text{ Bq/m}^2$  dan untuk Cs-137 adalah  $213 \text{ Bq/m}^2$ .
4. Berdasarkan pengukuran aktivitas Pb-210 excess dan Cs-137 pada tanah permukaan didapatkan bahwa sedimen di bendung Pamarayan diestimasikan kontribusi dari subDAS Ciujung Hulu berkisar  $(21,9 \pm 2,5) \%$ , dari sub-DAS Ciberang berkisar  $(62,5 \pm 4,6) \%$  dan dari sub DAS Ciujung Tengah berkisar  $(15,8 \pm 2,5) \%$ .
5. Laju sedimentasi di dataran banjir bervariasi dari kisaran 1 cm/tahun sampai 3,2 cm/tahun.
6. Laju pertumbuhan linier karang di daerah pesisir Morotai mengalami sedikit penurunan dari beberapa tahun sebelumnya Porites tidak menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan, akan terlihat adanya fluktuasi dari laju pertumbuhan yang kemungkinan berkaitan dengan adanya kejadian ENSO.
7. Rasio Sr/Ca karang Porites yang menunjukkan pola fluktuasi rasio yang hampir sama dengan fluktuasi suhu permukaan laut data satelit. Korelasi antara suhu permukaan laut dan rasio Sr/Ca adalah:  $\text{Sr/Ca } (^{\circ}\text{C}) = -0,52 (\text{SST}) + 23,35$ .
8. Perbaikan Genetik Kapang *Trichoderma reesei* dengan Iradiasi Gamma untuk meningkatkan aktivitas enzim kitinase dan selulase. Aktivitas optimum enzim selulase optimum diperoleh dari *T. reesei* hasil iradiasi pada dosis 750 Gy. Terjadi penghambatan pertumbuhan fungi patogen *Fusarium sp* oleh *T. reesei* yang diiradiasi sebesar lebih dari 50%. Hasil Uji RAPD- PCR menggunakan primer OPH-16. Menunjukkan polimorfisme pada dosis iradiasi 500; 750; dan 1000 Gy

9. Formulasi Inokulan Mikroorganisme Agen Bioproses Substrat Kitin dan Bahan Lignoselulosa. Formula bahan pembawa terpilih (SC-18E) dengan sterilisasi gamma pada 20-25 kGy telah digunakan untuk pengembangan teknik produksi agen bioproses substrat kitin dan lignoselulosa. Formulasi bahan pembawa dan konsorsium mikroorganisme agen bioproses substrat kitin (TRICHOMIX) dan lignoselulosa (DELIGNO) berpotensi untuk diaplikasikan pada skala lapang sebagai bio-kontrol pada remediasi lahan sawah.
10. BAROKAH A. Dkk., "Pengembangan Aplikasi Perunut dan Isotop Alam untuk Membangun Sedimen Budget Daerah Aliran Sungai (DAS) Cujung", Laporan teknis, PAIR-BATAN, 2015.
11. DILLI, P. and WALLING, D.E., "Using  $^{210}\text{Pb}$  measurement to estimate sedimentation rates of river floodplains", *Journal of Environment radioactivity* 103 (2012) 59-75
12. PUTYRSKAYA P., et. Al, "Dating of sediment from four Swiss prealpine lakes with  $^{210}\text{Pb}$  determined by gamma spectrometry; progress and problems", *Journal of Environment radioactivity* 145 (2015) 73-94.
13. BAROKAH A. Dkk., "Pengembangan perunut dan Isotop alam dalam studi Model Sedimen budget daerah tangkapan air", Laporan teknis, PAIR-BATAN, 2016.
14. BAROKAH A. Dkk., "Pengembangan Aplikasi Perunut dan Isotop Alam untuk Membangun Sedimen budget Daerah Aliran Sungai (DAS) sub-DAS Cujung Tengah", Laporan teknis, PAIR-BATAN, 2017.
15. McCartheson, A. L., Raymundo, L. J., Jensen, J. W., Proffly, G. N., Lawder, M. A., & Rowell, R. H. (2013). Testing The Strontium/Calcium Proxy For Sea Surface Temperature Reconstruction In The Coral *Porites Lutea* In Guam, Micronesia. Guam: Marine Laboratory University of Guam.
16. Guildford, D. B., Murray, P. J., Brown, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E. Hatzidimos, M. E. (2007, December 14). Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science AAAS*, 318, 1737-1742.
17. Albert, C., & McCulloch, T. M. (1997). Strontium/Calcium Ratios In Modern Forifer Corals From The Great Barrier Reef As A Proxy For Sea Surface Temperature: Calibration Of The Thermometer And Monitoring Of ENSO. *Paleoceanography*, 12, 345-363.
18. Husen, T. E., Falenberry, J. A., Richey, J. N., & Siothakopoulos, A. (2015). The Relationship Between the Ratio of Strontium to Calcium and Sea-Surface Temperature in a Modern *Porites astreoides* Coral: Implications for Using *P. astreoides* as a Paleoclimate Archive. *USGS*, iv-10.

- Journal of Environmental Science, toxicology and Food Technology. Vol.3, Issue 6: 51-55 (2013).
40. Towner. KJ and Cockayne. A. *Molecular Methods for Microbial Identification and Typing*. Chapman & Hall. London (1995).
  41. T. Naseripour, S. Nasrollah Nejad, S. Shahbazi, and Kamaran Rahnama. Using gamma-ray to increase exoglucanase activity in *Trichoderma* and improvement of *Sclerotinia* rot of canol biocontrol. *Biological Forum – An International Journal (Special Issue 2015)* 7(2): 57-60 (2015).
  42. M. Siddique. Awwan, Nabila Tabassam, N. Ayub. Gamma radiation induced mutagenesis in *Aspergillus niger* to enhance its microbial fermentation activity for industrial enzyme production. *Molecular Biology Reports*. Vol. 38: 1367-1374 (2011).
  43. ITI-GONTIA-MISHRA, NIRAJ TRIPATHY , and SHARAD TIWARI. A simple and rapid DNA extraction protocol for filamentous fungi efficient for molecular studies . *Indian Journal of Biotechnology* Vol 13 (2014) 536-539.
  44. Muhammad, A.Z, Samreen, R, and Threema, I. Effect of gamma Irradiation on *Aspergillus niger* enhanced production of glucose oxidase. *Pak.J. Bio.* 44 (5): 1575-1580. (2012).
  45. Atienzar FA, Venier. P, Jha A.N, and Depledge. MH,. Evaluation of the RAPD assay for detection of DNA damage and mutations. *Mut Res.*521:151–163 (2002).
  46. TINGEY, S.V., RAFALSKY, J.A., WILLIAMS , S.J.K., . Genetic analysis with RAPD markers. In: *Proceedings of the Symposium Application of RAPD Technology to Plant Breeding*, Crop Science Society of America, Minneapolis, MN, pp. 3–8 (1992).
  47. [ASTDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2007. Toxicological Profile For Benzene. [www.astdr.cdc.gov](http://www.astdr.cdc.gov). (diakses 22 November 2016).
  48. [ASTDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2015. Toxicological Profile For Toluene. [www.astdr.cdc.gov](http://www.astdr.cdc.gov). (diakses 22 November 2016).
  49. Boldsystem. 2015. *Phanerochaete chrysosporium*. [www.boldsystems.org](http://www.boldsystems.org). (diakses 23 November 2016).
  50. Boldsystem. 2014. *Aspergillus niger*. [www.boldsystems.org](http://www.boldsystems.org). (diakses 23 November 2016).
  51. Chikere CB, Azubuik CC. 2014. Characterization of hydrocarbon utilizing fungi from hydrocarbon polluted sediments and water. *Nig J. Biotech*. Vol. 27 : 49-54.
  52. Das N, Chandran P. 2011. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: An overview. *Biotech. Res. Int*: 1-13.
  53. Fraser SJ. 2005. Intraspecific comparison of *Phanerochaete chrysosporium* strains: peroxidase production, pollutant degradation and mycelial differentiation

- [Thesis]. Faculty of Science, Department of Biochemistry, Microbiology and Biotechnology Rhodes University.
54. [GBIF] Global Biodiversity Information Facility. 2016. *Aspergillus niger* Tiegh. [www.gbif.org](http://www.gbif.org). (diakses 23 November 2016).
  55. George-Okafor U, Tasie F, Muotoe-Okafor F. 2009. Hydrocarbon Degradation Potentials of Indigenous Fungal Isolates from Petroleum Contaminated Soils. *J. Phy. & Nat. Sci.* 3(1): 1-6.
  56. [HSDB] Hazardous Substances Data Bank. 2016. Benzene. (diakses 23 November 2016).
  57. Jové P, Olivella MA, Camarero S, Caixach J, Planas C, Cano L, & Francesc X de las Hera. 2016. Fungal biodegradation of anthracene-polluted cork: A comparative study. *Journal of Environmental Science and Health* 51 (1): 70-77.
  58. Jn-Gyung & Chang-Ho P. 2004. Characteristics of *Rhodococcus pyridinovorans* PYJ-1 for the biodegradation of benzene, toluene, m-xylene (BTEX), and their mixtures. *J. Biosci. Bioeng.* 97: 429.
  59. Mycobank. 2016. *Phanerochaete chrysosporium*. [www.mycobank.org](http://www.mycobank.org). (diakses 23 November 2016).
  60. Prenafeta-Boldú FX, Vervoort J, Grotenhuis JTC, Groenestijn JW. 2002. Substrate Interactions during the Biodegradation of Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylene (BTEX) Hydrocarbons by the Fungus *Cladophialophora* sp. Strain T1. *Applied And Enviromental Microbiology* 68 (6): 2660-2665.
  61. Wuryanti. 2008. Pengaruh Penambahan Biotin Pada Media Pertumbuhan Terhadap Produksi Sel *Aspergillus niger*. *J Bioma* 10 (2): 46-50.