

LAPORAN TEKNIS 2016

42/AIR 2/OT 02 02/01/2017

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

**Barokah Aliyanta, Ali Arman L, Tri Retno DL, Nana Mulyana,  
Dadang S.**



**PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI  
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL  
2017**

LAPORAN TEKNIS 2016

42/AIR 2/OT 02 02/01/2017

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

Barokah Aliyanta, Ali Arman L, Tri Retno DL, Nana Mulyana,  
Dadang S.

Mengetahui/Menyetujui

Kepala Bidang Industri dan Lingkungan



Dr. Sugiharto, MT  
NIP. 19620705 198510 1 002

Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi



Totti Tjiptosumirat  
NIP. 19630830 198803 1 002

## Data riset komponen sedimen budget, prediksi perubahan iklim melalui *coral reef* dan bioremediasi lahan

Barokah A., Ali Arman L., Tri Retno DL, Nana M., Dadang S

### Abstrak

Aplikasi teknik nuklir yang berupa radionuklida jatuhan, isotop alam, dan iradiasi telah dimanfaatkan untuk mendapatkan data parameter tataguna lahan pada suatu daerah aliran sungai sebagai salah satu komponen untuk menyusun sedimen budget, kajian perubahan iklim dan geokronologi pencemaran daerah pesisir dengan memanfaatkan terumbu karang sebagai "environmental recorder" serta uji potensi jenis fungi untuk mendegradasi lignoselosa dan jenis polutan toxic. Sampel untuk penelitian masing-masing diambil dari tanah berbagai tata guna lahan yang merepresentasi keseluruhan sub DAS Ciujung hulu dan sedimen daratan banjir sub daerah aliran sungai (DAS) Ciujung Hulu, daerah terumbu karang jenis porites di Wakatobi, dan uji karakteristik molekular isolat kapang *Aspergillus niger* dan *Phanerochaete chrysosporium* setelah diiradiasi dengan sinar gamma melalui pendekatan marka molekular *random amplified polymorphic DNA* (RAPD). Dosis iradiasi yang digunakan dalam penelitian uji potensi jenis kapang ini bervariasi dari 0; 250; 500; 750; 1000; 1500 dan 2000 Gy dengan laju dosis 0,21 kGy/jam. Sampel yang diperoleh dilakukan berbagai perlakuan yang sesuai untuk dapat diukur parameter yang di perlukan dengan peralatan yang ada di laboratorium bidang industry dan lingkungan PAIR. Aktivitas Pb-210 excess dan Cs-137 pada sampel tanah permukaan di beberapa tataguna lahan mempunyai aktivitas bervariasi dari 3,09 s/d 35,2 Bq/kg dan 0,61 s/d 1,59 Bq/kg. Kandungan % (persen) organik karbon bervariasi dari kisaran 1 s/d 5,5%. Dengan mengacu pada nilai inventori pembanding di daerah Pasir Jaya, Cijeruk-Bogor dapat diketahui adanya titik erosi dan deposisi pada satu transek, dengan estimasi laju erosi bervariasi dari - 5 ton/ha/th s/d -30 ton/ha/th. Laju sedimentasi endapan di daratan banjir adalah 33,47 kg/m<sup>2</sup>/th. Pencemaran logam berat di daerah pesisir Wakatobi menunjukkan adanya sedikit peningkatan sejak 50 tahun yang lalu yang kemungkinan disebabkan oleh meningkatnya kadar polutan tersebut yang masuk ke perairan pesisir Wakatobi, dan nampaknya berimplikasi juga pada laju pertumbuhan karang yang kurang signifikan, serta pola fluktuasi suhu permukaan laut (SPL) yang identik dengan pola rasio Sr/Ca. Isolat *Aspergillus niger* dan *Phanerochaete chrysosporium*, iradiasi pada dosis 1000 Gy memiliki perbedaan karakteristik morfologis dibandingkan dengan isolat Kontrol (0 Gy). Dari hasil analisis molekular menggunakan marka RAPD-PCR, maka mutasi radiasi dari isolat kapang *Aspergillus niger* dan *Phanerochaete chrysosporium* terjadi mulai dari dosis iradiasi 500 - 1000 Gy. *Phanerochaete chrysosporium* yang diradiasi dengan dosis 1000 Gy memberikan efisiensi

degradasi yang optimal, yakni 77,2% untuk degradasi Benzena dan 65,3% untuk degradasi Toluena.

**Kata kunci:** komponen sedimen budget, terumbu karang, geokronologi, isolat kapang, degradasi

## **PENDAHULUAN**

Dengan semakin terbatasnya lahan di kawasan hilir untuk kegiatan pertanian, perubahan tata guna lahan di kawasan DAS hulu untuk kegiatan pertanian yang tidak sesuai dengan kemampuan lahan serta dampak industry menyebabkan terjadinya pemiskinan lahan (melalui erosi dan polusi), sumber air tanah yang menipis (baik kualitas maupun kuantitas), hilangnya habitat alami dan berubahnya pola iklim baik setempat (iklim mikro) maupun iklim global (iklim makro), pencemaran lahan yang pada akhirnya berdampak juga pada daerah pesisir yaitu rusaknya kawasan terumbu karang sebagai sumberdaya kelautan. Untuk mengantisipasi kerusakan lebih lanjut dan dalam rangka prioritas remediasi daerah terdegradasi diperlukan penelitian secara hoolistik terkait dengan komponen dalam DAS sebagai sarana penghasil informasi untuk pengelolaan DAS secara terintegrasi. Teknik radionuklida jatuhan seperti Cs-137, Pb-210, pengukuran parameter kualitas tanah, teknik "finger printing" dan teknik radiasi dapat dijadikan sebagai alat untuk menghasilkan informasi komponen sedimen budget (laju erosi, sumber sedimen, sedimentasi daratan banjir, sedimen storage, sediment delivery ratio) suatu daerah aliran sungai. Disamping itu, dengan adanya informasi tersebut dapat diketahui lokasi mana yang mengalami penurunan kualitas tanah signifikan dapat diupayakan remediasinya dengan mikroorganisme yang pada kesempatan ini difokuskan pada pemanfaatan mikroorganisme fungsional (bakteri, kapang) yang telah ditingkatkan kemampuannya dengan teknik radiasi untuk mendegradasi lignoselulosa dan polutan dan atau untuk meremediasi lahan yang telah terdegradasi karena penambangan.

Dampak pemanasan global sudah sangat serius dan kian nyata berpengaruh dalam kehidupan. Indonesia sebagai negara kepulauan dengan ribuan pulauya mengalami ancaman kenaikan permukaan laut. Hal yang sama juga terjadi pada sebagian kota-kota besar yang berada di pesisir pantai. Dampak dari peningkatan suhu adalah meningkatnya

frekuensi anomali iklim El-nino dan La-nina. Anomali tersebut menyebabkan terjadinya pemutihan karang (bleaching) serta penurunan kalsifikasi karang yang berakibat pada menurunnya produktivitas laut. Penelitian tentang dampak perubahan iklim baru dimulai beberapa tahun belakangan melalui monitoring suhu dan parameter lainnya, sehingga datanyapun masih terbatas ketersediannya. Keterbatasan data tersebut dapat diatasi dengan memanfaatkan hasil rekam pada terumbu karang massif. Karang sebagai indikator lingkungan di perairan dapat memberikan informasi paleoclimate, seperti kondisi fisika dan kimia lingkungan selama masa pertumbuhannya. Perubahan lingkungan diketahui dengan perubahan densitas pada lingkaran tahunan yang terbentuk pada terumbu, yang umumnya dapat dengan mudah dilihat pada karang tipe massif. Selama tumbuh, skeleton karang membentuk pita tahunan yang dapat digunakan untuk pengembangan kronologi perairan. Pada saat karang tumbuh, skeleton karang menggabungkan unsur atau senyawa yang mencerminkan kondisi lingkungan dimana mereka hidup, seperti suhu perairan, evaporasi, precipitasi, dan sirkulasi laut. Jika dibandingkan dengan sumber paleoklimatologi yang lain, karang memberikan resolusi musiman yang jelas. Karang yang umumnya paling sering digunakan dalam paleoklimatologi yaitu karang massif dari genus *Porites*.

Di dalam kegiatan penelitian ini, penerapan teknik nuklir dan radiasi diterapkan dalam 3 kegiatan penelitian besar dengan tujuan adalah

1. Pemanfaatan teknik radionuklida jatuhnya untuk mempelajari dan mendapatkan parameter/komponen yang diperlukan dalam membangun model sedimen budget daerah aliran sungai (DAS) .
2. Penerapan teknik radiasi sebagai sarana teknologi dalam meningkatkan kemampuan mikroba fungsional untuk meremediasi lahan terdegradasi dan atau tercemar.
3. Aplikasi teknik nuklir untuk geokronologi pencemaran dan rekonstruksi perubahan iklim menggunakan terumbu karang *Porites* Sp daerah Indonesian Through Flow pesisir Wakatobi , Sulawesi Tenggara.

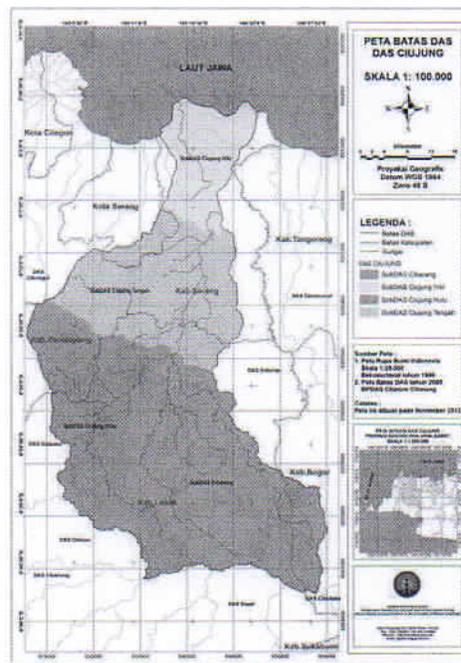
## BAHAN dan METODE

1. Pemanfaatan teknik radionuklida jatuhan untuk mempelajari dan mendapatkan parameter/komponen yang diperlukan dalam membangun model sedimen budget daerah aliran sungai (DAS).

### Lokasi dan Pengambilan sampel

#### Lokasi

Penelitian tahun ini difokuskan pada sub DAS Ciujung Hulu yang merupakan bagian dari DAS Ciujung dengan total luasan area sub DAS ini berkisar 59.245,96 Ha yang merupakan 27,58 % dari luas DAS Ciujung. Adapun kawasan sub DAS Ciujung Hulu dapat dilihat pada Gambar 1.



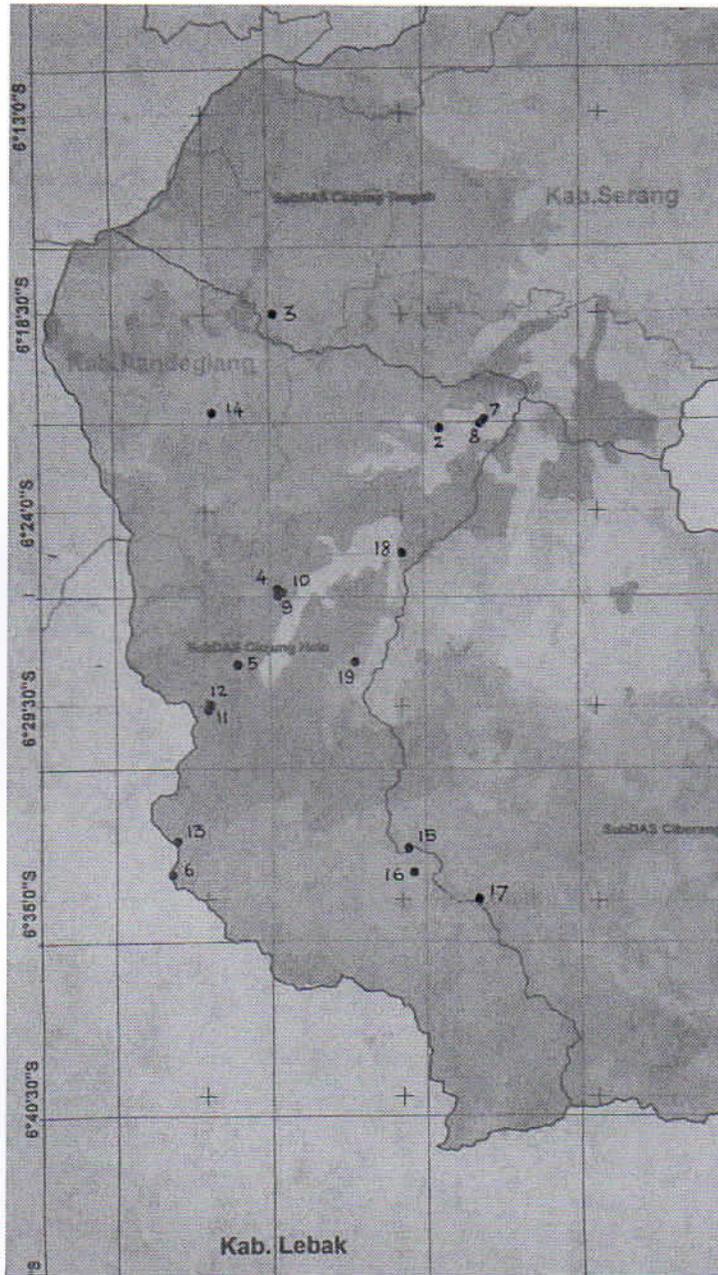
Gambar 1.1. Peta DAS Ciujung

#### Pengambilan sampel

Pengambilan sampel tanah pada tahun kedua difokuskan pada sub DAS Ciujung Hulu. Pemilihan titik pengambilan sampel didasarkan pada sampling design dengan

mengoverlappingkan peta jenis tanah, peta tataguna lahan, dan peta topografi. Pengambilan sampel dilakukan secara transek pada tataguna lahan yang ada baik untuk sampel tanah permukaan maupun sampel tanah coring (20 cm). Disamping itu dilakukan pengambilan sampel sedimen suspensi di sungai Ciujung Hulu. Pengambilan sampel coring (20 cm) dilakukan masing-masing sebanyak 2 titik dan dicampur menjadi satu 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 dilakukan di sungai Ciujung Hulu. Pengambilan sampel sedimen di daratan banjir dilakukan secara profil dengan interval kedalaman 10 cm. Untuk melakukan analisis laju erosi dilakukan pengambilan sampel dengan alat scrap secara profil dengan interval 2 cm sampai kedalaman 20 cm dan alat core sedalam 20 cm. Adapun titik-titik pengambilan sampel Gambar 1.2.



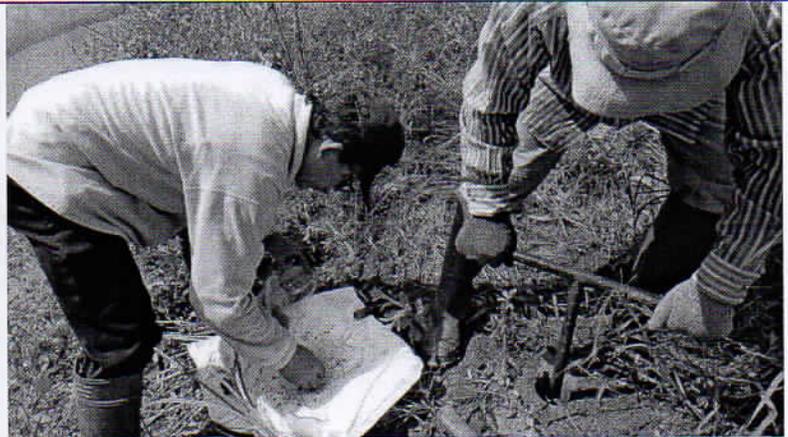
Gambar 1.2.. Titik-titik koordinat pengambilan sampel di sub DAS Ciujung Hulu



Pengambilan sampel tanah profil dengan scrap Pengambilan sampel tanah secara transek sedalam 20 cm



Pengambilan sampel profil tiap 10 cm di daratan banjir sungai Ciujung Hulu



Pengambilan sampel profil tiap 10 cm di daratan banjir sungai Ciujung Hulu

Gambar 1.3., Aktivitas pengambilan sampel tanah dan sedimen di daratan banjir

### **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. Penerapan teknik radiasi sebagai sarana teknologi dalam meningkatkan kemampuan mikroba fungsional untuk meremediasi lahan terdegradasi dan atau tercemar.**

### **Bahan dan cara kerja**

Bahan-bahan yang digunakan adalah media *Potatoes Dextrose Agar* - PDA (Difco), Agarose (*Invitrogen*), Larutan buffer eskstraksi (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 *Aspergillus niger* dan *Phanerochaete chrysosporium* koleksi kelompok Lingkungan PAIR-BATAN. Masing-masing isolat kapang 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 isotop Cobalt-60 dalam *chamber* IRPASENA 4000A di Pusat Aplikasi Isotop Radiasi – BATAN, Pasar Jumat Jakarta dengan laju dosis 2,1 kGy/jam. Dosis iradiasi yang digunakan adalah 0 kGy (kontrol, tanpa iradiasi); 250 Gy; 500 Gy; 1000 Gy; 1500 Gy dan 2000 Gy.

***Penyiapan Inokulum Kapang Hasil Iradiasi.*** Kapang hasil iradiasi ditumbuhkan dalam 50 ml medium cair *PDB* selama 7 hari dalam kondisi goyang pada suhu 30<sup>0</sup>C. Pada akhir inkubasi, miselia sel kemudian dilakukan ekstraksi DNA.

***Ekstraksi DNA kapang Iradiasi.***

Isolasi dan ekstraksi DNA dari miselia *Trichoderma harzianum* iradiasi menggunakan metode BRODA P [6]. Miselia dari isolat kapang ( $\pm$  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<sup>0</sup>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 steril 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 µl etanol 70%. Pelet DNA dikeringkan dalam desikator. Dan dilarutkan dala 100 µl 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 µg 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 2 jenis primer yaitu untuk *Aspergillus niger* (9 buah) dan *Phanerochaete chrysosporium* (3 buah) dengan urutan basa seperti terlihat pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Urutan Basa primer untuk Amplifikasi DNA *Aspergillus niger* iradiasi

Nama Primer	Urutan Basa (5'----- 3')
1. P1	CCGACTCTGGCGG
2. P2	GTAAGCCGAGACA
3. P 4	ACCTGCCAACATA
4. P5	GTAGGTCGCAGGT
5. P6	TCGTGGCACATAC
6. P7	TGTACGGCACACG
7. P8	ACGGAGGCAGAGA
8. P9	GTCTCCGTCGTC
9. P10	GTGTGCCTGGTGC

Tabel 2. Urutan Basa primer untuk Amplifikasi DNA *Phanerochaete chrysosporium* iradiasi.

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

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 40 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.

#### ***Skoring dan Analisis Data.***

Pengamatan DNA hasil elektroforesis dapat diamati dengan menggunakan UV transluminator. DNA kemudian di beri skor berdasarkan jarak tempuhnya (bp) dan diberi skor yaitu 0 apabila tidak ada pita yang muncul dan 1 untuk kenampakan pita yang ada. Data biner yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan MVSP versi 2.0. Modul SIMQUAL digunakan dalam menggeneralisirkan matriks similaritas Koefesien Jaccard. Ukuran similaritas dikonversi ke dalam jarak genetik menggunakan rumus  $S_{ij} = a / (a + b + c) * 100\%$ . Matriks jarak yang diperoleh digunakan analisis pengelompokkan. Hasil pengelompokan kemudian digunakan dalam menyusun dendogram dengan metode *unweighted pair-group method with arithmetic mean* (UPGMA). [7].

#### **Preparasi Kultur Fungi *Phanerochaete chrysosporium***

Strain fungi *P. chrysosporium* diperoleh dari koleksi kultur terseleksi yang dipelihara dalam cawan petri dengan media PDA. Strain fungi ini dikultivasi dalam media PDB dengan *shaker* mekanis 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.

#### **Perlakuan Iradiasi Gamma Dosis Rendah**

Kultur fungi *P.chrysosporium* yang sudah diinkubasi selama 4 hari dipapar dengan iradiasi gamma pada dosis 0, 500, 1000, 1500, dan 2000 Gy. Perlakuan iradiasi gamma sumber <sup>60</sup>Co dilakukan dengan fasilitas iradiator Gamma Chamber 4000A di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional.

#### **Perlakuan Subkultur Fungi Paska Iradiasi Gamma**

Setelah dilakukan iradiasi gamma, kultur didiamkan selama 24 jam. *P.chrysosporium*. Kultur yang sudah diiradiasi kemudian dipindahkan dan ditumbuhkan pada cawan petri yang baru selama 7 hari. Setelah *P.chrysosporium* sudah tumbuh pada keseluruhan cawan petri, kultur fungi *P.chrysosporium* diambil sekitar 1x1 cm<sup>2</sup> potongan kultur fungi setiap perlakuan dosis iradiasi gamma yang berbeda dikultivasi masing-masing ke dalam 50 ml media cair PDB. Kemudian diinkubasi dalam *shaker* mekanis dan pada suhu ruang sekitar 28-32 °C selama 3-4 hari. Kultur cair fungi *P.chrysosporium* ini dijadikan sebagai starter dengan konsentrasi kurang lebih 10<sup>7</sup>.

#### **Preparasi dan Pembuatan Media Serbuk Gergaji**

Serbuk gergaji yang akan digunakan ditimbang sebanyak 1g kemudian dimasukkan kedalam plastik yang sudah disiapkan. Media cair PDB dibuat dengan mencampurkan 4.8g PDB, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1g, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0.2g, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0.2g, dan MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O 0.04g kedalam erlenmeyer dan dilarutkan dalam 200ml aquades. Sebanyak 1ml media cair yang sudah dibuat ditambahkan pada serbuk gergaji. Plastik yang sudah berisi serbuk gergaji dan media cair kemudian di *seal* dan di sterilisasi menggunakan *autoclave*. Selesai disterilisasi, starter *P.chrysosporium* dengan perlakuan dosis berbeda yang sudah jadi, ditambahkan sebanyak 1ml kedalam serbuk gergaji dan media cair. Plastik kemudian disegel kembali dengan menambahkan kertas saring pada ujung plastik sebagai filter dan sirkulasi udara. Media serbuk gergaji tersebut didiamkan selama 4-7 hari.

#### **Proses Degradasi Polutan Benzena dan Toluena**

Media serbuk gergaji yang sudah diinokulasikan dengan starter dan diinkubasi dipindahkan kedalam botol kecil dan dipadatkan. Polutan benzena dan toluena dibuat

dengan perbandingan 1:3. Masing-masing media serbuk gergaji ditetesi campuran polutan tersebut sedikit demi sedikit sampai mengenai seluruh bagian dari media. Media serbuk gergaji kemudian didiamkan selama 24 jam, suhu dan pH media dikontrol dalam masa proses degradasi.

#### **Analisis Polutan Benzena dan Toluena**

Polutan yang sudah didiamkan selama 24 jam diambil dan dilarutkan kedalam etanol, kemudian dimasukkan ke dalam mikrotube dan disentrifuge sampai terpisah menjadi 2 fase. Supernatan atau fase atas diambil kemudian di analisis menggunakan GC-MS.

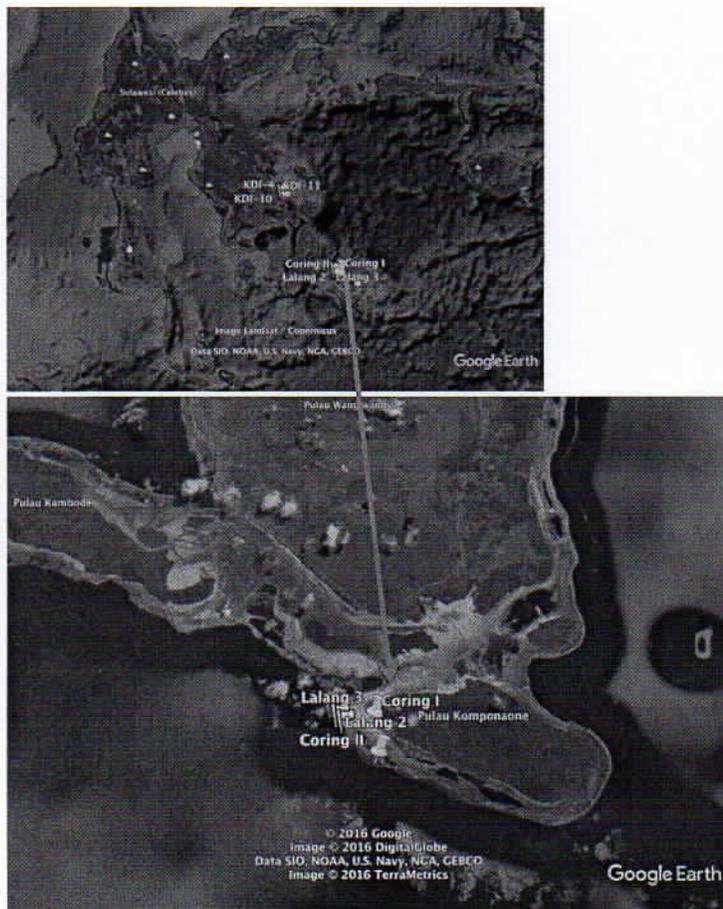
### **3. Aplikasi teknik nuklir untuk geokronologi pencemaran dan rekonstruksi perubahan iklim menggunakan terumbu karang *Porites Sp* daerah Indonesian Through Flow pesisir Wakatobi , Sulawesi Tenggara.**

#### **Lokasi dan cara kerja**

Terumbu karang *Porites spp* diambil dari 2 titik yang berbeda di daerah pesisir Taman Nasional Wakatobi (Gambar 1) dengan kordinat seperti tercantum dalam Tabel 1. Pengambilan sampel melalui proses pemboran dilakukan di dalam air. Alat bor yang digunakan mempunyai diameter 5 cm, panjang 50 cm dan dapat diperpanjang hingga 3 m. Pengeboran dilakukan secara vertikal dari permukaan hingga dasar karang. Panjang sampel yang diperoleh adalah 90 cm dan 180 cm. Sampel karang dibelah membentuk lempeng searah panjang dengan ketebalan 5 mm. Selanjutnya dibersihkan dengan *ultrasonic bath* dan dikeringkan. Lempeng disinari menggunakan radiografi sinar-X 130 KeV selama 1 detik. Hasil foto sinar-X pada film positif di-scan dengan scanner film menjadi format digital. *Coral XDS software* digunakan untuk menentukan umur dan laju pertumbuhan karang.

Berdasarkan lingkaran tahunan, dilakukan analisis kandungan logam berat dengan ICP-OES. Lempeng core karang disub-sampling menggunakan alat bor kecil (bor tangan) dan dimasukkan ke dalam vial plastik. Selanjutnya dari setiap sampel/vial ditimbang serbuk antara 20 mg – 25 mg dan ditambahkan nitrat 25% sebanyak 2 ml untuk melarutkan serbuk karang. Kemudian ditambahkan 8 ml bidest dan di ultrasonic selama 30 menit. Sampel diukur dengan alat ICP-OES Thermo iCAP7400. Pada saat bersamaan diukur sampel karang *Jcp-1 (Japan Coral Porites)* yang digunakan sebagai kontrol.

Sampel lempeng dibelah 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 dipermukaan *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, Ca dan Mg.



**Gambar 3.1.** Peta lokasi pengambilan sampel terumbu karang *Porites spp* di pesisir Taman Nasional Wakatobi, Sulawesi Tenggara. Diperoleh 2 coring sampel yaitu P1 (coring 1) dan P2 (coring 2). Sumber *google earth*.

Tabel 3.1. Data sampel karang *Porites spp* dari Taman Nasional Wakatobi, Sulawesi Tenggara.

No	Kode sampel	Kordinat	Panjang sampel	Kedalaman airlaut hingga permukaan karang
1.	Coring I	5 <sup>o</sup> 25'28,7" S 123 <sup>o</sup> 35'7,07" T	90 cm	10 m
2.	Coring II	5 <sup>o</sup> 25'22,77" S 123 <sup>o</sup> 35'0,48" T	180 cm	10 m

Sampel serbuk 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, Ca dan Mg dengan konsentrasi seperti terlihat pada Tabel 2 dan kontrol analisis digunakan standar karang *Porites Jcp-1*.

## Hasil dan Pembahasan

### 1. Pemanfaatan teknik radionuklida jatuhan untuk mempelajari dan mendapatkan parameter/komponen yang diperlukan dalam membangun model sedimen budget daerah aliran sungai (DAS) .

#### Hasil pengukuran sampel tanah permukaan

Koordinat titik pengambilan sampel dapat dilihat pada Tabel 1.1. Dari hasil pengukuran aktivitas radionuklida jatuhan pada tanah permukaan dapat dilihat pada Tabel 1.2. Dari Tabel 1.2 terlihat bahwa aktivitas radionuklida jatuhan bervariasi dari 0,44 Bq/kg sampai 1,59 Bq/kg untuk Cs-137 dan dari 3,87 Bq/kg sampai mendekati 35,27 Bq/kg untuk Pb-210 excess. Aktivitas Cs-137 di kebun karet relative lebih tinggi dibanding tataguna lahan

lainnya. Begitu juga aktivitas Pb-210 excess di perkebunan karet juga relative lebih tinggi dibanding tata guna lahan lain. Pada perkebunan kelapa sawit didapatkan nilai-nilai aktivitas Cs-137 dan Pb-210 excess yang relatif kecil dibanding yang lainnya.

Tabel 1.1. Titik lokasi pengambilan sampel di sub DAS Ciujung Hulu

No	KODE SAMPEL	keterangan Tataguna lahan	POSISI	
			S	E
1	Ciujung hilir	Sed. suspensi	06° 17' 59,5"	106° 16' 21,8"
2	Ciujung hulu	Sed. suspensi	06° 21' 42,6"	106° 12' 15,8"
3	LS 1	Tanaman keras	06° 18' 29,1"	106° 07' 22"
4	JS 2	kebun campuran	06° 26' 30"	106° 07' 46,9"
5	CL 3	kebun campuran	06° 28' 59,1"	106° 06' 28,1"
6	SKN 4	kebun cengkeh	06° 34' 44,2"	106° 04' 27,4"
7	SS 1	(flood plain)	06° 21' 30,3"	106° 13' 29,4"
8	CLP 2	(flood plain)	06° 21' 43,7"	106° 13' 10,4"
9	JS 3	jati ambon, ilng	06° 26' 50,3"	106° 07' 33,2"
10	JS 4	kebun campuran	06° 26' 48,7"	106° 07' 36,5"
11	KJS 5	kebun karet	06° 29' 46,9"	106° 05' 36,7"
12	KS 6	kelapa sawit	06° 29' 47,7"	106° 05' 33,7"
13	SKN 7	tanaman krs	06° 33' 42,4"	106° 04' 32,8"
14	KS 8	kelapa sawit	06° 21' 30,4"	106° 04' 53,6"
15	BM 9	lahan olahan	06° 33' 58,3"	106° 11' 33,6"
16	KJ 10	jati, ilalang	06° 34' 33,8"	106° 11' 48,1"
17	KC 11	tanaman keras	06° 35' 08"	106° 12' 32"
18	JM 12	jati merah,	06° 25' 51"	106° 11' 12,3"
19	KK 13	Karet	06° 28' 59,3"	106° 09' 56,7"

Tabel 1.2. Data hasil analisis dengan alat multichannel analyzer (MCA) pada sampel tanah permukaan dan sedimen suspensi

No.	KODE SAMPSEL	<sup>210</sup> Pb total (Bq/kg)	<sup>210</sup> Pb suprt (Bq/kg)	<sup>210</sup> Pb ex (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
1	Ciujung hilir	29.39	14.96	14.43	0.65
2	Ciujung hulu	30.36	17.43	12.92	0.36
3	LS 1	52.37	17.10	35.27	0.97
4	JS 2	30.47	25.62	4.86	0.74
5	CL 3	29.22	15.14	14.08	0.96
6	SKN 4	36.32	15.31	21.01	0.73
7	SS 1	18.42	10.58	7.84	0.44
8	CLP 2	19.33	15.46	3.87	0.80
9	JS 3	29.46	14.48	14.98	0.85
10	JS 4	24.51	17.74	6.77	0.70
11	KJS 5	36.39	16.84	19.55	1.24
12	KS 6	23.00	19.91	3.09	0.73
13	SKN 7	35.40	9.04	26.36	0.99
14	KS 8	26.28	21.22	5.07	0.61
15	BM 9	27.73	15.17	12.56	0.85
16	KJ 10	45.64	13.63	32.01	1.26
17	KC 11	59.36	35.78	23.58	1.59
18	JM 12	22.645988	15.74227	6.90	1.20
19	KK 13	40.23	18.24	21.99	1.18

### Hasil sampel kedalaman 20 cm dan parameter kualitas tanah

Hasil pengukuran sampel transek dengan kedalaman 20 cm dapat dilihat pada Tabel 1.3 dan diketahui bahwa aktivitas Cs-137 dan Pb-210 excess umumnya masih cukup signifikan berada pada lapisan tanah olah (20 cm). Aktivitas Cs-137 bervariasi dari 0,48 Bq/kg sampai 1,50 Bq/kg, sedangkan aktivitas Pb-210 excess bervariasi dari kisaran 0 sampai 41,5 Bq/kg. Aktivitas Pb-210 supported juga bervariasi dengan kisaran nilai 10 Bq/kg sampai 23 Bq/kg.

Tabel 1.3. Hasil pengukuran radionuklida pada sampel tanah coring 20 cm secara transek berdasar tataguna lahan

No.	KODE SAMPSEL	<sup>210</sup> Pb total (Bq/kg)	<sup>210</sup> Pb suprt (Bq/kg)	<sup>210</sup> Pb exess (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)	keterangan	POSISI	
							S	E
1.	LS 1	30.69	15.84	14.85	0.99	tanaman keras	06° 18' 29,1"	106° 07' 22"
2.	LS 2	23.11	23.09	0.02	0.50	(duku, duren)		
3.	LS 3	25.20	16.31	8.89	1.50	slope (10 - 15) °		
4.	JS 4	27.18	21.27	5.92	0.42	kelapa,pisang	06° 26' 30"	106° 07' 46,9"
5.	JS 5	29.13	20.27	8.86	0.76	rumpit, manii kopi, slope 5°		
6.	CL 6	20.36	20.09	0.27	0.46	Mahoni,rumpit	06° 28' 59,1"	106° 06' 28,1"
7.	CL 7	21.21	19.59	1.62	0.69	kelapa,kecapi		
8.	CL 8	28.31	21.31	7.01	0.49	slope 10 °		
9.	SKN 9	29.63	15.38	14.25	0.78	cengkeh, rmpt	06° 34' 44,1"	106° 04' 28"
10	SKN 11	26.84	18.51	8.34	0.97	Slope 60°		
11	KA 1	32.25	15.68	16.57	0.89	olahan (kcng)	06° 21' 41,8"	106° 12' 19,9"
12	KA 2	53.28	11.76	41.52	0.91	tanaman krs		
13	KA 3	32.14	12.41	19.72	0.65	olahan (kcng)		
14	KA 4	40.70	15.86	24.84	0.81	olahan (kcng)		
15	SS 5	32.03	9.66	22.37	0.77	singkong,kacang	06° 21' 30,3"	106° 13' 29,4"
16	SS 6	27.42	14.50	12.92	0.43	(flood plain)		
17	CLP 7	35.53	14.20	21.34	0.65	kebun campuran	06° 21' 43,7"	106° 13' 10,4"
18	CLP 8	43.34	12.19	31.14	1.16	(flood plain)		
19	JS 9	31.87	11.01	20.86	0.55	jati ambon	06° 26' 50,3"	106° 07' 33,2"
20	JS 10	30.21	22.12	8.10	0.74	ilalang		
21	JS 11	19.01	18.37	0.64	1.46	Kebun campuran	06° 26' 48,7"	106° 07' 36,5"
22	JS 12	41.67	15.64	26.03	1.16			
23	KJS 13	39.66	16.55	23.11	0.76	kebun karet	06° 29' 46,9"	106° 05' 36,7"
24	KJS 14	38.52	12.29	26.23	1.24			
25	KS 15	22.46	9.39	13.07	1.09	Kelapa sawit	06° 29' 47,7"	106° 05' 33,7"
26	KS 16	35.22	16.63	18.59	1.18			

Tabel 1.4. Hasil pengukuran parameter kualitas tanah

No.	KODE SAMPEL	pH	%C-org	%N-tot	%K <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% debu	% liat	% pasir
1	LS 1	4,38	2,510	0,179	0,0136	0,0021	13,850	17,000	69,143
2	LS 2	3,8	3,128	0,223	0,0128	0,0021	21,810	28,627	49,562
3	LS 3	4,98	3,519	0,251	0,0123	0,0021	14,389	50,188	45,424
4	JS 4	4,71	2,469	0,173	0,0129	0,0021	14,448	20,715	64,837
5	JS 5	4,42	1,708	0,122	0,0125	0,0021	18,334	19,963	61,703
6	CL 6	3,86	2,654	0,189	0,0116	0,0021	16,109	22,166	61,725
7	CL 7	3,88	3,004	0,215	0,0114	0,0021	18,215	8,873	72,916
8	CL 8	4,41	2,263	0,162	0,0134	0,0021	13,733	18,073	68,194
9	SKN 9	3,49	4,260	0,304	0,0141	0,0021	8,403	10,103	81,404
10	SKN 11	3,53	5,514	0,394	0,0122	0,0021	11,672	10,921	77,307
11	KA 1	4,84	1,708	0,122	0,0124	0,0021	32,203	14,986	52,811
12	KA 2	5,04	1,235	0,088	0,0123	0,0021	25,246	13,964	60,790
13	KA 3	5,33	1,485	0,106	0,0131	0,0021	14,814	12,587	71,599
14	KA 4	4,86	2,305	0,165	0,0118	0,0021	20,365	13,881	65,754
15	SS 5	5,09	0,947	0,067	0,0108	0,0020	22,521	19,277	58,201
16	SS 6	4,64	1,502	0,107	0,0110	0,0020	24,434	19,354	56,212
17	CLP 7	5,91	1,955	0,140	0,0120	0,0021	19,227	15,526	65,247
18	CLP 8	5,12	2,346	0,168	0,0119	0,0021	13,733	18,073	68,194
19	JS 9	5,1	1,996	0,143	0,0113	0,0020	17,213	13,524	69,263
20	JS 10	4,67	2,305	0,165	0,0128	0,0021	5,031	14,549	80,401
21	JS 11	4,98	2,551	0,182	0,0125	0,0021	11,672	10,973	77,305
22	JS 12	4,84	2,140	0,153	0,0130	0,0021	43,775	23,700	32,525
23	KJS 13	4,30	3,004	0,215	0,0117	0,0021	32,220	24,660	43,120
24	KJS 14	4,04	3,724	0,266	0,0118	0,0021	30,125	28,308	41,567
25	KS 15	4,27	2,243	0,160	0,0127	0,0021	39,574	27,274	33,152
26	KS 16	4,04	3,066	0,219	0,0142	0,0021	35,052	12,788	42,160

Dari pengukuran parameter kualitas tanah didapatkan kandungan % (persen) organik karbon bervariasi dari kisaran 1 s/d 5,5% yang mana nilai-nilai ini relatif lebih rendah dibanding nilai-nilai parameter kualitas tanah dari daerah sub DAS Ciberang, yaitu dengan kisaran 2% s/d 8,6 %. Sedangkan, persen kandungan pasir mempunyai rentang nilai dari 33 % sampai 80 % yang relative lebih tinggi dibanding di daerah sub DAS Ciberang dengan kisaran % pasir bervariasi dari 11% sampai 42 %.

#### **Sumber sedimen sub DAS Cijung Hulu**

Secara umum sumber sedimen di sub DAS Cijung Hulu dapat berupa seluruh tata guna lahan yang ada di kawasan tersebut, baik dari perkebunan, kebun campuran, tanah olahan maupun kegiatan penambangan pasir. Sumber sedimen dapat ditentukan melalui pengukuran aktivitas radionuklida fallout Cs-137 dan Pb-210 excess dari sedimen suspensi dan aktivitas tanah permukaan (0-2 cm) dari potensi sumber yang ada. Dari data Tabel 1.2. menunjukkan bahwa aktivitas Cs-137 dan Pb-210 excess sedimen suspensi yang diambil dari titik Cijung Hulu sebesar 0,36 Bq/kg dan 12,9 Bq/kg. Dari Tabel 1.2 terlihat bahwa nilai Cs-137 ini merupakan nilai yang terkecil dibandingkan dengan nilai potensi sumber lain, sehingga tidak dapat ditentukan nilai kontribusi sumber sedimennya, karena dengan menggunakan teori mixing proses hanya akan dapat dihitung apabila nilai Cs-137 dan Pb-210 excess terletak diantara nilai sumber-sumber sedimen potensial. Namun demikian, masih ada satu sumber sedimen potensial yang belum masuk dalam perhitungan yaitu dari penambangan/pencucian tambang pasir, dan ini diharapkan dapat dilakukan pada tahun 2017.

### **Estimasi laju erosi di sub DAS Ciujung Hulu**

Estimasi laju erosi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak erosi model dengan mengacu pada nilai inventori Cs-137 di daerah Pasir Jaya, Cijeruk Bogor yaitu 197 Bq/m<sup>2</sup>. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1.5. Dengan melihat nilai inventori Tabel 1.5 dapat diketahui bahwa ada tempat-tempat erosi dan deposisi pada suatu transek, yaitu erosi bila nilai inventori lebih kecil dari 197 Bq/kg dan deposisi jika nilai inventori lebih besar 197 Bq/kg. Dengan menggunakan nilai inventori tersebut ternyata ada titik transek yang tidak dapat dihitung juga karena keseluruhan titik mempunyai nilai inventori yang lebih besar dari nilai inventori pembanding yang digunakan yaitu 197 Bq/kg. Estimasi laju erosi hanya dihitung pada titik transek yang dapat dihitung seperti ditunjukkan pada Tabel 1.5. Dari Tabel 1.5 tersebut dapat diketahui bahwa secara umum lahan di sub DAS Ciujung Hulu mengalami erosi dari kisaran 5 ton/ha/th sampai 30 ton/ha/th, dan sebagian tanah tererosi masih tinggal di lahan, tidak keseluruhan tanah tererosi meninggalkan lahan menuju aliran air.

Tabel 1.5. Hasil estimasi erosi berdasarkan Cs-137

No.	KODE SAMPSEL	<sup>210</sup> Pb excess (Bq/kg)	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg)	Inventori Pb-210ex (Bq/m <sup>2</sup> )	Inventori Cs-137 (Bq/m <sup>2</sup> )	Estimasi laju erosi (ton/ha/th)
1.	LS 1	14.85	0.99	2527	168	-5,22
2.	LS 2	0.02	0.50	-	90	-25,68
3.	LS 3	8.89	1.50	1481	250	12,21
4.	JS 4	5.92	0.42	984.39	70.38	-33,16
5.	JS 5	8.86	0.76	1525.87	131.13	-13,19
6.	CL 6	0.27	0.46	58.90	101.24	-25,95
7.	CL 7	1.62	0.69	341.28	144.42	-12,14
8.	CL 8	7.01	0.49	1275.73	88.41	-31,19
9.	SKN 9	14.25	0.78	2689.73	146.32	-10,06
10.	SKN 11	8.34	0.97	1367.63	158.35	-7,39
11.	KA 1	16.57	0.89	3075	164.93	-5,9
12.	KA 2	41.52	0.91	6825	148.96	-9,28
13.	KA 3	19.72	0.65	3336	109.19	-19,52
14.	KA 4	24.84	0.81	4298	139.85	-11,36
15.	SS 5	22.37	0.77	5157	176.76	-4,82
16.	SS 6	12.92	0.43	3003	99.43	-30,25
17.	CLP 7	21.34	0.65	4314	131.61	-15,18
18.	CLP 8	31.14	1.16	5933	220.11	5,4
19.	JS 9	20.86	0.55	4654	123.21	-19,66
20.	JS 10	8.10	0.74	1738	157.94	-9,28
21.	JS 11	0.64	1.46	143	329.23	-
22.	JS 12	26.03	1.16	4934	219.85	-
23.	KJS 13	23.11	0.76	5304	174.85	-5,21
24.	KJS 14	26.23	1.24	5915	278.72	19,26
25.	KS 15	13.07	1.09	3141	261.54	-
26.	KS 16	18.59	1.18	3178	200.96	-

### Estimasi laju sedimentasi[5,6]

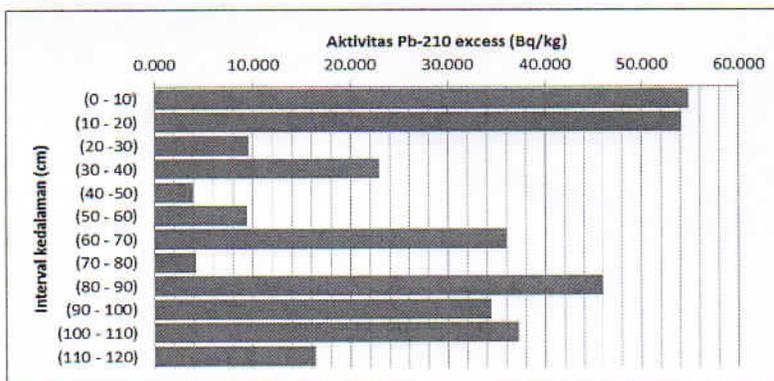
Hasil pengukuran Pb-210 excess tiap interval kedalaman sedimen di daratan banjir yang terletak di kampung Kedung Agung, kecamatan Kalanganyar pada posisi  $06^{\circ} 21' 41,3''$  S dan  $106^{\circ} 12' 19,3''$  BT dapat dilihat pada Gambar 1.4. Profil Pb-210 excess terhadap kedalaman ini tidak menunjukkan penurunan secara eksponensial, akan tetapi naik turun tidak ada polanya. Berdasarkan Gambar 1.4 tersebut, laju sedimentasi di daratan banjir hanya mungkin diestimasi menggunakan model *constant rate of supply* (CRS) dengan berasumsikan pada suplai Pb-210 excess ke sedimen adalah konstan sepanjang waktu (tidak bergantung waktu) dan bentuk profil dari Pb-210 excess merefleksikan interaksi laju sedimentasi dan peluruhan radioaktif. Di sini mempunyai arti bahwa laju sedimentasi dan konsentrasi awal Pb-210 excess sedimen dapat berubah-ubah. Menggunakan model ini, umur  $t$  sedimen pada suatu kedalaman  $Z$  dapat dihitung dengan:

$$t = 1/\lambda * \ln ((I(0)/I(Z)))$$

dengan  $I(0)$  ( $\text{Bq}/\text{cm}^2$ ) adalah total inventori core sedimen dan  $I(Z)$  adalah inventori sedimen core di bawah kedalaman  $Z$ . Laju sedimentasi  $R$  ( $\text{kg}/\text{m}^2/\text{th}$ ) dihitung secara langsung dengan

$$R = \lambda * I(Z)/A(Z)$$

Dengan  $A(Z)$  adalah aktivitas sedimen pada kedalaman  $Z$ .



Gambar 1.4. Profil aktivitas Pb-210 excess di daratan banjir sungai Ciujung Hulu

Tabel 1.6. Laju sedimentasi

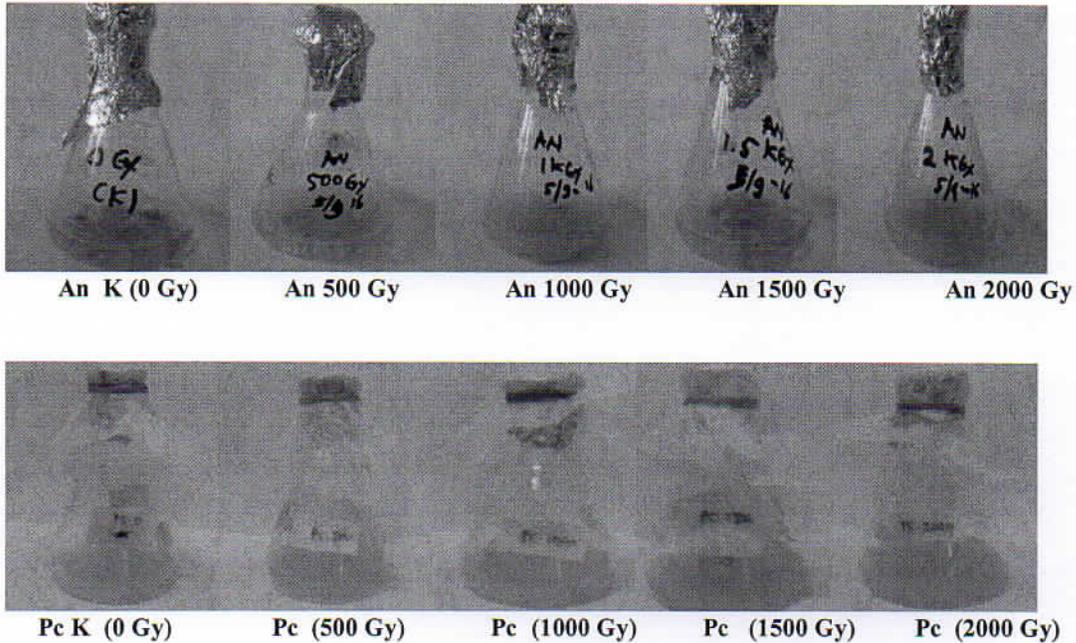
	210Pb	Massdepth	Cum.mass	Inventori	I(Ao)/I(Az)	umur(th)	laju sedimentasi
	Bq/kg)	g/cm2	depth	Bq/cm2			(kg/m2/th)
(0 - 10)	54.803	8.753	8.753	0.480	2.796	0.001	15.886
(10 - 20)	54.083	9.922	18.675	0.537	2.316	6.046	13.335
(20 - 30)	9.562	10.987	29.662	0.105	1.779	14.511	57.946
(30 - 40)	22.971	6.909	36.571	0.159	1.674	16.465	22.697
(40 - 50)	3.932	5.039	41.610	0.020	1.516	19.663	120.026
(50 - 60)	9.359	5.818	47.429	0.054	1.496	20.086	49.769
(60 - 70)	36.085	8.390	55.818	0.303	1.441	21.277	12.438
(70 - 80)	4.173	5.584	61.403	0.023	1.139	28.848	84.964
(80 - 90)	46.020	6.649	68.052	0.306	1.115	29.512	7.547
(90 - 100)	34.460	4.961	73.013	0.171	0.809	39.812	7.313
(100 - 110)	37.260	10.935	83.948	0.407	0.638	47.432	5.335
(110 - 120)	16.430	14.052	98.000	0.231	0.231	80.090	4.376
							rata2 =33.45

## 2. Penerapan teknik radiasi sebagai sarana teknologi dalam meningkatkan kemampuan mikroba fungsional untuk meremediasi lahan terdegradasi dan atau tercemar.

### Hasil dan pembahasan

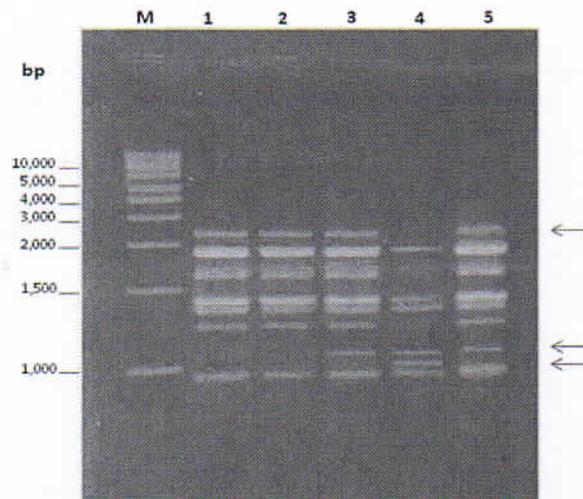
Isolat kapang *Aspergillus niger* (An) dan *Phanerochaete chrysosporium* (Pc) yang diiradiasi pada dosis 0-2000 Gy terlihat mampu tumbuh pada medium cair PDB setelah inkubasi dalam keadaan goyang pada 30°C (Gambar 1). Terdapat perbedaan morfologi miselia baik dari isolat *P.chrysosporium* maupun *A. niger* antara Kontrol (0 Gy) terutama pada dosis iradiasi 1000 Gy. Hasil pengamatan karakterisasi *A. niger* dan *P. chrysosporium* secara makroskopis meliputi warna dan bentuk miselia yang dapat dilihat pada Gambar 1, menunjukkan bahwa dari 5 isolat *Aspergillus niger* hasil iradiasi berdasarkan morfologinya terjadi perkembangan morfologi miselia yang berbeda dari hari ke-1 sampai hari ke- 7. Perkembangan diawali bentuk serat halus putih, kemudian berbentuk bulat kecil setelah setelah umur 7 hari. Isolat *A. niger* pada dosis iradiasi 0 – 500 Gy memiliki morfologi yang sama kecuali pada dosis 1000 Gy bentuk biomassa menjadi bulatan besar. Sementara itu koloni *P. Chrysosporium* pada dosis iradiasi 0 -500 Gy perkembangan koloninya diawali warna putih, abu-abu

setelah umur 7 hari, namun pada isolat *P. chrysosporium* dengan dosis iradiasi 500 Gy dan 750 Gy warna biomassa yang terlihat dari hari ke-3 hingga ke-7 terdapat warna putih cream . Perbedaan bentuk miselia dan biomassa dari isolat kontrol dan isolat teriradiasi dari kedua kapang ini menunjukkan adanya perubahan genetik dari kedua isolat ini akibat pengaruh iradiasi sinar gamma.



Gambar 1. Morfologi isolat *Aspergillus niger* (An) dan *Phanerochaete chrysosporium* (Pc) iradiasi dalam media PDB cair.

Hasil analisis keragaman genetik dari isolat *Aspergillus niger* radiasi berdasarkan amplifikasi RAPD-PCR menggunakan primer P1, P2, dan P4 menunjukkan pola pita DNA yang berbeda (polimorfik) mulai dari dosis iradiasi 500; 1000; dan 2000 Gy (Gambar 2, 3, dan 4).



Gambar 2. Profil DNA RAPD *Aspergillus niger* iradiasi hasil amplifikasi dengan PCR menggunakan primer P1 . Lajur 1 (0 Gy); Lajur 2 ( 500 Gy); Lajur 3 (1000 Gy); Lajur 4 (1500 Gy); Lajur 5 (2000 Gy); M (*Marker*, 1Kb DNA ladder)

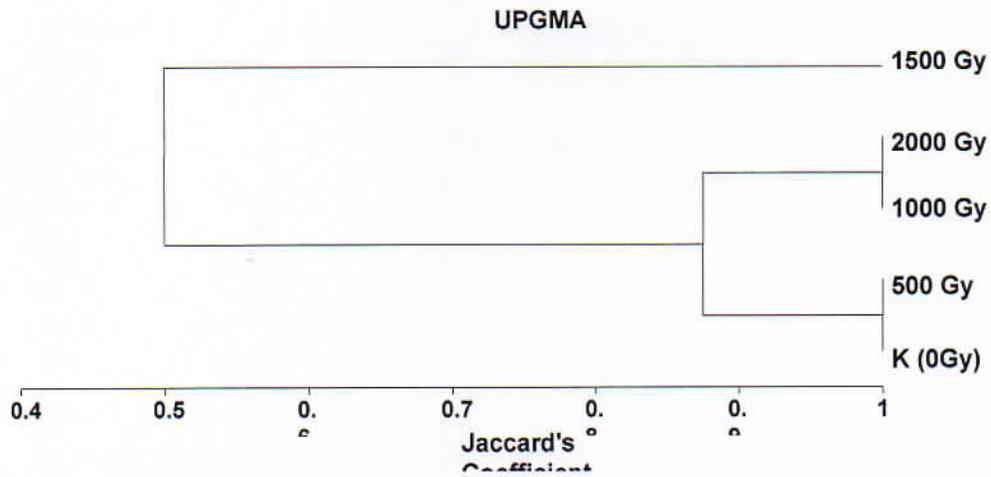
Tabel. 1. Pita monomorfik dan polimorfik dari *Aspergillus niger* iradiasi dengan primer P-1

Ukuran pasangan basa	Dosis Radiasi (Gy)				
	Kontrol (0)	500	1000	1500	2000
2500	---	---	---	---	---
1800	---	---	---	---	---
1600	---	---	---	---	---
1450	---	---	---	---	---
1400	---	---	---	---	---
1300	---	---	---	---	---
1200	---	---	---*	---*	---*
1100	---	---	---	---*	---
900	---	---	---	---	---

Keterangan :

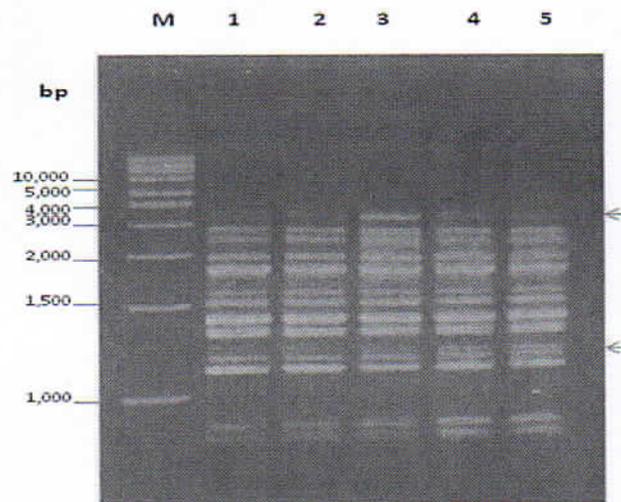
--- : pita yang muncul pada gel agarose

---\*: pita polimorfik.



Gambar 3. Dendrogram hubungan similaritas genetik isolat *Aspergillus niger* iradiasi dengan menggunakan primer P1

Dari 9 buah primer yang digunakan pada reaksi amplifikasi DNA RAPD-PCR pada isolat fungi *A. niger* hanya 3 primer yang menghasilkan pita polimorfik yaitu P1, P2, dan P4. Primer P1 mempunyai pita monomorfik pada ukuran 1800, 1450, dan 1400 bp (Tabel. 1). Sedangkan pita polimorfik terdapat pada isolat hasil iradiasi 1000 Gy; 1500 Gy; dan 2000 Gy masing-masing berjumlah 1, 2 dan 1 buah. Primer P2 memiliki pita monomorfik pada ukuran 2000; 1800; 1600; 1500; 1400; 1300; 1200; 1100; 700 dan 500 bp. Sedangkan pita polimorfik terdapat pada isolat hasil iradiasi 1000 Gy; 1500 Gy; dan 2000 Gy masing-masing berjumlah 1 buah.



Gambar 4. Profil DNA RAPD *Aspergillus niger* iradiasi hasil amplifikasi dengan PCR menggunakan primer P2. Lajur 1 (0 Gy); Lajur 2 (500 Gy); Lajur 3 (1000Gy); Lajur 4 (1500 Gy); Lajur 5 (2000 Gy); M (Marker, 1Kb)

DNA ladder).

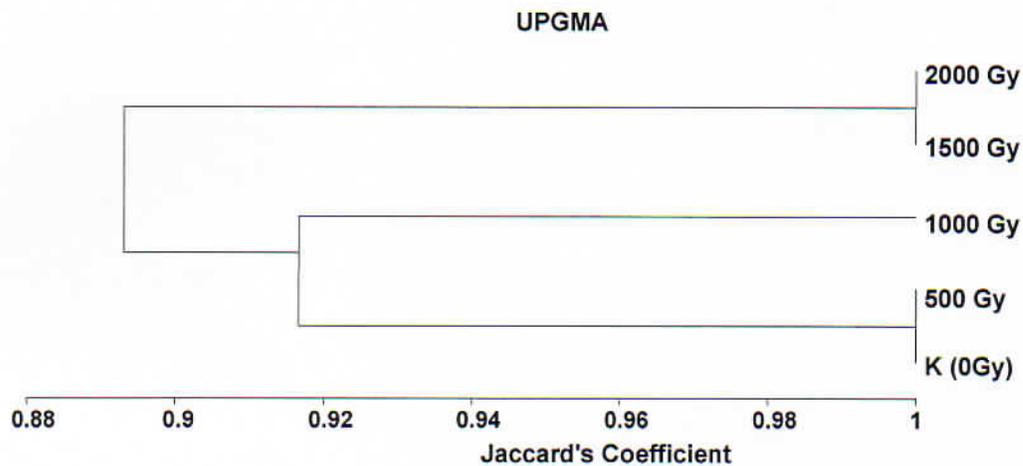
Tabel. 2. Pita monomorfik dan polimorfik dari *Aspergillus niger* iradiasi dengan primer P-2

Ukuran pasangan basa	Dosis Radiasi (Gy)				
	Kontrol (0)	500	1000	1500	2000
3500			---*		
2800	---	---	---	---	---
2000	---	---	---	---	---
1800	---	---	---	---	---
1600	---	---	---	---	---
1500	---	---	---	---	---
1400	---	---	---	---	---
1300	---	---	---	---	---
1250				---*	---*
1200	---	---	---	---	---
1100	---	---	---	---	---
700	---	---	---	---	---
500	---	---	---	---	---

Keterangan :

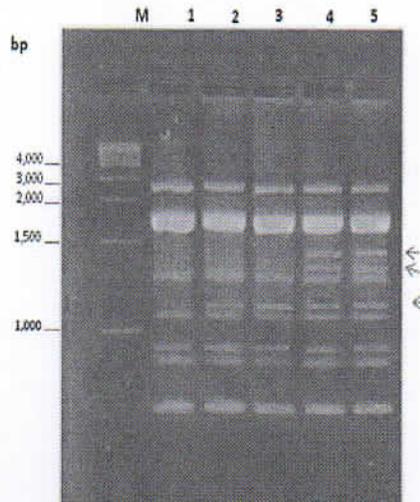
--- : pita yang muncul pada gel agarose

---\*: pita polimorfik.



Gambar 5. Dendrogram hubungan similaritas genetik isolat *Aspergillus niger* iradiasi dengan menggunakan primer P2

Primer P4 mempunyai pita monomorfik pada ukuran 2500; 1800; 1200; 1100; 800; 600; dan 300 bp (Tabel. 3). Sedangkan pita polimorfik terdapat pada isolat hasil iradiasi 500 Gy; 1000 Gy; 1500 Gy; dan 2000 Gy masing-masing berjumlah 1, 1, 3, dan 3 buah.



Gambar 5. Profil DNA RAPD *Aspergillus niger* iradiasi hasil amplifikasi dengan PCR menggunakan primer P4 . Lajur 1 (0 Gy); Lajur 2 ( 500 Gy); Lajur 3 (1000Gy); Lajur 4 (1500 Gy); Lajur 5 (2000 Gy); M (*Marker, 1Kb DNA ladder*).

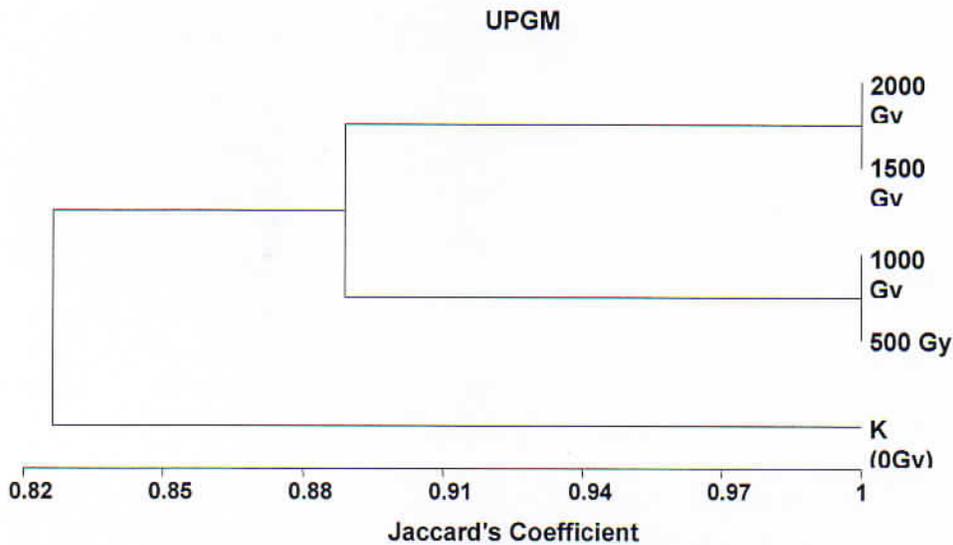
Tabel. 3. Pita monomorfik dan polimorfik dari *Aspergillus niger* iradiasi dengan primer P-4.

Ukuran pasangan basa	Dosis Radiasi (Gy)				
	Kontrol (0)	500	1000	1500	2000
2500	---	---	---	---	---
1800	---	---	---	---	---
1400	---	---	---	---*	---*
1300	---	---	---	---*	---*
1200	---	---	---	---	---
1175	---	---*	---*	---*	---*
1100	---	---	---	---	---
800	---	---	---	---	---
600	---	---	---	---	---
300	---	---	---	---	---

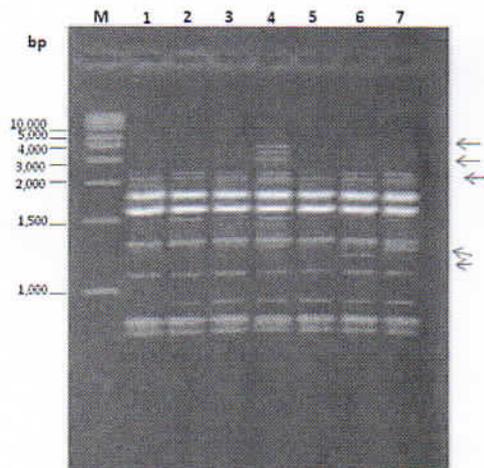
Keterangan :

--- : pita yang muncul pada gel agarose

---\*: pita polimorfik.



Gambar 6. Dendrogram hubungan similaritas genetik isolat *Aspergillus niger* iradiasi dengan menggunakan primer P4  
 Hasil analisis pengelompokan (*cluster analysis*) RAPD-PCR dari primer P1 menggunakan metode *Unweight Pair Group Method Average* (UPGMA) berupa dendrogram pada tingkat kesamaan genetik 50%, isolat *Aspergillus niger* iradiasi membentuk 3 Kelompok. Kelompok A terdiri dari isolat K (0); dan 500 Gy. Kelompok B terdiri dari isolat 1000; dan 2000 Gy. Kelompok C terdiri dari isolat 1500 Gy (Gambar 3.). Sedangkan pengelompokan dari primer P2 pada tingkat kesamaan genetik 89%, isolat *A. niger* iradiasi membentuk 3 kelompok. Kelompok A terdiri dari isolat K (0). Kelompok B terdiri dari isolat 1000 Gy. Kelompok C terdiri dari isolat 1500; dan 2000 Gy. (Gambar 5.). Hasil analisis pengelompokan dari primer P4 pada tingkat kesamaan genetik 83%, isolat *A. niger* iradiasi membentuk 3 kelompok. Kelompok A terdiri dari isolat K (0). Kelompok B terdiri dari isolat 500 Gy; dan 1000 Gy. Kelompok C terdiri dari isolat 1500; dan 2000 Gy. (Gambar 6.). Dari hasil pengamatan diatas, maka mutasi radiasi dari isolat kapang *Aspergillus niger* terjadi mulai dari dosis iradiasi 500 – 2000 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. Hasil analisis keragaman genetik dari isolat *Phanerochaete chrysosporium* radiasi berdasarkan amplifikasi RAPD-PCR menggunakan primer OPA-1, OPA-4, dan OPH-7 juga menunjukkan berbeda (polimorfik) mulai 500; 750, 1000; 1500; dan 2000 Gy (Gambar 7, 9, dan 11 ).



OPA-1, OPA-4, dan pola pita DNA yang dari dosis iradiasi 250, 2000 Gy (Gambar 7, 9,

Gambar 7. Profil DNA RAPD *Phanerochaete chrysosporium* iradiasi hasil amplifikasi dengan PCR menggunakan primer OPA-1 . Lajur 1 (0 Gy); Lajur 2 ( 250 Gy); Lajur 3 (500Gy); Lajur 4 (750 Gy); Lajur 5 (1000 Gy); Lajur 6 (1500 Gy); Lajur 7 (2000 Gy); M (*Marker, 1Kb DNA ladder*).

Semua primer yang digunakan menghasilkan pita polimorfik . Primer OPA 1 mempunyai pita monomorfik pada ukuran 2150; 1300; 1000; 900; 700 dan 500 bp (Tabel. 4). Sedangkan pita polimorfik terdapat pada isolat hasil iradiasi 250 Gy; 500 Gy; 750 Gy; 1000 Gy; 1500 Gy dan 2000 Gy masing-masing berjumlah 1, 1, 4, 1, 3, dan 4 buah.

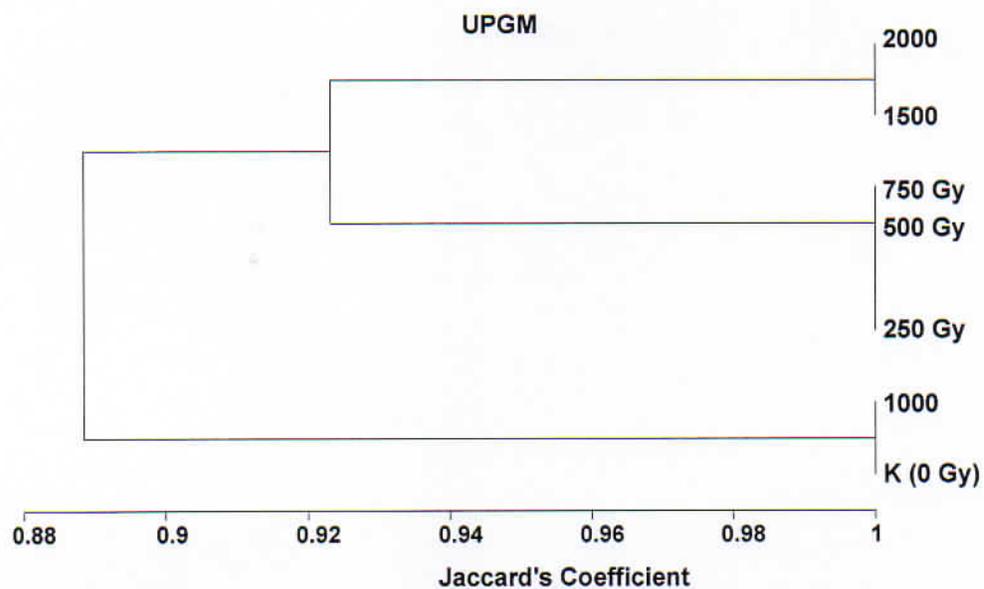
Tabel. 4. Pita monomorfik dan polimorfik dari *Phanerochaete chrysosporium* iradiasi dengan primer OPA-1

Ukuran pasangan basa	Dosis Radiasi (Gy)						
	0 (kontrol)	250	500	750	1000	1500	2000
5000				---			---
4000				---	---	---	---
3500				---			
2200		---	---	---		---	---
2150	---	---	---	---	---	---	---
2100	---						
1300	---	---	---	---	---	---	---
1250							---
1200						---	
1000	---	---	---	---	---	---	---
900	---	---	---	---	---	---	---
700	---	---	---	---	---	---	---
500	---	---	---	---	---	---	---

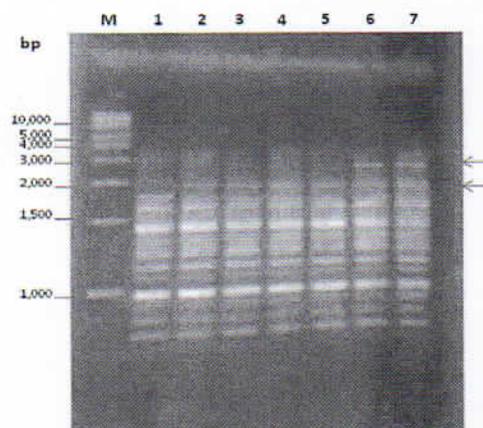
Keterangan :

--- : pita yang muncul pada gel agarose

---\*: pita polimorfik.



Gambar 8. Dendrogram hubungan similaritas genetik isolat *Phanerochaete chrysosporium* iradiasi dengan menggunakan primer OPA1



Gambar 9. Profil DNA RAPD *Phanerochaete chrysosporium* iradiasi hasil amplifikasi dengan PCR menggunakan primer OPA-4 . Lajur 1 (0 Gy); Lajur 2 ( 250 Gy); Lajur 3 (500Gy); Lajur 4 (750 Gy); Lajur 5 (1000 Gy); Lajur 6 (1500 Gy); Lajur 7 (2000 Gy); M (*Marker*, 1Kb DNA ladder).

Tabel 3. Pita monomorfik dan polimorfik dari *Phanerochaete chrysosporium* iradiasi dengan primer OPA-4

Ukuran pasangan basa	Dosis Radiasi (Gy)						
	0 (kontrol)	250	500	750	1000	1500	2000
3000						---	---
2000		---	---	---	---	---	---
1800	---						
1700	---	---	---	---	---	---	---
1400	---	---	---	---	---	---	---
1300	---	---	---	---	---	---	---
1250	---	---	---	---	---	---	---
1100	---	---	---	---	---	---	---
1250	---	---	---	---	---	---	---
1000	---	---	---	---	---	---	---
900	---	---	---	---	---	---	---
700	---	---	---	---	---	---	---
500	---	---	---	---	---	---	---

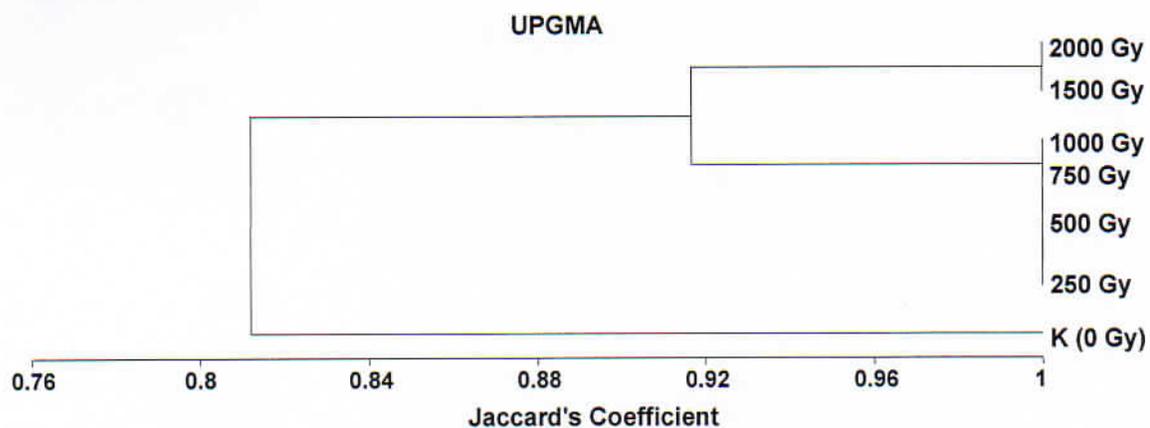
Keterangan :

--- : pita yang muncul pada gel agarose

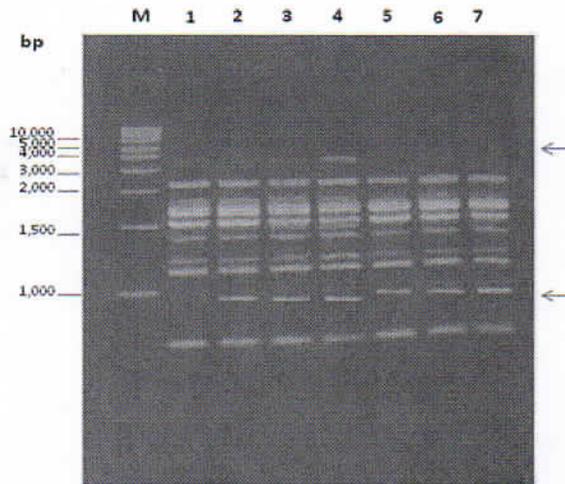
---\*: pita polimorfik.

Primer OPA-4 memiliki pita monomorfik pada ukuran 1700; 1400; 1300; 1250; 1000; 900; 700; dan 500 bp. Sedangkan pita polimorfik terdapat pada isolat hasil iradiasi 250 Gy; 500 Gy; 750 Gy; 1000 Gy; 1500 Gy dan 2000 Gy masing-masing berjumlah 1, 1, 1,

1, 2 dan 2 buah, seperti ditunjukkan Gambar 9 dan Tabel.3. Primer OPH-7 memiliki pita monomorfik pada ukuran 1700; 1600; 1450; 1300; 1250; dan 500 bp. Sedangkan pita polimorfik terdapat pada isolat hasil iradiasi 250 Gy; 500



Gambar 10. Dendrogram hubungan similaritas genetik isolat *Phanerochaete chrysosporium* iradiasi dengan menggunakan primer OPA4.



Gambar 11. Profil DNA RAPD *Phanerochaete chrysosporium* iradiasi hasil amplifikasi dengan PCR menggunakan primer OPH-7 . Lajur 1 (0 Gy); Lajur 2 ( 250 Gy); Lajur 3 (500Gy); Lajur 4 (750 Gy); Lajur 5 (1000 Gy); Lajur 6 (1500 Gy); Lajur 7 (2000 Gy); M (*Marker*, 1Kb DNA ladder).

Gy; 750 Gy;1000 Gy ; 1500 Gy dan 2000 Gy masing-masing berjumlah 1, 1, 2, 1, 1 dan 1 buah, seperti ditunjukkan Gambar 11 dan Tabel.4.

Hasil analisis pengelompokkan (*cluster analysis*) RAPD-PCR dari primer OPA-1 menggunakan metode *Unweight Pair Group Method Average* (UPGMA) berupa dendrogram pada tingkat kesamaan genetik 89%, isolat *Phanerochaete chrysosporium* iradiasi membentuk 3 kelompok . Kelompok A terdiri dari isolat K (0 ); dan 1000 Gy.

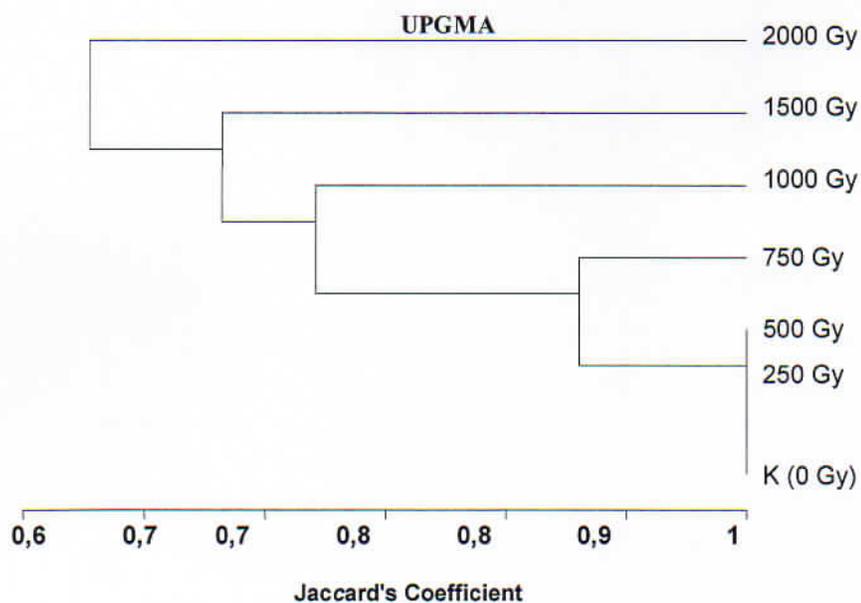
Tabel 4. Pita monomorfik dan polimorfik dari *Phanerochaete chrysosporium* iradiasi dengan primer OPH-7.

Ukuran pasangan basa	Dosis Radiasi (Gy)						
	0 (kontrol)	250	500	750	1000	1500	2000
4000				----*			
2500	---	---	---	---		---	---
1800	---						
1700	---	---	---	---	---	---	---
1600	---	---	---	---	---	---	---
1450	---	---	---	---	---	---	---
1300	---	---	---	---	---	---	---
1250	---	---	---	---	---	---	---
1000		----*	----*	----*	----*	----*	----*
500	---	---	---	---	---	---	---

Keterangan :

--- : pita yang muncul pada gel agarose

----\*: pita polimorfik.



Gambar 12. Dendrogram hubungan similaritas genetik isolat *Phanerochaete chrysosporium* iradiasi dengan menggunakan primer OPH-7.

Kelompok B terdiri dari isolat 250; 500; dan 750 Gy. Kelompok C terdiri dari isolat 1500 dan 2000 Gy (Gambar 8.). Sedangkan pengelompokkan dari primer OPA-4 pada tingkat kesamaan genetik 81%,

isolat *P. chrysosporium* iradiasi membentuk 3 kelompok. Kelompok A terdiri dari isolat K (0 Gy). Kelompok B terdiri dari isolat 250; 500; 750 Gy. Kelompok C terdiri dari isolat 1500 dan 2000 Gy (Gambar 10). Pengelompokan dari primer OPH-7 pada tingkat kesamaan genetik 80%, isolat *P. chrysosporium* iradiasi membentuk 5 kelompok. Kelompok A terdiri dari isolat K (0 Gy); 250; dan 500 Gy. Kelompok B terdiri dari isolat 750 Gy. Kelompok C terdiri dari isolat 1000 Gy. Kelompok D terdiri dari isolat 1500 Gy. Kelompok E terdiri dari isolat 2000 Gy (Gambar 12). Dari hasil pengamatan diatas, maka mutasi radiasi dari isolat kapang *Aspergillus niger* dan *Phanerochaete chrysosporium* masing-masing terjadi mulai dari dosis iradiasi 500 – 2000 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. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan urutan nukleotida pada 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 komplemennya pada cetakan (*template*) DNA yang digunakan. Semakin banyak situs penempelan dari primer yang digunakan, maka semakin banyak jumlah pita DNA yang dihasilkan [8].

Dari sejumlah marka molekuler, ternyata tidak ada mutan yang terdeteksi pada isolat yang mendapat perlakuan dosis iradiasi 250 Gy, karena memiliki profil RAPD yang serupa dengan Kontrol (0 Gy). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh rendahnya dosis sinar  $\gamma$  yang digunakan untuk mutasi [9].

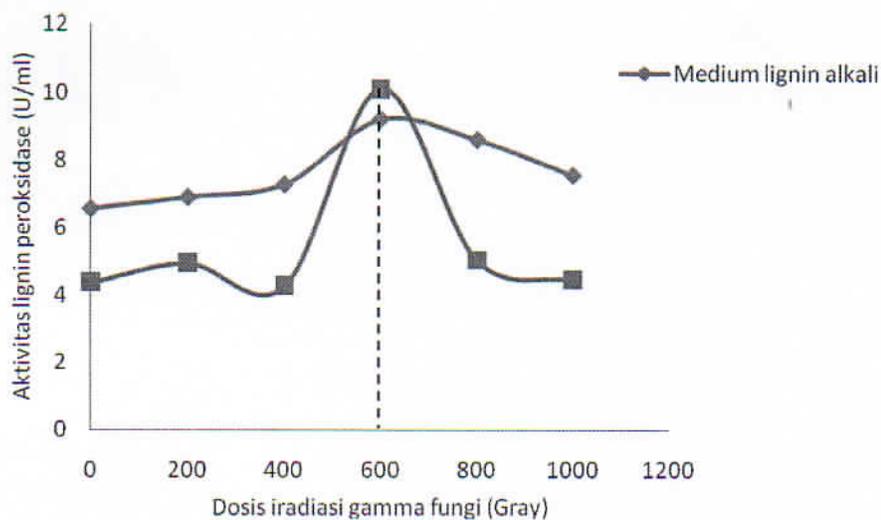
#### - Orientasi Dosis Optimum Iradiasi Gamma Fungi *Phanerochaete chrysosporium*

Kultur *Phanerochaete chrysosporium* ditanam dalam media padat *Potato Dextrose Agar* (PDA) untuk dilakukan proses iradiasi. Dalam media padat, *Phanerochaete chrysosporium* menunjukkan hifa yang berwarna putih. PDA dipilih sebagai medium pertumbuhan *Phanerochaete chrysosporium* agar lebih resisten saat diiradiasi dibandingkan pada media cair *Potato Dextrose Broth* (PDB).

Tahap optimasi produksi enzim dilakukan selama 12 hari dengan menggunakan media substrat kayu jati putih. Kemampuan *Phanerochaete chrysosporium* dalam biodegradasi lignin disebabkan fungi ini mampu menghasilkan enzim lignin peroksidase (LiP), mangan peroksidase (MnP), dan lakase. Dosis optimum iradiasi ditentukan melalui pengujian aktivitas enzim lignin peroksidase (LiP). Analisis aktivitas enzim lignin peroksidase oleh *Phanerochaete chrysosporium* dilakukan pada fermentasi fase cair hari ke 12. Dosis optimum pada *Phanerochaete*

*chryso sporium* dengan dosis iradiasi 0, 200, 400, 600, 800, dan 1000 Gray dapat dilihat pada Gambar 1.

Dalam kemampuannya mendegradasi lignin, enzim peroksidase terlebih dahulu dioksidasi oleh  $H_2O_2$ , yang juga dihasilkan oleh fungi, untuk membentuk zat antara. Zat ini selanjutnya direduksi oleh sebuah elektron dan membentuk zat kedua yang bersifat radikal. Selanjutnya zat kedua mengoksidasi substrat berikutnya dengan satu elektron sehingga siklus katalitis tersebut lengkap. Senyawa veratril alkohol merupakan metabolit sekunder yang juga dihasilkan oleh jamur. Ditemukan bahwa beberapa substrat tertentu yang tidak dapat dioksidasi oleh lignin peroksidase akan teroksidasi jika di dalam campuran inkubasi terdapat veratril alkohol (Fadilah *et al.*, 2008). Dikatakan bahwa  $H_2O_2$  dan veratril alkohol merupakan mediator dalam proses biodelignifikasi (Koduri, 1994). Mekanisme umum reaksi katalitis LiP adalah (Wong, 2009) :



Gambar 1. Grafik hubungan dosis iradiasi dengan aktivitas lignin peroksidase (LiP) pada *Phanerochaete chryso sporium*

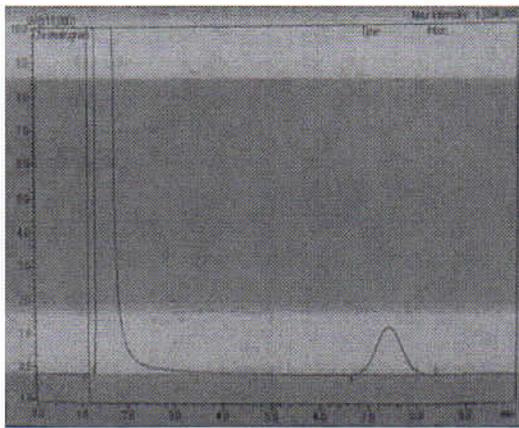
Berdasarkan Gambar 1, puncak dosis iradiasi optimum berada pada dosis 600 Gray di kedua medium dengan aktivitas enzim lignin peroksidase pada masing-masing medium lignin alkali dan substrat kayu jati putih yaitu sebesar 9 U/ml dan 10 U/ml. Hasil uji statistik Duncan memperlihatkan beda nyata pada dosis 600 Gray dengan dosis lainnya pada kedua medium (Lampiran 4).

Hasil penelitian Abo-State *et al.*, 2011, menunjukkan bahwa pengaruh iradiasi gamma terhadap pertumbuhan *P.sajor-caju* terjadi penurunan bertahap pada pertumbuhan diameter cakram miselium *P.sajor-caju* karena dosis radiasi gamma meningkat. Hal ini mungkin dasar penjelasan bahwa variasi dosis radiasi gamma dapat merusak sel DNA, sehingga secara bersamaan dibutuhkan perbaikan DNA dari sejumlah enzim untuk mengembalikan integritas genomik (Abo-State, 1996 & Thacker, 1999). Grafik kelangsungan hidup spora *Phanerochaete chrysosporium* menunjukkan kenaikan viabilitas karena radiasi yang menstimulasi germinasi (Liwicki *et al.*, 1985). Beberapa penelitian (Zolan *et al.*, 1988; Boominathan *et al.*, 1990; Fukuoka *et al.*, 1994; Nam, 2002) menunjukkan bahwa radiasi gamma dapat mengubah struktur genom. Perpindahan energi cahaya tinggi lebih efektif dalam mempengaruhi pengrusakan untai ganda dari pada perpindahan energi rendah.

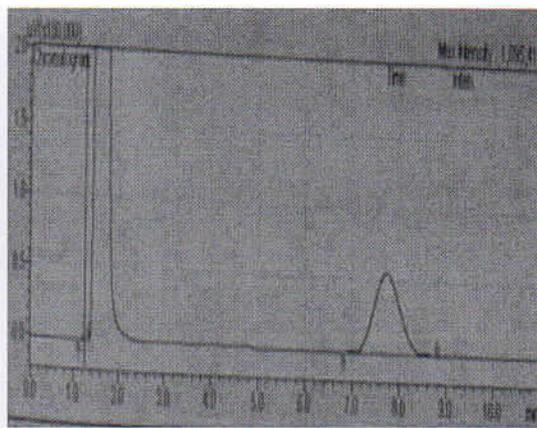
Interaksi sinar gamma dengan suatu sel akan menghasilkan radikal bebas atau spesi oksigen reaktif di antaranya adalah radikal superoksida ( $O_2^{\cdot-}$ ), radikal hidroksil ( $OH^{\cdot}$ ), dan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) (Salter dan Hewitt, 1992). Radikal bebas tersebut dapat mengganggu struktur dan fungsi dari komponen sel sehingga memicu terjadinya stres oksidatif. Sebagai akibat dari stress yang ditimbulkan, sel tersebut akan mengembangkan mekanisme proteksi untuk melawan efek oksigen reaktif dengan menghasilkan enzim yang lebih banyak (Sreedhar *et al.*, 2013). Lydia *et al.*, 1994, juga menyatakan bahwa mutasi akibat radiasi menyebabkan fungsi terstimulasi kemudian memperbaiki bagian terinduksi untuk menghasilkan enzim yang lebih banyak daripada sebelum diradiasi.

- Kurva Standar Benzena dan Toluena

Pembuatan kurva standar ditujukan untuk menentukan korelasi antara konsentrasi dan respon area dari senyawa yang terukur. Kurva standar untuk benzena menggunakan konsentrasi; 1000, 2000, 3000, 4000 dan 5000 ppm dengan pelarut etanol. Pada Gambar 2 dan 3 ditunjukkan kromatografi larutan kalibrasi benzena yang memperoleh persamaan :  $Y=114,1X-95,09$ ;  $R^2=0,972$ . (Gambar 4).

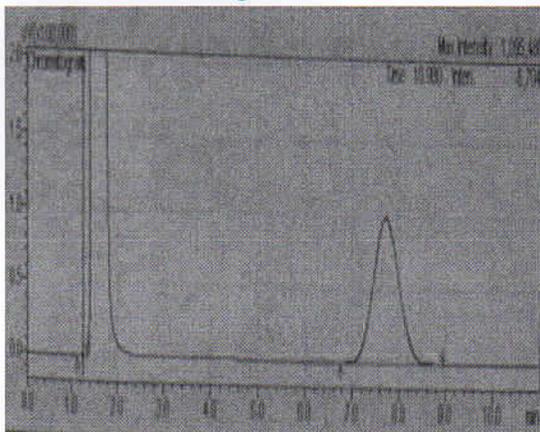


Larutan kalibrasi 10000 ppm

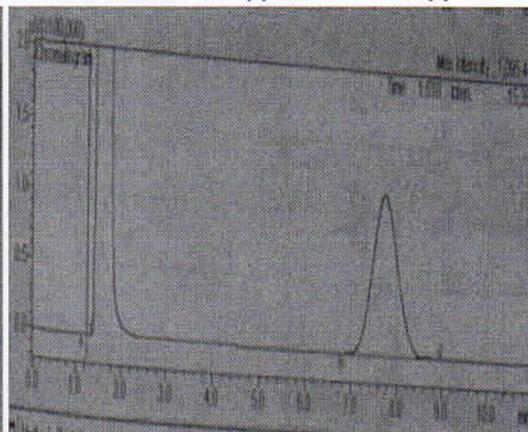


Larutan kalibrasi 20000 ppm

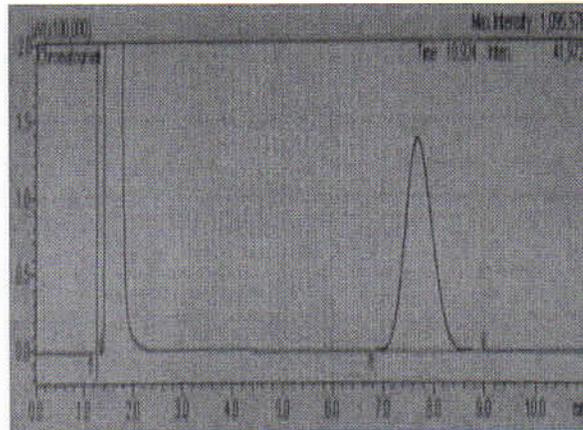
**Gambar 2. Kromatografi larutan kalibrasi konsentrasi benzene 1000 ppm dan 2000 ppm**



Larutan kalibrasi 30000 ppm

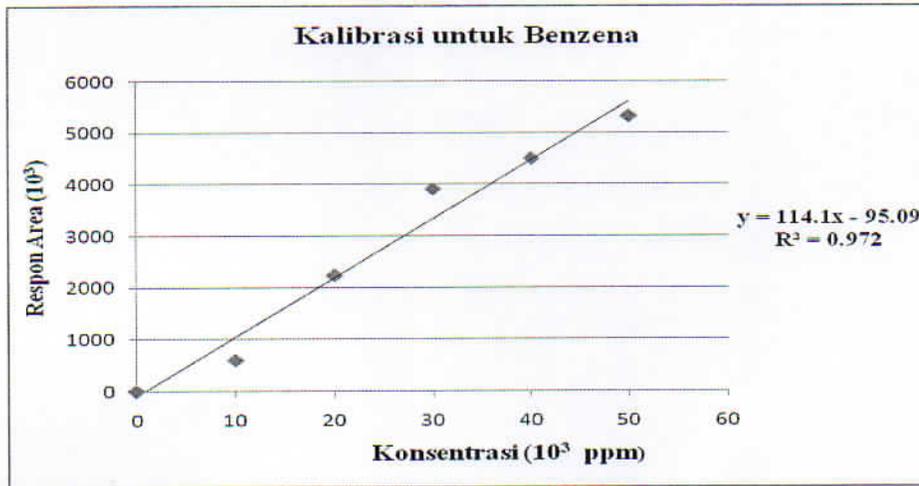


Larutan kalibrasi 40000 ppm



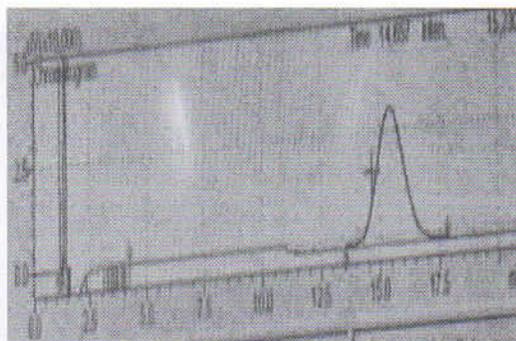
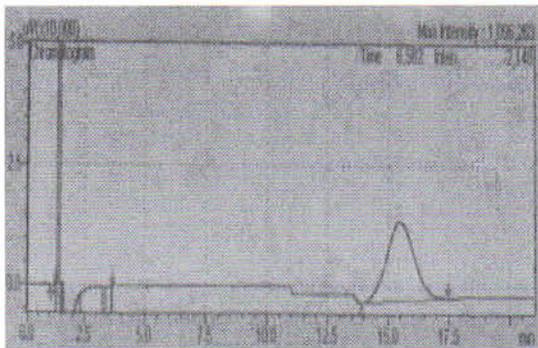
Larutan kalibrasi 5000 ppm

Gambar 3. Kromatografi larutan konsentrasi benzene 3000 ppm,4000 ppm dan 5000 ppm



Gambar 4. Kurva standar untuk benzene

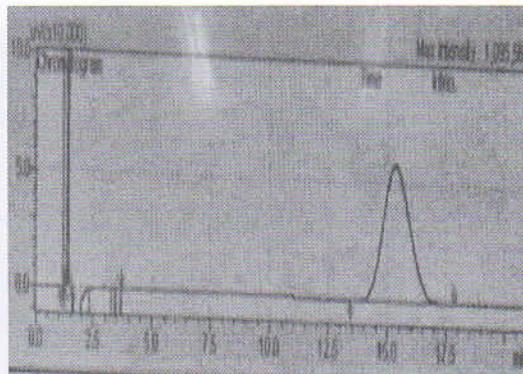
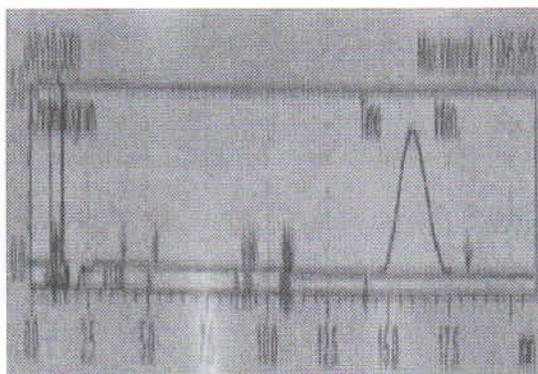
Kurva standar untuk toluene menggunakan konsentrasi; 10000,20000, 30000, 40000 dan 50000 ppm dengan pelarut etanol. Pada Gambar 5,6 dan 7 ditunjukkan kromatografi larutan kalibrasi benzene yang memperoleh persamaan :  $Y=115,9X+ 126,4 ;R^2=0,997$ . (Gambar 8).



Kromatografi toluena 10000 ppm

kromatografi toluena 20000 ppm

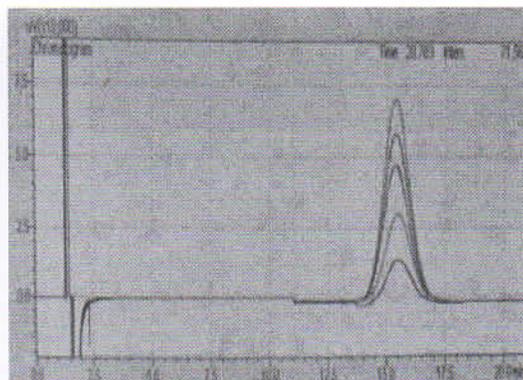
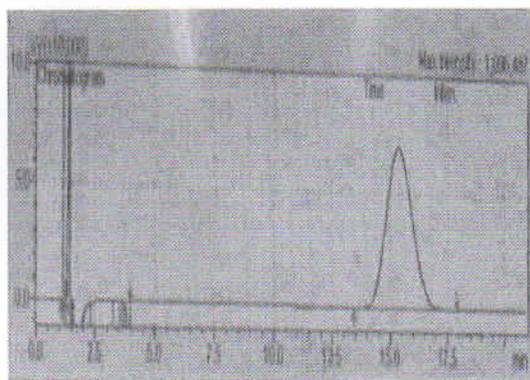
**Gambar 5. Kromatografi larutan kalibrasi toluena 10000 ppm dan 20000 ppm**



Kromatografi toluene 30000 ppm

Kromatografi toluene 40000 ppm

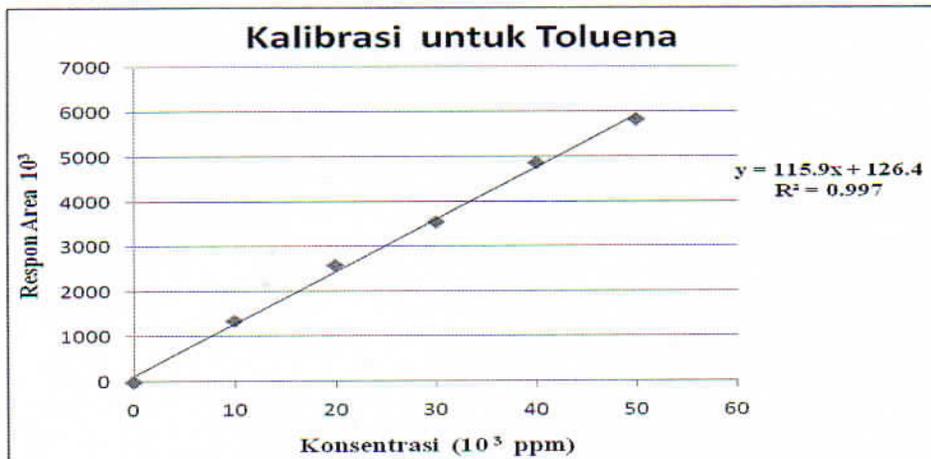
**Gambar 6. Kromatografi larutan kalibrasi toluene 30000 ppm dan 40000 ppm.**



Kromatografi toluene 50000 ppm

Kromatografi toluene 10000-50000 ppm

**Gambar 7. Kromatografi larutan kalibrasi toluene 10000 ppm – 50000 ppm.**

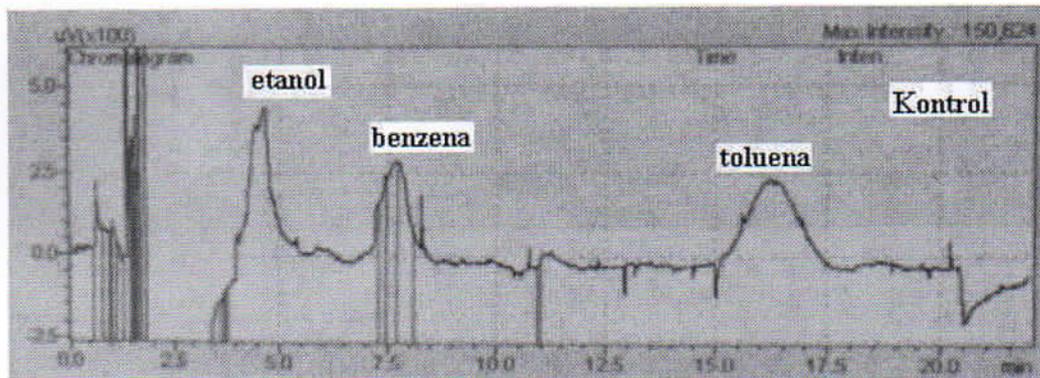


Gambar 8 Kurva standar untuk toluene.

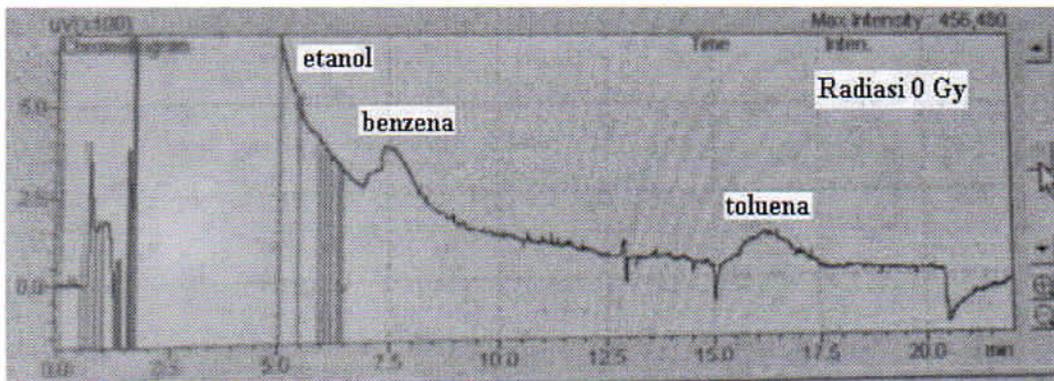
Kurva standar benzena diperoleh dengan  $R^2 = 0,972$  dan toluena dengan  $R^2 = 0,997$ . Hal ini menunjukkan bahwa pengukuran secara simultan menggunakan *Gas Chromatography* (GC-MS Shimadzu 14B) dapat dilakukan menggunakan pelarut etanol.

#### - Degradasi benzene dan Toluena

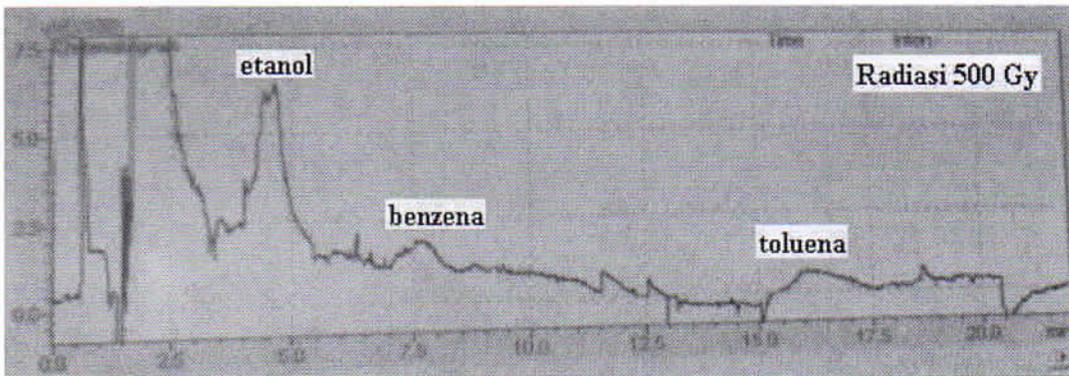
Pada Gambar 9, 10, 11, 12, 13 dan 14 ditunjukkan kromatografi kandungan benzene dan toluene yang didegradasi oleh *P. chrysosporium* pada kontrol dan yang diradiasi dengan dosis : 0, 500, 1000, 1500 dan 2000 Gy.



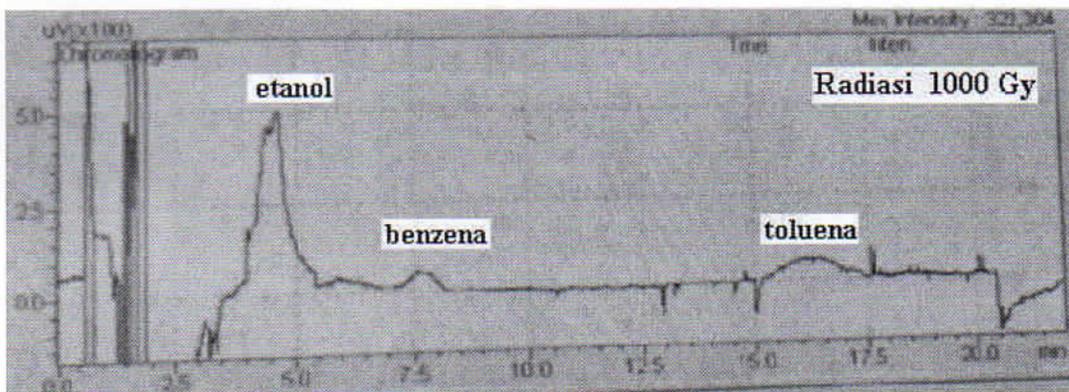
Gambar 9. Kromatografi benzene –toluena pada kontrol.



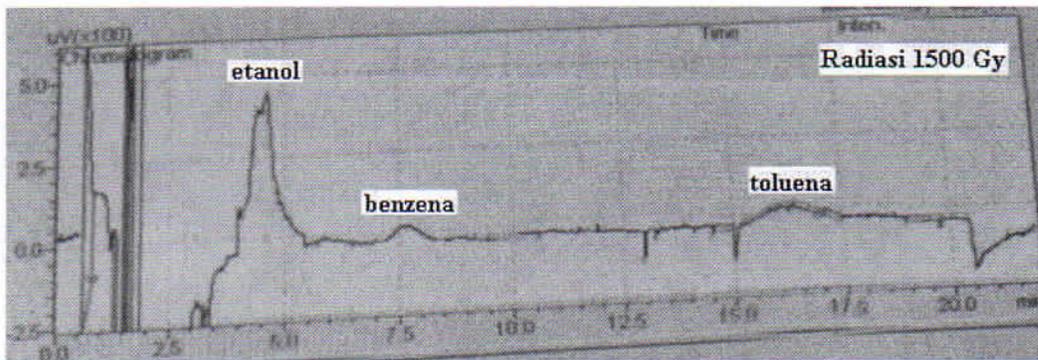
Gambar 10. Kromatografi benzena –toluena degradasi *Phanerochaete chrysosporium* Diradiasi sinar gamma dosis 0 Gy



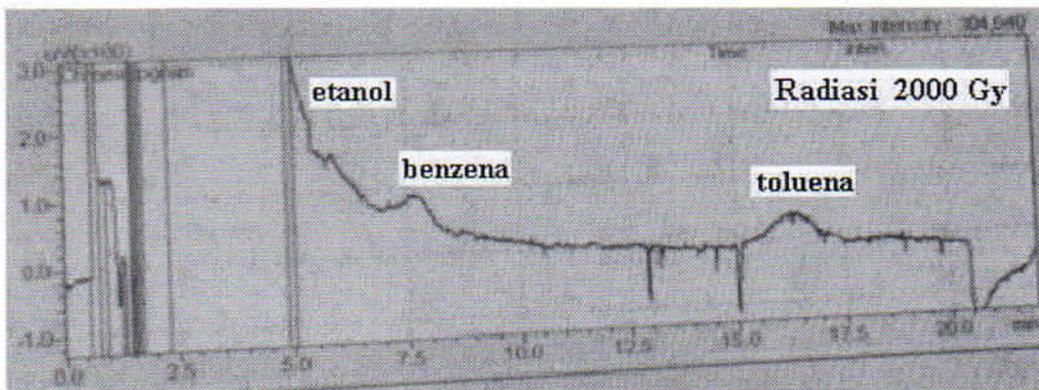
Gambar 11.. Kromatografi benzena –toluena degradasi *Phanerochaete chrysosporium* Diradiasi sinar gamma dosis 500 Gy



Gambar 12.. Kromatografi benzena –toluena degradasi *Phanerochaete chrysosporium* Diradiasi sinar gamma dosis 1000 Gy



Gambar 13. Kromatografi benzena –toluena degradasi *Phanerochaete chrysosporium* Diradiasi sinar gamma dosis 1500 Gy



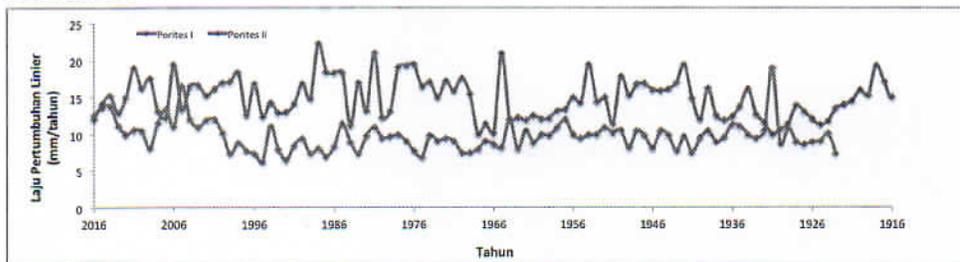
Gambar 14. Kromatografi benzena –toluena degradasi *Phanerochaete chrysosporium* Diradiasi sinar gamma dosis 2000 Gy

Hasil degradasi benzena dan toluena selama 5 hari menggunakan *Phanerochaete chrysosporium* yang diradiasi sinar Gamma dengan dosis 1000 Gy memberikan efisiensi degradasi yang optimal yakni sebesar yakni 77,2% untuk degradasi Benzena dan 65,3% untuk degradasi Toluena. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh bahwa *Phanerochaete chrysosporium* mendegradasi polutan benzene dan toluene pada kondisi kultur non-lignonilitik yakni ketika enzim ekstraseluler (LiP) tidak produktif ( J.S.Yadav et.al., 1993). Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa *Phanerochaete chrysosporium* pada kondisi lignonilitik akan memberikan peningkatan aktivitas enzim LiP dan mencapai maksimum ketika diberikan stimulasi radiasi sinar Gamma dengan dosis 600 Gy. Pada dosis 1000 Gy aktivitas enzim LiP mengalami penurunan yang signifikan.

### 3. Aplikasi teknik nuklir untuk geokronologi pencemaran dan rekonstruksi perubahan iklim menggunakan terumbu karang *Porites* Sp daerah Indonesian Through Flow pesisir Wakatobi , Sulawesi Tenggara.

#### Hasil dan pembahasan

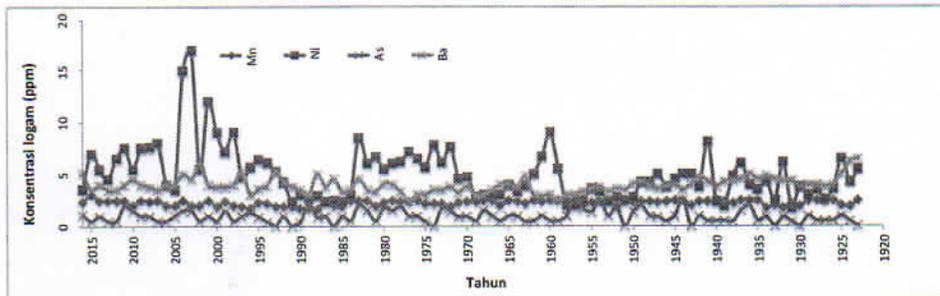
1. Analisis umur dan laju pertumbuhan karang. Hasil radiografi sinar-X untuk P1 dan P2 memberikan informasi bahwa arah pertumbuhan karang tegak lurus (vertikal), hal ini sesuai dengan teknik pengambilan sampel yang diambil pada bagian tengah karang dan dibor tegak lurus. Umur karang P1 dan P2 adalah berturut-turut 94 tahun dan 102 tahun. Laju pertumbuhan linier rata-rata, pertumbuhan maksimum dan minimum untuk P1 adalah  $0,98 \pm 0,2$  cm/tahun, 1,90 cm dan 0,63 cm dan P2 adalah  $1,50 \pm 0,28$  cm/tahun, 2,23 cm dan 1,0 cm. Hasil analisis laju pertumbuhan dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 3.2.** Laju pertumbuhan karang *Porites* P1 dan P2 pesisir Wakatobi.

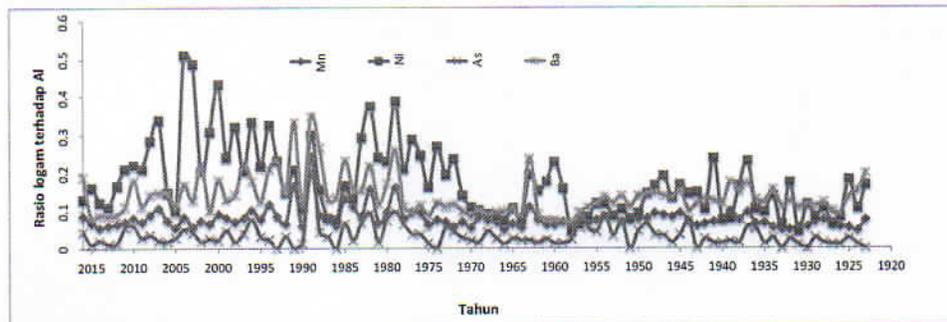
Seperti terlihat pada Gambar 2, tidak terlihat adanya kenaikan atau penurunan laju pertumbuhan untuk P1 dan P2. Namun dari karang P1 dan P2 terlihat bahwa karang P1 memiliki laju pertumbuhan yang hampir konstan, sedangkan karang P2 mengalami fluktuasi laju pertumbuhan yang cukup besar. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh posisi pengambilan sampel *Porites* I yang lebih dekat ke pantai dibandingkan dengan *Porites* II. Sehingga *Porites* II mengalami fluktuasi karena dipengaruhi oleh dominan arus laut lepas yang berkaitan dengan arus Indonesian Through Flow (ITF), sedangkan *Porites* I di dominasi oleh arus pantai (dekat dengan daratan).

2. Kandungan polutan logam berat (geo-kronologi). *Porites* P1 digunakan untuk kajian geokronologi pencemaran sesuai dengan posisinya yang dekat dengan daratan yang diasumsikan menjadi sumber bahan pencemar. Hasil analisis logam berat Mn, Ni, As dan Ba dapat dilihat pada Gambar 3. Logam Mn dan Ni menunjukkan pola yang meningkat sejak 50 tahun ke belakang, sedangkan Ba dan As tidak menunjukkan peningkatan akan tetapi hanya berfluktuasi pada rentang waktu 100 tahun (Gambar 3).



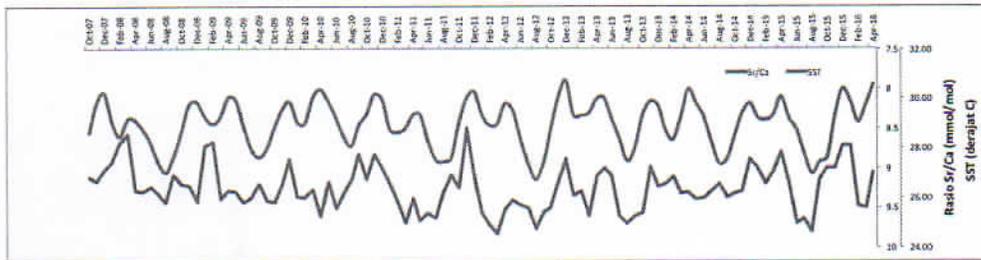
**Gambar 3.3.** Kandungan logam berat Mn, Ni, As dan Ba karang Potires P1.

Adanya peningkatan kandungan polutan pada suatu perairan dapat ditentukan dengan menghitung rasio logam tersebut terhadap logam konservatif, dalam hal ini digunakan Aluminium (Al). Rasio dari masing-masing logam Mn, Ni, As dan Ba dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan rasio dari masing-masing logam terlihat bahwa peningkatan kandungan polutan terjadi mulai dari sekitar tahun 1970-an hingga 2016. Namun dari nilai rasio yang didapatkan untuk semua unsur adalah lebih kecil dari satu ( $< 1$ ) yang berarti kategori tercemar ringan. Perbandingan nilai rasio yang diperoleh adalah  $Ni > Ba > Mn > As$ .



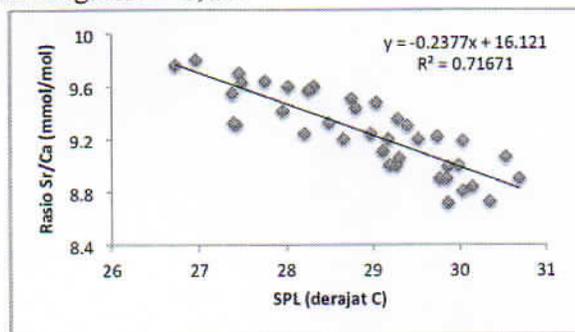
**Gambar 3.4.** Rasio logam Mn, Ni, As dan Ba terhadap Al.

3. Kajian suhu permukaan laut berdasarkan rasio Sr/Ca. Pada penelitian ini digunakan *Porites* P2 dengan asumsi karena titik pengambilan sampel lebih jauh dari daratan, sehingga diharapkan karang hanya merekam suhu permukaan laut yang berkaitan dengan ITF. Hal ini sesuai dengan tujuan penelitian untuk rekonstruksi suhu permukaan laut di daerah ITF. Hasil analisis rasio Sr/Ca dan kaitannya dengan suhu permukaan laut dapat dilihat pada Gambar 5. Pola perubahan rasio Sr/Ca dengan SPL memberikan pola yang hampir sama dimana pada setiap tahun mengalami suhu tinggi dan suhu rendah yang mengikuti pola musim. Rentang rasio Sr/Ca adalah antara 7,8 mmol/mol dan 9,7 mmol/mol, yang setara dengan rentang SPL antara 27°C dan 31°C.



**Gambar 3.5.** Rasio Sr/Ca dan suhu permukaan laut (SPL) daerah pesisir Taman Nasional Wakatobi.

Korelasi antara SPL dan rasio Sr/Ca dapat dilihat pada Gambar 6. Regresi linier antara kedua parameter tersebut adalah  $Sr/Ca \text{ (mmol/mol)} = -0,24SPL \text{ (}^{\circ}\text{C)} + 16,12$  dengan koefisien regresi  $r = 0,85$ .



**Gambar 3.6.** Korelasi antara rasio Sr/Ca terhadap suhu permukaan laut (SPL).

## KESIMPULAN

Terkait Pemanfaatan teknik radionuklida jatuhan untuk mempelajari dan mendapatkan parameter/komponen yang diperlukan dalam membangun model sedimen budget daerah aliran sungai (DAS) .

1. Aktivitas Pb-210 excess dan Cs-137 pada sampel tanah permukaan di beberapa tataguna lahan mempunyai aktivitas bervariasi dari 3,09 s/d 35,2 Bq/kg dan 0,61 s/d 1,59 Bq/kg..
2. Kandungan % (persen) organik karbon bervariasi dari kisaran 1 s/d 5,5% yang relatif lebih rendah dibanding daerah sub DAS Ciberang dengan kisaran 2% s/d 8,6 %.

3. Dengan mengacu pada nilai inventori pembandingan di daerah Pasir Jaya, Cijeruk-Bogor dapat diketahui adanya titik erosi dan deposisi pada satu transek, dengan estimasi laju erosi bervariasi dari – 5 ton/ha/th s/d -30 ton/ha/th.
4. Profil Pb-210 excess terhadap kedalaman ini tidak menunjukkan penurunan secara eksponensial, akan tetapi naik turun tidak beraturan, sehingga hanya mungkin dihitung dengan menggunakan model *constant rate of supply* (CRS). Laju sedimentasi endapan di daratan banjir yang terletak di kampung Kedung Agung, kecamatan Kalanganyar pada posisi 06° 21' 41,3" S dan 106° 12' 19,3" BT bervariasi terhadap kedalaman dari 4,38 kg/m<sup>2</sup>/th sampai 120 kg/m<sup>2</sup>/th dengan rata-rata adalah 33,47 kg/m<sup>2</sup>/th.

**Terkait penerapan teknik radiasi sebagai sarana teknologi dalam meningkatkan kemampuan mikroba fungsional untuk meremediasi lahan terdegradasi dan atau tercemar.**

1. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa isolat *Aspergillus niger* dan *Phanerochaete chrysosporium*, iradiasi pada dosis 1000 Gy memiliki perbedaan karakteristik morfologis dibandingkan dengan isolat Kontrol (0 Gy).
2. Dari hasil analisis molekular menggunakan marka RAPD-PCR, maka mutasi radiasi dari isolat kapang *Aspergillus niger* dan *Phanerochaete chrysosporium* terjadi mulai dari dosis iradiasi 500 – 1000 Gy.
3. *Phanerochaete chrysosporium* yang diradiasi dengan dosis 1000 Gy memberikan efisiensi degradasi yang optimal, yakni 77,2% untuk degradasi Benzena dan 65,3% untuk degradasi Toluena.

**Terkait aplikasi teknik nuklir untuk geokronologi pencemaran dan rekonstruksi perubahan iklim menggunakan terumbu karang *Porites* Sp daerah Indonesian Through Flow pesisir Wakatobi , Sulawesi Tenggara.**

1. Laju pertumbuhan rata-rata karang P1 dan P2 adalah  $0,98 \pm 0,2$  cm/tahun dan P2 adalah  $1,50 \pm 0,28$  cm/tahun. P2 lebih tinggi dari P1 kemungkinan disebabkan oleh posisi tumbuhnya P2 berada pada daerah yang lebih jauh dari pengaruh daratan. Laju pertumbuhan tidak memberikan respon terhadap naiknya suhu global, akan tetapi lebih dipengaruhi oleh perubahan iklim seperti El-nino.

2. Logam berat Mn, Ni, As dan Ba mengalami peningkatan konsentrasi di daerah Wakatobi yang teridentifikasi peningkatannya mulai tahun 1970-an hingga saat ini, dengan tingkat pencemaran ringan.
3. Korelasi suhu permukaan laut dengan rasio Sr/Ca diperoleh  $Sr/Ca \text{ (mmol/mol)} = -0,24SPL (^{\circ}C) + 16,12$  dengan koefisien regresi  $r = 0,85$ .

## DAFTAR PUSTAKA

1. "Rencana Tindak DAS Ciujung", laporan Utama 1 BP DAS Ciliwung-Citarum, 2010.
2. BAROKAH A. Dkk, " Pengembangan Fallout radionuklida untuk penentuan model sedimen budget di DAS Cisadane", Laporan teknis, PAIR-BATAN, 2013
3. WALLING D.E. dan COLLINS A.L., "Integrated Assessment of Catchment Sediment Budgets: A technical Manual", University of Exeter, England 2000.
4. BAROKAH A, dkk," Pengembangan Aplikasi perunut dan Isotop Alam untuk membangun sedimen budget daerah aliran sungai (DAS) Ciujung", laporan teknis, PAIR-BATAN, 2015.
5. DU, P. and WALLING D.E., "Using  $^{210}Pb$  measurement to estimate sedimentation rates of river floodplains", *Journal of Environment radioactivity* 103 (2012) 59-75.
6. PUTYRSKAYA P., et. Al, 'Dating of sediment from four Swiss prealpine lakes with  $^{210}Pb$  determined by gamma spectrometry; progress and problems", *Journal of Environment radioactivity* 145 (2015) 78-94.
7. Arman, A., Pratikno, B., dan Sugiharto, U., 2014 "Geokronologi Polutan Logam Berat dengan Teknik Nuklir terhadap Sedimen di Daerah Pesisir Suralaya, Provinsi Banten", Telah diterima untuk terbit di *Jurnal Segara*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Suberdaya Laut dan Pesisir, BALITBANG Kelautan dan Perikanan, KKP.
8. Arman, A., Zamani N.P, dan Watanabe, T., 2013 "Studi Penentuan Umur dan Laju Pertumbuhan Terumbu Karang terkait dengan Perubahan Iklim Ekstrim Menggunakan Sinar-X", *Jurnal Ilmiah Isotop dan Radiasi*, Vol 9, No.1, Juni 2013.
9. Cahyarini S.Y., M.Pfeiffer, dan W-Chr.Dullo, 2009. *Calibration of the Multicores Sr/Ca records-Sea Surface Temperature: Records from Tahiti Corals (French Polynesia)*, *International Journal of Earth Sciences*, 98: 31-40
10. Charles, C.D., Hunter D. E., Fairbanks R. G., 1997, " *Interaction Between the ENSO and the Asian Monsoon in a Coral Record of Tropical Climate*" [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org), SCIENCE, VOL. 277.
11. Clark, R.B., 1986. *Marine Pollution*. Claredon Press, Oxford.
12. Helmle KP, Kohler KE, and Dodge RE. 2002. *Relative optical densitometry and the Coral X-radiograph densitometry system: Coral XDS*. Presented Poster, Int Soc Reef Studies European Meeting, Cambridge, England, Sept. 4-7, 2002.