

**METAGENOMIK BAKTERI PADA BIOFILM KOLAM
PENYIMPANAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS:
IMPLIKASINYA TERHADAP BIOKOROSI**

DYAH SULISTYANI RAHAYU



**PROGRAM STUDI BOKIMIA
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Metagenomik Bakteri pada Biofilm Kolam Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas: Implikasinya Terhadap Biokorosi” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Riset kolaborasi IPB dan BRIN ini merupakan bagian dari riset Rumah Program Hasil Inovasi Teknologi Nuklir (RP HITN) BRIN 2022/2023 dengan judul besar *Microbial Infused Corrosion* di Fasilitas Nuklir di Indonesia. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2024

Dyah Sulistyani Rahayu
G8501221001

ABSTRAK

DYAH SULISTYANI RAHAYU. Metagenomik Bakteri pada Biofilm Kolam Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas: Implikasinya Terhadap Biokorosi. Dibimbing oleh LAKSMI AMBARSARI, IRAWAN SUGORO dan WARAS NURCHOLIS.

Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas adalah instalasi untuk menyimpan bahan bakar nuklir bekas. Kolam penyimpanan bahan bakar nuklir harus bebas dari kontaminasi mikroorganisme penyebab korosi seperti Bakteri Pereduksi Sulfat (SRB, *Sulfate Reducing Bacteria*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor fisika kimia dan kuantifikasi mikroorganisme air, serta menganalisis biofilm pada permukaan rak, dinding, dan lantai kolam. Identifikasi keanekaragaman bakteri biofilm dan jalur metabolisme dilakukan melalui *Next Generation Sequencing* (NGS) dengan fokus pada bakteri yang berpotensi menyebabkan korosi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas kimia air di kolam masih dalam batas yang sesuai dengan ketentuan Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA, International Atomic Energy Agency), kecuali total bakteri. Jumlah bakteri secara umum paling tinggi ditemukan di lantai, begitu juga dengan kuantifikasi SRB melalui SRB kit. Berdasarkan identifikasi taksonomi, biofilm pada rak memiliki jumlah taksa yang paling banyak, dibandingkan dengan lantai dan dinding kolam. Komunitas bakteri pada rak pada tingkat filum didominasi oleh Proteobacteria, Firmicutes, dan Chloroflexi. Chloroflexi menyusun sebagian besar komunitas bakteri di lantai kolam, sedangkan pada dinding, Chloroflexi dan Proteobacteria mendominasi dengan seimbang. Analisis jalur metabolisme lebih lanjut mengkonfirmasi aktivitas *Microbial Influenced Corrosion* (MIC) dalam biofilm melalui keberadaan jalur yang berhubungan dengan MIC.

ABSTRACT

DYAH SULISTYANI RAHAYU. Bacterial Metagenomics in the Biofilm of Spent Nuclear Fuel Storage Pools: Implications for Biocorrosion. Supervised by LAKSMI AMBARSARI, IRAWAN SUGORO and WARAS NURCHOLIS.

The Interim Storage of Spent Nuclear Fuel is an installation for temporarily storing spent nuclear fuel that must be free from corrosion-causing microorganisms such as Sulfate-Reducing Bacteria (SRB). This research aims to analyze water physicochemical characteristics, quantify water microorganisms, and analyze biofilms on the pool's rack, wall and floor surface. The biofilm diversity analysis along with their metabolic pathways analysis was performed using Next Generation Sequencing (NGS) with a focus on bacteria with corrosion potential. The results showed that the water physicochemical quality was within limits, according to the International Atomic Energy Agency, except for the total bacteria. In general, the highest number of bacteria was found on the floor, as was the SRB quantification via the SRB kit. Based on taxonomic

identification, the biofilm on the rack had the highest number of taxa, compared to the floor and walls of the pool. Proteobacteria, Firmicutes, and Chloroflexi dominated the bacterial community on the rack at the phylum level. Chloroflexi constituted most of the bacterial community on the pool floor, whereas Chloroflexi and Proteobacteria dominated equally on the walls. Moreover, metabolic pathway analysis further confirmed the activity of Microbial Influenced Corrosion (MIC) in biofilms through the presence of MIC-related pathways.

Kata kunci: Bahan Bakar Nuklir Bekas, Biofilm, Biokorosi, NGS

Keywords: Biofilm, Microbial Influenced Corrosion, NGS, Spent Nuclear Fuel

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

**METAGENOMIK BAKTERI PADA BIOFILM KOLAM
PENYIMPANAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS:
IMPLIKASINYA TERHADAP BIOKOROSI**

DYAH SULISTYANI RAHAYU

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Biokimia

**PROGRAM STUDI BIOKIMIA
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

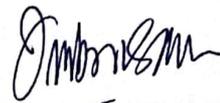
Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Prof. Dr. Ir. I Made Artika, M.App.Sc.

Judul Tesis : Metagenomik Bakteri pada Biofilm Kolam
Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas:
Implikasinya Terhadap Biokorosi
Nama : Dyah Sulistyani Rahayu
NIM : G8501221001

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Laksmi Ambarsari, M.S



Pembimbing 2:
Dr. Irawan Sugoro, M.Si

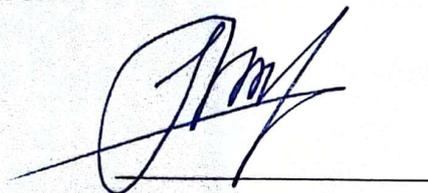


Pembimbing 3:
Dr. Waras Nurcholis, M.Si



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. drh. Hasim DEA
NIP. 196110328 198601 1 002



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam:
Dr. Berry Juliandi, S.Si., M.Si
NIP. 19780723100711001



Tanggal Ujian: 10 Juni 2024

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat beserta karunia-Nya, penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan penyusunan tesis yang berjudul “Metagenomik Bakteri pada Biofilm Kolam Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas: Implikasinya Terhadap Biokorosi”. Penelitian ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan tesis pascasarjana. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendoakan penulis dalam pelaksanaan penyusunan penelitian. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada Prof. Dr. Laksmi Ambarsari, MS selaku Ketua, Dr. Irawan Sugoro, M.Si dan Dr. Waras Nurcholis, M.Si selaku anggota komisi pembimbing, yang telah memberikan arahan dan bimbingannya dengan baik kepada penulis. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Direktur Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran beserta staf dari Instalasi Penyimpanan bahan Bakar Nuklir Bekas, Kepala Pusat Riset Teknologi Proses Radiasi beserta staf dan Kepala Pusat Manajemen Talenta Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah memberikan ijin untuk melakukan penelitian dengan dukungan dana penelitian yang diberikan. Ungkapan terima kasih tidak lupa diucapkan penulis kepada ibunda, suami dan anak-anak tercinta (Danang, Almas, Intan dan Amanda) atas segala doa yang terus dipanjatkan serta dukungan moril maupun materil yang telah diberikan bagi penulis dan kepada teman-teman Departemen Biokimia angkatan 2022 atas segala doa, bantuan, dan dukungan yang diberikan.

Akhir kata, semoga penelitian ini dapat bermanfaat baik bagi BRIN dan kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juni 2024

Dyah Sulistyani Rahayu

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Hipotesis	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Fasilitas Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas	4
2.2 Mekanisme biokorosi	5
2.3 Pembentukan Biofilm	7
2.4 Kelimpahan Bakteri yang toleran terhadap radiasi	8
2.5 Next Generation Sequencing	9
III METODE	11
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	11
3.2 Alat dan Bahan	11
3.3 Prosedur Kerja	11
3.3.1 Pengambilan sampel dan analisis fisika kimia air	11
3.3.2 Pembuatan medium dan analisis total bakteri	13
3.3.3 Analisis data	14
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Hasil	16
4.1.1 Parameter Kimia Fisika Air	16
4.1.2 Kelimpahan Total Bakteri BPRS pada Sampel dan Biofilm	16
4.1.3 Analisis data	17
4.2 Pembahasan	20
4.2.1 Kondisi Fisika Kimia Air dan Pertumbuhan Bakteri	20
4.2.2 Keragaman Komunitas Bakteri dalam Biofilm	21
4.2.3 Struktur Komunitas Bakteri dalam Biofilm	23
4.2.4 Prediksi Jalur Metabolisme Bakteri terkait MIC	25
V SIMPULAN DAN SARAN	28
5.1 Simpulan	28
5.2 Saran	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	41

DAFTAR GAMBAR

1	Kolam penyimpanan BBNB, Rak BBNB, BBNB	4
2	Ilustrasi skematis korosi yang disebabkan mikroba	5
3	Alat-alat yang digunakan dalam penelitian	12
4	Posisi pengambilan sampel air dan <i>swab</i> biofilm	12
5	Alur pemrosesan data genomik hasil NGS	15
6	Jumlah bacaan yang didapatkan dari tiap tahap pemrosesan data NGS	17
7	Komposisi mikroba biofilm pada tingkat filum dan spesies	19
8	Penggambaran OTU unik dan umum di antara sampel dari situs yang berbeda pada tingkat filum, dan genus	19
9	Kelimpahan jalur metabolisme terprediksi dari beragam bakteri dari ketiga sampel pada lingkup umum dan terkait MIC	20
10	Prediksi struktur komunitas biofilm	25
11	Jalur reduksi asimilasi dan disimilasi sulfat	27

DAFTAR TABEL

1	Penelitian tentang biokorosi di instalasi nuklir di beberapa negara	6
2	Tampilan tabung dan estimasi jumlah bakteri	14
3	Intepretasi hasil (berdasarkan riset Biosan <i>Laboratory</i>)	14
4	Hasil pengukuran fisika-kimia air kolam	16
5	Kuantifikasi kelimpahan bakteri pada air kolam dan biofilm	16
6	Indeks diversitas alfa sampel rak, lantai, dan dinding kolam	17
7	Matriks jarak disimilaritas antar sampel melalui metode Bray-Curtis dan <i>weighted</i> Unifrac	18

DAFTAR LAMPIRAN

1	Alur strategi penelitian	41
2	Hasil ekstraksi dan elektroforesis	42
3	Identifikasi hasil NGS bakteri pada tingkat filum	43
4	Identifikasi hasil NGS bakteri pada tingkat genus	44
5	Prediksi jalur metabolisme	55