

# PENGARUH DOSIS IRADIASI BERKAS ELEKTRON TERHADAP BEBERAPA PARAMETER LINGKUNGAN DARI LIMBAH CAIR INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT

**M Yazid, Zainul Arifin**

*Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan  
Badan Tenaga Nuklir Nasional*

## ABSTRAK

*PENGARUH DOSIS IRRADIASI BERKAS ELEKTRON TERHADAP BEBERAPA PARAMETER LINGKUNGAN DARI LIMBAH CAIR INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT. Telah dilakukan penelitian pengaruh dosis iradiasi berkas elektron terhadap parameter fisikokimia lingkungan yang meliputi BOD, COD, DO dan pH serta parameter mikrobiologi khususnya populasi bakteri dari limbah cair industri penyamakan kulit. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan data beberapa parameter lingkungan tersebut yang diharapkan dapat digunakan sebagai data masukan dalam pembuatan rancangan sistem pengolahan limbah cair industri tersebut. Sampel limbah diperoleh dari salah satu industri penyamakan kulit di Yogyakarta, sedangkan iradiasi dilakukan menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 keV/10 mA dengan variasi dosis 5 – 30 kGy. Kemudian dilakukan pengukuran BOD, COD, DO dan pH serta perhitungan populasi bakteri. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perlakuan iradiasi berkas elektron mengakibatkan penurunan kadar BOD tertinggi pada dosis iradiasi 30 kGy yang mencapai 58 % untuk BOD dan 48 % untuk COD. Selain itu, juga mengakibatkan terjadinya penurunan populasi bakteri pada dosis 5 – 15 kGy, sedangkan pada dosis 25 – 30 kGy semua jenis bakteri mengalami kematian. Jenis bakteri gram positif relatif lebih rentan terhadap radiasi berkas elektron, jika dibandingkan dengan jenis gram negatif.*

## ABSTRACT

*INFLUENCE OF ELECTRON BEAM IRRADIATION DOSE ON SEVERAL ENVIRONMENTAL PARAMETERS FOR THE LIQUID WASTE FROM TANNING LEATHER INDUSTRY. The research on the electron beam dose influence on the physical and chemical parameters in the environment such BOD, COD, DO, pH and the microbiological parameter especially bacterial population in the liquid waste from tanning leather industry has been done. The objective of this research is to obtain the data of several environmental parameters expected can be used as an entry data for designing the waste treatment system for this industry. The waste samples were collected from the tanning leather industry in the vicinity of Yogyakarta while the irradiation was carried out by using Electron Beam Machine 350 keV/10 mA with the variation doses 5 – 30 kGy. The population of bacteria as well as BOD, COD, DO and pH were measured, before and after the irradiation process. From the research result can be concluded that the 30 kGy dose electron beam irradiation can cause the decrease of BOD about 58 % and COD about 48 %. In addition, it also causes the decrease of bacterial population at the irradiation doses 5 – 15 kGy whereas at the irradiation doses 25 – 30 kGy all bacteria were death. The gram positive bacteria is relative more resistant to the electron beam irradiation compared with the gram negative bacteria.*

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan industri pada umumnya diikuti dengan peningkatan penggunaan bahan kimia yang mengandung unsur logam berat untuk mendukung kualitas produk yang dihasilkan sehingga menjadi lebih tahan lama dan bermutu tinggi. Berbagai kegiatan industri dapat menimbulkan bermacam-macam limbah yang mengandung zat pencemar baik bahan organik, anorganik, logam berat, maupun radioaktif. Secara fisik, pencemaran oleh limbah industri dapat diindikasikan dengan timbulnya bau yang tidak

sedap dan warna yang dinilai telah merusak estetika. Secara kimia, indikator terjadinya pencemaran lingkungan antara lain ditunjukkan dengan tingginya nilai *Biological Oxygen Demand (BOD)* dan *Chemical Oxygen Demand (COD)* limbah.

Salah satu industri yang menimbulkan limbah berbahaya adalah industri penyamakan kulit, yang dalam prosesnya terdiri dari beberapa tahap yang menghasilkan limbah padat, cair dan gas, yang masing-masing tahap memiliki karakter sifat fisik, kimia maupun biologi yang berbeda-beda. Buangan limbah penyamakan kira-kira 8.000 – 12.000 gallon setiap 1.000 pound bahan basah, yang terdiri dari

8.000 ppm buangan zat padat, 1.500 ppm zat-zat organik, 1.000 ppm protein, 300 ppm NaCl, 1.000 ppm sulfida, 40 ppm Kromium, 60 ppm Amonium Nitrogen dan 1.000 ppm BOD yang memiliki pH di atas 9. Pada umumnya bahan-bahan pencemar tersebut menimbulkan bau yang tidak enak, warna air yang dialiri menjadi keruh karena pencemaran zat-zat organik dari bahan protein dan lemak yang terkandung pada limbah tersebut. Air buangan industri penyamakan kulit dapat mencemarkan badan air penerima, baik secara fisik, kimia, maupun biologis<sup>[1]</sup>.

Keberadaan zat-zat pencemar yang berlebihan pada suatu lingkungan dapat mempengaruhi kehidupan organisme penyusun ekosistem. Pada tingkat pencemaran yang semakin tinggi dapat mengakibatkan berubahnya keseimbangan ekosistem alam yang dapat merugikan kehidupan manusia. Melihat permasalahan di atas, maka upaya pengembangan teknik pengolahan limbah terus dilakukan.

Penggunaan teknologi Mesin Berkas Elektron untuk pengolahan limbah semakin pesat dilakukan. Beberapa keuntungannya antara lain: MBE memiliki parameter proses iradiasi yang dapat disesuaikan menurut keperluan, proses iradiasi dilakukan dengan mudah dan efisien, kapasitas energi yang dikeluarkan cukup tinggi, sumber radiasi dapat dimatikan jika tidak beroperasi dan tidak memerlukan preparasi pendahuluan<sup>[2]</sup>.

Salah satu pemanfaatan teknik radiasi adalah untuk melakukan seleksi mikroorganisme yang hidup di dalam limbah sehingga mekanisme kompetisi antar genus yang berbeda menjadi berkurang dan akibatnya dapat memacu pertumbuhan mikroorganisme yang terseleksi tersebut, sehingga akan memacu kinerjanya untuk suatu keperluan tertentu yang telah direncanakan. Menurut penelitian Luthfiana (2002), disebutkan bahwa iradiasi Gamma pada limbah rumah sakit dan limbah rumah tangga memberikan efek yang signifikan untuk proses desinfeksi bakteri patogen. Dosis 20 kGy telah mampu menurunkan populasi bakteri dalam limbah dan pada 25 kGy tak satupun bakteri yang dapat bertahan hidup<sup>[3]</sup>.

## TATA KERJA

### Bahan Yang Diperlukan

1. Sampel limbah cair industri penyamakan kulit
2. Media pertumbuhan bakteri antara lain : nutrien agar, nutrien cair, media SIM.
3. Bahan kimia dan reagen antara lain : alkohol 75% dan 90%, reagen kovacs, larutan buffer fosfat,

magnesium sulfat, calcium chloride dan ferri chlorida. serta aquades.

4. Zat warna yang meliputi kristal violet (gram A), iodin (Gram B), etil alkohol (Gram C), safranin (Gram D), malachite green 5%

### Peralatan Yang Digunakan

1. Mesin Berkas Elektron 350 keV/10 mA
2. Spektrofotometer
3. Inkubator
4. pH meter, Alat pengukur BOD, Alat pengukur COD, DO meter, Magnetic stirrer, Colony counter, Mikroskop, Lampu buzen, Autoclave, Erlen-meyer, Pipet, Tabung reaksi, Jarum ose, Kassa, Kapas, Beker glass, Nampan, Mikroburet, Labu godog., Petridish

### Cara Kerja

#### Preparasi Sampel

Sampel limbah cair diambil dari industri penyamakan kulit di Yogyakarta. dari bak penampung awal, kemudian diukur pH, temperatur, COD, BOD dan DO awal sebagai kontrol. Iradiasi berkas elektron dilakukan dengan menempatkan sampel dengan ketebalan 0,2 mm ke dalam nampan (35 x 25 cm), di atas konveyor dengan kecepatan 2,7 m/dt, sehingga didapatkan variasi dosis 0 kGy, 5 kGy, 10 kGy, 15 kGy, 20 kGy, 25 kGy dan 30 kGy. Kemudian dilakukan pengukuran pH, temperatur, COD, BOD dan DO.

#### Pengukuran BOD

Pengukuran BOD limbah ditentukan dengan pengukuran BOD<sub>5</sub> menggunakan metode Winkler<sup>[4]</sup>.

#### Pengukuran Kadar COD

Pengukuran kadar COD limbah<sup>[4]</sup> dilakukan dengan cara : sampel diambil 20 cc, ditambah 10 cc N/4 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, 30 cc H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang mengandung Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, kemudian dipanasi selama 30 menit. Setelah itu didinginkan dan ditambah 50 ml aquades. Erlenmeyer didinginkan dengan es dan ditambah 2 atau 3 tetes indikator Ferroin. Dititrasi dengan Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO)<sub>4</sub> dari warna hijau kebiruan menjadi coklat kemerah-merahan. Dibuat blanko menggunakan aquades yang diperlakukan sama seperti sampel, kemudian dihitung COD dengan persamaan<sup>[4]</sup>.

$$mg/l \cdot COD = \frac{(a - b) \times f \times 1.000 \times 2}{ml.sampel}$$

dengan

$a$  = ml  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  yang digunakan titrasi blanko

$b$  = ml  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  yang digunakan untuk titrasi sampel

$f$  = faktor dari  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$

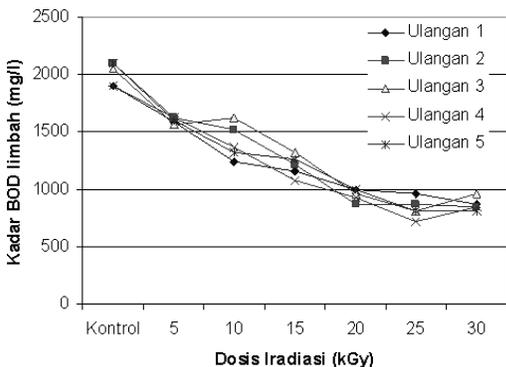
$$f = \frac{10}{\text{ml} \cdot \text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2}$$

### Perhitungan Jumlah Bakteri

Pada awalnya dilakukan pengenceran sampel limbah industri ini dengan penambahan aquadest steril sampai dengan  $10^{10}$  kali. Kemudian diinokulasikan ke media *nutrient agar* (*agar plate*) yang mengandung *pepton meat*, *pepton casein* dan ekstrak *yeast* secara *spread plate*, yang selanjutnya diinkubasikan selama 24 sampai 48 jam. Dilakukan perhitungan koloni bakteri yang tumbuh menggunakan metode *total plate count*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Mesin berkas elektron mampu menghasilkan radiasi berkas elektron yang dapat menimbulkan reaksi ionisasi pada limbah cair. Reaksi tersebut menghasilkan oksidator kuat dan radikal-radikal bebas yang dapat bereaksi dengan senyawa organik maupun anorganik limbah. Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh iradiasi berkas elektron terhadap beberapa sifat fisika, kimia dan biologi limbah cair penyamakan kulit.



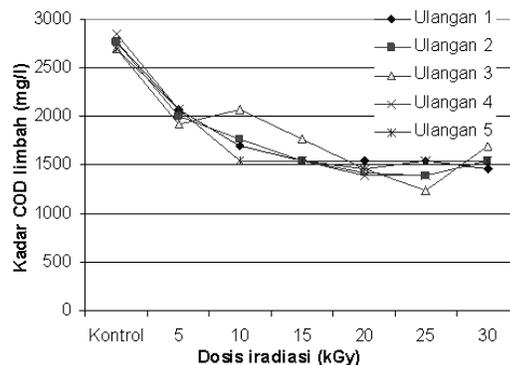
**Gambar 1. Grafik Pengaruh Iradiasi Berkas Elektron Terhadap BOD.**

Limbah cair penyamakan kulit diambil dari bak inlet (ekualisasi) dengan dasar bahwa pada bak tersebut menampung hampir seluruh limbah cair selama proses penyamakan kulit berlangsung, sehingga di dalam bak akan terkumpul kandungan bahan-bahan organik dan anorganik limbah. Setelah

itu dilakukan pengukuran sifat biologi, kimia dan fisika limbah antara lain penghitungan *total plate count* bakteri, kadar BOD, COD, DO, pH dan suhu limbah cair.

Penentuan kadar BOD di dalam sampel yang dilakukan sebelum dan sesudah diinkubasikan pada suhu  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 5 hari, karena pada rentang waktu tersebut bahan organik telah terdegradasi sekitar 70 sampai 80 %<sup>[4]</sup>. Pengaruh dosis radiasi berkas elektron terhadap BOD disajikan pada grafik dalam Gambar 1. Dalam penelitian ini menggunakan sampel sebanyak lima buah (dalam gambar tertulis ulangan 1 sampai ulangan 5) untuk melihat tren keseragaman penurunan dari kadar BOD limbah dan menentukan dosis yang paling optimum. Dalam Gambar 1 terlihat penurunan kadar BOD limbah mulai terjadi saat dosis iradiasi berkas elektron mulai ditambahkan ke dalam limbah.

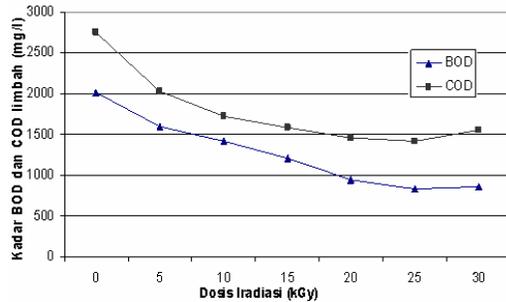
Kadar COD limbah diperoleh dari hasil oksidasi limbah dengan cara direbus dalam larutan asam dikromat. Proses tersebut hampir mengoksidasikan senyawa – senyawa organik dalam limbah menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Adapun pengaruh iradiasi berkas elektron terhadap penurunan COD limbah cair penyamakan kulit ditunjukkan pada grafik di dalam Gambar 2.



**Gambar 2. Pengaruh Dosis radiasi Berkas Elektron Terhadap COD Limbah.**

Adapun pengaruh dosis radiasi berkas elektron terhadap kadar rata-rata BOD dan COD limbah cair industri penyamakan kulit disajikan pada grafik di dalam Gambar 3. Dari grafik pada Gambar 3 dapat diketahui bahwa semakin besar dosis radiasi elektron, kadar rerata BOD dan COD limbah semakin menurun. Hal ini kemungkinan akibat dari terpecahnya molekul kompleks bahan organik karena reaksi ionisasi akibat iradiasi berkas elektron, sehingga menyebabkan terjadinya pengurangan bahan organik<sup>[5]</sup>. Selain itu, kemungkinan karena dengan perlakuan iradiasi

berkas elektron mengakibatkan kematian bakteri yang mungkin saja berpotensi dalam biodegradasi limbah, sehingga dengan kandungan senyawa organik yang telah berkurang ataupun terpecah menjadi molekul yang lebih sederhana serta adanya pengurangan jumlah bakteri dalam limbah menyebabkan menurunnya pemakaian oksigen untuk proses degradasi bahan organik oleh mikroorganisme tersebut.



**Gambar 3. Grafik Pengaruh Dosis Radiasi Berkas Elektron Terhadap Kadar Rerata BOD dan COD.**

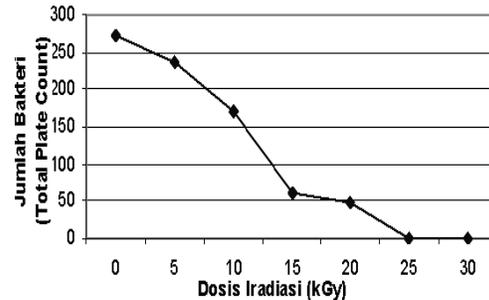
Secara kimia, penurunan kadar BOD dan COD kemungkinan akibat terjadinya induksi elektron ke dalam limbah cair, sehingga menyebabkan reaksi ionisasi. Pada awalnya terjadi pembentukan radikal bebas sebagai akibat dari radiolisis air, diantaranya radikal H dan OH adalah yang paling reaktif dan bereaksi dengan molekul organik seperti asam amino dan protein menjadi molekul yang lebih kecil dan akhirnya menjadi  $\text{CO}_2$ . Radikal OH juga merupakan radikal bebas yang kemungkinan juga akan bereaksi dengan sesamanya membentuk  $\text{H}_2\text{O}_2$ , yang bersifat sebagai oksidator kuat. Bahan organik yang telah terpecah akibat reaksi ionisasi mengakibatkan pengurangan kadar bahan organik pada limbah, sehingga menurunkan kadar BOD dan COD limbah tersebut<sup>[4]</sup>.

Selain itu, radiasi pengion juga mampu memecahkan persoalan limbah organik *non degradable* dengan cara mengubah senyawa-senyawa yang sulit terdegradasi menjadi senyawa yang mudah teroksidasi baik secara kimia maupun biologi, bahkan dapat digunakan untuk *decolorisasi*, limbah *nondegradable* serta desinfeksi lumpur.

Kemudahan air limbah untuk dapat diuraikan secara biologis dapat ditentukan dari perbandingan kadar COD dan  $\text{BOD}_5$  limbah tersebut. Jika limbah industri memiliki nilai perbandingan lebih besar dari dua, berarti limbah tersebut mengandung sejumlah besar zat yang sulit terurai secara biologis. Dengan demikian, maka limbah hasil perlakuan iradiasi berkas elektron pada penelitian ini masih tergolong

limbah yang mudah terurai secara biologis, karena hasilnya kurang dari dua.

Perlakuan iradiasi berkas elektron pada penelitian ini memang telah mengakibatkan penurunan kadar BOD dari sekitar 2.010 mg/l menjadi 864 mg/l, sedangkan penurunan COD dari 2.756 mg/l menjadi 1.554 mg/l. Prosentase penurunan tertinggi terjadi pada dosis iradiasi 30 kGy yang mencapai 58 % untuk BOD dan 48 % untuk COD. Namun penurunan BOD dan COD ini belum mencapai standar yang ditetapkan berdasarkan Keputusan Gubernur DIY No. 218/KPTS/1998 bahwa nilai standar baku mutu limbah cair industri penyamakan kulit untuk kadar BOD sebesar 50 mg/l untuk kulit mentah, 40 mg/l untuk *wet blue*. Sedangkan untuk kadar COD adalah 100 mg/l untuk kulit mentah dan 90 mg/l untuk *wet blue*. Berkenaan dengan itu masih diperlukan penelitian lebih lanjut, baik dengan pengolahan limbah *multi stage* ataupun dengan mengisolasi bakteri yang telah terseleksi oleh radiasi berkas elektron ini.



**Gambar 4. Grafik pengaruh dosis radiasi berkas elektron terhadap jumlah bakteri.**

Sedangkan pengaruh dosis iradiasi berkas elektron terhadap jumlah bakteri dari hasil perhitungan menggunakan metode *Total Plate Count* selengkapnya disajikan pada Gambar 4. Grafik tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan jumlah bakteri pada iradiasi 5 kGy, dan semakin tajam pada dosis 15 kGy. Sedangkan pada dosis 25 kGy dan 30 kGy, bakteri sudah tidak dapat bertahan hidup lagi. Hal ini disebabkan karena sel bakteri telah banyak mengalami kerusakan akibat pengaruh iradiasi berkas elektron.

Iradiasi dapat membunuh bakteri karena efek ionisasi yang berasal dari pancaran energinya yang mengakibatkan terjadinya perubahan struktur DNA. Mekanisme kerusakan sel bakteri akibat radiasi pada umumnya melalui 4 tahapan yaitu tahap fisika, kimia-fisika, kimia-biologi dan diakhiri dengan tahapan biologi yang ditandai dengan adanya respon biologis yang bervariasi tergantung molekul atau sel-sel penting yang bereaksi dengan radikal bebas dan peroksida pada tahapan sebelumnya

Radial (K <sup>2</sup> )	Isot	Warna	Bentuk	Tampilan	Elemen	Bentuk (Gram)	Spora	Protokultur	
0	1	Kuning	Konsetrik	Berlekuk	Tmbil	Batang (+)	-	+	
	2	Ptdh	Budardeuga tepu karing	Tak Beraturan	Seperti kawat	Bibit (-)	-	-	
	3	Ptdh	Budar	Bombak	Cembung	Bibit (+)	-	+	
	4	Ptdh tepu merai	Budardeuga tepu tmbil	Lcili	Tmbil	Bibit (-)	-	-	
	5	Ptdh	Kerput	Bombak	Berlekuk-kuruk	Bibit (-)	-	-	
	6	Ptdh	Budardeuga tepu tmbil	Bombak	Seperti kawat	Bibit (+)	-	-	
	7	Ptdh	Konsetrik	Lcili	Tmbil	Batang (+)	-	-	
	8	Ptdh	Tak Beraturan, meyerbar	Berlekuk	Cembung	Bibit (-)	-	+	
	9	Ptdh	Budar	Bombak	Cembung	Bibit (+)	-	-	
	10	Kekuningan	Budar	Lcili	Cembung	Bibit (+)	-	+	
	11	Ptdh & ksr	Tak Beraturan, meyerbar	Bombak	Seperti kawat	Bibit (+)	-	-	
	12	Ptdh & ksr	Tak Beraturan, meyerbar	Berlekuk	Cembung	Bibit (-)	-	-	
5	1	Kuning	Konsetrik	Berlekuk	Tmbil	Batang (+)	-	+	
	2	Ptdh	Budardeuga tepu karing	Tak Beraturan	Seperti kawat	Bibit (-)	-	-	
	5	Ptdh	Kerput	Bombak	Berlekuk-kuruk	Bibit (-)	-	-	
	7	Ptdh	Konsetrik	Lcili	Tmbil	Batang (+)	-	-	
	8	Ptdh	Tak Beraturan, meyerbar	Berlekuk	Tmbil	Batang (+)	-	-	
	9	Ptdh	Budar	Bombak	Cembung	Bibit (+)	-	-	
	10	Kekuningan	Budar	Lcili	Cembung	Bibit (+)	-	+	
	10	1	Kuning	Konsetrik	Berlekuk	Tmbil	Batang (+)	-	+
		3	Ptdh	Budar	Bombak	Cembung	Bibit (+)	-	+
		6	Ptdh	Budardeuga tepu tmbil	Bombak	Seperti kawat	Bibit (+)	-	-
7		Ptdh	Konsetrik	Lcili	Tmbil	Bibit (+)	-	-	
11		Ptdh & ksr	Tak Beraturan, meyerbar	Bombak	Seperti kawat	Bibit (+)	-	-	
15		1	Kuning	Konsetrik	Berlekuk	Tmbil	Batang (+)	-	+
		7	Ptdh	Konsetrik	Lcili	Tmbil	Batang (+)	-	-
		10	Kekuningan	Budar	Lcili	Cembung	Bibit (+)	-	+
		12	Ptdh & ksr	Tak Beraturan, meyerbar	Berlekuk	Cembung	Bibit (+)	-	-
20		1	Kuning	Konsetrik	Berlekuk	Tmbil	Batang (+)	-	+
	7	Ptdh	Konsetrik	Lcili	Tmbil	Batang (+)	-	-	
	10	Kekuningan	Budar	Lcili	Cembung	Bibit (+)	-	+	
	25	-	-	-	-	-	-	-	
-		-	-	-	-	-	-		

Secara umum data tersebut menunjukkan bahwa perlakuan iradiasi berkas elektron pada limbah cair penyamakan kulit berpengaruh terhadap penurunan populasi bakteri. Populasi bakteri semakin menurun dengan semakin besarnya dosis iradiasi berkas elektron. Berdasarkan data hasil pengamatan ciri morfologi, bakteri yang tumbuh di dalam limbah tersebut sangatlah bervariasi baik bentuk, ukuran, warna elevasi dan tepi koloni. Data karakteristik fenotopik bakteri di dalam limbah dengan variasi dosis selengkapanya disajikan pada Tabel 1. Hasil pengecatan gram terhadap masing-masing isolat juga bervariasi baik gram positif maupun negatif. Akan tetapi bakteri yang masih bertahan hidup rata-rata memiliki sifat gram positif.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa bakteri gram positif relatif lebih rentan terhadap radiasi berkas elektron, hal ini dapat ditunjukkan dengan keberadaan gram negatif yang hanya sampai pada dosis radiasi 10 kGy sedangkan pada dosis di atas 15 kGy didominasi oleh bakteri gram positif.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain :

1. Perlakuan iradiasi berkas elektron mengakibatkan penurunan kadar BOD tertinggi terjadi pada dosis iradiasi 30 kGy yang mencapai 58 % untuk BOD dan 48 % untuk COD.
2. Perlakuan iradiasi berkas elektron pada limbah cair penyamakan kulit berpengaruh terhadap penurunan populasi bakteri pada iradiasi 5 kGy, dan semakin tajam pada dosis 15 kGy. Sedangkan pada dosis 25 kGy dan 30 kGy, bakteri sudah tidak dapat bertahan hidup lagi.
3. Jenis bakteri gram positif relatif lebih rentan terhadap radiasi berkas elektron, jika dibandingkan dengan jenis gram negatif.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim., "Industrial Pollution Control Guide Lines Tanning Industry", United Nations Economic and Social Commission for Asia and Pacific, Bangkok (1982).
- [2] Pudjoraharjo,S., "Teknologi Mesin Berkas Elektron", BATAN Accelerator School, Yogyakarta (2004),
- [3] Luthfiana, L., "Pengaruh Iradiasi Gama Cobalt-60 terhadap Kehidupan Bakteria Patogen dalam Endapan Lumpur (Sludge)", Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam, Universitas Airlangga, Surabaya (2002),

- [4] Soetarto,E.S., "Pengelolaan Limbah Industri", PAU Bioteknologi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, (1992),
- [5] Winardi dkk., "Pengaruh Iradiasi Gamma pada Zat Warna dalam Air", Prosiding Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta, (1993).

---

## TANYA JAWAB

### Rill Isaris

- *Dalam eksperimen yang dilakukan bagaimana saudara dapat menetapkan (preset) nilai dosis sebesar 5, 10, 15, 20 dan 25 kGy secara bulat. Apakah ada pengatur dosis iradiasi pada MBE yang ada di PTAPB*
- *Mengapa setelah dosis tertentu (>30 kGy), kadar BOD/ COD sampel tidak berubah lagi?*

### M. Yazid

- Dosis iradiasi dapat ditentukan dengan mengatur arus berkas elektron. Besar kecilnya arus berkas elektron menentukan besar kecilnya dosis iradiasi
- Setelah >30 kGy bakteri dalam limbah cair sudah tidak dapat bertahan hidup lagi. Hal tersebut berpengaruh terhadap kadar BOD/ COD sampel limbah. Karena dengan menurunnya jumlah bakteri dalam limbah, semakin menurun juga kadar BOD/COD sampel limbah.

### Herry Poernomo

- *Mengapa dipilih limbah cair industri penyamakan kulit yang diteliti dengan iradiasi berkas elektron*
- *Mekanisme penurunan COD oleh iradiasi berkas elektron seperti apa?*
- *Unsur apa saja yang menyebabkan COD/BOD dalam limbah cair menjadi besar*

### M. Yazid

- Karena pada limbah cair industri penyamakan kulit terdapat perbandingan COD/BOD <2 sehingga mudah terurai secara biologis dan apabila dilakukan iradiasi dengan berkas elektron semakin mempermudah penguraian kandungan organik yang ada di dalamnya diakibatkan adanya pembentukan radikal bebas akibat radiolisis dalam air
- Dekomposisi senyawa organik dalam air limbah dipercepat dan diperbanyak oleh adanya radikal

bebas OH dan H yang bereaksi dengan molekul organik seperti asam amino dan protein menjadi yang lebih kecil dan akhirnya menjadi CO<sub>2</sub>

- Unsur-unsur dalam molekul organik seperti asam amino dan protein