

Bab 6

PEMBAHASAN

Deterjen yang merupakan bahan pembersih alat-alat rumah tangga, rumah sakit, industri dan sebagainya pemakaiannya meningkat terus-menerus.

Pencemaran menjadi sangat membahayakan apabila yang terakumulasi di lingkungan adalah deterjen yang tidak dapat terdegradasi secara mikrobiologis (*non-biodegradable*), apalagi deterjen yang dijual di pasaran Indonesia masih banyak yang menggunakan surfaktan *ABS*. Bahan ini merupakan senyawa yang resisten terhadap biodegradasi (Atlas, 1990; Schlegel, 1992; Parker, 1993) karena adanya percabangan dengan gugus metil, struktur menjadi semakin stabil (Morrison dan Boyd, 1992).

Belum dapat terdegradasinya *ABS* yang menimbulkan bahaya akibat terakumulasinya di lingkungan, mendorong usaha pencarian mikroorganisme baru yang dapat mendegradasi bahan tersebut paling tidak meningkatkan efektivitas dan efisiensi kemampuan degradasi *ABS* dari penelitian yang sudah ada sebelumnya.

Usaha di atas benar-benar harus dilakukan mengingat bahan aktif deterjen seperti *LAS* yang rumus molekulnya mirip dengan *ABS* telah diteliti terbukti dapat mengganggu kesehatan hewan dan manusia antara lain gangguan respons imun pada

marmut (Ritz *et al.* 1993), pada manusia dapat menyebabkan iritasi pada kulit dan mata, kerusakan pada hati dan ginjal (Sears dan Stanitski, 1979 ; Sugai *et al.*, 1990; Mathur *et al.*, 1992; Flyvholm, 1993).

Ekowati *et al.* (1992) telah berhasil mengisolasi 29 isolat bakteri pada medium Agar Nutrien dengan ABS berkadar 100 ppm sebagai sumber karbon, beberapa di antaranya dari marga-marga *Sarcina sp*, *Enterobacter sp*, *Staphylococcus sp*, *Streptococcus sp*, *Klebsiella sp*, dan lain-lain. Peneliti memilih tiga isolat karena berdasarkan penelitian kelanjutan yang dilakukan peneliti, isolat tersebut jelas berkemampuan tinggi dalam menguraikan surfaktan ABS.

Hasil identifikasi ternyata isolat-isolat tersebut adalah *Staphylococcus epidermidis*, *Enterobacter gergoviae*, dan *Staphylococcus aureus*, akan tetapi kemampuan degradasi isolat-isolat bakteri tersebut baik secara tunggal, ganda maupun dalam bentuk campuran tiga isolat bakteri masih rendah, padahal sebenarnya efektivitas dan efisiensinya masih dapat ditingkatkan dengan cara memberikan kondisi lingkungan yang sesuai kepada isolat-isolat bakteri tersebut.

Dari uraian di atas telah dilakukan penelitian tentang peningkatan efektivitas kemampuan degradasi ABS pada berbagai kadar yang diberikan dalam medium degradasi kepada isolat-isolat tunggal *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Enterobacter gergoviae*; ganda *Staphylococcus*

aureus dengan *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus* dengan *Enterobacter gergoviae*, *Staphylococcus epidermidis* dengan *Enterobacter gergoviae* campuran tiga isolat *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* dan *Enterobacter gergoviae* dengan teknik pengocokan.

Selain itu juga telah dicari isolat lain selain yang telah diketemukan sebelumnya dari tanah yang tercemar deterjen dalam menguraikan surfaktan ABS yang tidak patogen dan tidak toksik yang lebih efektif kemampuan biodegradasinya.

Larutan hasil degradasi ABS juga telah diuji toksisitasnya terhadap viabilitas *Escherichia coli* untuk tujuan mengetahui apakah hasil degradasi menimbulkan masalah baru terhadap lingkungan atau tidak.

Penelitian juga diarahkan untuk mencari kondisi yang sesuai untuk meningkatkan lebih tinggi lagi kemampuan biodegradasi ABS bagi bakteri yang telah terbukti paling tinggi efektivitasnya dan dari segi waktu paling efisien untuk diterapkan di model pengolah limbah dengan sistem kultur kontinyu, dengan harapan dapat dikembangkan pada skala yang lebih besar.

6.1 Peningkatan kemampuan isolat-isolat bakteri tunggal, ganda dan campuran tiga isolat mendegradasi ABS dengan perlakuan pengocokan

Pembahasan tentang peningkatan kemampuan isolat-isolat

bakteri tunggal, ganda dan campuran tiga isolat mendegradasi ABS dengan perlakuan pengocokan diawali dengan penjelasan tentang ketahanan sifat patogen bakteri *Staphylococcus aureus* karena hasil penelitian menunjukkan bahwa bakteri *Staphylococcus aureus* ada yang menunjukkan keunggulan hasilnya pada beberapa kadar ABS yang diberikan dalam medium, namun sifat patogennya yang diasumsikan dapat hilang selama 28 hari proses degradasi ternyata tidak terbukti.

Melalui uji patogenitas menggunakan metode uji pemecahan manitol, pemecahan DNA, dan oksidase-katalase, ternyata hanya mengalami penurunan secara kualitatif yang berarti sifat patogenitasnya tidak dapat hilang, oleh sebab itu penggunaan *Staphylococcus aureus* untuk perombakan ABS baik di laboratorium maupun di unit pengolah limbah tidak dapat direkomendasikan.

Jadi, pada uraian selanjutnya jika ada kombinasi perlakuan yang menggunakan isolat bakteri *Staphylococcus aureus* untuk inokulum baik dalam bentuk isolat tunggal, untuk isolat ganda, dan untuk campuran tunggal dipilih hasil degradasi yang lebih rendah namun menggunakan isolat bakteri yang tidak patogen, baik inokulum itu dalam bentuk isolat bakteri tunggal, ganda maupun campuran tiga isolat.

Jika hipotesis yang diajukan bahwa temuan isolat baru perombak ABS ada yang tidak patogen, tidak toksik serta kemampuannya mendegradasi ABS lebih tinggi daripada isolat-

isolat bakteri yang telah ditemukan sebelumnya terbukti, lebih melemahkan kenyataan ketidak layakan penggunaan isolat bakteri *Staphylococcus aureus* sebagai inokulum untuk mendegradasi ABS pada skala laboratorium maupun skala besar di lapangan.

Pada temuan - 1 ternyata hasil persentase degradasi perlakuan inokulum isolat tunggal bakteri *Staphylococcus aureus* berbeda secara sangat bermakna dengan isolat tunggal bakteri *Staphylococcus epidermidis*, dan *Enterobacter gergoviae* pada kadar ABS 75 dan 100 ppm. Hal tersebut karena adanya aktivitas bakteri secara tunggal memang mempunyai enzim-enzim perombak ABS yang berbeda, namun pada kadar rendah antara 5 sampai dengan 25 ppm tidak ada perbedaan yang bermakna, ketiga isolat bakteri dalam bentuk tunggal dapat dianggap sama, oleh sebab itu penggunaannya sebagai perombak ABS di alam maupun di laboratorium juga dapat dianggap sama. Salah satu isolat di antara tiga isolat dapat dipilih untuk dipakai sebagai perombak ABS tergantung dari kondisi yang ada di tempat penelitian akan dilakukan, kecuali penggunaan isolat bakteri *Satphylococcus aureus* tidak dapat direkomendasikan.

Selanjutnya temuan - 1 menyatakan juga bahwa pada kadar ABS 30 ppm aktivitas degradasi inokulum isolat tunggal bakteri *Staphylococcus aureus* memberikan hasil degradasi 25,0 % berbeda sangat bermakna dengan aktivitas degradasi

inokulum isolat tunggal bakteri *Staphylococcus epidermidis* memberikan hasil degradasi 17,2 % secara teoritis *Staphylococcus aureus* jauh lebih unggul daripada *Staphylococcus epidermidis*, namun penggunaan isolat bakteri *Staphylococcus aureus* sebagai inokulum tidak direkomendasikan.

Pada temuan - 2 dalam mendegradasi ABS berkadar rendah maupun tinggi yaitu 20 sampai dengan 100 ppm saling berbeda secara sangat bermakna dengan kadar ABS 5 ppm, yang berarti telah ditemukan aktivitas kerja enzim perombak ABS pada setiap kadar ABS yang diberikan ke dalam medium degradasi, demikian juga penggunaan ABS pada kadar 10 dan 15 ppm tidak ada perbedaan, secara teoritis hasil penelitian ini bermakna untuk dikembangkan lebih lanjut di tingkat laboratorium maupun lapangan, namun mengingat *Staphylococcus aureus* tidak kehilangan sifat patogenitasnya selama 28 hari proses degradasi maka temuan - 2 ini tidak dapat direkomendasikan.

Pada temuan - 3 *Staphylococcus epidermidis* mampu memberikan hasil persentase degradasi yang berbeda secara bermakna antara kadar ABS 5 ppm dengan kadar ABS 20 sampai dengan 100 ppm, berarti telah ditemukan aktivitas kerja enzim perombak ABS pada setiap kadar ABS yang diberikan ke dalam medium degradasi yang berbeda secara bermakna. Untuk kadar ABS 5, 10, dan 15 ppm yang tidak berbeda secara bermakna dapat ditarik manfaat bahwa bakteri *Staphylococcus*

epidermidis dapat digunakan sebagai inokulum proses perombakan *ABS* pada kisaran 5 sampai dengan 15 ppm walaupun kisaran kadar *ABS* tersebut berubah-ubah. Keuntungan lainnya dari temuan ini jika *ABS* akan digunakan sebagai bahan penelitian untuk digunakan sebagai sumber karbon nutrisi pertumbuhan bakteri, jika untuk pemberian 15 ppm cukup diberikan 5 ppm saja.

Temuan - 4 menunjukkan bahwa *Enterobacter gergoviae* adanya perbedaan secara sangat bermakna pada setiap kadar *ABS* yang diberikan ke dalam medium degradasi telah mempunyai kelebihan bahwa aktivitas enzim perombak *ABS* ternyata berbeda untuk kadar setiap *ABS*, namun terdapat fenomena yang khusus bahwa antara kadar *ABS* 10 dan 100 ppm tidak terdapat perbedaan. Hal ini mungkin disebabkan *Enterobacter gergoviae* kemampuannya mendegradasi *ABS* pada kadar rendah yaitu 10 ppm dan kadar tinggi 100 ppm tidak berbeda, namun fenomena ini masih perlu dikaji lebih lanjut.

Temuan - 5 sampai dengan temuan - 7 menunjukkan bahwa berbeda secara bermakna maupun tidak kemampuan inokulum isolat ganda lebih tinggi daripada kemampuan inokulum isolat tunggal, hal ini sebenarnya telah dibuktikan oleh Ekowati *et al.*, (1992), namun ternyata dengan perlakuan pengocokan kerjasama antarbakteri satu dengan lainnya tidak mengalami gangguan yang berarti.

Temuan - 8 juga menunjukkan bahwa rerata hasil degrada-

si ABS isolat tunggal *Staphylococcus aureus* pada kadar 30, 75, dan 100 ppm berbeda sangat bermakna dengan rerata hasil degradasi campuran tiga isolat *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, dan *Enterobacter gergoviae* pada kadar rendah 5 sampai dengan 25 ppm tidak terdapat perbedaan. Pada temuan ini bagaimanapun tingginya hasil degradasi, maupun tidak adanya perbedaan hasil degradasi tidak dapat digunakan untuk pengembangan penelitian maupun terapan lebih lanjut karena kedua inokulum mengandung *Staphylococcus aureus*.

Temuan - 9 ternyata isolat ganda *Staphylococcus epidermidis* dengan *Enterobacter gergoviae* memberikan hasil yang lebih tinggi daripada aktivitas inokulum dalam bentuk isolat tunggal *Staphylococcus epidermidis*. Dalam hal ini bakteri-bakteri yang telah di alam dengan sifat *endogenous*-nya telah ada kerjasama kemudian mengalami aklimatisasi secara buatan di laboratorium dengan baik ternyata tetap dapat bertahan dalam jangka waktu cukup lama, yaitu 28 hari.

Temuan - 10 ternyata isolat ganda *Staphylococcus epidermidis* dengan *Enterobacter gergoviae* juga memberikan hasil yang lebih tinggi daripada aktivitas inokulum dalam bentuk isolat tunggal bakteri *Enterobacter gergoviae*.

Selanjutnya temuan 11 sampai dengan 22 juga menunjukkan hal yang hampir serupa, dari keseluruhan temuan dapat disimpulkan bahwa antara inokulum isolat tunggal, ganda, dan

campuran tiga isolat ternyata yang dapat dikembangkan lebih lanjut adalah inokulum isolat ganda bakteri *Staphylococcus epidermidis* dengan *Enterobacter gergoviae*.

Terdapatnya pengaruh interaksi secara sangat bermakna antar inokulum isolat tunggal bakteri dan isolat ganda dan campuran tiga isolat bakteri yang digunakan dalam delapan macam kadar ABS yang diberikan dan delapan macam kadar ABS yang diberikan ke dalam medium degradasi dalam ketujuh jenis bakteri yang digunakan sebagai inokulum, kecuali kadar 0 ppm. Pada temuan - 23, menunjukkan tingginya persentase degradasi ABS oleh bakteri dalam bentuk ganda dan campuran tiga isolat dibandingkan dengan bentuk tunggal jelas merupakan sebab adanya kerja sinergistik antar bakteri satu dengan lainnya dalam melakukan degradasi ABS.

Sebagai akibat meningkatnya persentase degradasi ABS maka waktu degradasi menjadi lebih pendek atau efisiensi kemampuan degradasi menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan proses degradasi tanpa pengocokan.

Temuan-temuan 23 sampai dengan 45 pada dasarnya serupa dengan pembahasan pada temuan 1 sampai dengan 22, karena waktu degradasi merupakan perhitungan hasil konversi dari persentase degradasi. Jadi waktu degradasi terpendek diperoleh dari kombinasi perlakuan penggunaan inokulum isolat ganda bakteri *Staphylococcus aureus* dengan bakteri *Staphylococcus epidermidis* sebesar 36,0 hari. Hasil perhitungan

memang menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan waktu degradasi terpendek, namun karena menggunakan *Staphylococcus aureus* sebagai bahan untuk inokulum maka penggunaan inokulum untuk pengembangan lebih lanjut tidak direkomendasikan.

Sebagai pengganti penggunaan inokulum isolat ganda bakteri *Staphylococcus aureus* dengan bakteri *Staphylococcus epidermidis* tersebut adalah inokulum yang mampu menghasilkan waktu degradasi lebih pendek namun tidak menggunakan *Staphylococcus aureus* sebagai bahan untuk inokulum. Inokulum yang dimaksud adalah isolat ganda bakteri *Staphylococcus epidermidis* dengan *Enterobacter gergoviae*, kemampuannya menghasilkan waktu degradasi sebesar 45,3 hari.

6.1.1 Uji hasil biodegradasi terhadap viabilitas *Escherichia coli*

Hasil penelitian hasil degradasi yang diuji toksisitasnya menggunakan *Escherichia coli* tidak patogen menunjukkan bahwa logaritma jumlah *Escherichia coli* yang dapat tumbuh di cawan Petri dengan medium Agar Nutrien dengan jumlah awal 10^1 sel / ml pada semua perlakuan berkisar $9^9 - 10^9$ sel / ml pada waktu inkubasi 12 jam.

Hasil penelitian merupakan bukti bahwa hasil degradasi tidak toksik bagi *Escherichia coli*, dengan asumsi bahwa *Escherichia coli* merupakan bakteri yang merupakan populasi

terbanyak, paling tahan, dan cepat berkembang di perairan maka dapat dinyatakan bahwa hasil degradasi tidak toksik bagi lingkungan, khususnya lingkungan perairan. Ketidak toksikan tersebut juga didukung oleh pernyataan Bailey (1989) dan Cain (1976) dalam Anonim (1991) bahwa oksidasi surfaktan ABS identik dengan β -oksidasi asam karboksilat yang dapat menghasilkan senyawa antara bersifat disinfektan yaitu alkohol dan aldehid namun tidak dapat larut sebagai metabolit. Jadi jika pada waktu lama mikroorganisme perombak ABS mati kemudian sel lisis dan alkohol serta aldehid kemudian larut ke dalam medium, namun sampai sejauh ini belum pernah ada laporan penelitian yang menunjukkan bahwa *Escherichia coli* mampu mengkonsumsi alkohol dan aldehid sebagai sumber karbon.

Pada lampiran-1 telah dapat diketahui bahwa *Kurthia zopfii* telah dapat mendegradasi habis ABS pada kadar 75 dan 100 ppm yang berarti toksisitas ABS telah dapat dihilangkan sama sekali oleh aktivitas kerja degradasi ABS yang dilakukan oleh bakteri tersebut.

Dengan toksisitas ABS yang telah dapat dihilangkan oleh bakteri, khususnya oleh *Kurthia zopfii* maka dampak negatif keberadaan ABS di perairan dapat dihilangkan, setidaknya dikurangi sekecil mungkin, mengingat akibat yang ditimbulkan sangat membahayakan. Adapun kelainan-kelainan dan gejala penyakit yang dapat ditimbulkan oleh adanya

kontak langsung atau terkonsumsi secara sengaja ataupun tidak sengaja diuraikan pada uraian di bawah ini,

6.1.1 Kelainan-kelainan pada hewan dan manusia akibat surfaktan deterjen

6.1.1.1 Kelainan pada hewan

6.1.1.1.1 Kelainan pada marmut akibat LAS

Kelainan yang terjadi pada marmut akibat LAS dipakai sebagai salah satu model karena senyawa ini mirip dengan ABS, hanya berbeda percabangan rantai karbonnya saja. LAS rantai karbonnya lurus sedang pada ABS rantai karbonnya bercabang. Jadi kejadian yang timbul dapat diasumsikan sama.

Mathur *et al.*, (1992) melaporkan tentang penelitian yang dilakukan oleh Pusat Penelitian Toksikologi Industri di Lucnow, India (*Industrial Toxicology Research Centre, Lucnow, India*). Penelitian dilakukan pada 40 ekor marmut dengan berat 250 g yang diperlakukan dengan LAS (60 mg/kg dilarutkan dalam akuades), *hexachlorocyclohexane* (HCH) dilarutkan dengan aseton, dan LAS dicampur dengan HCH (60 m/kg ditambah 100 mg/kg).

Marmut dipelihara secara terpisah dan dijaga ketat dari pengaruh bahan-bahan kimia lain selain bahan kimia yang diperlakukan. Hati dan ginjalnya akibat perlakuan dan kontrol diamati setelah 30 hari.

Pengamatan dilakukan pada jaringan organ-organ yang

sudah dihomogenkan dalam 0,25 M larutan sukrose (10% w/v) dingin untuk uji-uji biokimia dan larutan 0,15 M KCl untuk uji peroksidase lipida menggunakan *Potter Elvehjem type homogenizer*.

Uji-uji biokimia pada hati dan ginjal meliputi β -glucoronidase (β -Glu), *gamma glutamyl transpeptidase* (GGT), *5-nucleotidase* (5-ND), dan *sorbitol dehydrogenase* (SDH). Uji lainnya adalah peroksidasi lipida (*lipid peroxidation*, LPO), uji *glutathione*, dan uji histopatologik.

6.1.1.1.1.1 Kelainan-kelainan pada hati marmut

Hasil penelitian setelah selang waktu 30 hari diperlakukan terhadap hati marmut menunjukkan bahwa LAS, *hexachlorohexane*, dan LAS dicampur dengan *hexachlorohexane* berpengaruh secara bermakna terhadap enzim-enzim pada hati.

Aktivitas β -glucoronidase meningkat secara bermakna baik pada perlakuan pemberian *hexachlorocyclohexane* demikian juga dengan LAS yang dicampur *hexachlorocyclohexane*.

Aktivitas *gamma glutamyl transpeptidase* juga meningkat setelah perlakuan pemberian LAS, *hexachlorocyclohexane*, dan LAS dicampur dengan *hexachlorocyclohexane*.

Enzim *5-nucleotidase*, aktivitasnya juga meningkat secara bermakna, hal yang serupa juga terjadi pada aktivitas enzim *sorbitol dehydrogenase*. Paparan tersebut telah disajikan pada tabel 2.1.

Pada jaringan hati ditemukan bahwa LAS menyebabkan adanya perubahan pada globulus lemak yang mencolok, terjadi pembesaran gelembung-gelembung (lobule) dan adanya bentukan sinusoidal yang membesar.

6.1.1.1.1.2 Kelainan-kelainan pada ginjal marmut

Hasil penelitian setelah selang waktu 30 hari perlakuan, ternyata LAS, *hexachlorocyclohexane*, dan LAS dicampur dengan *hexachlorocyclohexane* berpengaruh secara bermakna terhadap enzim-enzim pada ginjal.

Aktivitas β -*glucuronidase* meningkat secara bermakna dari perlakuan pemberian LAS, *hexachlorocyclohexane* dan LAS dicampur dengan *hexachlorocyclohexane*. *Gamma glutamyl trans-peptidase* juga meningkat aktivitasnya setelah perlakuan.

Enzim *5-nucleotidase*, aktivitasnya juga meningkat secara bermakna, hal yang serupa juga terjadi pada aktivitas enzim *sorbitol dehydrogenase*. Paparan tersebut disajikan pada Tabel 2.2.

Pada jaringan ginjal ditemukan adanya kerusakan-kerusakan akibat LAS pada bagian kulit luar ginjal setelah 30 hari pengamatan.

Hexachlorocyclohexane menyebabkan peningkatan terjadinya kerusakan pembuluh darah, termasuk sel-sel darah merah, ada kerusakan sedang pada sel-sel epitel pembuluh darah, dan terjadi akumulasi benda-benda bentuknya tak beraturan

(*amorphous*) di dalam lumen pembuluh darah.

LAS dan *hexachlorocyclohexane* menyebabkan perluasan kerusakan bagian epitel pembuluh-pembuluh darah dan jaringan *interstitial*. Pada lokasi tersebut terakumulasi sel-sel mononukleus disekitar kapsul Bowman, sedang di lokasi lain terdapat sejumlah besar sel dan terjadi radang (*inflammation*) secara kronis di dalam jaringan *interstitial*.

6.1.1.1.3 Terjadinya kelainan pada hati dan ginjal marmut

Kelainan-kelainan pada hati dan ginjal marmut yang diperlakukan dengan *LAS*, *hexachlorocyclohexane*, dan kombinasi *LAS* dengan *hexachlorocyclohexane* disebabkan karena pengaruh langsung adanya absorpsi bahan-bahan kimia ke dalam organ sasaran melalui lapisan luarnya.

Temperatur dan kelembaban merupakan penentu terjadinya absorpsi pestisida. Adanya tambahan faktor lain pada deterjen berpengaruh terhadap kecepatan penetrasi bahan tersebut ke dalam kulit organ.

Toksisitas bahan kimia yang diberikan mungkin dipengaruhi oleh kecepatan absorpsi, translokasi, dan metabolisme *LAS* dan *hexachlorocyclohexane* setelah menjangkau hati dan ginjal.

Perubahan yang terjadi pada enzim β -glucuronidase pada lisosom dan enzim 5-nucleotidase pada membran sitoplasma merupakan tanda terdapatnya kelainan pada jaringan organ

sasaran.

Adanya perubahan pada aktivitas enzim *gamma glutamyl transpeptidase*, yang mengkatalisis grup γ -glutamyl peptida kepada peptida lain atau reseptor asam amino, menunjukkan adanya indikasi bahwa terjadinya kerusakan sel-sel parenkim hati dan ginjal disebabkan oleh bahan xenobiotik atau metabolitnya.

Bahan xenobiotik juga dapat mengakibatkan terganggunya aktivitas enzim *sorbitol dehydrogenase* dalam menjalankan proses reaksi oksidasi, reduksi, dan interkonversi *fructose* dan *sorbitol*.

Peningkatan *lipid peroksidation (LPO)* pada grup-grup yang diperlakukan dengan *LAS* dan *hexachlorocyclohexane* menunjukkan bahwa bahan kimia tersebut membentuk radikal bebas yang bersifat toksik terhadap organ sasaran.

Bahan xenobiotik yang diberikan dalam bentuk tunggal merusak ikatan membran ikatan enzim (*membrane - bound enzymes*), tetapi jika digunakan secara simultan (bersambung) menyebabkan kerusakan jaringan, dan apabila *LAS* dan *hexachlorocyclohexane* digunakan secara bersamaan menyebabkan kerusakan yang lebih berat pada jaringan hati dan ginjal.

Para peneliti juga membuktikan kebenaran pernyataannya bahwa hasil penelitiannya sangat mendukung terjadinya kerusakan pada hati dan/atau ginjal bagi para pekerja di industri dan/atau pertanian yang dipengaruhi langsung oleh bahan-

bahan xenobiotik tersebut (Mathur *et al.*, 1992)

6.1.1.5 Perubahan morfologis dan ultrastruktural pada ikan *Ictalurus*

Zeni *et al.*, (1992) melakukan penelitian terhadap ikan *Ictalurus* sp yang diperoleh di pasaran panjang 15 - 18 cm. Ikan dimasukkan ke dalam akuarium berisi air minum (*tap water*) ditambah ABS dengan konsentrasi 3 ppm, kemudian diamati perubahan morfologis dan ultrastruktur organ menyerupai kuncup yang peka rasa (*barbel taste buds*) setelah 3, 6, 9, 12 dan 15 hari.

Pada mulanya ikan dikondisikan pada suhu 18-21°C selama 15 hari pada air minum (*tap water*) yang telah dihilangkan kandungan khlornya. Makanan dalam bentuk pelet tetap diberikan setiap hari. Sebagai kontrol digunakan LAS bebas pengaruh air minum dengan kadar sama. Air yang digunakan untuk akuarium diganti setiap 24 jam dan kadar LAS dipertahankan konstan.

Organ yang diteliti maupun kontrol dianastesi menggunakan *ethyl-m-aminobenzoate* MS-222 SIGMA kemudian dipotong-potong menjadi fragmen kecil-kecil. Selanjutnya difiksasi *glutaraldehyde* 2,5 % dalam bufer fosfat 0,1 M, pH diatur pada 7,4 dan dicuci dengan bufer.

Dicuci lagi menggunakan *osmium tetroxide* dengan bufer yang sama. Setelah dikeringkan dengan campuran alkohol dan propilen-oksida fragmen-fragmen ditanam di dalam *araldite*.

Hasil irisan agak tipis menggunakan mikrotom-ultra kemudian diwarnai dengan toulidin biru (*toulidine blue*), hasilnya diamati dengan mikroskop.

Ikan *Ictalurus* sp yang telah dipelihara pada air minum yang mengandung LAS 3 ppm diamati morfologi kulit organ perasa sensitifnya.

Fakta menunjukkan bahwa pada pengamatan hari ke 3 secara umum masih serupa dengan kontrol, jadi belum terjadi perubahan bagian-bagian badan yang berarti, namun aktivitas kehidupan *light cells* dan *dark cells* mulai terhenti.

Pada hari ke 6 sudah tampak adanya kerusakan-kerusakan yakni adanya pelebaran pembuluh-pembuluh darah yang berarti, yaitu menjadi stasis.

Setelah 9-12 hari dipelihara dalam air minum yang mengandung lapisan LAS 3 ppm, ternyata telah terjadi kerusakan lapisan epidermis yang bersifat germinatif dan tampak ada bekas pembesaran pembuluh darah. Dari 500 organ yang diamati terdapat 30% yang telah rusak.

Pada hari ke 15 sudah terjadi kerusakan 32 %, epidermis menjadi lebih tipis, dan morfologi organ perasa sensitif menjadi sangat sulit diamati.

6.1.2 Terjadinya perubahan morfologis dan ultrastruktur pada ikan *Ictalurus*

Pada hari ke 6 mulai terjadinya respons peradangan (*inflammation*) yang bertipe pelebaran pembuluh darah, stasis

pembuluh darah, dan peningkatan sirkulasi limfosit. Hal ini benar-benar disebabkan oleh pengaruh *LAS* yang diperlakukan.

Pada hari ke 9-15 terjadi kerusakan ultrastruktur di bagian puncak dan seluruh epidermis organ sensitif.

Bahan aktif deterjen jelas mempunyai hubungan terhadap penipisan lapisan epitelial.

6.1.3 Toksisitas *LAS* pada udang *Penaeus monodon*

Pengujian efek toksik *LAS* pada larva dan juvenil udang *Penaeus monodon* menunjukkan bahwa nilai LC 50 selama 24 jam pada *the zoea 2nd substage*, hasil perbanyakan fase *mysis 2nd substage*, dan *post larva* berturut-turut sebesar 0,06; 0,10; dan 3,11 ppm. Nilai LC₅₀ setelah 48 jam pada ketiga jenis larva adalah pada 0,07; 1,03, dan 4,36 ppm. Terbentuknya *hepatopancreatic glutathione (GSH)* pada juvenil larva setelah kadar *LAS* melebihi 1,0 ppm.

Setelah kadar *LAS* melebihi 10,0 ppm aktivitas malat dehidrogenase serum juvenil larva meningkat secara bermakna (Hwang, 1993).

6.1.4 Penyakit pada manusia akibat *LAS*

Pada manusia surfaktan *LAS* dapat menyebabkan gangguan-gangguan sebagai berikut :

6.1.4.1 Gangguan pada kulit

6.1.4.1.1 Gangguan akibat bekerja di industri tekstil dan produk-produknya

Gangguan yang sering terjadi pada manusia adalah terjadinya gejala klinis penyakit yang sebagian besar alergi. Hal ini ternyata sering ditemui adalah timbulnya *intoleran atopik* bagi pekerja pada pabrik *wool* dan serat sintetik, dan alergi dermatitis akibat kontak umum disebabkan karena proses "penyelesaian" (*finishes*) dan "pematian" (*dyes*) pada waktu proses pembuatan bahan tekstil, meskipun terjadinya alergi mungkin tidak hanya disebabkan oleh *LAS* tetapi juga dapat disebabkan oleh *wool* dan serat sintetik.

Bahan "pemati" *Disperse Blue 106* dan *124* secara khusus dapat berpotensi sebagai bahan yang sangat sensitif penyebab "*legins dermatitis*".

Terjadinya penyakit karena tekstil dapat dicegah antara lain bila kondisi suhu dan kelembaban di sekitar mampu mencegah kerusakan dan tidak ada bahan karsinogenik, toksik dan penyebab alergi.

Apabila pada bahan tekstil dan kosmetiks digunakan substansi yang secara potensial menyebabkan alergi maka harus ada peraturan yang jelas kadar pemberiannya (Elsner, 1994).

6.1.4.2 Gangguan pada pekerja di industri dan di rumah-tangga

Deterjen yang digunakan sebagai pembersih di industri

dan di rumah-tangga menyebabkan iritasi dan alergi pada kulit akibat kontak langsung.

Bahan pembersih (*cleaning agents*) yang digunakan di Jerman pernah didata oleh *the Danish Product Register Data Base (PROBAS)* ternyata terdaftar 2350 jenis bahan pencuci dan pembersih yang mengandung 1250 jenis bahan kimia yang pernah dijual di Jerman pada bulan Pebruari tahun 1992.

Di antara 49 jenis alergi kontak di dalam 16 macam produk bahan pencuci dan pembersih yang terdaftar tersebut. Selanjutnya beberapa penelitian lain menunjukkan bahwa bahan pencuci ada yang menyebabkan eksim (*eczema*), yang jumlahnya tidak dilaporkan.

Bahan preservatif dan bahan aktif permukaan (*surface active agents*) merupakan penyebab utama terjadinya alergi akibat kontak. Bahan preservatif dan juga bahan aktif permukaan *iso thiazolinones*, *formaldehyde* dan *diethanolamide* terdaftar sebagai bahan penyebab alergi akibat kontak dengan bahan pembersih pada umumnya, pembersih kulit, pembersih rambut ("*hair shampoos*"), pembersih lantai ("*floor polishes*") (Flyvholm, 1993).

Pada penelitian yang dilakukan terhadap pekerja di rumah sakit menunjukkan bahwa prevalensi iritasi dermatitis karena kontak dapat mencapai 44 %, alergi dermatitis akibat kontak 17 % dan dermatitis atopik 15 % (Flyvholm, 1993).

Pada penelitian lain yang dilakukan terhadap pekerja

pembersih pakaian lainnya menunjukkan bahwa di antara 1237 pekerja dilaporkan 12 % mengalami gejala kerusakan pada kulit, kemudian setelah beberapa bulan meningkat menjadi 30 %. Pada umumnya gejala kerusakan disebabkan karena kontak langsung dengan bahan pencuci berbentuk basah (Flyvholm, 1993).

Jumlah keseluruhan bahan pembersih yang diteliti oleh *PROBAS* pada bulan Pebruari 1992 mencapai 5500 jenis, setengahnya terbukti menyebabkan alergi akibat kontak (Flyvholm, 1993).

Data dan keterangan tersebut di atas diperoleh dari luar negeri karena di dalam negeri belum ada data terinci mengenai gejala penyakit yang timbul akibat *LAS* dan/atau *ABS*, namun demikian data tersebut dapat digunakan sebagai bahan untuk mengantisipasi tentang akan timbulnya akibat yang serupa di Indonesia antara lain timbulnya hipersensitivitas tipe I yaitu yang dapat menimbulkan alergi dalam waktu cepat setelah kontak dengan surfaktan deterjen dan tipe IV yaitu timbulnya alergi setelah lama kontak langsung dengan deterjen (Roitt, 1990).

Gejala-gejala penyakit di atas apabila tidak ada usaha pencegahan penurunan kadar *ABS* di lingkungan khususnya lingkungan perairan yang dilakukan sejak dini.

Penelitian kelanjutannya yang diupayakan untuk mencari isolat baru tidak patogen, tidak toksik, apalagi bila kemam-

puan degradasi *ABS*-nya lebih tinggi dari isolat-isolat yang telah ditemukan benar-benar sangat diharapkan.

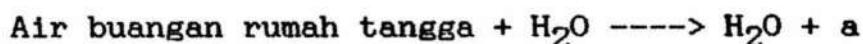
6.2 Isolat-isolat baru yang diisolasi dari limbah cair buangan rumah tangga yang tercemar deterjen

Di antara 12 isolat yang diisolasi dari limbah cair buangan rumah tangga ditemukan 2 jenis bakteri. Kedua jenis bakteri tersebut adalah : *Kurthia zopfii* dan *Pseudomonas facilis*.

Berdasarkan laporan Konsorsia tentang degradasi surfaktan xenobiotik oleh mikroorganisme aerobik tahun 1996, kedua jenis bakteri tersebut memang belum pernah dipublikasikan sebagai mikroorganisme pendegradasi *ABS* (van Ginkel, 1996).

Secara umum ada beberapa faktor yang mendukung hasil penelitian ini. Limbah cair buangan rumah tangga yang tercemar deterjen dan air permukaan seperti danau, sawah, sungai sangat mudah tercemar oleh bahan-bahan tak hidup (abiotik) maupun oleh benda - benda hidup (biotik). Keberadaan kedua komponen tersebut dalam limbah cair buangan rumah tangga, seringkali saling mendukung.

Eratnya hubungan tersebut di atas dapat digambarkan dengan rumus sebagai berikut



Huruf a mensimbulkan faktor biotik maupun abiotik.

Faktor abiotik meliputi mineral, zat-zat organik, oksigen

terlarut. Zat-zat tersebut merupakan substrat yang dapat digunakan sebagai media alami bagi kehidupan faktor biotik yang mendukungnya.

Keberadaan faktor abiotik dalam kondisi optimal menyebabkan limbah cair buangan rumah tangga yang mengandung surfaktan deterjen tidak hanya dihuni oleh bakteri yang secara alami berasal dari air (*autotochnus*), seperti bakteri belerang dan bakteri besi melainkan juga bekteri dan mikroorganisme lainnya yang bersifat *transien*.

Salle (1988) berpendapat bahwa kandungan zat-zat pada limbah cair buangan rumah tangga dan air yang demikian kompleks menyebabkan air buangan rumah tangga dan air menjadi media yang cocok untuk mikroorganisme baik dari air buangan rumah tangga, air, maupun mikroorganisme transien.

Keberadaan senyawa-senyawa organik di dalam air sebagai akibat pencemaran oleh limbah cair buangan rumah tangga akan mengundang kehadiran bakteri atau mikroorganisme lainnya yang bersifat *zymogenik*, yaitu mikroorganisme yang kehadirannya di dalam air diakibatkan oleh adanya pengaruh-pengaruh luar yang baru, misalnya penambahan zat organik. Dalam hal ini zat-zat penyusun deterjen termasuk surfaktan *ABS*.

Kurthia zopfii menurut *Bergey's Manual Determinative of Bacteriology* Edisi IX (1994) merupakan mikroorganisme saprofit, tidak patogen, bersifat aerob dan mempunyai kisaran suhu pertumbuhan antara 25 - 30°C dan pH sekitar netral

yaitu antara 7,0 - 7,4.

Sifat saprofit dan tidak patogen *Kurthia zopfii* jelas unggul jika dikembangkan sebagai mikroorganisme pengurai ABS di laboratorium maupun di unit-pengolah limbah sebab jika selama proses degradasi bakteri tersebut terlepas ke alam bebas kemudian bakteri tersebut dikonsumsi secara langsung maupun tidak langsung dari segi kesehatan lingkungan tidak menimbulkan masalah.

Kurthia zopfii yang dapat tumbuh baik secara aerob juga bermanfaat sebab proses perombakan ABS yang harus dilakukan secara aerob sangat sesuai dengan kebutuhan kehidupannya.

Bakteri ini sangat menguntungkan apabila ditinjau dari kisaran suhu dan pH untuk pertumbuhannya. Kisaran suhu pertumbuhannya merupakan suhu harian daerah tropis pada khususnya dan sebagian daerah beriklim sedang, sedangkan pH netral agak basa sesuai dengan kondisi pH air yang tercemar deterjen pada umumnya, sehingga untuk keperluan proses degradasi tidak diperlukan biaya mahal untuk pemanasan dan pengaturan pH.

Kurthia zopfii juga merupakan bakteri yang bersifat aerob sehingga sangat menguntungkan apabila digunakan dalam proses aerobik, karena tidak perlu melakukan penyesuaian untuk kehidupannya pada lingkungan yang bersifat aerobik.

Mikroorganisme yang ditumbuhkan pada kondisi lingkungan baru yang berbeda dengan kondisi kehidupannya di alam sangat banyak mengalami kegagalan untuk hidup. Jika mungkin dapat

berhasil biasanya harus mengalami perlakuan rekayasa genetika, walaupun demikian hasilnya tetap belum dapat terjamin karena sifat-sifat "baru"-nya dapat muncul hanya jika perubahan genetik dapat terekspresi (Prentis, 1990). Bagi negara berkembang seperti Indonesia "penciptaan" mikroorganisme yang memiliki sifat-sifat "baru" dengan teknik rekayasa genetika masih sangat mahal.

Atlas dan Bartha (1990), Gunalan (1993), Suharni (1993) mendukung keberadaan mikroorganisme khususnya bakteri di dalam limbah cair buangan rumah tangga yang telah ditemukan. Mikroorganisme yang secara alami merupakan penghuni tubuh manusia dan hewan seringkali ditemukan secara luas di alam tercampur di dalam limbah buangan rumah tangga. Salah satu mikroorganisme yang dimaksud adalah *Pseudomonas facillis*.

Mikroorganisme tersebut mempunyai sistem genetik yang mampu mensintesis enzim sehingga dapat beradaptasi dan mendegradasi surfaktan deterjen ABS. Hal serupa juga terjadi pada *Pseudomonas fluorescens* ANP15 dan *Pseudomonas aeruginosa* 7NSK2 dalam mempertahankan kemampuannya untuk hidup pada deterjen anionik dan nonionik sampai 25 hari.

Bahan tersebut dipecah kemudian molekul yang lebih sederhana digunakan sebagai sumber energi untuk pertumbuhannya (Devliegher, 1995).

Pseudomonas facillis juga memiliki keunggulan lain yaitu tidak membutuhkan faktor tumbuh bahan organik yang mahal harganya seperti : *biotin*, *cyanocobalamin*, *panthotenate*,

methionine atau *cystein* (Sneath *et al.*, 1988). Bakteri ini juga bersifat aerob sehingga sangat menguntungkan jika digunakan untuk proses degradasi secara aerob (Sneath *et al.*, 1988).

Keunggulan *Pseudomonas facilis* lainnya ialah bahwa dari sifat fisiologisnya yang tidak dapat merubah pati dan sukrose, serta tidak mampu melakukan proses denitrifikasi (Sneath *et al.*, 1988), jika bakteri tersebut digunakan di unit-unit pengolah limbah di lapangan yang mengakibatkan keluar atau terhamburnya bakteri ke alam bebas tidak akan mengkonsumsi pati maupun sukrosa yang pada umumnya dihasilkan dari tanaman yang dibudidayakan.

Pseudomonas facilis ternyata juga merupakan bakteri tidak bersifat parasit pada manusia, hewan maupun tumbuhan (Sneath *et al.*, 1988) jadi penggunaannya sebagai inokulum pengurai ABS di laboratorium maupun jika akan dikembangkan sebagai mikroorganisme pengolah limbah di lapangan dari segi kesehatan lingkungan tidak ada masalah.

Kedua jenis bakteri baru juga dapat tumbuh pada medium Nutrien Cair berkadar LAS 100 ppm, berarti bakteri-bakteri tersebut juga dapat mengatasi permasalahan kesehatan lingkungan yang ditimbulkan oleh LAS, mengingat di Indonesia telah mulai ada perusahaan deterjen yang menggunakan LAS sebagai surfaktan sebagai campuran dalam pembuatan deterjen. Jadi keberadaan bakteri tersebut di atas dapat diterima.

6.3 Isolat bakteri temuan baru tidak patogen yang berkemampuan mendegradasi ABS tertinggi

Data yang disajikan pada tabel 5.4 menunjukkan bahwa pada perlakuan menggunakan isolat tunggal bakteri *Kurthia zopfii* rerata waktu degradasi ABS-nya semua berbeda secara sangat bermakna dan memerlukan waktu terpendek dalam melakukan degradasi ABS bila dibandingkan dengan kemampuan isolat-isolat tunggal *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* dan *Enterobacter gergoviae*; isolat ganda *Staphylococcus aureus* dengan *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus epidermidis* dengan *Enterobacter gergoviae*, *Staphylococcus aureus* dengan *Enterobacter gergoviae* dan campuran tiga isolat *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Enterobacter gergoviae*.

Perbandingannya dengan kemampuan degradasi inokulum isolat bakteri tunggal *Pseudomonas facilis* memang hanya pada beberapa perlakuan kadar ABS yang berbeda secara sangat bermakna seluruhnya tidak menunjukkan adanya perbedaan, namun waktu yang diperlukan untuk mendegradasi habis kadar ABS yang diberikan oleh *Kurthia zopfii* selalu yang terpendek.

Dari segi waktu degradasi perlakuan B_g (*Kurthia zopfii*) telah menerima hipotesis sebagai bakteri terbaik dalam mendegradasi ABS dalam berbagai kadar ABS yang diperlakukan. Ditunjukkan bahwa waktu degradasi terpendek yang dapat dicapai *Kurthia zopfii* adalah 10,10 hari.

Jadi secara umum inokulum yang menggunakan isolat *Kurthia zopfii* menunjukkan waktu biodegradasi yang paling efisien.

Dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Ekowati *dkk*, waktu yang diperlukan oleh isolat-isolat *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* dan *Enterobacter gergoviae* baik secara tunggal, ganda, maupun campuran tiga isolat yang harus memerlukan waktu 95 - 153 hari, dalam penelitian *Kurthia zopfii* dapat meningkatkan efisiensi degradasi sekitar 0,067 sampai dengan 0,106 lebih cepat.

Tingginya aktivitas bakteri *Kurthia zopfii* secara tunggal disebabkan oleh faktor dalam (genetis) yang dimiliki tersebut didukung oleh faktor lingkungan yang menyertainya, sehingga aktivitas enzimatisnya juga menjadi lebih besar, daripada aktivitas bakteri yang telah ditemukan terdahulu. Walaupun sifat-sifat genetis yang didasari oleh penelitian genetika molekuler tentang hal ini masih perlu dikaji secara mendalam.

Didukung oleh sifatnya yang tidak patogen, aerob, suhu degradasi antara 25-30°C dan pH mendekati netral (Sneath, *et al.*, 1988; Holt *et al.*, 1994) maka isolat ini jelas tepat untuk dikembangkan menjadi isolat terpilih dalam penelitian selanjutnya.

Selanjutnya pada tabel 5.5 kadar ABS 20 ppm merupakan

kadar yang dapat memberikan waktu retensi (μ) tertinggi di antara berbagai kadar ABS yang diperlakukan. Hal ini disebabkan karena ABS kadar 20 ppm tersebut merupakan kadar sumber karbon optimal yang dapat dikonsumsi oleh *Kurthia zopfii*.

Terdapat peningkatan nilai μ mulai kadar 1,0 ppm sampai dengan kadar 20 ppm setelah menurun sampai dengan 100 ppm, karena melebihi kadar 20 ppm, bakteri telah mengalami kejenuhan aktivitas enzimatis (Atlas, 1990; Brock dan Madigan, 1991).

Berdasarkan temuan di atas dapat diajukan suatu bahan pertimbangan bahwa untuk melakukan proses biodegradasi ABS pada model maupun pengolah limbah kadar 20 ppm dapat digunakan sebagai suatu acuan. Untuk mendegradasi ABS dengan kadar yang lebih tinggi daripada 20 ppm sebaiknya diencerkan menjadi 20 ppm.

6.4 Terjadinya peningkatan kemampuan biodegradasi akibat pemberian suhu, pH, aerasi, bahan pengamobil yang sesuai bagi pertumbuhan *Kurthia zopfii*

Temuan 49 menunjukkan bahwa ada perbedaan secara sangat bermakna antara tiga macam suhu dan tiga macam pH yang diperlakukan terhadap hasil biodegradasi. Hal tersebut disebabkan oleh sensitivitas enzim-enzim bakteri *Kurthia zopfii* yang khas terhadap pengaruh suhu dan pH dari luar tubuhnya (Kaczorowski, 1980) sehingga perubahan suhu selisih 2°C dan perubahan pH selisih 0,2 sangat mempengaruhi kemampuan biodegradasinya.

Selanjutnya ditunjukkan bahwa antara suhu dan pH terdapat interaksi yang sangat bermakna. Hal ini disebabkan kedua faktor lingkungan tersebut merupakan faktor penentu yang saling menunjang aktivitas enzimatik enzim-enzim perombak ABS (Kaczorowski *et al.*, 1980).

Suhu 30°C dan pH 7,2 merupakan suhu dan pH yang sesuai bagi *Kurthia zopfii* untuk melakukan biodegradasi ABS. Hal ini didukung oleh pendapat para peneliti yang menyusun buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* Edisi IX (1994) yang menyatakan bahwa kisaran aktivitas fisiologis *Kurthia zopfii* pada suhu 25 - 30°C dan pH-nya di sekitar netral.

Suhu merupakan faktor penentu kerja enzim perombak ABS suhu terlalu tinggi dan terlalu rendah enzim sebagai protein akan mengalami denaturasi. Nilai pH optimal merupakan titik terjadinya aktivitas enzim. Pada kondisi ini tidak terjadi

kelebihan muatan NH_3^+ atau OH^- (Foster and Wase, 1987).

Selanjutnya hasil penelitian perlakuan pemberian aerasi yang sesuai di atas digunakan sebagai dasar untuk menjalankan penelitian model pengolahan limbah yang dilakukan pada fermentor berisi medium degradasi 2 liter diberi aerasi 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 vvm. Hasilnya, untuk melanjutkan penelitian berikutnya yang dioperasikan dengan sistem kultur kontinyu dan bakteri *Kurthia sopfii* digunakan sebagai inokulum dalam bentuk sel amobil.

Temuan - 51 menyatakan bahwa ternyata terdapat perbedaan secara sangat bermakna antara pemberian aerasi 1,5 vvm dengan perlakuan pemberian aerasi lainnya. Waktu degradasi dapat lebih pendek lagi menjadi 7,50 hari dari 8,67 hari sebelumnya. Hal tersebut didukung oleh pendapat para ahli bioteknologi yang menyatakan bahwa kecepatan degradasi ditentukan oleh kecepatan aerasi (Said, 1987; Rosario dan Elegado, 1990; Jimenez, 1993).

Ahli lain yang mendukung pernyataan tersebut adalah Jimenez (1993) yang menyatakan bahwa aerasi rendah akan menyebabkan lambatnya proses biodegradasi demikian juga aerasi yang terlalu tinggi melebihi ambang batas optimalnya.

Pada perlakuan penggunaan bahan pengamobil memberikan hasil seperti dinyatakan pada temuan - 52 bahwa tidak ada perbedaan secara sangat bermakna antara bahan pengamobil bakteri yang digunakan terhadap waktu degradasi yang dipero-

leh.

Sajian data menunjukkan bahwa perlakuan amobilisasi sel bakteri *Kurthia zopfii* menggunakan Natrium alginat walaupun hasilnya tidak berbeda secara bermakna dengan penggunaan karagenen namun mampu menghasilkan waktu degradasi yang lebih pendek dibandingkan dengan penggunaan karagenen yaitu sebesar 4,75 hari.

Stabilnya natrium-alginat sebagai bahan untuk amobilisasi sel karena natrium-alginat dapat membentuk matriks yang lebih stabil terhadap sel-sel bakteri *Kurthia zopfii* yang dijernatnya sehingga sistem enzimatik dalam bakteri akan menjadi lebih stabil aktivitasnya dalam mendegradasi ABS (Abbot, 1976).

Keberhasilan peningkatkan kemampuan biodegradasi ABS oleh *Kurthia zopfii* juga ditunjang oleh adanya penggunaan sistem kultur kontinyu. Keberhasilan penggunaan sistem dalam model pengolahan limbah ini didukung oleh teori bahwa pada sistem ini, (1) pertumbuhan sel bakteri dapat dipertahankan untuk periode waktu yang lama, (2) konsentrasi nutrisi, produk, konsentrasi bakteri dan kecepatan pertumbuhan spesifik bakteri tidak berubah oleh fungsi waktu (Brock dan Madigan, 1991; Schlegel, 1992).

Keberhasilan penggunaan kultur kontinyu dalam penelitian tidak akan membawa masalah baru jika akan dikembangkan pada skala yang lebih besar di unit-unit pengolah limbah

maupun di skala menengah di tingkat pedesaan/kelurahan ataupun kecamatan karena sistem ini sudah dikenal sejak lama di masyarakat untuk sistem pengolahan limbah khususnya dalam produksi gas-bio (*biogas*).

Adapun produksi gas-bio secara singkat dapat dijelaskan sebagai berikut : Produksi gas-bio merupakan proses fermentasi anaerob yang dibagi menjadi tiga tahap, (1) reduksi senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana oleh bakteri-bakteri hidrolitik, (2) bakteri pembentuk asam merubah senyawa sederhana menjadi asam organik mudah menguap seperti asam asetat, asam butirat, asam propionat dan lain-lain, (3) konversi asam organik menjadi gas metan (CH_4), CO_2 dan gas lain oleh bakteri metan yang aktif seperti *Methanobacterium omelianskii*, *Methanobacterium ruminantium*, *Methanobacterium suboxydans*, dan lain-lain.

Proses fermentasi gas-bio biasanya dilakukan secara kontinyu, namun metode semi-kontinyu (substrat dimasukkan secara bertahap di dalam suatu selang waktu tertentu secara berulang-ulang juga dapat digunakan). Menurut Patel dan Patel dikutip dari Dissanayake (1987) menyatakan bahwa kecepatan produksi gas-bio dalam sistem *batch* (tertutup) mula-mula memang naik hingga mencapai kecepatan maksimum akhirnya turun lagi ketika sejumlah besar bahan organik telah dirombak.

Penerapan hasil penelitian menggunakan metode kultur

kontinyu di lapangan dapat dijalankan setelah uji di lapangan dengan menggunakan dasar hasil yang diperoleh dari penelitian, telah dapat diterima oleh teknisi dan/atau masyarakat pengguna hasil penelitian ini.