

# Biodegradasi Naftena dalam Avtur oleh Kapang *Paecilomyces* sp.

oleh :

Sri Kadarwati

## I. PENDAHULUAN

Avtur adalah bahan bakar minyak (BBM) untuk pesawat terbang yang menggunakan mesin jet dan turbo jet. Kandungan utama avtur ialah senyawa hidrokarbon seperti parafin (alkana jenuh), olefin (alkana tidak jenuh), naftena (sikloalkana), dan aromatik. Di samping itu terdapat senyawa ikutan dalam jumlah sangat kecil berupa air, garam, dan senyawa lainnya (Smith, 1970, Hobson dan Pohl, 1972).

Indonesia terletak di daerah tropis dengan curah hujan yang tinggi dan kelembaban di sekitar ambang kritis. Kelembaban udara ini berpengaruh pada keterlarutan air dalam avtur. Adanya air dalam avtur walaupun sedikit sekali (30 ppm) akan membantu pertumbuhan mikroba, karena air merupakan bahan utama yang dibutuhkan bagi pertumbuhannya. Bahan-bahan lain adalah diperlukan untuk tumbuh terdapat dalam avtur, seperti karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, fosfor, dan mineral. Dalam keadaan lembab dan kehadiran unsur-unsur itu, besar kemungkinan mikroba dapat tumbuh dalam avtur.

Hasil penelitian LEMIGAS, (1983), menunjukkan bahwa mikroba yang dapat tumbuh dalam avtur adalah bakteri, kapang, aktinomisetes, dan khamir. *Paecilomyces* sp. merupakan kapang yang paling banyak ditemukan dalam avtur di Indonesia (Sri Kadarwati, 1989). Menurut Domsch (1993) ada beberapa spesies dari *Paecilomyces* yang selain termotoleran dan dapat tumbuh dalam hidrokarbon juga dapat hidup di berbagai macam sumber karbon termasuk yang tidak lazim ditumbuhi mikroba. Atas dasar pertimbangan sifat-sifat *Paecilomyces* sp. tersebut yang juga merupakan kapang tropik, adalah menarik untuk dilakukan penelitian lebih lanjut, baik mengenai mekanisme maupun pengaruhnya.

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah untuk mengungkapkan pengaruh mikroba khususnya kapang *Paecilomyces* sp. pada kualitas avtur di Indonesia dan

mempelajari hasil biodegradasi. Di samping itu akan dikaji pula kemungkinan mekanisme biodegradasi tersebut.

## II. KAPANG *PAECILOMYCES* SP.

Beerstecher dalam Sharpley (1966) mengestimasi bahwa jumlah spesies dari mikroorganisme adalah sebanyak 150.000 dan di antaranya lebih dari 100 spesies mampu menggunakan hidrokarbon sebagai sumber energi. Beberapa spesies kapang yang ditemukan dalam hidrokarbon adalah *Cladosporium resinae*, *Paecilomyces variotii*, *Pullularia pullulans*, *Aspergillus* sp., dan sebagainya.

Khusus mengenai *Paecilomyces*, ada beberapa spesies yang dapat hidup dan tumbuh dalam hidrokarbon seperti, *Paecilomyces variotii* Bain, *Paecilomyces carneus*, dan *Paecilomyces lilacinus*.

*Paecilomyces variotii* Bain mempunyai sifat termotoleran dan termofilik, hidup baik di iklim tropik. Kapang ini dapat berkembang di substrat yang tidak lazim seperti lensa optik, kulit, berbagai larutan kimia, kertas fotografi, karet sintetik, ter kayu, cerutu, dan tinta. Selain itu tumbuh juga pada berbagai plastik, PVC, kerosin, dan mengakibatkan korosi pada metal karena menghasilkan asam (Domsch, 1995).

*P. carneus* tumbuh sangat lambat, tetapi sporulasi cepat. Selulosa didegradasi secara sederhana, CMC, dan khitin digunakan dengan baik. *P. carneus* tumbuh pada normal parafin dan sumber karbon bukan gula yang lain dan menghasilkan antibiotik pada kedua substrat ini (Domsch, 1995).

*P. lilacinus* adalah proteolitik kuat, mengurai keratin sampai 20% dalam 63 hari. Dapat tumbuh pada hidrokarbon dari bahan bakar minyak, (Llanos & Kjoeller, 1976 dan Nyns, Auquiere & Wiaux, 1968) dan pada normal alkana menghasilkan ergosterol dan asam-asam organik (Lin, Iida & Iizuka, 1971).

### III. AVTUR

Avtur adalah salah satu fraksi hasil pengilangan minyak mentah yang mempunyai kisaran titik didih 150°-250°C. Sebagai bahan bakar penerbangan, fraksi avtur perlu ditambah dengan aditif untuk memenuhi syarat mutu. Aditif tersebut meliputi antioksidan, deaktivasi metal, antistatik, inhibitor untuk korosi, dan aditif untuk menginhibisi pembentukan es. Spesifikasi (persyaratan mutu) avtur di Indonesia mengacu pada DERD 2494 tanggal 1 September 1994.

Melihat alur distribusi, kemungkinan terjadinya kontaminasi mikroba dalam avtur cukup besar, dapat terjadi mulai dari kilang, instalasi/depot penerimaan, penimbunan, dan penyaluran ke depot pengisian pesawat udara (DPPU) sampai ke pesawat udara. Pertumbuhan mikroba dalam avtur selain dipengaruhi oleh air dan unsur-unsur di dalam avtur, juga oleh kondisi lingkungan seperti suhu, pH, kelembaban, dan sebagainya.

Avtur dalam penggunaannya memerlukan penanganan dan pengawasan yang ketat, mengingat pemakaiannya sebagai bahan bakar pesawat udara, mempunyai risiko tinggi apabila terkontaminasi oleh mikroba sehingga terjadi degradasi avtur dan penyumbatan pada *filter* dan berakibat fatal. Dalam menunjang pengawasan yang ketat ini, pengawasan kualitas avtur tidak hanya dari sifat fisik saja, tetapi perlu juga mempelajari masalah pengrusakan kualitas yang disebabkan oleh aktivitas mikroba.

### IV. BIODEGRADASI

Informasi mengenai mekanisme biodegradasi avtur telah banyak diungkapkan terutama mengenai degradasi komponen parafin (alkana jenuh) oleh bakteri. Azouly (1960) menjelaskan bahwa mekanisme biodegradasi parafin oleh *Pseudomonas* sp. adalah melalui proses beta-oksidasi dan dihasilkan asam lemak. Selain itu Stewart (1958) membuktikan bahwa biodegradasi terjadi pada ujung atom karbon parafin jenuh.

ZoBell (1950, dalam Sharpley 1966) juga menunjukkan bahwa:

1. Hidrokarbon dengan struktur alifatik, seperti alkana lebih mudah diserang/dirusak oleh mikroba daripada struktur lingkar (siklis).
2. Hidrokarbon yang mempunyai rantai panjang lebih mudah diserang/dirusak oleh mikroba daripada yang bercabang pendek.
3. Hidrokarbon yang mempunyai ikatan tidak jenuh

(khusus rantai lurus) lebih mudah diserang oleh mikroba.

4. Hidrokarbon yang mempunyai cabang banyak lebih mudah diserang oleh mikroba.

Pada perkembangan ilmu pengetahuan ini, terlihat bahwa data tersebut sudah banyak yang berubah, terlihat dengan adanya fenomena-fenomena yang berbeda dengan keadaan tersebut di atas.

Biodegradasi avtur oleh kapang belum banyak diungkapkan di literatur, kecuali yang telah dijelaskan oleh Davis (1967) dan Bosecker (1997). Menurut Davis (1967) *Cladosporium* sp. yang diperoleh dari avtur JP-4 di dasar tangki pesawat udara dapat menurunkan kandungan parafin dalam lima minggu. Bosecker (1997) menemukan bahwa kapang *Botrytis cinerea* juga menyerang parafin, dan bahwa senyawa alifatik jenuh lebih mudah didegradasi daripada alifatik tidak jenuh, dan rantai lurus lebih mudah didegradasi dari pada yang bercabang, alisiklik, atau aromatik.

### V. METODOLOGI

Metode pengujian degradasi hidrokarbon dalam avtur oleh *Paecilomyces* sp. dan pengaruhnya terhadap kualitas avtur dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pengujian pertumbuhan kapang *Paecilomyces* sp. pada variasi konsentrasi kandungan air atau media.
2. Analisis sifat fisis avtur yang mencakup berat jenis relatif, uji korosi terhadap perak, titik asap, titik beku, titik nyala, dan uji distilasi dengan metode ASTM atau IP.
3. Analisis komponen-komponen hidrokarbon dalam avtur seperti parafin, olefin, naftena, dan aromatik dilakukan dengan alat PIONA Analyzer tipe HP 5890 seri II.

### VI. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pertumbuhan Kapang *Paecilomyces* sp. pada Variasi Konsentrasi Kandungan Air atau Media

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi kandungan air atau media Czapek Dox terhadap pertumbuhan *Paecilomyces* sp. Pengamatan dilakukan sampai dengan hari ke 30, dengan mengukur berat kering yang dicapai pada penambahan media Czapek Dox atau air dasar tangki pada konsentrasi 85 ppm, 500 ppm, 1000 ppm, dan 2000 ppm. Sebagai pembanding ditentukan juga pada kandungan air <30 ppm, yang merupakan persyaratan sebagai bahan bakar penerbangan. Hasilnya disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1**  
Berat kering *Paecilomyces* sp. hari ke 30 pada biakan yang mengandung media Czapek Dox atau air dasar tangki

No. Percobaan	Kandungan air awal dalam avtur (ppm)	Media Czapek Dox/Air dasar tangki yang ditambahkan (ppm)	Berat kering biakan hari ke 30 (gram)	
			Plus Medium Czapek Dox	Plus Air
1	< 30	0	-	0,0063
2	< 30	85	0,0094	0,0092
3	< 30	500	0,0112	0,0105
4	< 30	1000	0,0136	0,0126
5	< 30	2000	0,0167	0,0158

**Tabel 2**  
Nilai sifat-sifat fisis avtur yang ditumbuhi *Paecilomyces* sp. pada suhu

Jenis pengujian	Lama inkubasi (hari)						
	0	3	7	10	17	21	24
Berat jenis relatif minimal 0,7750 maksimum 0,8400	0,8025	0,8026	0,8026	0,8029	0,8030	0,8032	0,8033
Uji korosi (perak) maksimum 1	0	0	0	0	0	0	0
Titik asap (mm) minimal 19	19,3	19,0	18,5	18	18	17,5	16,5
Titik beku (°C) maksimum -47°	-49	-49	-48	-48	-47	-46	-46
Titik nyala (°C) minimal 38°	122	122	123	124	125	125	126
Titik didih awal (IBP) dilaporkan	153	153	154	155	155	156	157
Titik didih akhir (EP) Maksimal 300°C	269	269	268	268	269	269	270
Vol. residu (%) maksimal 1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3
Losses (%) Maksimal 1,5	0,05	0,10	0,20	0,20	0,25	0,25	0,30

Tabel 3  
Nilai sifat-sifat fisis avtur dengan variasi konsentrasi media sampai 30 hari inkubasi

Jenis-jenis pengujian	Lama inkubasi (hari)	Konsentrasi media (ppm)				
		30	85	500	1000	2000
Berat jenis relatif minimal 0,7750 maksimal 0,8400	0	0,8036	0,8036	0,8036	0,8036	0,8036
	7	0,8038	0,8038	0,8046	0,8046	0,8046
	30	0,8038	0,8038	0,8046	0,8046	0,8050
Uji korosi terhadap perak maksimal 1	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0
	30	0	0	0	0	0
Titik beku (°C) maksimal - 47°	0	-50	-50	-50	-50	-50
	7	-50	-50	- 49,5	- 49,5	- 49,5
	30	-50	-50	- 49,5	-49	- 48,5
Titik nyala (°C) minimal 38°	0	118	118	118	118	118
	7	120	121	123	124	124
	30	121	123	123	124	124
Titik didih awal (IBP) dilaporkan	0	152	152	152	152	152
	7	153	153	155	157	158
	30	155	156	158	162	164
Titik didih akhir (EP) maksimal 300°C	0	266	266	266	266	266
	7	266,5	265	265	265	265,5
	30	265	264,5	265	265	265
Vol. residu (%) maksimal 1,5	0	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	7	1,4	1,4	1,35	1,3	1,3
	30	1,4	1,35	1,3	1,3	1,2
Losses (%) maksimal 1,5	0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4
	30	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3

Hasil ini menunjukkan bahwa:

1. Kapang *Paecilomyces* sp. masih dapat tumbuh dengan kandungan air < 30 ppm.
2. Makin banyak kandungan airnya (khusus untuk media Czapek Dox dan air dasar tangki), kapang *Paecilomyces* sp. makin baik pertumbuhannya.
3. Untuk air suling (tidak mengandung mineral) kapang *Paecilomyces* sp. tidak atau kurang dapat tumbuh (Sri Kadarwati, 1999), sehingga makin banyak/lengkap kandungan mineralnya, makin baik pertumbuhan kapang *Paecilomyces* sp. tersebut.

**B. Pengaruh *Paecilomyces sp.* pada Sifat-Sifat Fisis Avtur**

Perubahan sifat-sifat fisis avtur akibat dari pertumbuhan kapang *Paecilomyces sp.* dalam avtur pada suhu dan pH optimum perlu diamati. Sifat-sifat fisis yang diamati mencakup berat jenis relatif, uji korosi terhadap perak, titik asap, titik beku, titik nyala, dan distilasi. Parameter ini merupakan sifat fisis yang perlu diperhatikan karena termasuk dalam spesifikasi avtur.

Percobaan dilakukan selama 24 hari dan pengamatan dilaksanakan pada hari ke 0, 3, 7, 10, 17, 21, dan 24. Hasil pengamatan sifat-sifat fisis avtur disajikan pada Tabel 2.

Hasil pengujian sifat-sifat fisis ini menunjukkan bahwa setelah 24 hari inkubasi terlihat kenaikan berat jenis relatif, titik beku, titik nyala, dan titik didih awal. Hal ini disebabkan karena hilangnya atau berkurangnya senyawa ringan yang disebabkan oleh pertumbuhan

**Tabel 4**  
**Analisis PIONA (% berat) terhadap avtur PIONA**

PIONA Hari ke	NS	iPS	nPS	NU	iPU	nPU	AR	>200°C	PN	Total
0 hari	12,57	18,61	4,71	0,00	0,09	0,56	3,91	58,11	1,45	100
3 hari	15,71	21,43	6,13	0,00	0,00	0,38	3,54	52,22	0,60	100
6 hari	12,77	18,83	5,00	0,00	0,07	0,45	4,00	57,43	1,44	100
9 hari	13,21	17,36	5,21	0,00	0,08	0,56	3,70	58,42	1,47	100
12 hari	5,34	23,07	4,42	0,00	0,00	0,91	3,61	60,13	2,52	100
15 hari	5,40	24,56	5,96	0,00	0,00	1,37	3,47	56,60	2,64	100
18 hari	4,97	21,21	4,52	0,00	0,00	0,90	3,42	62,50	2,46	100

Keterangan:

NS = naftena jenuh

iPS = iso-parafin jenuh

nPS = normal-parafin jenuh

NU = naftena tidak jenuh

iPU = iso-parafin tidak jenuh

nPU = normal-parafin tidak jenuh

AR = aromatik

PN = polinaftena

**Tabel 5**  
**Analisis PIONA (% berat) dari degradasi naftena PIONA**

PIONA Hari ke	Naftena	Iso-Parafin	Normal-Parafin	Aromatik	>200°C	Poli-naftena	Total
0	51,40	0,11	47,98	0,38	0,09	0,04	100,00
9	0,00	0,41	98,77	0,48	0,29	0,04	100,00
12	0,00	0,00	93,21	0,00	4,91	1,88	100,00
15	0,00	0,00	95,43	0,00	3,29	1,27	100,00

mikroba. Titik asap turun disebabkan oleh naiknya kandungan senyawa aromatik, dan uji korosi terhadap perak serta titik didih akhir tetap, hal ini disebabkan karena tidak terbentuk senyawa-senyawa penyebab korosi.

**C. Sifat-Sifat Fisis Avtur yang Dipengaruhi Aktivitas Pertumbuhan *Paecilomyces sp.* dengan Variasi Konsentrasi Media**

Maksud dan tujuan percobaan ini adalah mempelajari perubahan sifat-sifat fisis avtur yang disebabkan oleh aktivitas pertumbuhan kapang *Paecilomyces sp.* dengan variasi konsentrasi media dalam avtur. Percobaan dilakukan selama 30 hari dan pengamatan dilaksanakan pada hari ke 0, 7, dan 30. Hasil pengamatan ini disajikan pada Tabel 3.

Hasil ini menunjukkan bahwa setelah diinkubasi selama 30 hari, berat jenis relatif naik untuk semua variasi konsentrasi media, karena berkurangnya senyawa ringan akibat pertumbuhan mikroba. Uji korosi terhadap perak tidak menunjukkan adanya perubahan bagi seluruh variasi konsentrasi media, karena tidak terbentuk senyawa-senyawa penyebab korosi. Titik beku menunjukkan adanya kenaikan untuk konsentrasi media di atas 500 ppm, karena pengurangan senyawa ringan di atas 500 ppm baru berpengaruh nyata terhadap titik beku. Titik nyala pada umumnya naik. Uji distilasi terhadap avtur, dengan variasi konsentrasi media sampai 30 hari inkubasi, menunjukkan adanya kenaikan titik didih awal. Kedua hal tersebut disebabkan oleh berkurangnya senyawa ringan yang disebabkan oleh aktivitas pertumbuhan mikroba.

**Tabel 6**  
Degradasi naftena dalam % berat pada hari ke nol

No. Atom C	Naftena	Parafin		Aromatik	Total
		Iso	Normal		
3	0,00	0,00	1,80	0,00	1,80
4	0,00	0,00	26,25	0,00	26,25
5	0,00	0,00	17,94	0,00	17,94
6	0,00	0,00	1,82	0,23	2,05
7	0,00	0,00	0,07	0,00	0,07
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	51,40	0,00	0,00	0,15	51,55
10	0,00	0,11	0,10	0,00	0,21
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	51,40	0,11	47,98	0,38	99,87
> 200°C		0,09			
Polinaftena		0,04			
Total		100,00			

**Tabel 7**  
Degradasi naftena dalam % berat pada hari ke-9

No. Atom C	Naftena	Parafin		Aromatik	Total
		Iso	Normal		
3	0,00	0,00	3,31	0,00	3,31
4	0,00	0,00	44,70	0,00	44,70
5	0,00	0,00	36,99	0,00	36,99
6	0,00	0,00	4,26	0,48	4,74
7	0,00	0,00	1,24	0,00	1,24
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,15	0,00	0,00	0,15
10	0,00	0,27	0,00	0,00	0,27
11	0,00	0,00	8,27	0,00	8,27
Total	0,00	0,42	98,77	0,48	99,67
> 200°C		0,29			
Polinaftena		0,04			
Total		100,00			

**D. Pengujian Degradasi Avtur oleh Kapang *Paecilomyces* sp.**

Pengaruh pertumbuhan *Paecilomyces* sp. dalam avtur diamati dengan melakukan analisis kandungan PIONA (parafin, isoparafin, olefin, naftena, dan aromatik). Maksud dan tujuan percobaan ini adalah mempelajari degradasi avtur oleh kapang *Paecilomyces* sp. selama 18 hari yang didasarkan atas hasil pengamatan sebelumnya dan diinkubasi pada suhu optimum.

Pengamatan dilakukan dengan membandingkan kandungan PIONA pada titik nol yang diinkubasi pada suhu optimum sampai hari ke 3, 6, 9, 12, 15, dan 18. Hasil pengamatan berdasarkan persen berat dan disajikan pada Tabel 4. Hasil ini menunjukkan bahwa setelah hari ke 12 terlihat dengan jelas turunnya kandungan naftena kurang lebih 60% dan diikuti dengan naiknya iso-parafin sebesar 24%, senyawa-senyawa dengan fraksi di atas 200°C naik sekitar 3% dan polinaftena naik sekitar 75%.

Apabila diamati berdasarkan jumlah atom C, terlihat bahwa iso-parafin yang terbentuk dengan jumlah atom C sama dengan jumlah atom C pada naftena yang bersangkutan. Hasil pengamatan berdasarkan persen volume hampir sama jika dibandingkan dengan hasil pengamatan berdasarkan persen berat.

**E. Pengujian Degradasi Naftena oleh Kapang *Paecilomyces* sp.**

Maksud dan tujuan percobaan ini adalah mempelajari degradasi oleh kapang *Paecilomyces* sp. pada senyawa naftena yang merupakan bagian dari komposisi avtur dan mempelajari meka-

**Tabel 8**  
Degradasi naftena dalam % berat pada hari ke-12

No. Atom C	Naftena	Parafin		Aromatik	Total
		Iso	Normal		
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	56,12	0,00	56,12
5	0,00	0,00	37,09	0,00	37,09
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	0,00	0,00	93,21	0,00	93,21

> 200°C	4,91
Polinaftena	1,88
Total	100,00

**Tabel 9**  
Degradasi naftena dalam % berat pada hari ke-15

No. Atom C	Naftena	Parafin		Aromatik	Total
		Iso	Normal		
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	49,46	0,00	49,46
5	0,00	0,00	45,97	0,00	45,97
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	0,00	0,00	95,43	0,00	95,43

> 200°C	3,29
Polinaftena	1,27
Total	100,00

nisme degradasinya. Naftena yang digunakan adalah 1,2,4-trimetilsikloheksana yang mengandung parafin sekitar 48%.

Pengamatan hasil degradasi dilakukan pada hari ke 0, 9, 12, dan 15 dengan menggunakan PIONA Analyzer. Hasil pengamatan berdasarkan persen berat disajikan pada Tabel 5, sedangkan pengamatan kenaikan/penurunan (dalam persentase) masing-masing jumlah atom karbon seperti pada Tabel 6 sampai dengan Tabel 9.

Pada degradasi 1,2,4-trimetilsikloheksana (naftena), hasilnya menunjukkan bahwa pada hari ke 9, naftena telah mengalami penurunan sampai 100%, yang diikuti dengan naiknya parafin terutama n-butana dan n-pentana naik 106%, dan aromatik naik 26%. Senyawa-senyawa dengan fraksi di atas 200°C naik 222% dan untuk polinaftena belum terlihat adanya kenaikan. Akan tetapi setelah hari ke 12, iso-parafin dan aromatik turun sampai 100%, n-parafin turun 4% dan diikuti dengan naiknya senyawa-senyawa di atas 200°C sebesar 5356% dan polinaftena naik 4600%.

Apabila diamati berdasarkan persentase jumlah atom karbon pada hari ke 9 (Tabel 6 sampai dengan Tabel 9) menunjukkan bahwa penurunan naftena sampai 100% adalah untuk naftena C9 diikuti dengan naiknya sebagian besar normal-parafin dengan jumlah atom karbon 3, 4, 5, 6, 7, 11 dan iso-parafin C9 dan C10. Dari normal-parafin ini yang paling banyak adalah n-butana dan n-pentana. Setelah hari ke 12 terlihat adanya kenaikan senyawa-senyawa di atas 200°C dan polinaftena yang besar sekali (13/4 kalinya). Pembentukan ini diperoleh dengan habisnya iso-parafin, aromatik, dan normal-parafin, kecuali untuk yang jumlah atom karbonnya 4 dan 5 yaitu n-butana dan n-pentana.

## VII. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan-percobaan ini dapat disimpulkan bahwa;

1. *Paecilomyces* sp. hasil isolasi dari avtur Indonesia terbukti dapat tumbuh dalam avtur yang mempunyai kadar air lebih rendah dari nilai yang ditolerir (30 ppm) sebagai bahan bakar penerbangan di Indonesia.
2. Sifat-sifat fisis avtur yang dipengaruhi oleh pertumbuhan *Paecilomyces* sp. menunjukkan adanya kenaikan berat jenis relatif, titik beku, titik nyala, titik didih awal, dan turunnya titik asap, tetapi tidak terjadi perubahan pada uji korosi dan titik didih akhir.

3. Degradasi avtur oleh *Paecilomyces* sp. memberikan indikasi turunnya kandungan naftena dalam avtur mencapai lebih dari setengahnya, yang diikuti dengan naiknya iso-parafin yang mempunyai jumlah C yang sama dengan jumlah C pada naftena yang bersangkutan.
4. Terlihat kenaikan fraksi di atas 200°C dan polinaftena menjadi 13/4 kalinya dalam waktu 12 hari.
5. Biodegradasi avtur oleh *Paecilomyces* sp. menunjukkan dengan jelas terutama terjadi pada komponen naftena.
6. Khusus senyawa 1,2,4-trimetil sikloheksana dalam waktu 9 hari didegradasi oleh *Paecilomyces* sp. membentuk n-butana dan n-pentana dan sedikit polinaftena dan senyawa bertitik didih di atas 200°C.

## KEPUSTAKAAN

1. Azouly, E., J.C. Senez, 1960, Degradation bacterienne des hydrocarbures parafiniques II, determination des produits intermediares par la methode des adaptations simultanees, Ann. D.Inst. Pasteur, 8, 868-879.
2. Bosecker, K., 1997, Microbial deterioration of hydrocarbon, *Proceedings of the 6th International Conference on Stability and Handling of Liquid Fuels*, U.S. Department of Energy, Washington, DC.
3. Brown, A.H.S., G. Smith, 1957, *Paecilomyces* and *Byssochlamys*. Trans. Br., Mycol. Soc., 40, 17-89.
4. Davis, B., 1967, *Petroleum Microbiology*, Elsevier Publishing Company, New York.
5. Domsch, K.H., H. Gams, T-H Anderson, 1993, *Compendium of Soil Fungi*, 1, IHW-Verlag, Jerman.
6. Hobson, G.D., W. Pohl, 1972, *Modern Petroleum Technology*, Elsevier Publishing Company, New York.
7. Lin, H.T., M. Iida, H. Iizuka, 1971, Formation of organic acids and ergosterol from n-alkanes by fungi isolated from oil fields in Japan, *J.Ferment. Technol.*, 49, 771-777.
8. Llanos, C., A. Kjoeller, 1976, Changes in the flora of soil fungi following oil waste applications, *Oikos* 27, 379-382.

9. Nyns, E.J., J.P. Auquier, A.L. Wiaux, 1968, Taxonomic value of the property of fungi to assimilate hydrocarbons, *Antonie van Leeuwenhoek*, 34, 441-457.
10. Sharpley, M., 1966, *Elementary Petroleum Microbiology*, Gulf Publishing Company, Houston.
11. Smith, M., 1970, *Aviation Fuels*, G.T. Foulis & Co. Ltd., Oxfordshire.
12. Sri Kadarwati, 1989, Beberapa Sifat Kehidupan *Paecilomyces* sp. dalam Bahan Bakar Pesawat Udara Jet, Tesis, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
13. Sri Kadarwati, 1999, Degradasi Avtur oleh Isolat *Paecilomyces* sp. dari Indonesia, Disertasi, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
14. Stewart, J.E., 1958, Microbial oxidation of hydrocarbons, Thesis, State University of Iowa.
15. ZoBell, C.E., 1950, Assimilation of hydrocarbons by microorganisms, *Advance Enzymol.*, 10, 443-486. •