

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian tentang efektivitas konsorsium mikroba dalam mendegradasi lumpur minyak (*oil sludge*) dengan variasi waktu inkubasi menghasilkan data sebagai berikut:

- a. Jumlah total mikroba (CFU/mL) dan persentase degradasi *oil sludge* (%) berbagai variasi konsorsium mikroba yang diinkubasi selama 3, 7 dan 14 hari;
- b. Nilai pH kultur.

Uraian tentang masing-masing data hasil penelitian tersebut, selanjutnya disajikan dan dibahas secara berturut-turut sebagai berikut.

#### **4.1 Hasil Jumlah Total Mikroba Mikroba (CFU/mL) dan Persentase Degradasi Oil Sludge (%) Berbagai Konsorsium Mikroba yang Diinkubasi Selama 3, 7 dan 14 Hari**

Pada penelitian ini dilakukan penghitungan jumlah total mikroba (CFU/mL) dan persentase degradasi *oil sludge* (%) pada waktu inkubasi 3, 7, dan 14 hari. Pengaruh variasi konsorsium mikroba dan perbedaan waktu inkubasi, serta kombinasi terbaik dalam mendegradasi *oil sludge* diketahui dengan pengujian statistik. Data rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) secara lengkap ditampilkan di lampiran 1a dan persentase degradasi *oil sludge* (%) secara lengkap ditampilkan di lampiran 1c. Data rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) dan persentase degradasi *oil sludge* (%) terlebih dahulu diuji normalitas menggunakan *Kolmogorov-Smirnov Test* ( $p\text{-value} \geq 0,05$ ) dan uji homogenitas menggunakan *Levene Test*.

Data log jumlah total mikroba (CFU/mL) berdistribusi normal karena  $p\text{-value} >$  derajat signifikansi ( $\alpha = 0,05$ ), namun tidak homogen karena  $p\text{-value} < \alpha$  (0,05). Sehingga, data log jumlah total mikroba (CFU/mL) diuji menggunakan uji *Brown-Forsythe*, yaitu untuk mengetahui pengaruh variabel. Hasil uji *Brown-Forsythe* adalah  $H_0$  ditolak karena  $p\text{-value} < \alpha$  (0,05) yang berarti ada pengaruh variasi konsorsium mikroba dan perbedaan waktu inkubasi terhadap jumlah total mikroba (CFU/mL). Data rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) diuji lanjutan dengan uji *Games-Howell* untuk mengetahui pasangan kelompok perlakuan yang memiliki jumlah total mikroba berbeda signifikan. Hasil uji statistik secara lengkap ditampilkan pada lampiran 2a.

Data persentase degradasi *oil sludge* berdistribusi normal karena  $p\text{-value} >$  taraf signifikansi ( $\alpha = 0,05$ ) dan homogen karena  $p\text{-value} > \alpha$  (0,05). Data yang telah normal dan homogen tersebut diuji dengan *Two-way Analysis of Varians test* (uji ANOVA dua arah) dengan taraf signifikansi 5% dan menunjukkan adanya pengaruh dari perlakuan. Hasil uji ANOVA dua arah menunjukkan bahwa  $H_0$  ditolak karena  $p\text{-value} < \alpha$  (0,05) yang berarti ada pengaruh variasi konsorsium mikroba dan perbedaan lama waktu inkubasi terhadap persentase degradasi *oil sludge* (%). Data persentase degradasi *oil sludge* (%) diuji lanjut menggunakan uji *Duncan* yang bertujuan untuk mengetahui apakah antar variabel tersebut berbeda signifikan atau tidak. Hasil uji statistik secara lengkap ditampilkan pada lampiran 2b.

#### 4.1.1 Pengaruh variasi konsorsium mikroba terhadap jumlah total mikroba (CFU/mL) dan persentase degradasi *oil sludge* (%)

Hasil pengaruh formula konsorsium mikroba terhadap rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) dan persentase degradasi *oil sludge* (%) disajikan pada tabel 4.1, serta gambar 5a dan 5b dengan perincian sebagai berikut.

Tabel 4.1. Rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) dan persentase degradasi *oil sludge* (%) pada masing-masing konsorsium mikroba.

Jenis Konsorsium	Log Jumlah Total Mikroba (CFU/mL)	Persentase Degradasi <i>Oil Sludge</i> (%) dengan notasi ( $\alpha$ 0,05)
K1	6,56 ± 0,59	31,69 ± 8,29 <sup>de</sup>
K2	15,56 ± 4,26	<b>35,73 ± 8,89<sup>e</sup></b>
F1	23,52 ± 2,17	23,86 ± 3,11 <sup>bc</sup>
F2	21,34 ± 4,27	15,77 ± 8,72 <sup>a</sup>
F3	20,63 ± 3,51	20,54 ± 9,51 <sup>ab</sup>
F4	24,85 ± 3,34	26,31 ± 3,82 <sup>bcd</sup>
F5	<b>24,93 ± 2,51</b>	27,30 ± 4,79 <sup>cd</sup>

Keterangan: Nilai rata-rata persentase degradasi *oil sludge* yang diikuti oleh notasi huruf berbeda menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan ( $\alpha$  0,05). Notasi huruf berdasarkan hasil uji *Duncan*.

K1 : *tween-20* (=CMC) + *oil sludge*

K2 : AMS molase + akuades + *oil sludge*

F1 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* hidrokarbonoklastik + *oil sludge*

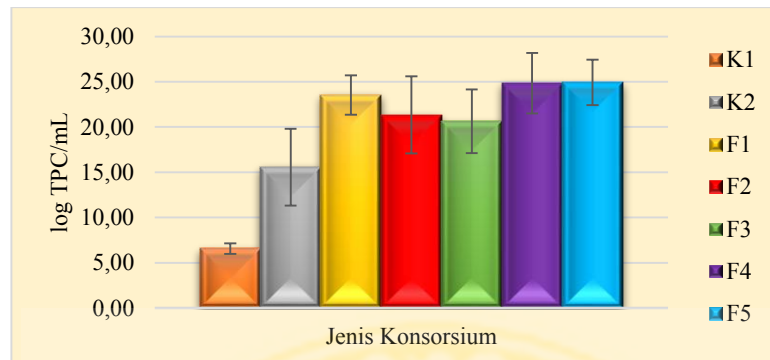
F2 : AMS molase + konsorsium 4 jenis bakteri penghasil biosurfaktan + *oil sludge*

F3 : AMS molase + konsorsium 7 jenis bakteri hidrokarbonoklastik + *oil sludge*

F4 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* hidrokarbonoklastik dan 4 jenis bakteri penghasil biosurfaktan + *oil sludge*

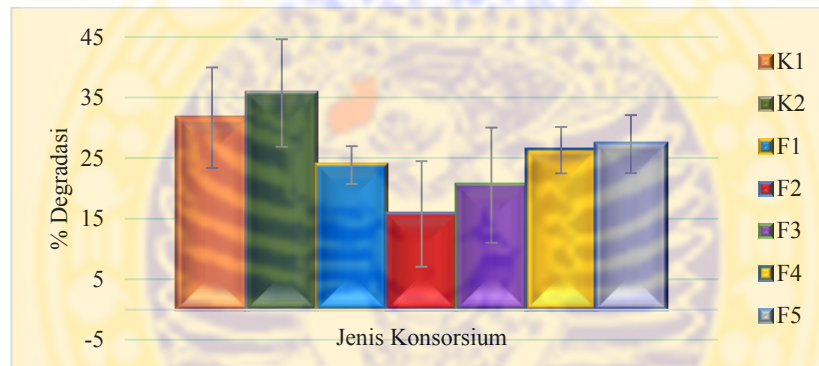
F5 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* dan 7 jenis bakteri hidrokarbonoklastik + *oil sludge*

a.



Gambar 5a. Rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) pada berbagai konsorsium mikroba.

b.



Gambar 5b. Persentase degradasi *oil sludge* (%) pada berbagai konsorsium mikroba.

Keterangan:

K1 : *tween-20* (=CMC) + *oil sludge*

K2 : AMS molase + akuades + *oil sludge*

F1 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* hidrokarbonoklastik + *oil sludge*

F2 : AMS molase + konsorsium 4 jenis bakteri penghasil biosurfaktan + *oil sludge*

F3 : AMS molase + konsorsium 7 jenis bakteri hidrokarbonoklastik + *oil sludge*

F4 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* hidrokarbonoklastik dan 4 jenis bakteri penghasil biosurfaktan + *oil sludge*

F5 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* dan 7 jenis bakteri hidrokarbonoklastik + *oil sludge*

Pada gambar 5a menunjukkan bahwa pada umumnya perlakuan konsorsium mikroba yang ditambahkan ke dalam medium mempunyai perbedaan terhadap rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL). Berdasarkan diagram pada gambar 5a dapat dilihat bahwa rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) yang paling tinggi adalah

pada perlakuan F5, namun F5 tidak berbeda signifikan dengan F4 yaitu berturut-turut sebesar  $24,93 \pm 2,51$  CFU/mL dan  $24,85 \pm 3,34$  CFU/mL. Pada gambar 5b dan hasil uji *Duncan* pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa persentase degradasi *oil sludge* perlakuan F5 dan F4 lebih rendah daripada kontrol K1 dan K2. Persentase degradasi *oil sludge* perlakuan F5 dan F4 yaitu berturut-turut sebesar  $27,30 \pm 4,79\%$  dan  $26,31 \pm 3,82\%$ .

Pada gambar 5b menunjukkan bahwa pada umumnya perlakuan konsorsium mikroba yang ditambahkan ke dalam medium mempunyai perbedaan terhadap rata-rata persentase degradasi *oil sludge* (%). Berdasarkan diagram pada gambar 5b dan hasil uji *Duncan* pada tabel 4.1 dapat dilihat bahwa rata-rata persentase degradasi *oil sludge* (%) tertinggi yaitu pada perlakuan K2 yaitu sebesar  $35,73 \pm 8,89\%$ , namun K2 tidak berbeda signifikan dengan K1 ( $31,69 \pm 8,29\%$ ). Pada rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) K2 dan K1 mempunyai nilai yang rendah yaitu berturut-turut sebesar  $15,56 \pm 4,26$  CFU/mL dan  $6,56 \pm 0,59$  CFU/mL. Hal tersebut dapat dimungkinkan karena faktor nutrisi. Kebutuhan nutrisi mikroba yang ada di dalam K1 dan K2 lebih terpenuhi karena jumlah mikroba yang lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan penambahan mikroba. Sehingga, proses pendegradasian *oil sludge* pada K1 dan K2 lebih efektif.

K2 dan K1 merupakan perlakuan kontrol tanpa pemberian mikroba eksogenus sehingga K1 dan K2 hanya terdiri atas mikroba indigenus. Proses degradasi yang terjadi di dalam K2 dan K1 dilakukan oleh mikroba indigenus yang ada di *oil sludge*. Menurut Yudono (2013), pada lingkungan yang tercemar terdapat bakteri indigenus.



Hal tersebut didukung oleh Panda, *et al.* (2013) menyatakan bahwa pada lingkungan yang tercemar minyak terdapat mikroba indigenus yang dapat mendegradasi minyak secara alami. Mikroba indigenus sudah teradaptasi dengan baik pada *oil sludge* serta dapat berekspresi maksimal karena adanya bantuan nutrisi sehingga dapat mendegradasi *oil sludge* dengan baik.

Pada hasil uji *Duncan* perlakuan F1 yang terdiri atas mikroba indigenus dan penambahan mikroba eksogenus yaitu *yeast* hidrokarbonoklastik mempunyai persentase degradasi sebesar  $23,86 \pm 3,11\%$  yang tidak berbeda signifikan dengan perlakuan F3. Perlakuan F3 yang terdiri atas mikroba indigenus dan penambahan mikroba eksogenus yaitu bakteri hidrokarbonoklastik mempunyai persentase degradasi sebesar  $20,54 \pm 9,51\%$ . Namun, perlakuan F1 mempunyai perbedaan yang signifikan dengan perlakuan F2. Perlakuan F2 yang terdiri atas mikroba indigenus dan penambahan mikroba eksogenus yaitu bakteri penghasil biosurfaktan mempunyai persentase degradasi sebesar  $15,77 \pm 8,72\%$ . Hasil analisis di atas menunjukkan bahwa interaksi jenis konsorsium mikroba memberikan pengaruh yang berbeda terhadap degradasi *oil sludge* (%).

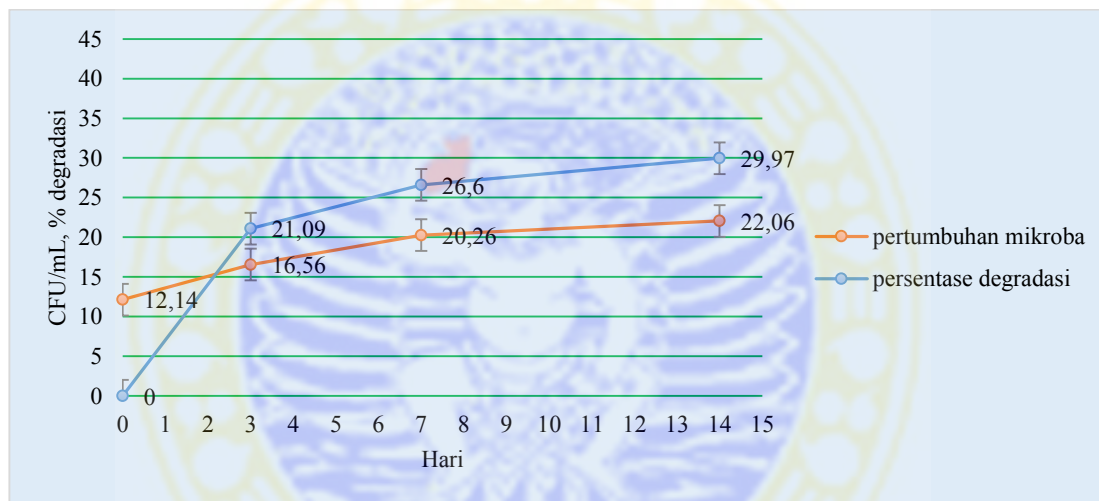
#### **4.1.2 Pengaruh perbedaan waktu inkubasi terhadap jumlah total mikroba (CFU/mL) dan persentase degradasi *oil sludge* (%)**

Pengaruh perbedaan waktu inkubasi terhadap rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) dan persentase degradasi *oil sludge* (%) disajikan pada tabel 4.2, serta gambar 6 dengan perincian sebagai berikut.

Tabel 4.2. Rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) dan persentase degradasi *oil sludge* (%) pada waktu inkubasi yang berbeda.

Waktu Inkubasi (hari)	Log Jumlah Total Mikroba (CFU/mL)	Degradasi <i>oil sludge</i> (%) dengan notasi ( $\alpha$ 0,05)
3	16,56 ± 6,07	21,09 ± 7,83 <sup>a</sup>
7	20,26 ± 6,81	26,60 ± 9,91 <sup>b</sup>
14	<b>22,06 ± 7,27</b>	<b>29,97 ± 7,94<sup>b</sup></b>

Keterangan: Nilai rata-rata persentase degradasi *oil sludge* yang diikuti oleh notasi huruf berbeda menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan ( $\alpha$  0,05). Notasi huruf berdasarkan hasil uji *Duncan*.



Gambar 6. Rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) dan persentase degradasi *oil sludge* (%) pada waktu inkubasi yang berbeda.

Keterangan:

- K1 : *tween*-20 (=CMC) + *oil sludge*
- K2 : AMS molase + akuades + *oil sludge*
- F1 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* hidrokarbonoklastik + *oil sludge*
- F2 : AMS molase + konsorsium 4 jenis bakteri penghasil biosurfaktan + *oil sludge*
- F3 : AMS molase + konsorsium 7 jenis bakteri hidrokarbonoklastik + *oil sludge*
- F4 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* hidrokarbonoklastik dan 4 jenis bakteri penghasil biosurfaktan + *oil sludge*
- F5 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* dan 7 jenis bakteri hidrokarbonoklastik + *oil sludge*

Pada gambar 6 terlihat grafik yang berkorelasi positif, hal tersebut menunjukkan bahwa mikroba yang ditambahkan dapat hidup bersama dengan mikroba indigenus.

Pada tabel 4.6 dan gambar 6 di atas dapat diketahui pula bahwa waktu inkubasi 14 hari menunjukkan hasil yang paling tinggi untuk rata-rata persentase degradasi *oil sludge* (%) dan log jumlah total mikroba (CFU/mL). Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu inkubasi maka semakin besar persentase degradasi *oil sludge* dan hal yang menarik adalah pada waktu inkubasi 14 hari rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) belum mengalami fase kematian. Namun jika dilihat pada grafik dari gambar 6, mikroba mengalami perlambatan pertumbuhan setelah hari ke-7 dan mengalami perlambatan degradasi *oil sludge* setelah hari ke-3. Hal tersebut dapat dikarenakan faktor penurunan oksigen, pH dan kenaikan hasil metabolit mikroba.

Berdasarkan hasil uji *Duncan* pada tabel 4.2 di atas menunjukkan bahwa rata-rata persentase degradasi *oil sludge* (%) pada hari ke-14 tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap rata-rata persentase degradasi *oil sludge* (%) pada hari ke-7, namun menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap rata-rata persentase degradasi *oil sludge* (%) pada hari ke-3. Pada penelitian Kristianto (2012), hasil uji *Duncan* tentang pengaruh lama waktu inkubasi (0, 7, 14, 21 hari) terhadap berat residu *oil sludge* menunjukkan bahwa pada waktu inkubasi 7 hari dan 14 hari juga tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap berat residu *oil sludge*. Hasil tersebut berbeda dengan penelitian Wenti (2012) yang pada masing-masing lama waktu inkubasi (0, 7, 14 hari) mempunyai pengaruh signifikan terhadap hasil degradasi *oil sludge* yang ditunjukkan dengan notasi yang berbeda pada hasil uji *Duncan*.



#### 4.1.3 Pengaruh kombinasi konsorsium mikroba dan waktu inkubasi terhadap jumlah total mikroba (CFU/mL) dan persentase degradasi *oil sludge* (%)

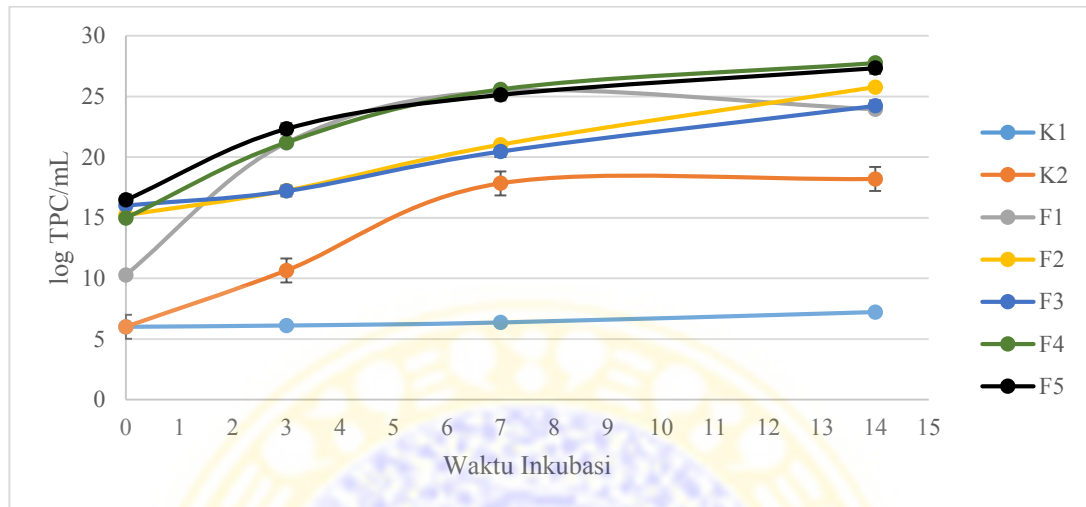
Pengaruh kombinasi konsorsium mikroba dan waktu inkubasi terhadap rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) dan persentase degradasi *oil sludge* (%) yang disajikan pada tabel 4.3, serta gambar 7a dan 7b dengan perincian sebagai berikut.

Tabel 4.3. Rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) dan persentase degradasi *oil sludge* (%) pada masing-masing kombinasi konsorsium mikroba dan waktu inkubasi.

Interaksi	Log jumlah total mikroba (CFU/mL)	Degradasi <i>oil sludge</i> (%) dengan notasi ( $\alpha$ 0,05)
K1H3	6,11 ± 0,02	25,27 ± 5,16 <sup>bcd</sup>
K1H7	6,36 ± 0,27	34,67 ± 10,02 <sup>efg</sup>
K1H14	7,22 ± 0,52	35,12 ± 7,41 <sup>efg</sup>
K2H3	10,65 ± 0,80	26,96 ± 4,13 <sup>de</sup>
K2H7	17,83 ± 0,14	39,14 ± 6,63 <sup>fg</sup>
K2H14	18,19 ± 2, 02	<b>41,08 ± 8,93<sup>g</sup></b>
F1H3	21,17 ± 0,14	22,00 ± 2,98 <sup>bcd</sup>
F1H7	25,45 ± 0,24	24,14 ± 4,48 <sup>bcd</sup>
F1H14	23,95 ± 0,21	25,45 ± 0,80 <sup>bcd</sup>
F2H3	17,23 ± 0,06	9,96 ± 4,92 <sup>a</sup>
F2H7	21,02 ± 0,01	13,76 ± 9,81 <sup>abc</sup>
F2H14	25,76 ± 0,20	23,59 ± 5,92 <sup>bcd</sup>
F3H3	17,21 ± 0,07	13,29 ± 6,99 <sup>ab</sup>
F3H7	20,46 ± 0,80	20,55 ± 8,39 <sup>abcd</sup>
F3H14	24,22 ± 0,46	27,79 ± 9,20 <sup>def</sup>
F4H3	21,20 ± 0,61	24,53 ± 5,33 <sup>bcd</sup>
F4H7	25,58 ± 0,13	26,99 ± 2,22 <sup>de</sup>
F4H14	<b>27,76 ± 0,12</b>	27,42 ± 4,22 <sup>def</sup>
F5H3	22,33 ± 0,97	25,59 ± 7,43 <sup>cde</sup>
F5H7	25,13 ± 0,29	26,95 ± 1,14 <sup>de</sup>
F5H14	27,33 ± 0,12	29,37 ± 4,92 <sup>def</sup>

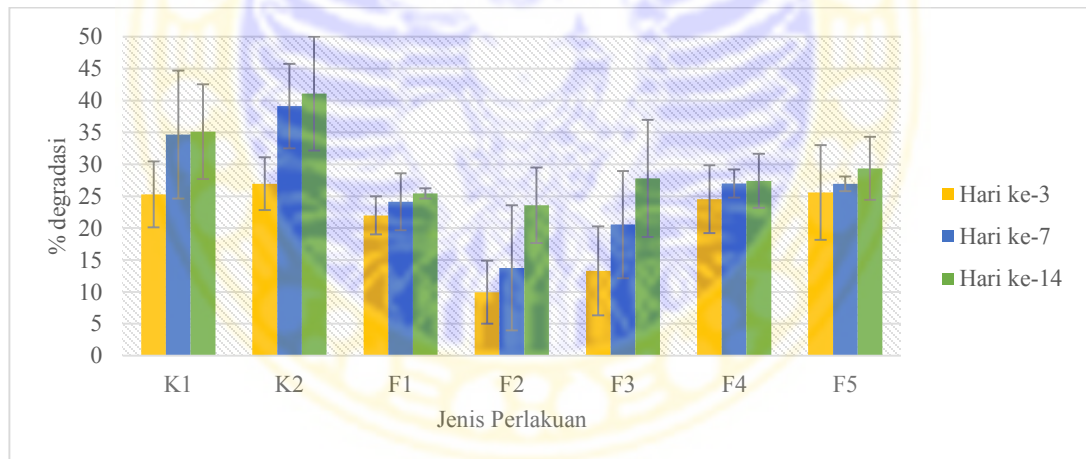
Keterangan: Nilai rata-rata persentase degradasi *oil sludge* yang diikuti oleh notasi huruf berbeda menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan ( $\alpha$  0,05). Notasi huruf berdasarkan hasil uji *Duncan*.

a.



Gambar 7a. Jumlah total mikroba (CFU/mL) pada waktu inkubasi 0, 3, 7, dan 14 hari.

b.

Gambar 7b. Persentase degradasi *oil sludge* (%) pada waktu inkubasi 3, 7, dan 14 hari.

Keterangan:

K1 : *tween-20* (=CMC) + *oil sludge*K2 : AMS molase + akuades + *oil sludge*F1 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* hidrokarbonoklastik + *oil sludge*F2 : AMS molase + konsorsium 4 jenis bakteri penghasil biosurfaktan + *oil sludge*F3 : AMS molase + konsorsium 7 jenis bakteri hidrokarbonoklastik + *oil sludge*F4 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* hidrokarbonoklastik dan 4 jenis bakteri penghasil biosurfaktan + *oil sludge*F5 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* dan 7 jenis bakteri hidrokarbonoklastik + *oil sludge*

Berdasarkan tabel 4.3 dan gambar 7a menunjukkan bahwa rata-rata log jumlah total mikroba (CFU/mL) tertinggi yaitu perlakuan F4H14 (perlakuan F4 pada waktu inkubasi 14 hari), namun F4H14 tidak berbeda signifikan dengan F5H14. F4H14 dan F5H14 mempunyai nilai berturut-turut  $27,76 \pm 0,12$  CFU/mL dan  $27,33 \pm 0,12$  CFU/mL. Berdasarkan uji *Duncan*, perlakuan F4H14 dan F5H14 tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Persentase degradasi *oil sludge* (%) F4H14 dan F5H14 berturut-turut yaitu  $27,42 \pm 4,22\%$  dan  $29,37 \pm 4,92\%$ .

Berdasarkan tabel 4.3 dan gambar 7b menunjukkan bahwa kombinasi terbaik antara variasi jenis konsorsium mikroba dan waktu inkubasi terhadap persentase degradasi *oil sludge* adalah K2H14 sebesar  $41,08 \pm 8,93\%$ . Namun, perlakuan K2H14 tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan pada hasil perlakuan K2H7 ( $39,14 \pm 6,63\%$ ). Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi perlambatan biodegradasi antara hari ke-7 dan ke-14. Hal tersebut dapat disebabkan oleh ketersediaan oksigen di dalam bioreaktor yang semakin menurun. K2H14 yaitu perlakuan biostimulasi dengan AMS dan molase tanpa penambahan inokulum mikroba eksogenus yang diinkubasi selama 14 hari. Mikroba indigenus lebih mampu beradaptasi terhadap kondisi *oil sludge* yang memiliki struktur dan karakteristik yang khas. Konsorsium mikroba indigenus juga diduga mempunyai hubungan sinergisitas yang baik antar mikroba penyusunnya sehingga dapat mendegradasi *oil sludge* paling tinggi (Kristianto, 2012). Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian Wenti (2012), bahwa pada perlakuan dengan waktu inkubasi lebih lama akan menghasilkan nilai degradasi *oil sludge* yang lebih besar. Hal tersebut didukung oleh penelitian Godgic-Cvijovic, *et al.* (2011), menyatakan bahwa

konsorsium mikroba indigenus *petroleum sludge* dengan biostimulasi dapat mendegradasi *petroleum sludge* sebesar 82-88% dalam 12 minggu.

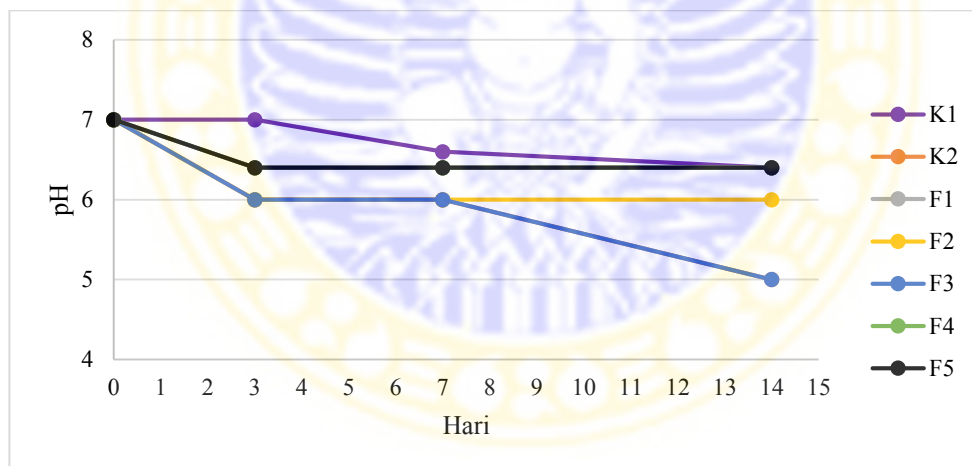
Perlakuan K2H14 dan K2H7 mempunyai rata-rata jumlah total mikroba (CFU/mL) berturut-turut  $18,19 \pm 2,02$  CFU/mL dan  $17,83 \pm 0,14$  CFU/mL. Jumlah tersebut jauh lebih rendah dibandingkan perlakuan F4H14 dan F5H14, hal tersebut disebabkan karena jumlah mikroba K2 pada awal inkubasi memang lebih sedikit dibandingkan dengan F4 dan F5. Pada konsorsium K2 tidak ditambahkan mikroba eksogenus sedangkan pada F4 dan F5 ditambahkan mikroba eksogenus.

Pada gambar 7a, dapat dilihat kenaikan respon pertumbuhan mikroba antara waktu inkubasi 0 - 3 hari yang paling tinggi adalah konsorsium F1 (mikroba indigenus dan 3 jenis *yeast* hidrokarbonoklastik). Pada konsorsium K2, F4, dan F5 mempunyai gradien kenaikan pertumbuhan yang hampir sama. Konsorsium K1, F2, dan F3 mempunyai gradien kenaikan pertumbuhan yang hampir sama pula. Namun pada respon pertumbuhan waktu inkubasi 3 – 7 hari, kenaikan pertumbuhan yang paling tinggi yaitu pada K2. Konsorsium F1, F2, F3, F4, dan F5 mempunyai gradien kenaikan pertumbuhan yang hampir sama, sedangkan konsorsium K1 hampir tidak ada kenaikan pertumbuhan. Pada respon pertumbuhan waktu inkubasi 7 – 14 hari, kenaikan pertumbuhan yang paling tinggi yaitu konsorsium F2 dan F3. Konsorsium K2 yang semula mengalami peningkatan tajam, kini mengalami stasioner. Pada konsorsium F4 dan F5 mempunyai gradien yang hampir sama. Konsorsium K1 mempunyai kenaikan pertumbuhan yang rendah dan pada konsorsium F1 mengalami penurunan

pertumbuhan. Hal tersebut menunjukkan bahwa masing-masing konsorsium mikroba memberikan respon yang berbeda terhadap pertumbuhan mikroba di dalam *oil sludge*.

### 4.3 Nilai pH Kultur

Tingkat keasaman (pH) kultur merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroba (Scragg, 1999). Pertumbuhan mikroba dapat mempengaruhi pendegradasian hidrokarbon (Ni'matuzahroh, *et al.*, 2013). Pada penelitian ini dilakukan pengukuran nilai pH pada waktu inkubasi 0, 3, 7, dan 14 hari. Diagram hasil pengukuran nilai pH dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Nilai pH kultur pada waktu inkubasi 0, 3, 7, dan 14 hari.

Keterangan:

K1 : *tween-20* (=CMC) + *oil sludge*

K2 : AMS molase + akuades + *oil sludge*

F1 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* hidrokarbonoklastik + *oil sludge*

F2 : AMS molase + konsorsium 4 jenis bakteri penghasil biosurfaktan + *oil sludge*

F3 : AMS molase + konsorsium 7 jenis bakteri hidrokarbonoklastik + *oil sludge*

F4 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* hidrokarbonoklastik dan 4 jenis bakteri penghasil biosurfaktan + *oil sludge*

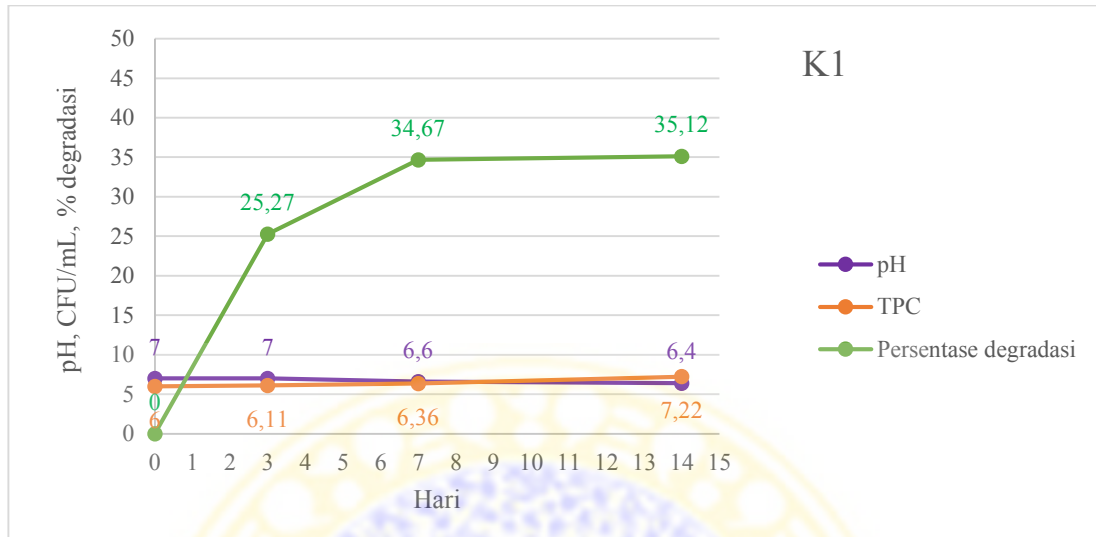


F5 : AMS molase + konsorsium 3 jenis *yeast* dan 7 jenis bakteri hidrokarbonoklastik + *oil sludge*

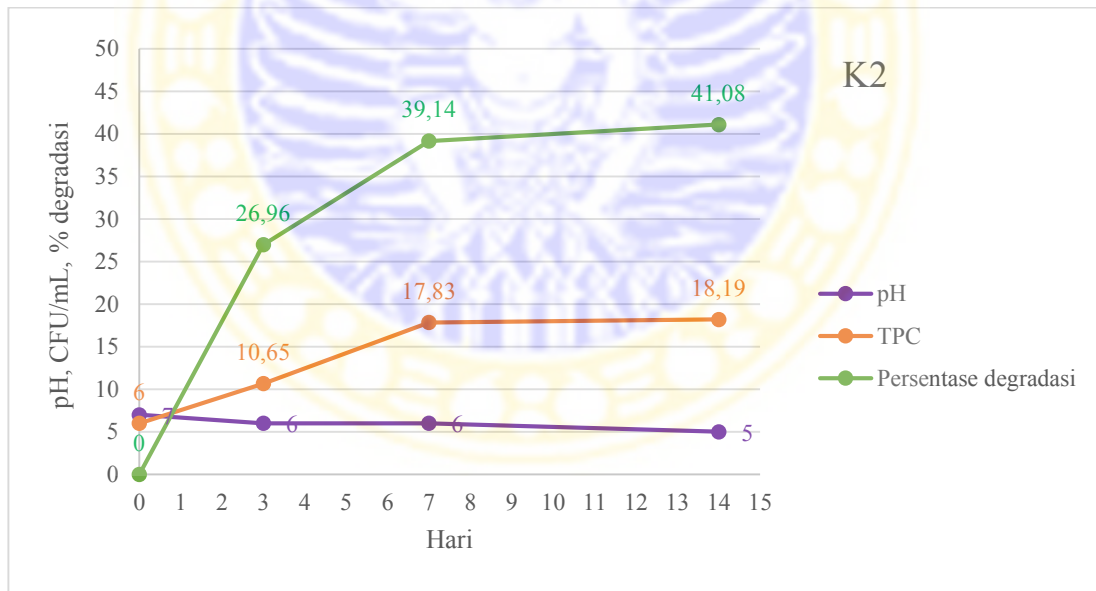
Pada gambar 8 menunjukkan bahwa semakin lama waktu inkubasi maka nilai pH kultur semakin rendah. Hasil ini didukung oleh penelitian Aliyanta, *et al.* (2011) yang menyatakan bahwa pada umumnya nilai pH pada awal perlakuan mengalami penurunan pada akhir perlakuan. Penurunan pH tersebut dapat dikarenakan oleh asam-asam organik yang dihasilkan oleh konsorsium mikroba (Aliyanta, *et al.*, 2011). Proses pendegradasian alkana dalam minyak bumi membentuk alkohol, kemudian menjadi asam lemak. Asam lemak hasil degradasi alkana dioksidasi lebih lanjut membentuk asam asetat dan asam propionat (Rossenberg, *et al.*, 1992). Asam-asam hasil metabolit tersebut dapat menurunkan nilai pH kultur. Pada K2 dan F3 terjadi penurunan pH yang lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan yang lain yaitu hingga pH 5 pada hari ke-14. Hal tersebut dapat dikarenakan adanya asam-asam hasil metabolit mikroba yang lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan yang lain.

#### **4.4 Interaksi Jumlah Total Mikroba (CFU/mL), Persentase Degradasi *Oil Sludge* (%) dan Nilai pH Kultur**

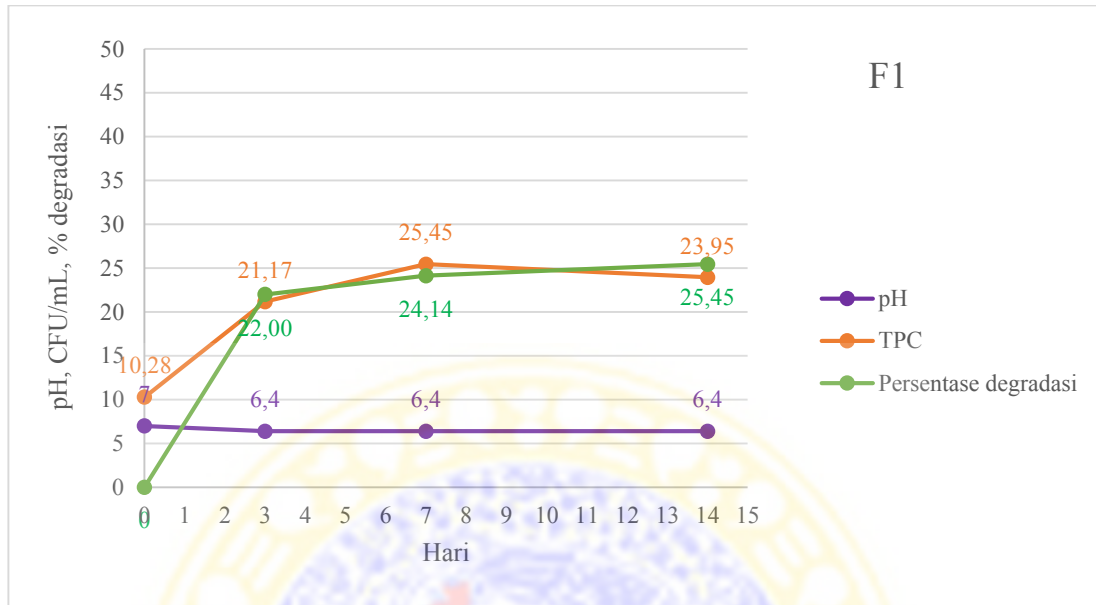
Interaksi antara jumlah total mikroba, persentase degradasi *oil sludge* dan nilai pH kultur pada masing-masing formula perlakuan dapat dilihat pada gambar 9, gambar 10, gambar 11, gambar 12, gambar 13, gambar 14, dan gambar 15.



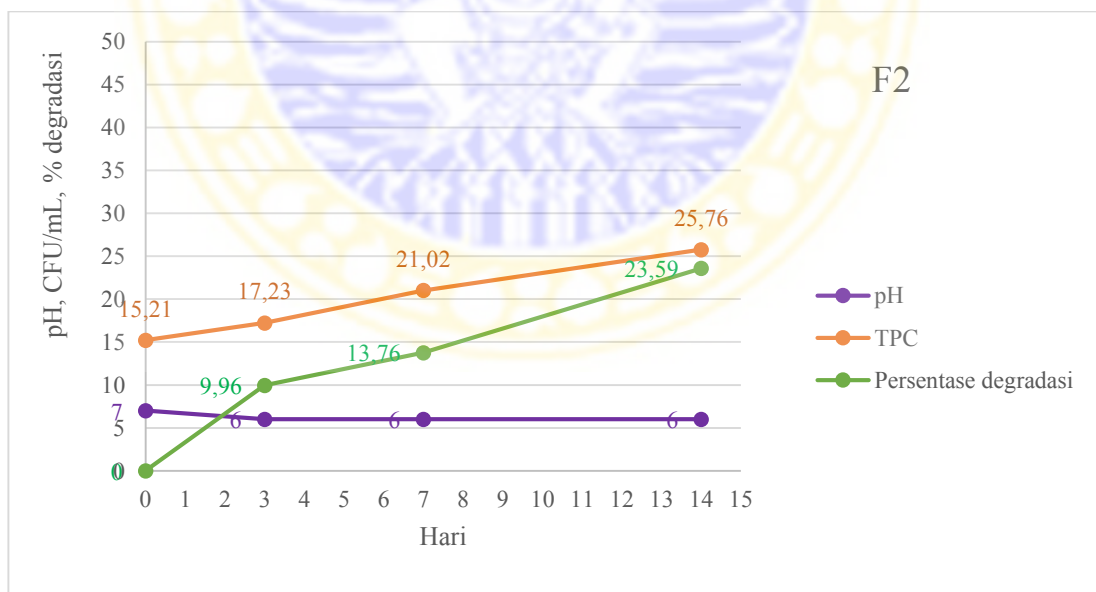
Gambar 9. Interaksi jumlah total mikroba, persentase degradasi *oil sludge* dan pH kultur pada kontrol K1 yang terdiri atas *tween-20* (=CMC) dan *oil sludge*.



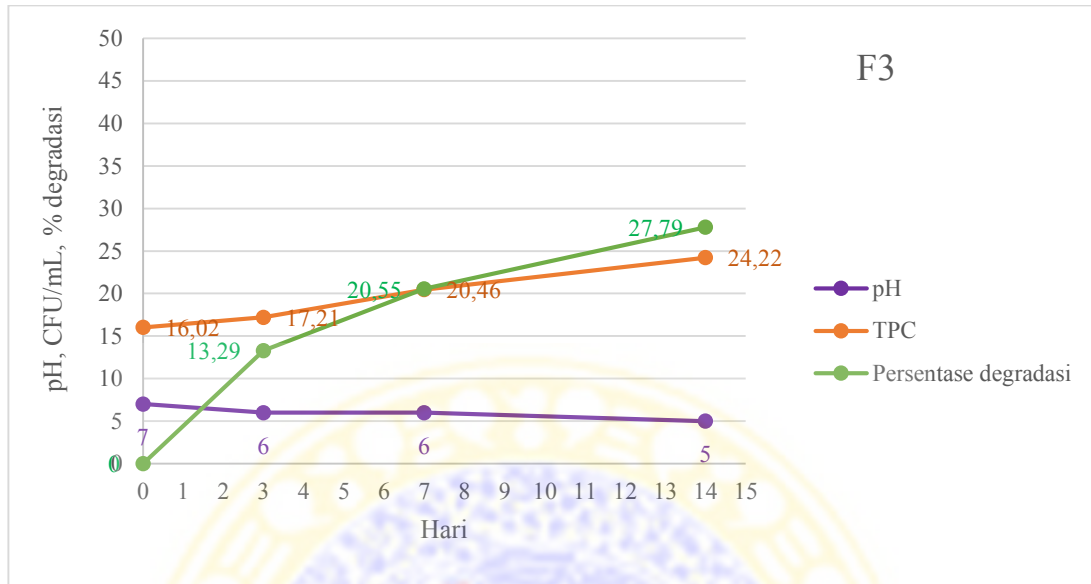
Gambar 10. Interaksi jumlah total mikroba, persentase degradasi *oil sludge* dan pH kultur pada kontrol K2 yang terdiri atas AMS molase, akuades dan *oil sludge*.



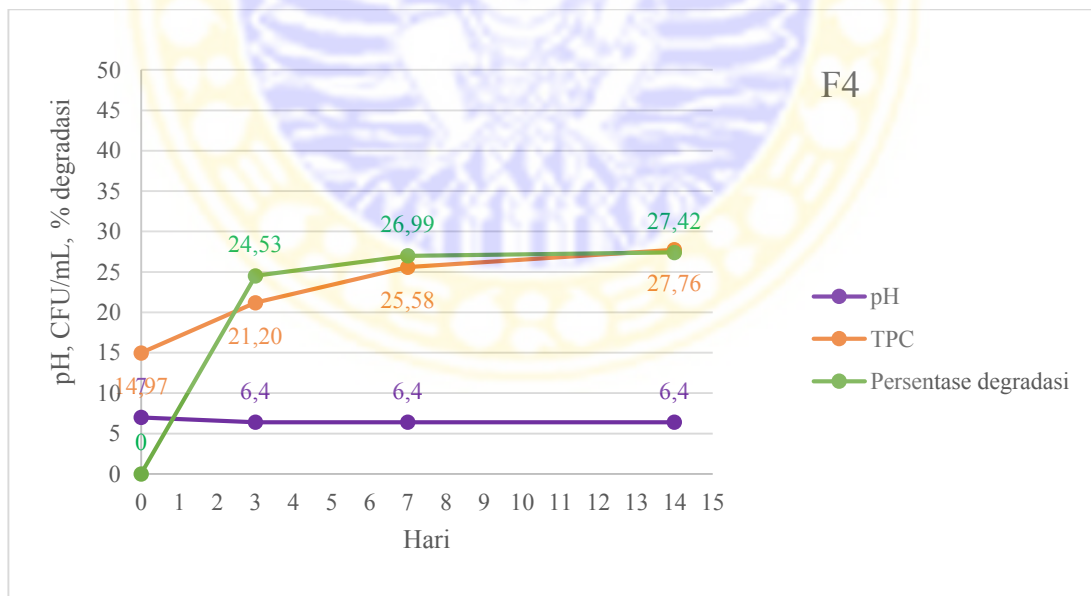
Gambar 11. Interaksi jumlah total mikroba, persentase degradasi *oil sludge* dan pH kultur pada perlakuan F1 yang terdiri atas AMS molase, konsorsium 3 jenis *yeast* hidrokarbonoklastik dan *oil sludge*.



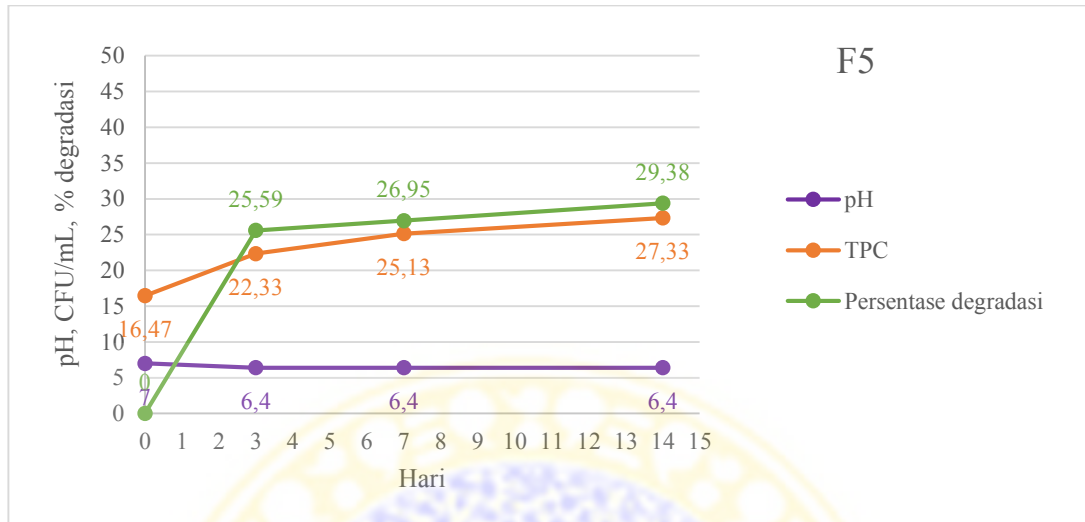
Gambar 12. Interaksi jumlah total mikroba, persentase degradasi *oil sludge* dan pH kultur pada perlakuan F2 yang terdiri atas AMS molase, konsorsium 4 jenis bakteri penghasil biosurfaktan dan *oil sludge*.



Gambar 13. Interaksi jumlah total mikroba, persentase degradasi *oil sludge* dan pH kultur pada perlakuan F3 yang terdiri atas AMS molase, konsorsium 7 jenis bakteri hidrokarbonoklastik dan *oil sludge*.



Gambar 14. Interaksi jumlah total mikroba, persentase degradasi *oil sludge* dan pH kultur pada perlakuan F4 yang terdiri atas AMS molase, konsorsium 3 jenis *yeast* hidrokarbonoklastik dan 4 jenis bakteri penghasil biosurfaktan dan *oil sludge*.



Gambar 15. Interaksi jumlah total mikroba, persentase degradasi *oil sludge* dan pH kultur pada perlakuan F5 yang terdiri atas AMS molase, konsorsium 3 jenis *yeast* dan 7 jenis bakteri hidrokarbonoklastik dan *oil sludge*.

Pada penelitian ini, secara keseluruhan grafik menunjukkan bahwa persentase degradasi *oil sludge* (%) dipengaruhi oleh mikroba yang mendegradasinya dan viabilitas mikroba dipengaruhi oleh pH. Sehingga, persentase degradasi *oil sludge* dipengaruhi oleh mikroba dan pH. Menurut Bull dan Dalton (1985) dalam Zam (2010) kondisi lingkungan yang ideal terutama pH dan konsentrasi inokulum mendukung terciptanya suatu proses penyerapan substrat yang baik. Penyerapan substrat yang baik memperlancar proses metabolisme dalam sel, sehingga pertumbuhan sel dapat berjalan lebih baik. Cookson (1995) dan Alexander (1999) dalam Zam (2010) menyatakan bahwa fungsi seluler, transpor membran, dan keseimbangan reaksi katalisis sangat dipengaruhi oleh pH, sehingga mempengaruhi pertumbuhan dan tingkat degradasi.

Kemampuan bakteri dalam memecahkan rantai hidrokarbon diawali dengan pelarutan hidrokarbon dalam fase cair oleh surfaktan yang dihasilkan mikroba



(Rossenberg, *et al.*, 1992 dalam Zam, 2010). Konsorsium dapat membentuk biosurfaktan yang dapat melarutkan hidrokarbon. Setelah terjadi pelarutan, kemudian aktivasi enzim dan pemecahan hidrokarbon *oil sludge* oleh mikroba. Berbagai faktor yang berpengaruh terhadap kecepatan mikroba dalam mendegradasi *oil sludge* seperti yang dijelaskan dalam Ni'matuzahroh *et al.* (2003) salah satunya yaitu jenis mikroba yang menentukan kemampuan mikroba untuk menghasilkan enzim, biosurfaktan, dan kemampuan adaptasi pada substrat serta hubungan sinergisme antar mikroba.

Pertumbuhan mikroba dan hasil degradasi serta adanya penurunan pH pada perlakuan K1 menunjukkan bahwa keberadaan tween-20 (=CMC) tidak meracuni mikroba. *Tween* berperan sebagai surfaktan sintetik yang berfungsi meningkatkan kelarutan minyak pada fase air. Jumlah total mikroba yang sedikit dapat menghasilkan persentase degradasi yang cukup tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa mikroba indigenus mempunyai potensi yang baik sebagai agen pendegradasi limbah *oil sludge*.

Pada perlakuan K2, grafik pertumbuhan mikroba pada hari ke-14 sudah menunjukkan fase stasioner. Hal tersebut berkorelasi pada grafik persentase degradasi yang pada hari ke-14 juga menunjukkan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan hari ke-7. Hal tersebut dimungkinkan karena pada hari ke-14 ketersediaan oksigen sudah menurun. Enzim yang berperan dalam proses degradasi hidrokarbon adalah enzim oksigenase, sehingga ketersediaan oksigen merupakan syarat keberhasilan degradasi hidrokarbon minyak (Saputra, 2013). Namun pada grafik pH

menunjukkan penurunan hingga pH 5 pada hari ke-14. Hal tersebut dikarenakan banyaknya asam-asam organik hasil metabolisme mikroba.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah didapatkan, dapat dinyatakan bahwa mikroba indigenus *oil sludge* mempunyai potensi untuk menghasilkan biosurfaktan. Hal tersebut sesuai dengan hasil kelarutan minyak pada fase air yang tinggi antara hari ke-3, ke-7, dan ke-14 yaitu berturut-turut 18,71%, 17,54%, dan 18,30%. Mikroba indigenus *oil sludge* juga terdiri atas mikroba hidrokarbonoklastik. Hal tersebut dikarenakan pada kultur yang mengandung mikroba indigenus tanpa penambahan mikroba eksogenus dengan biostimulasi AMS molase dapat menghasilkan persentase degradasi hingga  $41,08 \pm 8,93\%$ .

Perlakuan F2 dan F3 mempunyai grafik persentase degradasi yang selalu naik dengan regresi yang hampir mendekati satu dan selama waktu inkubasi 14 hari belum terlihat adanya penurunan hasil degradasi. Sehingga, konsorsium F2 dan F3 mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai agen pendegradasi limbah *oil sludge*. Pada grafik pertumbuhan mikroba F2 dan F3 menunjukkan grafik yang terus naik dan belum mencapai fase kematian. Sehingga, dapat dikatakan bahwa ada interaksi positif antara mikroba indigenus dan eksogenus yang ada dalam konsorsium F2 dan F3.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, kontrol (K) mempunyai hasil degradasi *oil sludge* yang lebih baik dibandingkan dengan perlakuan (F). Pendegradasian *oil sludge* yang sempurna tidak menyisakan senyawa berbahaya untuk lingkungan. Permasalahan dalam biodegradasi *oil sludge* yaitu hasil akhir degradasi

biasanya masih terdapat senyawa berbahaya yang belum terurai sehingga dibutuhkan pemantauan hasil akhir degradasi. Jenis senyawa penyusun *oil sludge* yang terdegradasi dari kontrol (K) dan perlakuan (F) dapat diketahui secara detail dengan analisis *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS). Sehingga, hasil akhir degradasi dapat dipantau keamanannya bagi lingkungan.

Penambahan mikroba eksogenus bertujuan untuk mendegradasi komponen *oil sludge* yang belum bisa diuraikan mikroba indigenus. Sehingga, penambahan mikroba eksogenus dalam mendegradasi *oil sludge* yang di dalamnya terdapat mikroba indigenus tetap diperlukan. Hal tersebut dikarenakan masing-masing mikroba eksogenus yang ditambahkan telah mempunyai kemampuan enzimatis yang khas untuk mendegradasi komponen-komponen dalam *oil sludge* sehingga dapat melengkapi potensi mikroba indigenus yang ada. Efektivitas konsorsium mikroba dalam mendegradasi minyak dan produknya sangat dipengaruhi oleh kemampuan masing-masing mikroba penyusun konsorsium tersebut disamping beberapa faktor lingkungan yang berpengaruh (Mukred, *et al.*, 2008).

Prediksi waktu yang diperlukan oleh konsorsium mikroba agar dapat mendegradasi 100% hidrokarbon dalam *oil sludge* dapat diketahui melalui persamaan linear garis dari persentase degradasi *oil sludge* oleh masing-masing konsorsium mikroba. Kandungan senyawa hidrokarbon dalam 1 g *oil sludge* sebesar 0,5846 g. Penarikan persamaan garis dimulai pada hari ke-3. Hal tersebut dikarenakan pada hari ke-3, hasil persentase degradasi mengalami titik awal kestabilan. Prediksi lama waktu

inkubasi yang diperlukan masing-masing perlakuan untuk hasil degradasi mencapai 100% hidrokarbon dalam *oil sludge* disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Persamaan linear persentase degradasi *oil sludge*.

Perlakuan	Persamaan Linear	Regresi	Prediksi Waktu untuk Degradasi 100% Hidrokarbon dalam <i>Oil Sludge</i> (hari)
K1	$y = 0,8013x + 25,277$	$R^2 = 0,64$	93,25
<b>K2</b>	<b><math>y = 1,1693x + 26,374</math></b>	<b><math>R^2 = 0,72</math></b>	<b>62,97</b>
F1	$y = 0,2994x + 21,466$	$R^2 = 0,92$	262,30
F2	$y = 1,2575x + 5,7118$	$R^2 = 0,99$	74,98
<b>F3</b>	<b><math>y = 1,2861x + 10,255</math></b>	<b><math>R^2 = 0,98</math></b>	<b>69,78</b>
F4	$y = 0,24x + 24,394$	$R^2 = 0,73$	315,03
F5	$y = 0,3445x + 24,548$	$R^2 = 1$	219,02

Pada tabel 4.2 di atas dapat dilihat bahwa prediksi lama waktu yang dibutuhkan untuk mendegradasi 100% hidrokarbon dalam *oil sludge* paling cepat yaitu pada kontrol K2 (mikroba indigenus dalam medium AMS molase). Sehingga konsorsium K2 (mikroba indigenus dalam medium AMS molase) dapat digunakan sebagai alternatif biodegradasi *oil sludge*. Namun kontrol K2 mempunyai nilai regresi yang cukup jauh dari 1 yaitu 0,724 sehingga perlu adanya penambahan aerasi pada bioreaktor setelah hari ke-7 untuk memaksimalkan biodegradasi *oil sludge* oleh mikroba. Selain itu, dalam pengembangan selanjutnya diperlukan optimasi konsentrasi C, konsentrasi N, dan rasio C/N dalam molase yang digunakan sebagai biostimulasi *oil sludge* karena konsentrasi C, konsentrasi N, dan rasio C/N mempengaruhi aktivitas mikroba.

Konsorsium F3 mempunyai prediksi waktu 69,78 hari dengan nilai regresi 0,9756. Konsorsium F3 terdiri atas mikroba indigenus dan mikroba eksogenus (bakteri



hidrokarbonoklastik). Konsorsium ini mempunyai persentase degradasi *oil sludge* (%) yang selalu naik dan tidak terpengaruh berkurangnya jumlah oksigen hingga 14 hari waktu inkubasi. Sehingga, konsorsium F3 dapat digunakan sebagai alternatif agen biodegradasi *oil sludge*. Begitu juga dengan konsorsium F2 yang mempunyai prediksi waktu pendegradasian 100% hidrokarbon dalam *oil sludge* selama 74,98 hari dengan regresi 0,9913. Konsorsium F2 juga dapat digunakan sebagai alternatif agen biodegradasi *oil sludge*. Namun, prediksi waktu untuk mendegradasi 100% hidrokarbon dalam *oil sludge* oleh konsorsium F3 dan F2 mempunyai waktu yang lebih lama dibandingkan dengan konsorsium K2. Penggunaan konsorsium F3 dan F2 dalam biodegradasi *oil sludge* perlu memperhatikan faktor nutrisi, jenis mikroba, dan interaksi mikroba untuk hasil lebih baik.

Pada konsorsium F5 mempunyai nilai regresi 1, lebih besar dibandingkan dengan konsorsium F3. Namun lama waktu yang dibutuhkan jauh lebih lama dibandingkan dengan F3 yaitu 98,44 hari. Sehingga, konsorsium F5 juga dapat digunakan sebagai alternatif agen biodegradasi *oil sludge*. Berdasarkan analisis di atas, konsorsium yang efektif dalam mendegradasi limbah *oil sludge* adalah konsorsium K2 (mikroba indigenus *sludge*) dengan biostimulasi mineral dan molase.

Pada umumnya dari keseluruhan perlakuan yang dilakukan, grafik pertumbuhan belum mencapai fase kematian. Sehingga diperlukan optimasi dengan waktu inkubasi yang lebih lama. Pada grafik persentase degradasi hidrokarbon dalam *oil sludge* juga belum mencapai 100%. Sehingga diperlukan optimasi dengan waktu inkubasi yang lebih lama.