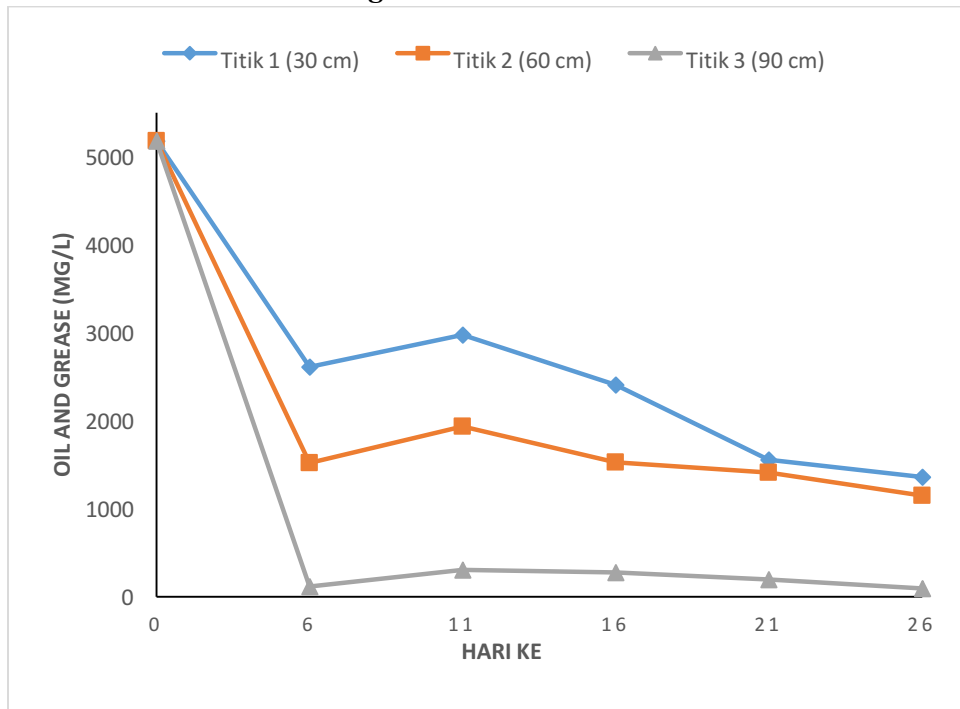


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1 Konsentrasi *Oil and grease*



Gambar 4. 1 Grafik Hasil Pengujian *Oil and Grease* Pada Reaktor *Continuous Wetland* Menggunakan Tanaman *Vetiveria zizanioides* dan Bakteri selama 30 Hari.

Keterangan: Titik 1 (*floating wetland*) jarak dari influen 30 cm, Titik 2 (*constructed wetland I*) jarak dari influen 60 cm, Titik 3 (*constructed wetland II*) jarak dari influen 90 cm.

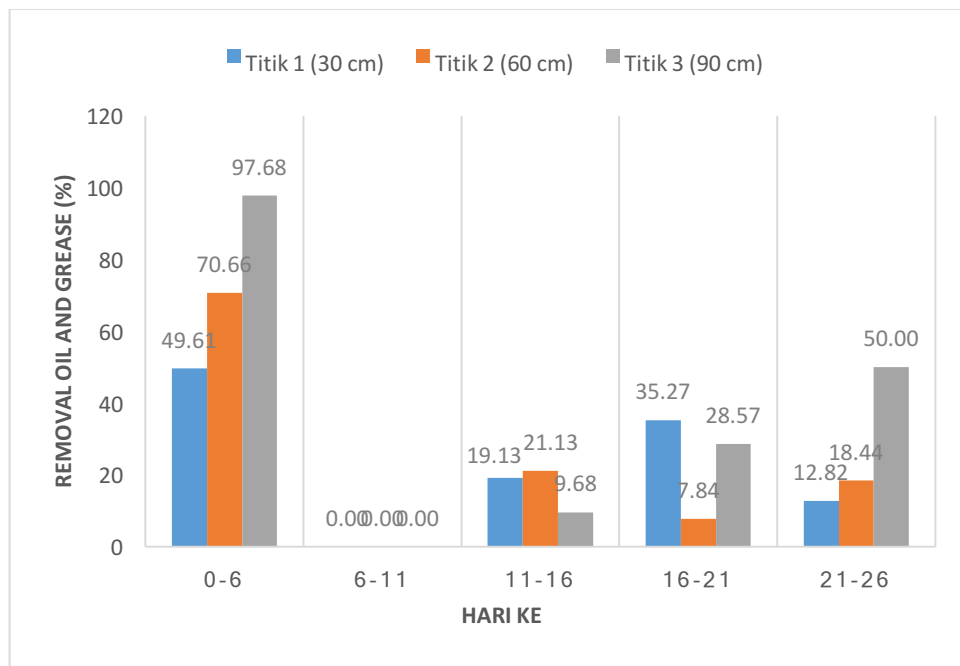
Dapat dilihat pada Gambar 4.1 pada hari ke-6 mengalami penurunan konsentrasi *oil and grease* secara signifikan, yaitu sebesar 2570 mg/l dari 5180 mg/l menjadi 2610 mg/l pada titik 1, untuk titik 2 penurunan sebesar 3660 mg/l sehingga konsentrasinya menjadi 1520 mg/l. Sedangkan untuk titik 3 terjadi penurunan sebesar 5060 mg/l yang mengakibatkan konsentrasinya menjadi 120 mg/l.

Hari ke-11 untuk ketiga titik mengalami kenaikan konsentrasi *oil and grease*, pada titik 1 naik sebesar 370 mg/l sehingga konsentrasinya menjadi 2980 mg/l, pada titik 2 naik sebesar 420 mg/l yang menyebabkan konsentrasi *oil and*

grease menjadi 1940 mg/l, sedangkan pada titik 3 terjadi kenaikan sebesar 190 mg/l sehingga konsentrasinya menjadi 310 mg/l.

Pada hari ke-16 mengalami penurunan konsentrasi di seluruh titik. Titik 1 turun sebesar 570 mg/l menjadikan konsentrasi 2410 mg/l, pada titik 2 turun sebesar 410 mg/l, titik 3 turun sebesar 30 mg/l. Pengujian hari ke-21 mengalami penurunan di titik 1 sebesar 850 mg/l sehingga konsentrasinya menjadi 1560 mg/l, titik 2 konsentrasi turun sebesar 120 mg/l, titik 3 turun sebesar 80 mg/l menjadikan konsentrasi *oil and grease* 200 mg/l.

Hari terakhir pengujian atau hari ke-26 konsentrasi *oil and grease* mengalami penurunan juga. Pada titik 1 konsentrasi turun sebesar 200 mg/l menjadi 1360 mg/l, titik 2 turun sebesar 260 mg/l menjadi 1150 mg/l, sedangkan titik 3 turun sebesar 100 mg/l sehingga konsentrasinya menjadi 100 mg/l. Efisiensi reduksi *oil and grease* pada ketiga titik dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut:



Gambar 4. 2 Grafik Efisiensi Reduksi *Oil and Grease* Pada Reaktor *Continuous Wetland* Menggunakan Tanaman *Vetiveria zizanioides* dan Bakteri selama 30 Hari.

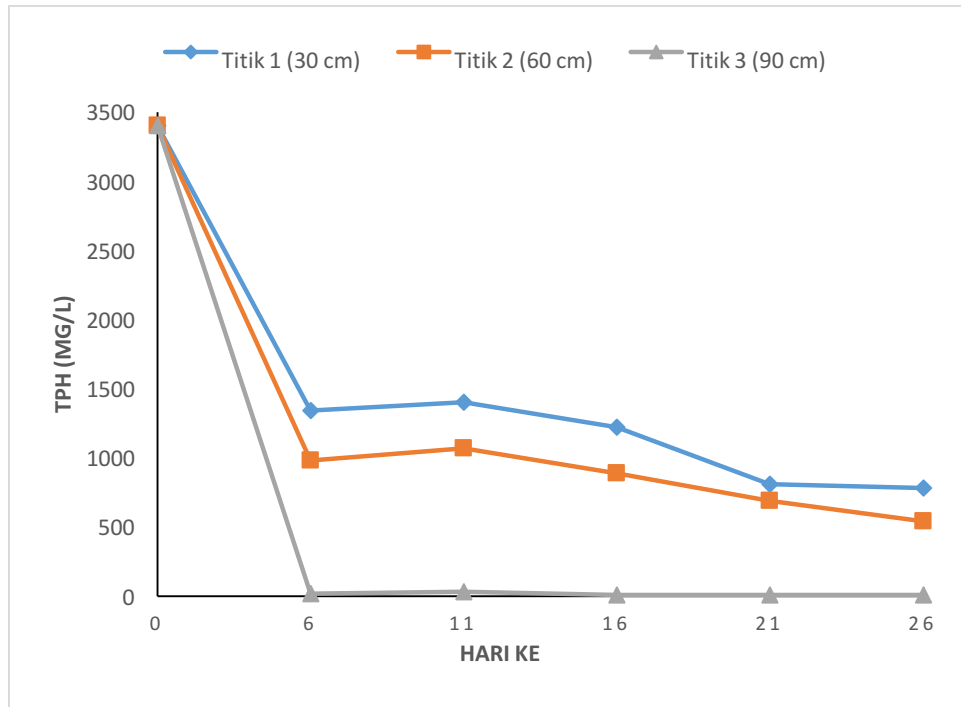
Keterangan: Titik 1 (*floating wetland*) jarak dari influen 30 cm, Titik 2 (*constructed wetland I*) jarak dari influen 60 cm, Titik 3 (*constructed wetland II*) jarak dari influen 90 cm.

Berdasarkan Gambar 4.2 persentase reduksi pengolahan air limbah menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* dengan penambahan bakteri mengalami fluktuasi. Efisiensi reduksi tertinggi mencapai 97,68% yaitu pada proses reduksi hari ke-6 di titik 3.

Pada Gambar 4.2 nilai efisiensi reduksi hari ke-11 pada ketiga titik adalah 0% karena terjadi kenaikan konsentrasi polutan. Peningkatan konsentrasi polutan menandakan tidak terjadi reduksi *oil and grease*. Pada hari ke-16 efisiensi reduksi naik sebesar 19,13% pada titik 1, 21,13% pada titik 2 dan naik menjadi 9,68% di titik 3. Sedangkan, pada hari ke-21 efisiensi reduksi mengalami fluktuasi, meningkat di titik 1 dan titik 3, namun menurun di titik 2. Pada titik 1 meningkat sebesar 16,14% menjadi 35,27%, untuk titik 3 naik sebesar 18,89% menjadi 28,57%, sedangkan pada titik 2 menurun sebesar 13,29% menjadi 7,84%.

Pengujian di hari ke-26 menunjukkan peningkatan efisiensi reduksi di titik 2 dan titik 3, sedangkan titik 1 mengalami penurunan reduksi. Pada titik 2 meningkat sebesar 10,6% menjadi 18,44%, titik 3 meningkat sebesar 21,43% menjadi 50%. Pada titik 1 mengalami penurunan efisiensi reduksi sebesar 22,45% menjadi 12,82%. Nilai efisiensi reduksi *oil and grease* terkecil ditunjukkan pada sampling hari ke-21 di titik 1 yaitu 7,84%.

4.1.3 Konsentrasi *Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)*



Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi TPH Pada Reaktor *Continuous Wetland* Menggunakan Tanaman *Vetiveria zizanioides* dan Bakteri selama 30 Hari.

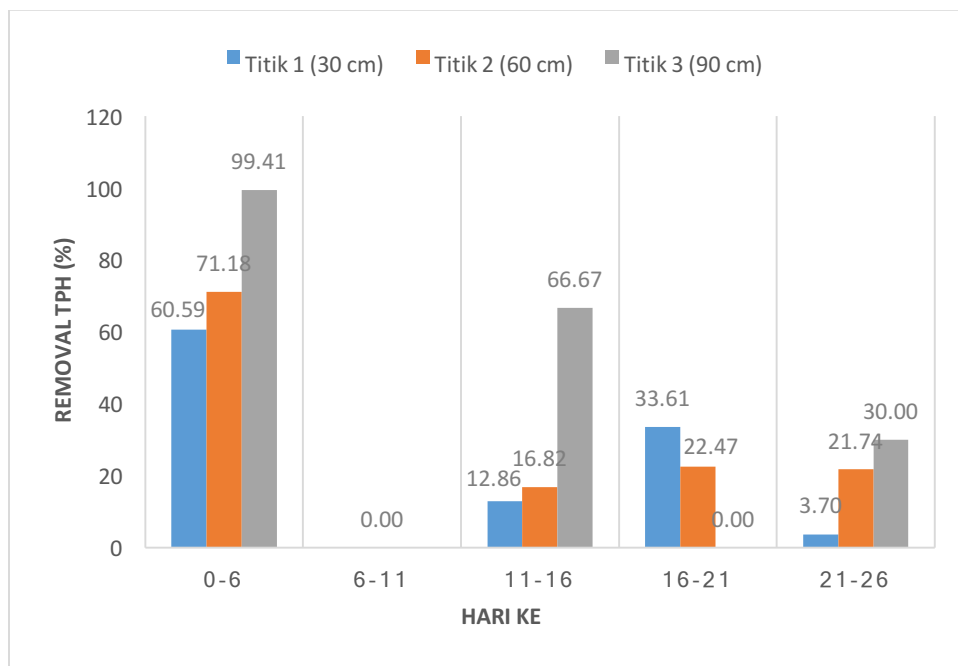
Keterangan: Titik 1 (*floating wetland*) jarak dari influen 30 cm, Titik 2 (*constructed wetland I*) jarak dari influen 60 cm, Titik 3 (*constructed wetland II*) jarak dari influen 90 cm.

Konsentrasi limbah yang diuji yaitu tanpa pengenceran atau 100% limbah minyak, sehingga pada hari ke-0 konsentrasi yang didapat merupakan konsentrasi awal TPH. Dapat dilihat pada Gambar 4.2 pada hari ke-6 mengalami penurunan konsentrasi TPH secara signifikan, dari 3400 mg/l turun sebesar 2060 mg/l sehingga konsentrasi TPH menjadi 1340 mg/l pada titik 1, pada titik 2 turun sebesar 2420 mg/l sehingga konsentrasinya menjadi 980 mg/l dan pada titik 3 turun sebesar 3380 mg/l menjadi 20 mg/l

Pada sampling hari ke-11 terjadi kenaikan konsentrasi TPH. Pada titik 1 terjadi peningkatan sebesar 60 mg/l yang membuat konsentrasi TPH menjadi 1400 mg/l, pada titik 2 meningkat sebesar 90 mg/l sehingga konsentrasinya menjadi 1070 mg/l, sedangkan pada titik 3 meningkat sebesar 10 mg/l sehingga konsentrasi berubah menjadi 30 mg/l.

Hari ke-16 pengujian konsentrasi TPH mengalami penurunan sebesar 180 mg/l di titik 1 dan titik 2, sehingga konsentrasinya secara berurutan menjadi 1220 mg/l dan 890 mg/l. Untuk titik 3 penurunan terjadi sebesar 20 mg/l menjadikan konsentrasi TPH 10 mg/l. Hari ke-21 penurunan konsentrasi TPH sebesar 410 mg/l untuk titik 1, 200 mg/l untuk titik 2, sehingga berturut-turut konsentrasi TPH untuk titik 1 dan titik 2 menjadi 810 mg/l dan 690 mg/l. Sedangkan untuk titik 3 konsentrasi TPH-nya tetap yaitu 10 mg/l.

Pengujian hari ke-26 pada ketiga titik mengalami penurunan konsentrasi TPH. Untuk titik 1 mengalami penurunan sebesar 30 mg/l sehingga konsentrasinya menjadi 780 mg/l. Titik 2 konsentrasi TPH adalah 540 mg/l, yang mana mengalami penurunan sebesar 150 mg/l. Sedangkan titik 3 mengalami penurunan sebesar 3 mg/l menjadikan konsentrasi TPH 7 mg/l. Efisiensi reduksi *total petroleum hydrocarbon* pada ketiga titik dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut:



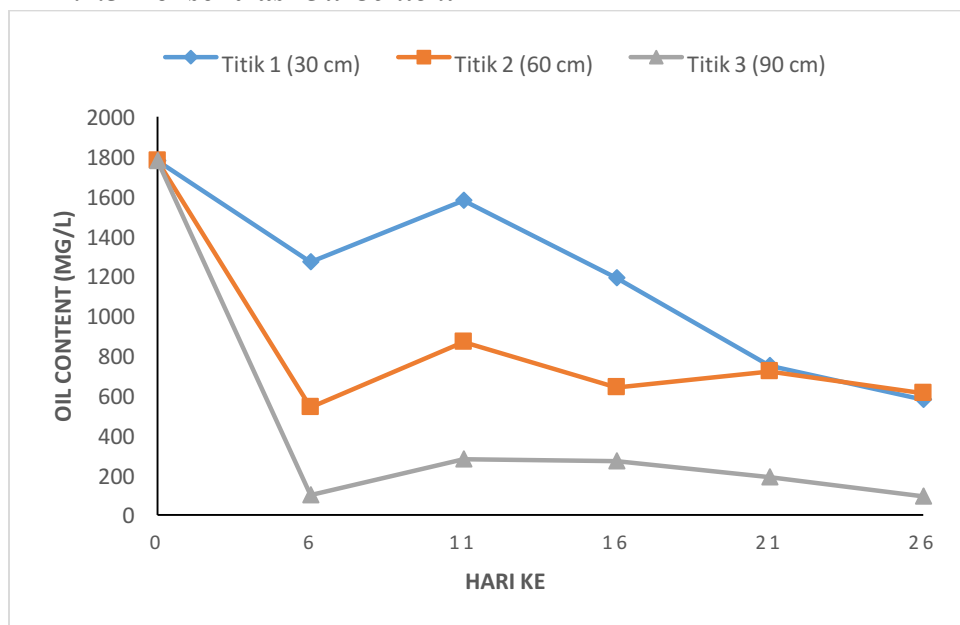
Gambar 4. 4 Grafik Efisiensi Reduksi TPH Pada Reaktor *Continuous Wetland* Menggunakan Tanaman *Vetiveria zizanioides* dan Bakteri selama 30 Hari.

Keterangan: Titik 1 (*floating wetland*) jarak dari influen 30 cm, Titik 2 (*constructed wetland I*) jarak dari influen 60 cm, Titik 3 (*constructed wetland II*) jarak dari influen 90 cm.

Berdasarkan Gambar 4.4 efisiensi reduksi tertinggi mencapai 99,41% yaitu pada hari ke-6 di titik 3. Hari ke-11 pada seluruh titik dicantumkan 0, hal ini karena terjadi kenaikan konsentrasi polutan. Peningkatan konsentrasi polutan menandakan tidak terjadi reduksi konsentrasi pencemar. Pada hari ke-16 terjadi kenaikan efisiensi reduksi pada ketiga titik. Titik 1 meningkat sebesar 12,86%, titik 2 sebesar 16,82%, dan titik 3 meningkat sebesar 66,67%. Sedangkan, pada hari ke-21 terjadi fluktuasi nilai efisiensi reduksi. Titik 1 mengalami kenaikan sebesar 20,75% menjadi 33,61%, titik 2 mengalami kenaikan sebesar 5,65% menjadi 22,47%. Untuk titik 3 mengalami penurunan menjadi 0% karena konsentrasi TPH-nya tetap yang berarti tidak terjadi reduksi pada hari ke-21.

Hari ke-26 pengujian terjadi penurunan reduksi di titik 1 sebesar 29,91% menjadi 3,70%, penurunan juga terjadi di titik 2 sebesar 0,73% menjadi 21,74%. Sedangkan, pada titik 3 mengalami kenaikan sebesar 30,00%. Nilai efisiensi reduksi terkecil *total petroleum hydrocarbon (TPH)* yaitu 3,7% di hari ke-26 pada titik 2.

4.1.5 Konsentrasi Oil Content



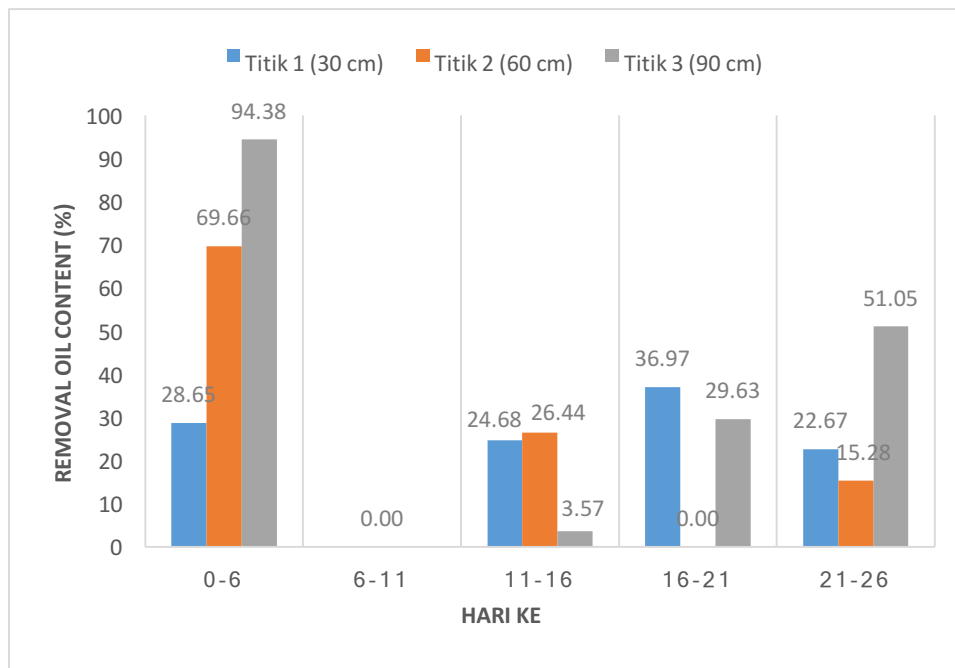
Gambar 4.5 Grafik Konsentrasi Oil Content Pada Reaktor *Continuous Wetland* Menggunakan Tanaman *Vetiveria zizanioides* dan Bakteri selama 30 Hari.

Keterangan: Titik 1 (*floating wetland*) jarak dari influen 30 cm, Titik 2 (*constructed wetland I*) jarak dari influen 60 cm, Titik 3 (*constructed wetland II*) jarak dari influen 90 cm.

Pada Gambar 4.5. di atas konsentrasi *oil content* mengalami fluktuasi, konsentrasi awal *oil content* diukur dengan pengurangan konsentrasi *oil and grease* terhadap konsentrasi TPH, yaitu: 1780 mg/l. Pengujian sampel hari ke-6 mengalami penurunan sebesar 510 mg/l sehingga konsentrasi *oil content* menjadi 1270 mg/l pada titik 1, sedangkan titik 2 mengalami penurunan yaitu sebesar 1240 mg/l sehingga konsentrasinya menjadi 540 mg/l. Nilai konsentrasi *oil content* pada titik 3 di hari ke-6 yaitu turun sebesar 1680mg/l sehingga konsentrasinya menjadi 100 mg/l.

Pada pengujian limbah minyak hari ke-11, titik 1 yang merupakan *effluent floating wetland* mengalami kenaikan juga. Titik 1 mengalami kenaikan sebesar 310 mg/l menjadikan konsentrasi *oil content* 1580 mg/l, titik 2 terjadi kenaikan konsentrasi sebesar 330 mg/l sehingga meningkat menjadi 870 mg/l, sedangkan pada titik 3 kenaikan konsentrasi sebesar 180 mg/l yang meningkatkan konsentrasi menjadi 280 mg/l. Pengujian hari ke-16 mengalami penurunan pada ketiga titik, penurunan sebesar 390 mg/l pada titik 1, pada titik 2 turun sebesar 230 mg/l, dan pada titik 3 turun sebesar 10 mg/l, sehingga berturut-turut konsentrasi *oil content* di titik 1, titik 2 dan titik 3 menjadi 1190 mg/l, 640 mg/l dan 270 mg/l.

Hari ke-21 terjadi penurunan konsentrasi di titik 1 yaitu sebesar 440 mg/l menjadi 750 mg/l dan titik 3 sebesar 80 mg/l menjadikan konsentrasi *oil content* 190 mg/l. Sedangkan, di titik 2 terjadi kenaikan konsentrasi sebesar 80 mg/l menjadikan konsentrasinya 720 mg/l. Untuk hari pengujian terakhir, ketiga titik mengalami penurunan konsentrasi *oil content* sebesar 170 mg/l di titik 1, penurunan sebesar 110 mg/l di titik 2 dan penurunan sebesar 97 mg/l pada titik 3. Sehingga, konsentrasi *oil content* di titik 1, titik 2 dan titik 3 secara berurutan yaitu 580 mg/l, 610 mg/l, dan 93 mg/l. Efisiensi reduksi *oil content* pada ketiga titik dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut:



Gambar 4. 6 Grafik Efisiensi Reduksi *Oil Content* Pada Reaktor *Continuous Wetland* Menggunakan Tanaman *Vetiveria zizanioides* dan Bakteri selama 30 Hari.

Keterangan: Titik 1 (*floating wetland*) jarak dari influen 30 cm, Titik 2 (*constructed wetland I*) jarak dari influen 60 cm, Titik 3 (*constructed wetland II*) jarak dari influen 90 cm.

Berdasarkan Gambar 4.6 efisiensi reduksi *oil content* tertinggi mencapai 94,38% yaitu pada hari ke-6 di titik 3.

Pada Gambar 4.6 persentase efisiensi reduksi hari ke-11 yang dicantumkan yaitu 0% pada seluruh titik karena terjadi kenaikan konsentrasi polutan. Peningkatan konsentrasi polutan menandakan tidak terjadi reduksi konsentrasi pencemar.

Pada hari ke-16 terjadi kenaikan efisiensi reduksi di seluruh titik. Titik 1 mengalami kenaikan sebesar 24,68%, titik 2 sebesar 26,44% dan titik 3 meningkat sebesar 3,57%. Pengujian hari ke-21 nilai efisiensi reduksi mengalami kenaikan di titik 1 sebesar 12,29% menjadi 36,97%, di titik 2 mengalami penurunan efisiensi reduksi menjadi 0%, karena terjadi kenaikan konsentrasi *oil content* di hari ke-21. Sedangkan, pada titik 3 mengalami peningkatan sebesar 26,06% menjadikan efisiensi reduksinya 29,63%.

Pengujian hari ke-26 mengalami peningkatan reduksi di titik 2 sebesar 15,28%, titik 3 sebesar 21,42% menjadi 51,05%. Sedangkan, titik 1 mengalami penurunan sebesar 14,3% menjadi 22,67%. Nilai efisiensi reduksi terkecil parameter *oil content* yaitu 3,57% pada titik 3 di hari ke-16.

4.2. Pembahasan

4.2.1 Performa Reaktor *Continuous Wetland*

Pada titik 1 (*Floating Wetland*) dengan menggunakan *Vetiveria zizanioides* dan bakteri mampu mendegradasi polutan anorganik seperti Fe hingga 36%, Pb hingga 87%, dan TSS hingga 70%. Sedangkan untuk polutan organik seperti BOD dapat terdegradasi hingga 60%, COD hingga 40% dan ammonia sebesar 95%. Namun untuk pencemar minyak seperti TPH terdegradasi hingga 61%, *oil grease* sebesar 49% dan *oil content* sebesar 37%.

Pada titik 2 yang merupakan Constructed Wetland dengan menggunakan *Vetiveria zizanioides* dan bakteri mampu mendegradasi polutan anorganik seperti Fe hingga 66%, Pb hingga 90%, dan TSS hingga 57%. Sedangkan untuk polutan organik seperti BOD dapat terdegradasi hingga 75%, COD hingga 50% dan ammonia sebesar 89%. Namun untuk pencemar minyak seperti TPH terdegradasi hingga 71%, *oil grease* sebesar 71% dan *oil content* sebesar 70%.

Sedangkan Pada titik 3 yang juga merupakan Constructed Wetland dengan menggunakan *Vetiveria zizanioides* dan bakteri mampu mendegradasi polutan anorganik seperti Fe hingga 67%, Pb hingga 96%, dan TSS hingga 72%. Sedangkan untuk polutan organik seperti BOD dapat terdegradasi hingga 50%, COD hingga 65% dan amonia sebesar 83%. Namun untuk pencemar minyak seperti TPH terdegradasi hingga 99%, *oil grease* sebesar 98% dan *oil content* sebesar 94%.

Pada saat proses pengujian reaktor ditempatkan dilokasi terbuka dengan tujuan untuk memaksimalkan pertumbuhan tanaman dan akar. Akar pada tanaman berfungsi untuk menyerap polutan yang ada pada air limbah, sehingga dapat menurunkan konsentrasi pencemar anorganik, organik dan minyak pada air limbah. Sinar matahari yang terpapar secara langsung akan menaikkan suhu reaktor dan

mengakibatkan penguapan terjadi. Penguapan dapat mengurangi konsentrasi minyak.

Penelitian yang dilakukan oleh Rehman et al. (2018) menunjukkan bahwa potensi remediasi dapat meningkat seiring dengan lamanya waktu kontak air limbah dengan tanaman di reaktor dan tercapainya reduksi maksimal dari polutan setelah 42 hari. Semakin lama waktu yang digunakan, maka nilai reduksi dari setiap konsentrasi akan semakin tinggi. Berdasarkan jurnal penelitian Effendi et al. (2017) merekomendasikan bahwa durasi pengolahan air limbah menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* dilakukan selama 3 minggu agar dapat menurunkan kadar oil and grease dan oil content secara signifikan.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh KADLEC (2003), menjelaskan bahwa jumlah tanaman, waktu kontak dan panjang reaktor sangat menentukan untuk mendegradasi pencemar pada air limbah. Semakin banyak jumlah tanaman maka semakin besar kemungkinan degradasi polutan. Begitu pula dengan waktu kontak, semakin lama waktu kontak tanaman dengan limbah, maka semakin besar juga terjadi pendegradasian.

4.2.2 Pengaruh Tanaman Vetiver dan Bakteri Terhadap Polutan

4.2.2.1. Analisis Konsentrasi *Oil and Grease*

Pada titik 1 yang merupakan effluen dari *floating wetland* mengalami fluktuasi konsentrasi oil and grease. Hari ke-6 terjadi penurunan konsentrasi *oil and grease*. Penurunan minyak dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti keberadaan mikroba di akar tanaman yang memanfaatkan bahan organik sebagai sumber nutrisi untuk aktivitas dan pertumbuhan (Omokeyeke *et al.* 2013). Pada hari ke-11 terjadi kenaikan konsentrasi. Kenaikan ini dikarenakan jumlah bakteri pada reaktor mengalami penurunan sehingga berpengaruh terhadap penyerapan polutan oleh bakteri yang diperkirakan *Pseudomonas sp.*, kenaikan konsentrasi juga dapat disebabkan oleh volume limbah minyak yang terus bertambah setiap harinya karena reaktor memiliki sistem kontinyu sehingga mengakibatkan peningkatan beban pengolahan. Selain itu, kandungan unsur hara pada susunan tanah, pasir dan batuan

telah berkurang yang mengakibatkan tanaman tidak mendapatkan suplai nutrisi, sehingga kontaminan dapat menurunkan kualitas hidup dari tanaman tersebut (Frick *et al.*, 1999). Kenaikan konsentrasi berbanding terbalik terhadap efisiensi reduksi yang dihasilkan, sehingga mengakibatkan efisiensi reduksinya kecil. Kecilnya efisiensi reduksi menunjukkan kemampuan penyerapan kontaminan oleh tanaman vetiver kurang baik, karena rumput vetiver telah mencapai titik jenuh yaitu batas maksimum yang dapat ditolerir tanaman dalam menyerap kontaminan (As'ad, 2014).

Pada kompartemen 2 dan 3 menggunakan metode *constructed wetland* dimana terdapat susunan batuan, kerikil, pasir dan tanah. Susunan material tersebut digunakan sebagai media tanam rumput vetiver serta media tumbuh bakteri yang diperkirakan *Pseudomonas sp.* Konsentrasi *oil and grease* pada hari ke-6 turun dikarenakan terjadi proses filtrasi minyak oleh susunan material *constructed wetland*. Efisiensi reduksi tertinggi mencapai 97,68% yaitu pada proses reduksi hari ke-6 di titik 3. Hal ini dapat terjadi karena akumulasi pengolahan polutan pada kompartemen sebelumnya. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Munawaroh (2016) menyatakan reduksi minyak lemak tertinggi yaitu 91,39 % dengan perlakuan 6 tanaman vetiver dalam reaktor *floating wetland*.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Effendi (2017), kandungan *oil and grease* dapat direduksi dari 0,15 mg/l menjadi 0,02 mg/l, dengan catatan konsentrasi minyak bumi sebanyak 1% dari total volume air. Rata-rata kandungan *oil and grease* yang diserap akar tanaman vetiver itu 2,19 mg/l (3 tanaman pot) 2,31 mg/l (6 tanamn pot). (Oyedeji *et al.*, 2013).

Tabel 4.1 Baku Mutu Limbah Cair Untuk Kegiatan Terminal/Stasiun/Bandara
(BMAL Perda DIY No. 7 Tahun 2010)

Parameter	Satuan	Kadar Max
Minyak & Lemak Nabati	mg/l	5
Minyak Bumi	mg/l	2

Konsentrasi *oil and grease* terendah terdapat di titik 3 (*constructed wetland II*) pada hari ke-26 yaitu 100 mg/l. Berdasarkan Tabel 4.1 di atas, konsentrasi maksimal minyak dan lemak yaitu 5 mg/l, sehingga konsentrasi *oil and grease* belum memenuhi baku mutu.

4.2.2.2. Analisis Konsentrasi Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)

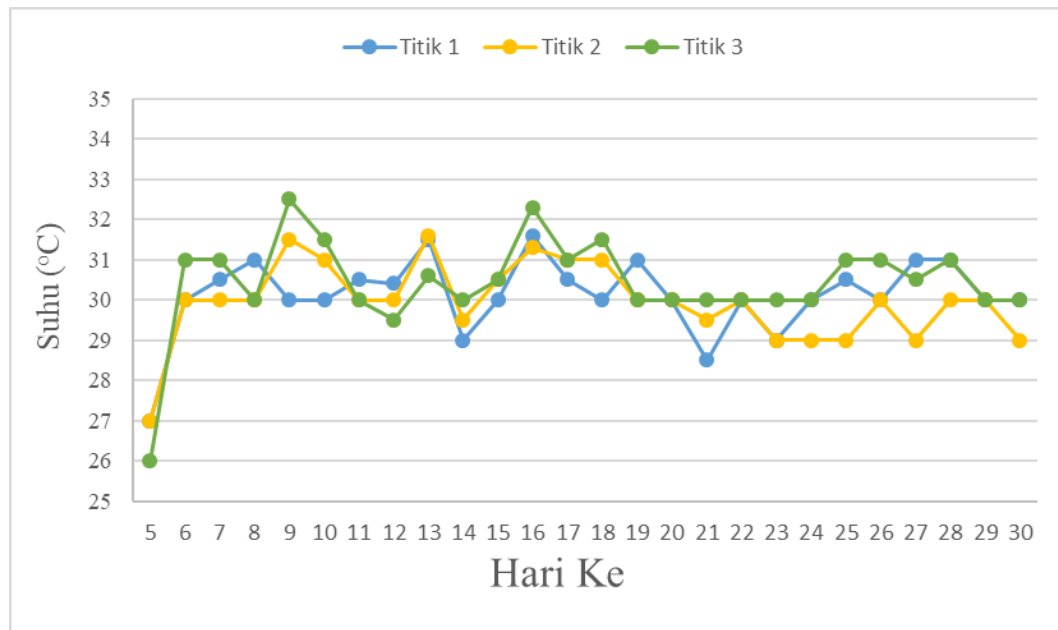
Berdasarkan Gambar 4.4 pada titik 1 yang merupakan *floating wetland* mengalami penurunan signifikan di hari ke-6. Penurunan konsentrasi ini berbanding lurus dengan penurunan yang terjadi pada konsentrasi *oil and grease*, karena di dalam *oil and grease* terkandung TPH dan *oil content*. Di sekitar akar rumput vetiver terdapat bakteri yang dapat menguraikan minyak, bakteri tersebut menghasilkan enzim alkane hydroxylase yang memecah ikatan karbon (C) menjadi senyawa sederhana yang tidak berbahaya dan melarutkannya ke dalam air. Setelah larut dalam air, kemudian diserap oleh akar rumput vetiver. (Rehman, et al., 2018). Pada hari ke-11 terjadi kenaikan konsentrasi TPH, karena limbah minyak tidak didegradasi oleh bakteri *Pseudomonas*. Bakteri yang diperkirakan *Pseudomonas sp.* telah mengalami masa jenuh dalam penyerapan polutan. Berdasarkan pengujian *selected count*, dapat dilihat jumlah bakteri terseleksi yang diperkirakan *Pseudomonas sp.* mengalami penurunan jumlah koloni. Sehingga, dengan turunnya jumlah bakteri mengakibatkan bakteri tersisa mengalami masa jenuh dalam mendegradasi polutan. Dengan kondisi seperti ini, kandungan minyak menjadi tetap, volume minyak yang masih ada mengakibatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman terganggu sehingga akar tidak dapat menyerap kontaminan dengan baik (Aryani, 2015).

Pada titik 2 atau effluen kompartemen 2 (*constructed wetland I*) dimana terdapat susunan batuan, kerikil, pasir dan tanah. Susunan material tersebut digunakan sebagai media tanam rumput vetiver serta media tumbuh bakteri yang diperkirakan *Pseudomonas sp.* Hari ke-6 pengujian mengalami penurunan konsentrasi TPH akibat proses degradasi yang dilakukan oleh bakteri yang diperkirakan *Pseudomonas*. Hidrokarbon yang ada didegradasi oleh bakteri dengan beberapa enzim yang dimiliki dan akan menghasilkan CO₂ dan H₂O serta energi, sebaliknya tumbuhan akan memanfaatkan CO₂ dan H₂O serta energi ini untuk

melakukan proses metabolismenya. Tanaman vetiver dalam hal ini akan mengeluarkan eksudat akar yang bisa dimanfaatkan oleh bakteri untuk melakukan metabolisme yang hasil tersebut akan digunakan untuk meningkatkan aktifitasnya dalam mendegradasi hidrokarbon (Yani, 2012). Hari ke-11 mengalami kenaikan konsentrasi TPH karena bakteri di tanah tidak mendapatkan suplai nutrisi dari tanaman, sehingga bakteri tidak dapat mengurai minyak tersebut. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Estuningsih (2013), selain hidrokarbon sebagai sumber energi utama bagi bakteri, akar rumput juga mengeluarkan eksudat yang mengandung senyawa organik seperti gula, asam amino, asam organik, asam lemak, enzim dan golongan senyawa lain. Senyawa-senyawa tersebut digunakan sebagai sumber nutrisi tambahan bagi bakteri petrofilik, sehingga menstimulir pertumbuhan dan aktivitas mikroba dan pada akhirnya meningkatkan jumlah populasi bakteri yang mampu mendegradasi hidrokarbon. Contoh bakteri yang berasosiasi dengan akar tanaman di daerah rhizosfir antara lain *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Mycobacterium*.

Pada titik 3 atau effluen kompartemen 3 (*constructed wetland II*) dimana terdapat susunan batuan, kerikil, pasir dan tanah. Susunan material ini dapat menghambat gerak dari minyak itu sendiri akibat viskositas minyak yang lebih besar dibandingkan dengan air. Sehingga, kandungan minyak dapat terfiltrasi ke dalam susunan tersebut. Pada hari ke-6 pengujian, konsentrasi TPH mengalami penurunan yang sangat signifikan mencapai 99% menjadikan konsentrasinya 20 mg/l. Hal ini dikarenakan beban pengolahan telah berkurang karena akumulasi reduksi polutan di kompartemen sebelumnya. Selain itu, penempatan reaktor di tempat terbuka dan terkena sinar matahari secara langsung mengakibatkan proses penguapan cepat terjadi karena kenaikan suhu, ditambah minyak bumi, yang didalamnya terdapat berbagai jenis hidrokarbon memiliki sifat yang mudah menguap. Minyak bumi tidak berisi minyak mentah saja, tetapi dalam penggunaan sehari-hari juga digunakan dalam bentuk hidrokarbon padat, cair dan gas lainnya. Pada kondisi temperatur dan tekanan standar, hidrokarbon yang ringan seperti metana, etana, propana dan butana berbentuk gas yang mendidih berturut-turut pada $-161,6^{\circ}\text{C}$, $-88,6^{\circ}\text{C}$, -42°C , dan $-0,5^{\circ}\text{C}$. Sedangkan, karbon yang lebih tinggi, mulai

dari pentana ke atas berbentuk padatan atau cairan (Hyne, 2001). Berdasarkan penelitian ini, suhu maksimum yang dicapai reaktor pada kompartemen 3 yaitu 32,5°C, sehingga dapat dipastikan kandungan hidrokarbon yang berupa metana, etana, propana dan butana menguap karena telah melebihi titik didihnya. Grafik temperatur dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut:



Gambar 4. 7 Grafik Temperatur pada Reaktor *Continuous Wetland* Menggunakan Tanaman *Vetiveria zizanioides* dan Bakteri selama 30 Hari.

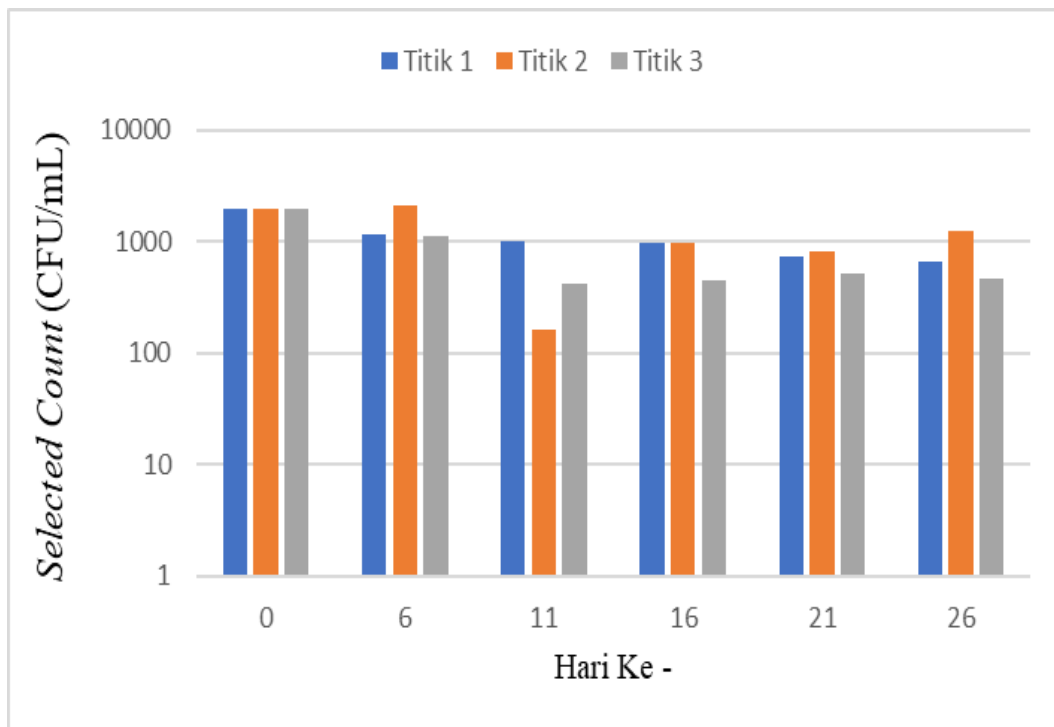
Penguapan yang terjadi dapat mengurangi konsentrasi TPH secara signifikan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Chaineau et al. (1998), pada tanah penguraian TPH pada air tercemar akibat penguapan sebesar 18%.

Kecilnya efisiensi reduksi menunjukkan kemampuan penyerapan polutan oleh tanaman vetiver kurang baik. Faktor yang mempengaruhi antara lain penambahan limbah minyak baru dan jumlah bakteri yang berkurang. Penambahan volume limbah minyak memperlambat proses adaptasi tanaman vetiver dalam melakukan penyerapan kontaminan, penurunan TPH tertinggi pada konsentrasi limbah 10% yaitu 6,95%, sedangkan penurunan TPH terkecil pada konsentrasi limbah 2,5% yaitu 1,35% (Estuningsih, dkk., 2013). Kedua faktor ini dapat meningkatkan beban pengolahan dari reaktor *continuous wetlands*.

Mengacu pada Tabel 4.1 di atas, konsentrasi terendah dari TPH yaitu 7 mg/l dimana tidak memenuhi baku mutu tersebut.

4.2.2.3. Analisis Konsentrasi *Oil Content*

Berdasarkan Gambar 4.5 pada titik 1 yang merupakan *floating wetland* mengalami penurunan signifikan di hari ke-6. Penurunan konsentrasi ini berbanding lurus dengan penurunan yang terjadi pada konsentrasi *oil and grease*, karena di dalam *oil and grease* terkandung TPH dan *oil content*. Penurunan pada titik 1 diakibatkan oleh kontak langsung limbah dengan akar tanaman vetiver. Di sekitar akar rumput vetiver terdapat bakteri yang dapat menguraikan minyak, bakteri tersebut menghasilkan enzim alkane hydroxylase yang memecah ikatan karbon (C) menjadi senyawa sederhana yang tidak berbahaya dan melarutkannya ke dalam air. Setelah larut dalam air, kemudian diserap oleh akar rumput vetiver. (Rehman, et al., 2018). Pada hari ke-11 pengujian mengalami kenaikan konsentrasi *oil content* yang diakibatkan oleh pengaruh penambahan limbah minyak setiap harinya (sistem kontinyu), adanya minyak baru dapat meningkatkan beban pencemaran yang mengakibatkan kemampuan reduksi oleh rumput vetiver kurang efektif. Bakteri yang diperkirakan *Pseudomonas sp.* telah mengalami masa jenuh dalam penyerapan polutan. Berdasarkan pengujian *selected count*, dapat dilihat jumlah bakteri terseleksi yang diperkirakan *Pseudomonas sp.* mengalami penurunan jumlah koloni. Sehingga, dengan turunnya jumlah bakteri mengakibatkan bakteri tersisa mengalami masa jenuh dalam penyerapan polutan. Pengujian *selected count* dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut:



Gambar 4. 8 Grafik Konsentrasi *Selected Count* pada Reaktor *Continuous Wetland* Menggunakan Tanaman *Vetiveria zizanioides* dan Bakteri selama 30 Hari.

Pada titik 2 atau effluen kompartemen 2 (*constructed wetland I*) dimana terdapat susunan batuan, kerikil, pasir dan tanah. Susunan material tersebut digunakan sebagai media tanam rumput vetiver serta media tumbuh bakteri yang diperkirakan *Pseudomonas sp.* Hari ke-6 pengujian mengalami penurunan signifikan, hal ini dikarenakan terjadinya proses filtrasi minyak pada material yang tersusun pada *constructed wetland*. Densitas dan viskositas dari minyak juga berpengaruh, karena densitas minyak lebih kecil dari air maka lapisan minyak berada di atas air, viskositas minyak bebanding terbalik dengan densitasnya. Viskositas minyak yang lebih besar dari air mengakibatkan minyak terbatas ruang gerak atau gesekannya sehingga sulit melewati pori-pori susunan material dan terperangkap. Selain itu, beban pengolahan telah berkurang akibat pengolahan sebelumnya, yaitu *floating wetland*.

Kenaikan konsentrasi di hari ke-21 pada titik 2 dikarenakan laju aliran limbah di dalam reaktor yang tidak baik. Sehingga, polutan *oil content* yang seharusnya dapat masuk ke kompartemen 2 / *constructed wetland I* terakumulasi di

titik 1. Penyumbatan aliran juga terjadi pada saluran *flow control* yang mengalirkan *raw waste water* ke dalam reaktor. Hasil penelitian yang dilakukan Munawaroh (2016), pada minggu ke-1 sampai minggu ke-2 terjadi penurunan *oil content* dari 0,06 mg/l menjadi 0,03 mg/l. hal ini dikarenakan mikroba yang ada di rhizosfer mengurai minyak dan diserap oleh tanaman vetiver sebagai nutrisi berkembang biak. Menurut Frick (1999), secara umum degradasi minyak tidak mungkin dilakukan secara langsung oleh tumbuhan, tetapi tumbuhan akan bekerja sama dengan mikroba.

Pada titik 3 atau effluen kompartemen 3 (*constructed wetland II*) mengalami penurunan konsentrasi *oil content* di hari ke-6 pengujian. Nilai konsentrasi yang didapat lebih rendah dibanding kompartemen sebelumnya, hal ini dikarenakan beban pengolahan telah berkurang akibat pengolahan floating dan *constructed wetland* sebelumnya. Hari ke-11 pengujian mengalami kenaikan konsentrasi *oil content* karena bakteri yang diperkirakan *Pseudomonas sp.* telah mengalami masa jenuh dalam penyerapan polutan. Berdasarkan pengujian *selected count*, dapat dilihat jumlah bakteri terseleksi yang diperkirakan *Pseudomonas sp.* mengalami penurunan jumlah koloni. Sehingga, dengan turunnya jumlah bakteri mengakibatkan bakteri tersisa mengalami masa jenuh dalam penyerapan polutan. Hari pengujian ke-16 sampai ke-26 mengalami penurunan karena proses penyerapan *oil content* oleh akar rumput vetiver dan bakteri yang diperkirakan *Pseudomonas sp.* Penelitian yang dilakukan oleh Rehman *et al.* (2018), menunjukkan bahwa penurunan parameter *oil content* pada air limbah dapat disebabkan oleh tanaman yang dapat menyerap dan mendetoksifikasi bahan pencemar pada air limbah. Sedangkan, penelitian yang dilakukan Munawaroh (2016), menunjukkan penurunan tertinggi yang didapatkan mencapai 62,47% pada perlakuan 6 pot tanaman vetiver dengan sistem *floating wetland* dan konsentrasi minyak sebanyak 1% dari volume air.

Konsentrasi *oil content* terendah terdapat di titik 3 (*constructed wetland II*) pada hari ke-26 yaitu 93 mg/l. Berdasarkan Tabel 4.1 di atas konsentrasi *oil content* belum memenuhi baku mutu.

4.2.3 Pengaruh Tanaman Terhadap Konsentrasi Polutan

Tanaman vetiver memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menyerap polutan dan tumbuh pada lingkungan tercemar minyak bumi dibandingkan dengan tanaman lain (Brandt et al., 2006). Menurut Rehman et al. (2018), tanaman *Vetiveria zizanioides* yang diaklimatisasi selama 1 bulan bertujuan untuk membuat tanaman tumbuh dan memiliki akar yang lebih banyak. Dengan fungsi akar yang beragam seperti menghasilkan biomassa secara masif, kemampuan beradaptasi dan tumbuh di lingkungan yang ekstrim, membuat rumput vetiver sering digunakan untuk proses fitoremediasi (Danh, 2009)

Fitoremediasi TPH menggunakan rumput vetiver merupakan opsi yang tepat dalam insiden pembuangan ilegal limbah yang terjadi di Nong-Nea. Pembuangan ilegal ini terdiri dari limbah cair dan limbah sedimen. Konsentrasi awal dari TPH yaitu 1300 µg/L. Pada sistem pengolahan air limbahnya digunakan total 21.600 tanaman vetiver, yang ditempatkan pada 45 buah bambu untuk diapungkan. Untuk pengolahan sedimen menggunakan sistem *constructed wetland* atau tanam. Hasil pengolahan air limbah menunjukkan tanaman vetiver mampu mereduksi konsentrasi TPH menjadi 215 µg/L di hari ke 28 dan menjadi 161 µg/L setelah 42 hari. TPH pada limbah sedimen diolah selama 75 hari yang mana menurunkan konsentrasinya dari 130 mg/kg menjadi 40 mg/kg (Phenrat, 2017).

Setelah tanaman vetiver diaklimatisasi, dilakukan pengujian parameter kimia pada hari ke-0 dan seterusnya. Penelitian ini dilakukan selama 4 minggu untuk mendapatkan konsentrasi polutan. Akar pada tanaman ini juga menjadi lebih banyak dibandingkan dengan sebelum diaklimatisasi. Pada sampel yang diuji terjadi penurunan oil and grease dan oil content dikarenakan adanya penyerapan bahan pencemar yang dilakukan oleh tanaman *Vetiveria zizanioides*. Pada akar tanaman memiliki mikroorganisme yang dapat mendegradasi bahan organik pada air limbah. Pada penelitian dengan menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* tanpa penambahan bakteri, dapat mengurangi bahan pencemar pada air limbah. Tetapi, hasil yang didapat lebih kecil dari persentase penurunan dengan penambahan bakteri. Penambahan bakteri dapat membantu proses dekomposisi pada tanaman (Ristianingsih, 2018).

Berdasarkan hasil penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa tanaman dapat mempengaruhi reduksi polutan minyak sehingga memenuhi baku mutu. Sedangkan, penelitian ini dapat mereduksi kandungan *oil and grease* menjadi 100 mg/l, TPH menjadi 7 mg/l dan *oil content* menjadi 93 mg/l yang mana belum memenuhi baku mutu yang berlaku.

4.2.4 Pengaruh Bakteri Terhadap Konsentrasi Polutan

Konsorsium mikroba yang terdiri dari dua isolat *Pseudomonas aeruginosa* dan satu isolat *Rhodococcus erythropolis* dari tanah yang terkontaminasi lumpur berminyak digunakan dalam penelitian ini. Konsorsium mampu mendegradasi 90% hidrokarbon dalam 6 minggu. Kemampuan konsorsium untuk mendegradasi hidrokarbon lumpur diuji dalam dua uji coba lapangan terpisah. Selain itu, efek dari dua aditif (campuran nutrisi dan biosurfaktan). Biosurfaktan yang digunakan diproduksi oleh anggota konsorsium dan diidentifikasi sebagai campuran 11 congener rhamnolipid. Bakteri mendegradasi 91% kandungan hidrokarbon di tanah terkontaminasi oleh 1% (v/v) lumpur minyak mentah dalam 5 minggu. Penggunaan terpisah dari salah satu aditif bersama dengan konsorsium mengakibatkan penurunan 91-95% dari kandungan hidrokarbon dalam 4 minggu, dengan preparasi biosurfaktan mentah menjadikan proses degradasi lebih efektif. Namun, lebih dari 98% penipisan hidrokarbon diperoleh ketika kedua aditif ditambahkan bersama-sama dengan konsorsium. Data tersebut mendukung penggunaan biosurfaktan dari bakteri untuk meremediasi hidrokarbon (Das, 2011).

Wilson dan Bradley (1996), melakukan penelitian tentang penggunaan bakteri *Pseudomonas sp.* untuk mendegradasi TPH dalam sistem reaktor batch yang berisi air limbah minyak dan bakteri. Penelitian tersebut menunjukkan keterbatasan gerak dari bakteri atau tanpa adanya aliran air limbah dapat meningkatkan kontak antara sel bakteri dengan unsur hidrokarbon dan produksi rhamnolipid (biosurfaktan yang dihasilkan bakteri). Rhamnolipid menyebabkan dispersi yang lebih besar dari n-alkana yang tidak larut dalam air dalam fase cair karena sifat amphipathiknya dan molekul yang terdiri dari gugus hidrofilik dan hidrofobik mengurangi ketegangan antar muka sistem air-minyak. Hal ini mengakibatkan hidrokarbon larut dengan air dan penyerapan hidrokarbon yang cepat ke dalam sel.

Bakteri yang digunakan dalam reaktor *floating wetland* merupakan komunitas dimana di dalamnya terdapat bakteri jenis *acinobacter junii*, *acinobacter sp.*, *bacillus subtilis*, dan *klebsiella sp.* Komunitas bakteri ini diduga dapat mendegradasi kandungan minyak di dalam air limbah. Setelah dilakukan penelitian selama 42 hari, dengan pengujian sampel pada hari ke 14, 28 dan 42 untuk mengetahui kemampuan reduksi komunitas bakteri tersebut. Hasil penelitian dibandingkan dengan bak kontrol yang didalamnya hanya terdapat komunitas bakteri tanpa adanya tanaman. Nilai reduksi pada pengujian hari ke-14 menunjukkan bakteri dapat mereduksi polutan sebesar 17,3%, hari ke-28 sebesar 23% dan hari ke-42 sebesar 32,4% (Rehman et al., 2018).

Penurunan TPH terbesar pada konsentrasi 10% yaitu 6,95%, sedangkan penurunan TPH terkecil pada konsentrasi 2,5% yaitu 1,35%. Penurunan TPH yang berbeda nyata pada tiap konsentrasi dikarenakan kandungan hidrokarbon pada setiap perlakuan berbeda-beda dan pada limbah minyak bumi diduga ada mikroba alami yang hidup di daerah *rhyzosfer* tanaman. Mikroba ini memanfaatkan limbah minyak bumi sebagai sumber energi utama. Semakin banyaknya limbah yang ditambahkan maka proses adaptasi lebih lambat tetapi aktivitas degradasi hidrokarbon lebih optimal karena sumber energi yang tersedia yaitu C dari limbah dapat digunakan oleh bakteri petrofilik sebagai sumber nutrisi. Selain hidrokarbon sebagai sumber energi utama bagi bakteri, akar rumput juga mengeluarkan eksudat yang mengandung senyawa organik seperti gula, asam amino, asam organik, asam lemak, enzim dan golongan senyawa lain. Senyawa-senyawa tersebut digunakan sebagai sumber nutrisi tambahan bagi bakteri petrofilik, sehingga menstimulir pertumbuhan dan aktivitas mikroba dan pada akhirnya meningkatkan jumlah populasi bakteri yang mampu mendegradasi hidrokarbon. Contoh bakteri yang berasosiasi dengan akar tanaman di daerah rhizosfir antara lain *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Mycobacterium* (Estuningsih, 2013).

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya dapat diketahui bakteri dapat membantu penyerapan polutan minyak dengan rentang 1,35-6,95% (Estuningsih, 2013), 17,3-32,4% (Rehman et al., 2018), 91-98% (Das, 2011). Jika dibandingkan dengan hasil penelitian ini, penggunaan bakteri dan tanaman dapat mereduksi

kandungan *oil and grease* sebesar 73-98%, *total petroleum hydrocarbon (TPH)* sebesar 77-99%, dan *oil content* sebesar 67-94%.

