

PERPUSTAKAAN UMP



0000091454

FIKOREMEDIASI EFLUEN LOJI KELAPA SAWIT (*POME*) DENGAN
MENGUNAKAN *SCENEDESMUS DIMORPHUS* DAN *CHLORELLA VULGARIS*

KAMRUL FAKIR BIN KAMARUDIN

TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEH IJAZAH
SARJANA SAINS

FAKULTI KEJURUTERAAN DAN ALAM BINA,
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA

2014

ABSTRAK

Fikoremediasi adalah bidang baru dalam rawatan air sisa menggunakan pendekatan biologi iaitu biopemuliharaan, menerusi mikroalga sebagai organisma utama dalam menjalankan proses rawatan air sisa. Rawatan sisa menggunakan mikroalga telah diaplikasikan pada sistem rawatan air sisa domestik, dan keputusan menunjukkan hasil yang signifikan terutamanya bagi elemen nitrogen dan fosforus. Melalui proses fikoremediasi, mikroalga menggunakan nutrien yang terdapat pada air sisa seperti nitrogen, fosforus dan elemen logam berat bagi menyokong pertumbuhan melalui proses fotosintesis seperti yang dijalankan pada tumbuhan daratan tetapi dengan kadar yang lebih pesat. Objektif kajian ini adalah menyiasat keupayaan dan potensi bagi aplikasi proses fikoremediasi menggunakan POME sebagai medium pertumbuhan bagi *Scenedesmus dimorphus*, *Chlorella vulgaris* dan *Dunaliella Salina*. Selain itu, kajian memperihalkan pengoptimuman aras-aras pembolehubah nilai pH dan keamatan cahaya dengan menggunakan Rekabentuk Faktorial 2^2 dan Kaedah Komposit Berputar dalam penghasilan peratusan penyingkiran kepekatan Permintaan Oksigen Kimia (COD), Permintaan Oksigen Biokimia (BOD) dan Nitrogen Keseluruhan (TN) yang optimum. Kajian dimulakan dengan pembiakan inokulum secara aseptik dan seterusnya dikultur menggunakan POME sebagai medium pertumbuhan. Kajian bagi kecekapan mikroalga dalam menjalankan proses fikoremediasi serta pengoptimuman aras-aras pembolehubah dijalankan secara sesekumpul dan diulangi bagi mendapatkan keputusan yang lebih jitu. Keputusan menunjukkan hanya mikroalga air tawar iaitu *S. dimorphus* dan *C. vulgaris* mengalami pertumbuhan yang lebih pesat dan signifikan berbanding mikroalga marin, *D. Salina*. Hal ini disebabkan faktor kemasinan yang rendah pada POME yang digunakan dan ini memberikan kesan terhadap pertumbuhan mikroalga marin. *S. dimorphus* dan *C. vulgaris* yang dikultur menggunakan POME sebagai medium pertumbuhan masing-masing menghasilkan biojisim di antara 0.26 ke 3.4 mg L⁻¹ dan 0.34 ke 4.4 mg L⁻¹. Bagi penyingkiran nutrien daripada POME, *S. dimorphus* menunjukkan keputusan yang lebih memberangsangkan dengan penyingkiran nitrogen ammonia sebanyak 99.5%, berbanding *C. vulgaris* yang hanya mencapai peratusan penyingkiran sebanyak 61.0%. Keputusan yang signifikan terutamanya bagi penurunan kepekatan COD dan BOD diperoleh oleh kedua-dua mikroalga dengan *S. dimorphus* dan *C. vulgaris* masing-masing mencapai peratus penyingkiran COD sebanyak 86% dan 50.5%, dan peratusan penyingkiran BOD sebanyak 86.5% dan 61.6%. Keputusan pengoptimuman aras-aras pembolehubah pH dan keamatan cahaya menunjukkan peratusan penyingkiran COD, BOD dan TN masing-masing pada 84.26%, 80.62% dan 75.40% dengan nilai pH pada julat 6.02 sehingga 6.53 dan keamatan cahaya pada 3162 lux sehingga 3888 lux. Secara teorinya pada nilai pH dan keamatan cahaya yang sama, peratusan penyingkiran COD, BOD dan TN masing-masing diramalkan pada 86.18%, 81.75% dan 79.20%. Keputusan pencirian biojisim menunjukkan *S. dimorphus* menghasilkan klorofil a, b dan karotenoid masing-masing di antara 0.2638-0.1811, 0.0831-0.0543 dan 0.1792-0.146 mgL⁻¹ dan *C. vulgaris* menghasilkan klorofil a, b, dan karotenoid sebanyak 0.1034-0.0163, 0.064-0.0115 dan 0.0751-0.0112 mgL⁻¹. Kesimpulannya, mikroalga mempunyai potensi yang tinggi dalam menjalankan proses rawatan air sisa terutamanya dalam mengurangkan kepekatan COD dan BOD seperti yang ditunjukkan dalam pengurangan kedua-dua parameter tersebut pada POME. Selain itu juga, biojisim daripada proses fikoremediasi boleh dieksploitasi bagi sumber tenaga seperti penghasilan biodiesel.

PHYCOREMEDIATION OF PALM OIL MILL EFFLUENTS (POME) USING SCENEDESMUS DIMORPHUS AND CHLORELLA VULGARIS

ABSTRACT

Phycoremediation is a new field of treating wastewater by biological approach using microalgae or macroalgae as a prime organism in conducting the treatment process. This environmental approach has been applied in municipal wastewater treatment and the result showed that it can reduce a significant amount of hazardous concentration especially nitrogen and phosphorus. Through phycoremediation process, microalgae utilize nutrients such nitrogen, phosphorus, other elements including heavy metals, for its growth to biomass through photosynthesis process same like terrestrial plant only at higher growth rate. The objective of this research is to investigate the microalgae capability and potential in the application of phycoremediation using POME as growth medium with three strains of microalgae, *Scenedesmus dimorphus*, *Chlorella vulgaris* and *Dunaliella salina*. Moreover, this research also investigate the optimisation of the levels of the variables of pH and light intensity using 2^2 factorial experiment design and the Method of Rotatable Composite Design for optimum percentage of (Chemical Oxygen Demand) COD, (Biochemical Oxygen Demand) BOD and Total Nitrogen (TN) removal. Experiment began with cultivation of inoculums in aseptic (seed culture) and continued with cultivation using POME as growth medium. The efficiencies of microalgae in undergo phycoremediation process and optimisation of the levels of the variables was done in batch and repeated to obtain average value. Result from cultivation of three strains of microalgae using POME showed that only freshwater microalgae, *S. dimorphus* and *C. vulgaris* had a significant growth rate compare to marine microalgae *D. salina*. This can be explained because of low salinity value of POME which is not suitable for marine microalgae and impacting the growth of *D. salina* directly. *S. dimorphus* and *C. vulgaris* cultivated using POME as medium growth obtained biomass growth from 0.26 to 3.4 mg L⁻¹ and 0.34 to 4.4 mg L⁻¹ respectively. For nutrient removal of POME, *S. dimorphus* showed a better result compare with *C. vulgaris* with ammoniacal nitrogen reduced more than 99.5% of initial concentration for *S. dimorphus*, while *C. vulgaris* only obtained 61.0%. The most significant finding was the ability of both microalgae to reduce COD and BOD concentration with reduction of 86% and 50.5% for COD reduction and 86.5% and 61.6% for BOD concentration of *Scenedesmus dimorphus* and *Chlorella vulgaris*, respectively. For optimisation of variables levels of pH value and light intensity, result showed that percentage of COD, BOD and TN removal was achieved at 84.26%, 80.62% and 75.40% respectively at pH ranging from 6.02 to 6.53 and light intensity was 3162 lux to 3888 lux. Theoretically at same pH and light intensity, COD, BOD and TN removal was predicted at 86.18%, 81.75% and 79.20%, respectively. Characterization of biomass produced from phycoremediation process showed that *S. dimorphus* produced chlorophyll a, b and carotenoid around 0.2638-0.1811, 0.0831-0.0543 and 0.1792-0.146 mgL⁻¹ respectively, and *C. vulgaris* produced 0.1034-0.0163, 0.064-0.0115 and 0.0751-0.0112 mgL⁻¹ respectively. Result from this work concluded that microalgae has a big potential in application of wastewater treatment especially in reducing COD and BOD concentration of POME which can contribute to more clean and sustainable way of POME wastewater treatment. Furthermore, production of pigment from biomass produced through phycoremediation process adds more value to the treatment process and can be exploited for production of high value pigment and energy source like biodiesel.

KANDUNGAN

		Halaman
PENGAKUAN		ii
PENGHARGAAN		iii
ABSTRAK		iv
ABSTRACT		v
KANDUNGAN		vi
SENARAI JADUAL		ix
SENARAI ILUSTRASI		xiii
SENARAI SINGKATAN		xvi
BAB 1	PENDAHULUAN	
1.1	Latar Belakang Kajian	1
1.2	Pernyataan Masalah	3
1.3	Objektif Kajian	4
1.4	Skop Kajian	5
1.5	Manfaat Kajian	5
1.6	Organisasi Penulisan	5
BAB II	KAJIAN KEPUSTAKAAN	
2.1	Pengenalan	7
2.2	Industri Kelapa Sawit	8
	2.2.1 Efluen Loji Kelapa Sawit (<i>POME</i>)	9
	2.2.2 Rawatan <i>POME</i>	14
2.3	Mikroalga Sebagai Agen Perawatan Air Sisa Industri	20
	2.3.1 Faktor Persekitaran Fizikal yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroalga	24
2.4	Penyingkiran Nutrien Daripada Air Sisa oleh Mikroalga	28
	2.4.1 Karbon	29
	2.4.2 Nitrogen	30
	2.4.3 Fosforus	31
	2.4.4 Mikronutrien	32
2.5	Perspektif Mikroalga Bagi Sistem Rawatan Air Sisa Industri	33
	2.5.1 Mikroalga Sebagai Sumber Tenaga Melalui Pengekstrakan Minyak Algal	35
	2.5.2 Penghasilan Pigmen dan Produk Nilai Tinggi	37

Daripada Biojisim Mikroalga

2.6	Sistem Pengkulturan Mikroalga	38
2.6.1	Sistem Penternakan Terbuka	38
2.6.2	Sistem Penternakan Tertutup	40
2.7	Hubungan Simbiosis Mikroalga dan Bakteria Dalam Sistem Rawatan Air Sisa Industri	42

BAB III BAHAN DAN KAEDAH

3.1	Pengenalan	43
3.2	Penyediaan Inokulum	45
3.2.1	Penentuan Kadar Pertumbuhan (μ) Mikroalga	48
3.2.2	Penentuan Kadar Pertumbuhan Spesifik (μ_{max}) Mikroalga	50
3.3	Penyediaan Serta Pencirian POME Sebagai Medium Pertumbuhan Mikroalga	52
3.4	Analisis Parameter Asas Kualiti Air	54
3.4.1	Nitrogen Ammonia (NH_3-N), Ammonia (NH_3), dan Ammonium (NH_4^+)	54
3.4.2	Nitrogen Keseluruhan (TN)	55
3.4.3	Ion Fosfat (PO_4^{3-}) dan Fosforus (P)	55
3.4.4	COD	56
3.4.5	BOD	56
3.5	Analisis Elemen Logam Berat Pada POME	58
3.6	Pencirian Biojisim yang dihasilkan daripada Rawatan Air Sisa POME	58
3.6.1	Analisis Pigmen Daripada Biojisim	59
3.7	Kaedah Faktorial	59
3.8	Penentuan Kesan Utama dan Kesan Interaktif Pembolehubah bagi Eksperimen Faktorial Penuh	60
3.9	Kaedah Reka Bentuk Komposit Berputar Menggunakan Persamaan Kuadratik	64

BAB IV KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1	Pengenalan	67
4.2	Kadar Pertumbuhan (μ) Mikroalga	67
4.3	Pencirian POME dan Pengkulturan Mikroalga Menggunakan POME Sebagai Medium Pertumbuhan	72
4.4	Kadar Pertumbuhan Spesifik (μ_{max}) Mikroalga	75

4.5	Penyingkiran Nutrien Kesan Pengkulturan Mikroalga pada <i>POME</i>	81
4.5.1	Penyingkiran Nitrogen Ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), Ammonia (NH_3), dan Ammonium (NH_4^+)	81
4.5.2	Analisis Nitrogen Keseluruhan (TN)	83
4.5.3	Analisis Ion Fosfat (PO_4^{3-}) dan Fosforus (P)	84
4.5.4	Analisis COD	85
4.5.5	Analisis BOD	88
4.6	Analisis Elemen Logam Berat	90
4.7	Pencirian Biojisim Melalui Pigmen yang Terhasil Daripada Proses Rawatan Air Sisa <i>POME</i>	95
4.8	Uji Kaji Faktorial	96
BAB V	KESIMPULAN DAN CADANGAN KAJIAN	
5.1	Kesimpulan Keseluruhan	111
5.2	Sumbangan Kajian	114
5.3	Cadangan Kajian Lanjutan	114
	SENARAI RUJUKAN	115
	LAMPIRAN	130

SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
2.1	Pencirian POME	12
2.2	Had Piawaian Bagi Perlepasan Sisa Industri Kelapa Sawit	13
2.3	Penggunaan Mikroalga dalam Merawat Pelbagai Sisa Industri	19
2.4	Kecekapan Mikroalga dalam Menyingkirkan Nitrogen Keseluruhan (TN), dan Fosforus Keseluruhan (TP) pada Pelbagai Jenis Sisa Air yang Berbeza	33
2.5	Perbandingan kandungan minyak, hasil minyak, serta produktiviti biodiesel di antara Mikroalga dan Tumbuhan Daratan	36
3.1	Aras Pembolehubah Eksperimen dengan Ujikaji Faktorial 2 ²	60
3.2	Rekabentuk Faktorial Eksperimen 2 ²	61
3.3	Keputusan Kesan Utama dan Kesan Interaktif Menggunakan Kaedah Yates'	62
3.4	Rekabentuk Titik Pusat dan hasil Keputusan Eksperimen	62
3.5	Taburan-F	62
3.6	Keputusan Ujian Taburan-F bagi Kesan Utama dan Kesan Interaktif	63
4.1	Kadar Pertumbuhan, Pembahagian Sel per hari, dan Tempoh Penggandaan <i>Scenedesmus dimorphus</i> Dalam Persekitaran Aseptik	68
4.2	Kadar Pertumbuhan, Pembahagian Sel per Hari, dan Tempoh Penggandaan <i>Chlorella vulgaris</i> Dalam Persekitaran Aseptik	68
4.3	Kadar Pertumbuhan, Pembahagian sel per Hari, dan Tempoh Penggandaan <i>Dunaliella salina</i> Dalam Persekitaran Aseptik	68
4.4	Pencirian Air Sisa POME daripada Kolam Anaerobik	73
4.5	Kadar Pertumbuhan, Pembahagian Sel per Hari, dan tempoh Penggandaan bagi Spesis Mikroalga Menggunakan POME Sebagai Medium Pertumbuhan	74
4.6	Nilai μ_{\max} bagi spesis <i>Scenedesmus dimorphus</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , dan <i>Dunaliella salina</i> Bagi Persekitaran Aseptik dan Persekitaran POME	75

4.7	Sela Keyakinan Bagi Spesis <i>Scenedesmus dimorphus dimorphus</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Dunaliella salina</i> Bagi Persekitaran Aseptik dan Persekitaran POME	80
4.8	Keputusan peratus pengurangan nitrogen ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), ammonia (NH_3) dan ammonium bagi <i>Scenedesmus dimorphus</i> dan <i>Chlorella vulgaris</i>	82
4.9	Keputusan peratusan pengurangan Nitrogen Total (TN) bagi <i>Scenedesmus dimorphus</i> dan <i>Chlorella vulgaris</i>	83
4.10	Keputusan Pengurangan kepekatan Fosfat (PO_4^{3-}) dan Fosforus (P) dengan <i>Scenedesmus dimorphus</i> dan <i>Chlorella vulgaris</i>	84
4.11	Keputusan pengurangan kepekatan COD bagi <i>Scenedesmus dimorphus</i> dan <i>Chlorella vulgaris</i> yang dikultur menggunakan POME.	86
4.12	Keputusan pengurangan kepekatan BOD bagi <i>Scenedesmus dimorphus</i> dan <i>Chlorella vulgaris</i> dikultur menggunakan POME pada nilai pH yang berbeza.	88
4.13	Had perlepasan bagi logam dan logam berat yang telah ditetapkan oleh DOE Malaysia	90
4.14	Keputusan kepekatan elemen-elemen logam Mg, Cu, Mn, Fe dan Zn yang terkandung dalam sisa air POME.	94
4.15	Komposisi klorofil a,b dan karotenoid yang dihasilkan <i>Scenedesmus dimorphus</i> dan <i>Chlorella vulgaris</i>	95
4.16	Aras pembolehubah eksperimen bagi Eksperimen Faktorial 2^2	97
4.17	Reka bentuk Faktorial Eksperimen 2^2 serta keputusan eksperimen.	97
4.18	Hasil pengiraan kesan utama dan kesan interaksi menggunakan Kaedah Yates 's bagi peratusan penyingkiran COD.	97
4.19	Hasil pengiraan kesan utama dan kesan interaksi menggunakan Kaedah Yates 's bagi peratusan penyingkiran BOD.	98
4.20	Hasil pengiraan kesan utama dan kesan interaksi menggunakan Kaedah Yates 's bagi peratusan penyingkiran TN.	98

4.21	Reka bentuk bagi eksperimen pada titik pusat serta data eksperimen	98
4.22	Keputusan bagi Kesan Utama dan Kesan interaksi untuk peratusan penyingkiran COD.	99
4.23	Keputusan bagi Kesan Utama dan Kesan interaksi untuk peratusan penyingkiran BOD.	99
4.24	Keputusan bagi Kesan Utama dan Kesan interaksi untuk peratusan penyingkiran TN.	99
4.25	Taburan-F	100
4.26	Pekali regresi bagi persamaan linear untuk permukaan tindak balas daripada Faktorial Eksperimen 2^2 peratusan penyingkiran COD.	100
4.27	Pekali regresi bagi persamaan linear untuk permukaan tindak balas daripada Faktorial Eksperimen 2^2 peratusan penyingkiran BOD.	100
4.28	Pekali regresi bagi persamaan linear untuk permukaan tindak balas daripada Faktorial Eksperimen 2^2 peratusan penyingkiran TN.	100
4.29	Aras pembolehubah bagi Eksperimen Mata Tambahan bagi reka bentuk Komposit Berputar untuk penyingkiran COD, BOD dan TN.	101
4.30	Reka bentuk ujikaji tambahan bagi Reka Bentuk Komposit Berputar 2^2 serta keputusan eksperimen.	101
4.31	Pekali regresi Persamaan kuadratik Permukaan Tindak Balas bagi reka bentuk Komposit Berputar penyingkiran COD.	102
4.32	Pekali regresi Persamaan kuadratik Permukaan Tindak Balas bagi reka bentuk Komposit Berputar penyingkiran BOD	102
4.33	Pekali regresi Persamaan kuadratik Permukaan Tindak Balas bagi reka bentuk Komposit Berputar penyingkiran TN.	102
4.34	Aras pembolehubah eksperimen berdasarkan peratusan penyingkiran COD yang memberikan respon teori yang maksimum.	103
4.35	Analisis varians model peratusan penyingkiran COD bagi POME menggunakan <i>Scenedesmus dimorphus</i> .	104
4.36	Aras pembolehubah eksperimen berdasarkan peratusan penyingkiran BOD yang memberikan respon teori yang	105

	maksimum.	
4.37	Analisis varians model peratusan penyingkiran BOD bagi POME menggunakan <i>Scenedesmus dimorphus</i> .	106
4.38	Aras pembolehubah eksperimen berdasarkan peratusan penyingkiran TN yang memberikan respon teori yang maksimum.	107
4.39	Analisis varians model peratusan penyingkiran TN bagi POME menggunakan <i>Scenedesmus dimorphus</i> .	108

SENARAI ILUSTRASI

No. Rajah		Halaman
2.1	Proses Pengeskrakan Minyak Sawit Mentah (CPO) di dalam Loji Kelapa Sawit	10
2.2	Punca Air Sisa POME di daripada Loji Kelapa Sawit	11
2.3	Carta Alir Bagi Rawatan POME Menggunakan Sistem Kolam Terbuka	16
2.4	Proses Rawatan Sisa Air POME Bagi Loji Kelapa Sawit Sime Darby East Oil Mill yang Menggunakan Gabungan Sistem Penvernaan dan Sistem Kolam Terbuka	17
2.5	Mikroalga yang dipencilkan daripada pelbagai habitat; 1) <i>Scenedesmus dimorphus</i> , 2) <i>Spirulina platensis</i> , 3) <i>Haematococcus pluvalis</i>	21
2.6	Hubungan Simbiosis di antara Mikroalga dan Bakteria	22
2.7	Mekanisma Proses Fotosintesis	26
2.8	Kesan Keamatan Cahaya Terhadap Pertumbuhan Spesifik Mikroalga	28
2.9	Skema yang Dipermudahkan bagi Proses Asimilasi Nitrogen Bukan Organik	30
2.10	Sistem Penternakan Terbuka (Kolam <i>Raceway</i>)	40
2.11	Mikroalga dikultur menggunakan beg plastik	41
3.1	Carta Alir Metodologi	44
3.2	Morfologi bagi Tiga Spesies Mikroalga; (1) <i>Chlorella vulgaris</i> , (2) <i>Scenedesmus dimorphus</i> , (3) <i>Dunaliella salina</i>	45
3.3	Mikroalga yang dikultur menggunakan piring petri	46
3.4	Mikroalga dikultur pada <i>orbital shaker</i>	47
3.5	Kaedah penentuan kepadatan sel menggunakan <i>Hemocytometer</i>	48
3.6	Radas yang digunakan bagi menentukan biojisim yang dihasilkan daripada pengkulturan mikroalga dan biojisim yang dikumpulkan	49
3.7	Carta alir bagi anggaran parameter	51

3.8	Kolam enapan kilang kelapa sawit East Mill Pulau Carrey.	53
3.9	POME yang telah menjalani proses pra-rawatan bagi menyingkirkan sisa terampai	54
4.1	Profil pertumbuhan bagi <i>Scenedesmus dimorphus</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Dunaliella salina</i> pada nilai pH yang berbeza berdasarkan kepadatan sel	70
4.2	Profil pertumbuhan <i>Scenedesmus dimorphus</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , dan <i>Dunaliella salina</i> pada nilai pH yang berbeza berdasarkan biojisim yang dihasilkan	71
4.3	Profil pertumbuhan <i>Scenedesmus dimorphus</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Dunaliella salina</i> yang dikultur menggunakan POME sebagai media pertumbuhan.	74
4.4	Graf DCW/g L ⁻¹ melawan masa/hari bagi <i>Scenedesmus dimorphus</i> pada (a)persekitaran aseptik dan (b)persekitaran POME dengan nilai pH 6, 7, 8.	77
4.5	Graf DCW/g L ⁻¹ melawan masa/hari bagi <i>Chlorella vulgaris</i> pada (a)persekitaran aseptik dan (b)persekitaran POME dengan nilai pH 6, 7, 8.	78
4.6	Graf DCW/g L ⁻¹ melawan masa/hari bagi <i>Dunaliella salina</i> pada (a)persekitaran aseptik dan (b)persekitaran POME dengan nilai pH 6, 7, 8.	79
4.7	Penurunan Kepekatan COD bagi sisa air POME menggunakan inokulum <i>Scenedesmus dimorphus</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , serta sampel penunjuk pada nilai pH 7	87
4.8	Penurunan Kepekatan BOD bagi sisa air POME menggunakan inokulum <i>Scenedesmus dimorphus</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , serta sampel penunjuk pada nilai pH 7	89
4.9	Pola penyingkiran unsur magnesium yang terkandung di dalam POME melalui inokulasi <i>Scenedesmus dimorphus</i> dan <i>Chlorella vulgaris</i>	91
4.10	Pola penyingkiran logam berat yang terkandung di dalam PME melalui inokulasi <i>Scenedesmus dimorphus</i> dan <i>Chlorella vulgaris</i>	92
4.11	Hasil pengeskrakan klorofil daripada biojisim yang diperoleh	95
4.12	Permukaan 3D dan garisan kontur bagi faktor keamanan cahaya dan nilai pH terhadap peratusan pengurangan	103-104

- nutrien yang terkandung pada POME di mana (a dan b) adalah kesan terhadap peratusan pengurangan kepekatan COD.
- 4.13 Permukaan 3D dan garisan kontur bagi faktor keamatan cahaya dan nilai pH terhadap peratusan pengurangan nutrien yang terkandung pada POME di mana (a dan b) adalah kesan terhadap peratusan pengurangan kepekatan BOD. 106-107
- 4.14 Permukaan 3D dan garisan kontur bagi faktor keamatan cahaya dan nilai pH terhadap peratusan pengurangan nutrien yang terkandung pada POME di mana (a dan b) adalah kesan terhadap peratusan pengurangan kepekatan TN. 109

SENARAI SINGKATAN

BOD	Biochemical Oxygen Demand (Permintaan Oksigen Biokimia)
COD	Chemical Oxygen Demand (Permintaan Oksigen Kimia)
DOE	Department of Environment (Jabatan Alam Sekitar)
EFB	Buah Tandan Kosong
EU	Kesatuan Eropah
FFB	Buah Tandan Segar
MPOA	Malaysia Palm Oil Association
MPOB	Malaysia Palm Oil Board
NGO	Badan Bukan Kerajaan
POME	Palm Oil Mill Effluent (Efluen Kilang Minyak Sawit)
TN	Nitrogen keseluruhan
μ_{max}	Kadar Pertumbuhan Spesifik
μ	Kadar Pertumbuhan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG KAJIAN

Pada masa kini isu berkaitan pencemaran alam sekitar menjadi isu utama yang diberi perhatian akibat kesan negatif yang terhasil terutamanya terhadap keseimbangan ekologi, kesihatan dan kesejahteraan masyarakat setempat. Perkembangan pesat industri-industri utama seperti industri berat, pertanian dan pertambahan penduduk melalui proses urbanisasi menyebabkan berlakunya pencemaran alam sekitar terutamanya pencemaran air. Air sisa daripada industri pertanian merupakan antara penyumbang utama terhadap masalah tersebut. Air sisa dan bahan-bahan buangan daripada proses industri dan pertanian perlu diolah dan dirawat terlebih dahulu dan mematuhi spesifikasi had yang telah ditetapkan oleh pihak berkuasa sebelum boleh dilepaskan ke sumber-sumber air. Kementerian Sumber Asli dan Alam Sekitar Malaysia, telah pun menetapkan beberapa piawaian yang perlu dicapai oleh pihak industri bagi perlepasan air sisa kepada sumber-sumber air seperti sungai, tasik dan laut. Sektor pertanian di Malaysia, terutamanya daripada industri kelapa sawit merupakan antara penyumbang terbesar terhadap masalah pencemaran air.

Malaysia merupakan pengeluar hasil tanaman sawit kedua terbesar di dunia selepas Indonesia dan ini telah banyak menyumbang faedah dari segi punca pendapatan negara serta memberi sumber pekerjaan kepada masyarakat tempatan (Basiron, 2007). Kelapa sawit merupakan antara tumbuhan yang dapat menghasilkan peratusan minyak tertinggi jika dibandingkan dengan tanaman kacang soya, bunga matahari, dan sesawi. Minyak kelapa sawit juga merupakan pilihan utama bagi pengguna, terutamanya di Asia kerana ianya boleh digunakan pada suhu yang tinggi jika dibandingkan dengan minyak-minyak daripada tanaman yang lain. Selain itu juga,

faktor harga yang lebih rendah berbanding minyak dari sumber tanaman yang lain seperti minyak zaitun, telah mendorong pengguna di Asia terutamanya di Malaysia menggunakan minyak kelapa sawit sebagai produk makanan utama, dan ini membantu perkembangan pesat industri kelapa sawit di Malaysia dan Indonesia.

Namun di sebalik kelebihan dalam hasil minyak yang tinggi, industri kelapa sawit dikatakan antara penyumbang utama pencemaran udara, air, dan tanah (Elizabeth, 2007; Fargione et al., 2008). Kajian terdahulu juga membuktikan tanaman kelapa sawit menghasilkan sisa separa cecair dan cecair yang memerlukan rawatan yang tepat sebelum ianya boleh dilepaskan ke alam sekitar bagi mengelakkan pencemaran terhadap sumber-sumber air yang menjadi punca sumber minuman bagi masyarakat sekeliling (Wu et al., 2010). Air sisa industri kelapa sawit dikenali sebagai Efluen Industri Kelapa Sawit (*POME*) dan ianya telah dikenal pasti secara meluas sebagai air sisa yang sangat tercemar kerana ianya mempunyai kepekatan permintaan oksigen kimia (*COD*) dan permintaan oksigen biokimia (*BOD*) yang sangat tinggi. Selain itu juga, *POME* mempunyai kepekatan nutrien seperti nitrogen dan fosforus yang tinggi dan berpotensi menyebabkan berlakunya eutrofikasi ke atas sumber air (Garg dan Garg, 2002).

Pada masa kini, secara konvensionalnya *POME* dirawat secara berperingkat-peringkat dengan gabungan sistem kolam dan sistem pencernaan dengan menggunakan kaedah biologi (Yacob et al., 2006). Sistem ini mengambil masa yang agak panjang iaitu dalam jangka masa sekitar 90 hari, sebelum *POME* dapat dilepaskan ke sumber-sumber air seperti sungai dan tasik. Salah satu usaha mengurangkan pencemaran air oleh *POME* adalah dengan melepaskannya pada tanah ladang kelapa sawit sebagai sumber tambahan bagi baja. Namun begitu kebarangkalian pencemaran air bawah tanah mungkin berlaku sekiranya perlepasan *POME* pada ladang dilakukan secara tidak terkawal. Selain itu juga, faktor hujan serta limpahan daripada sistem rawatan kolam boleh menyebabkan *POME* mengalir ke sumber air dan seterusnya menyebabkan pencemaran sumber air. Kajian dan kejayaan mengenai perawatan air sisa daripada industri pertanian serta penternakan khinzir telah memberikan indikasi utama bahawa dengan menggunakan mikroalga, bahan cemar yang terkandung pada air sisa dapat disingkirkan serta memelihara ekosistem akuatik daripada risiko pencemaran air. Sehubungan dengan itu, kajian menggunakan

mikroalga dalam merawat *POME* adalah sangat relevan kerana kajian mengenai bidang ini masih di peringkat awal. Selain itu juga, terdapat pelbagai spesies mikroalga yang boleh dieksploitasi daripada habitat *POME* dan diterokai potensinya dalam menjalan proses rawatan air sisa.

Selain masalah pencemaran alam sekitar, terutamanya kesan terhadap hidupan akuatik disebabkan pencemaran air daripada *POME*, dunia kini menghadapi masalah kekurangan sumber tenaga yang kritikal. Sehingga kini, sumber tenaga yang digunakan bergantung kepada sumber bahan bakar fosil yang tidak boleh diperbaharui, serta mencemarkan alam sekitar. Hal ini mendorong kepada usaha-usaha untuk menghasilkan sumber tenaga alternatif yang dapat menggantikan sumber tenaga konvensional serta menjamin kelangsungan sumber tenaga (Dalrymple et al., 2013). Selain itu juga, mikrolaga berupaya menghasilkan produk bernilai tinggi yang digunakan pada industri makanan, kesihatan dan kecantikan. Antara produk bernilai tinggi yang boleh dieksploitasi ialah pigmen iaitu klorofil serta unsur-unsur terbitannya seperti *astaxanthin*, dan bahan anti oksida. Pigmen yang dihasilkan kini digunakan secara meluas terutamanya pada industri makanan di mana ianya digunakan sebagai pewarna organik. Sehubungan dengan itu, gabungan proses fikoremediasi serta penghasilan produk bernilai tinggi berupaya memberikan nilai tambah terhadap proses rawatan air sisa.

1.2 PERNYATAAN MASALAH

Antara masalah utama yang membelenggu pengusaha industri kelapa sawit ialah pengurusan sisa air *POME*. Sisa air *POME* mempunyai nilai COD, BOD, serta nutrien yang tinggi dan boleh menyebabkan berlakunya pencemaran ke atas sumber air. Selain itu juga, sistem rawatan air sisa *POME* yang dilakukan secara konvensional mengambil masa yang panjang iaitu kira-kira 90 hari bagi proses rawatan yang lengkap, mempunyai kos yang tinggi, serta kadar kecekapan bagi penyingkiran nutrien yang rendah. Terdapat beberapa kajian kepustakaan yang telah diterbitkan bagi mengkaji kebolehpayaan mikroalga dalam menjalankan proses rawatan *POME* serta menghasilkan produk bernilai tinggi seperti pigmen, dan biodiesel daripada biojisim yang dihasilkan (Lam dan Lee, 2012). Selain itu juga, hasil kajian terkini telah memberikan petunjuk awal di mana, mikroalga *Spirulina plantesis* berjaya merawat

serta mengurangkan kepekatan COD dan BOD dengan menggunakan sisa air *POME* sebagai medium pertumbuhan (Zainal et al., 2012). Namun, di sebalik kebolehpayaan serta potensi besar yang dimiliki oleh mikroalga dalam merawat air sisa industri, sehingga kini kajian mengenai rawatan sisa air *POME* menggunakan mikroalga adalah sangat terhad. Sehubungan dengan itu, kajian dijalankan bagi mencapai sistem rawatan sisa air *POME* dengan mengaplikasikan pendekatan biologi menggunakan mikroalga yang dapat memendekkan masa rawatan sisa air *POME* serta mempunyai kecekapan yang lebih tinggi bagi menyingkirkan bahan cemar yang terkandung pada *POME* berbanding kaedah rawatan konvensional.

Sistem rawatan sisa air *POME* secara konvensional hanya mengurangkan nilai kandungan COD, BOD dan nutrien. Namun dengan menggabungkan konsep sistem perawatan sisa air *POME* dan penghasilan bahan sampingan yang dapat dieksploitasi bagi kegunaan komersil yang lain seperti penghasilan pigmen bernilai tinggi serta lipid dapat memberi nilai tambah terhadap sistem perawatan air sisa *POME*. Sehubungan dengan itu, kajian ini juga bertujuan membantu industri kelapa sawit dalam mencapai matlamat untuk memberikan nilai tambah terhadap sistem rawatan sisa air *POME* dengan mengeksploitasi biojisim yang dihasilkan bagi tujuan pengkomersilan seperti penghasilan pigmen bernilai tinggi.

1.3 OBJEKTIF KAJIAN

Tujuan kajian ini dijalankan adalah untuk mencapai beberapa objektif yang dinyatakan seperti berikut:

1. Untuk menentukan kadar pertumbuhan (μ) dan kadar pertumbuhan spesifik (μ_{\max}) bagi *Scenedesmus dimorphus*, *Chlorella vulgaris* dan *Dunaliella salina*.
2. Untuk mengkaji proses fikoremediasi *POME* dan mencirikan pigmen yang dihasilkan daripada proses perawatan air sisa *POME* melalui mikroalga.
3. Untuk menentukan kesan nilai pH dan keamatan cahaya terhadap kecekapan dalam penyingkiran kepekatan COD, BOD dan TN dalam proses rawatan air sisa *POME* menggunakan mikroalga.

1.4 SKOP KAJIAN

Skop kajian projek ilmiah ini adalah untuk menguji kebolehpayaan serta membandingkan pertumbuhan tiga spesies mikroalga *Scenedesmus dimorphus*, *Chlorella vulgaris*, dan *Dunaliella salina* dalam menjalankan fikoremediasi *POME*. Berikut adalah parameter-parameter yang dikaji bagi mengkaji potensi mikroalga komersil; nitrogen ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), ammonia (NH_3), ammonium (NH_4^+), Nitrogen Keseluruhan (TN), PO_4^{3-}P , COD, BOD, dan elemen-elemen logam berat. Beberapa pemboleh ubah dikaji di dalam kajian ini; nilai pH dan keamatan cahaya, bagi memberikan nilai pengurangan kepekatan bahan cemar yang maksimum serta menghasilkan kadar pertumbuhan yang optimum.

Selain itu juga hasil sampingan yang diperoleh daripada pertumbuhan mikroalga daripada proses perawatan sisa air *POME* dikumpulkan bagi kajian mengenai kebolehpayaan biojisim yang dihasilkan untuk proses pengekstrakan beberapa pigmen yang mempunyai nilai komersial seperti pigmen klorofil dan karetanoid.

1.5 MANFAAT KAJIAN

Penyelidikan ini berpotensi memberikan penyelesaian alternatif kepada cabaran utama industri kelapa sawit dunia di mana, sistem perawatan air sisa *POME* dapat dijalankan melalui pendekatan fikoremediasi yang mengeksploitasi potensi mikroalga dalam menggunakan atau mengitar semula nutrien dalam *POME* bagi menyokong pertumbuhan sel-sel, dan ini memberikan impak positif dari segi kualiti air sisa yang dihasilkan. Selain itu juga, hasil sampingan iaitu biojisim daripada pertumbuhan mikroalga, dapat digunakan sebagai sumber alternatif terutamanya dalam penghasilan minyak algal dan pigmen yang bernilai tinggi.

1.6 ORGANISASI PENULISAN

Kajian ilmiah ini dibahagikan kepada lima bab utama yang menerangkan skop-skop yang berlainan dalam kajian yang dijalankan. Berikut adalah rumusan keseluruhan

kajian yang menerangkan tentang perkara yang akan dibincangkan dalam setiap bab, serta kaitan di antara semua bab-bab tersebut.

Bab 1 bermula dengan pengenalan mengenai kajian yang dijalankan serta diikuti dengan objektif kajian ilmiah. Bab ini membincangkan pernyataan masalah dalam rawatan air sisa *POME* secara konvensional dan potensi perawatan air sisa dengan pendekatan biologi dengan menggunakan mikroalga. Selain itu bab 1 juga membincangkan mengenai potensi hasil sampingan yang dihasilkan daripada mikroalga iaitu biojisim, daripada proses rawatan air sisa *POME*. Bab II pula membincangkan mengenai kajian kepustakaan berkaitan kajian ini. Antara perkara yang dibincangkan ialah proses yang dijalankan di loji kelapa sawit untuk menghasilkan minyak kelapa sawit (CPO), jenis dan punca air sisa di loji kelapa sawit serta komposisi bendasing yang hadir di dalam *POME*, perawatan sisa secara pendekatan biologi, serta penghasilan minyak algal berdasarkan kajian terdahulu.

Bab III membincangkan mengenai kaedah yang diguna pakai bagi mencapai objektif yang telah ditetapkan. Bermula dengan pembangunan dan pengembangan inokulum, pencirian sisa air *POME*, kajian prestasi perawatan sisa air *POME* melalui pengukuran nilai pengurangan parameter bahan cemar seperti unsur nitrogen, fosforus, kepekatan COD serta BOD, dan kajian mengenai pigmen yang diekstrak daripada biojisim yang terhasil daripada proses rawatan air sisa *POME*.

Bab IV membincang keputusan dan perbincangan yang diperolehi daripada aktiviti yang dijalankan dalam Bab III. Bab ini membincangkan mengenai keputusan rawatan air sisa *POME* menggunakan mikroalga yang berhubung kait dengan perubahan nilai nutrien; nitrogen ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), nitrogen (NH_3), ammonium (NH_4^+), nitrogen keseluruhan (TN), ion fosfate (PO_4^{3-}), fosforus (P), perubahan nilai COD, perubahan nilai BOD, serta kesan pembolehubah dalam penyingkiran kepekatan COD, BOD, dan TN yang optimum.

Bab V merupakan kesimpulan yang dapat dirumuskan berdasarkan kajian yang dilakukan. Kesimpulan ini akan membincangkan sama ada hasil kajian mencapai objektif kajian yang telah ditetapkan. Di akhir kajian ini juga, kesinambungan uji kaji pada masa hadapan juga turut dibincangkan.

BAB II

KAJIAN KEPUSTAKAAN

2.1 PENGENALAN

Pencemaran alam sekitar terutamanya pencemaran air merupakan masalah utama dan memberi kesan terhadap kesihatan dan kualiti hidup masyarakat. Antara penyumbang utama kepada masalah pencemaran air di Malaysia ialah pencemaran daripada industri berat, pertanian, dan sisa domestik. Masalah pencemaran ini berpunca daripada pembangunan serta pengurusan air sisa industri secara tidak terancang, sistem rawatan yang tidak sempurna serta penghasilan sisa air dalam kuantiti yang besar. Sisa air daripada sektor pertanian merupakan antara penyumbang utama, terutamanya sisa air daripada industri kelapa sawit. Air sisa industri daripada sumber pertanian secara amnya mempunyai kepekatan COD dan BOD yang tinggi. Selain itu, terdapat beberapa elemen yang berhazard seperti elemen logam berat seperti Mangan dan Zink yang memerlukan pemerhatian serta tindakan yang lebih lanjut bagi mengelakkan pencemaran yang lebih serius berlaku. Sisa air daripada industri pertanian yang tidak menjalani proses rawatan yang sempurna berpotensi mengganggu kitaran biologi sesebuah ekologi alam sekitar dan menyebabkan pencemaran seperti eutrofikasi, pencemaran nitrogen dan gangguan terhadap proses fotosintesis semula jadi. Oleh itu rawatan air sisa industri memainkan peranan penting pada masa kini bagi menjamin alam sekitar yang sihat. Bab ini akan membincangkan kajian kepustakaan mengenai masalah pencemaran air daripada industri pertanian serta sistem rawatan berasaskan penggunaan mikroalga yang berpotensi untuk menyelesaikan masalah pencemaran air daripada industri kelapa sawit.

2.2 INDUSTRI KELAPA SAWIT

Pokok kelapa sawit atau nama saintifiknya iaitu *Elaies guineensis* merupakan tanaman yang hidup dalam iklim tropika. Pokok kelapa sawit merupakan tanaman yang berasal dari benua Afrika, namun ianya telah dibawa masuk oleh pihak British pada tahun 1870 ke Tanah Melayu pada ketika itu. Hasil utama pokok kelapa sawit ialah minyak kelapa sawit mentah (CPO) (Crabbe, Nolasco-Hipolito, Kobayashi, Sonomoto, & Ishizaki, 2001). Pada masa kini industri pertanian kelapa sawit di dominasi oleh 2 negara; Malaysia dan Indonesia dengan menghasilkan hampir 85.3% minyak kelapa sawit di pasaran dunia. Di Malaysia, pada tahun 2011, jumlah kawasan perladangan kelapa sawit adalah seluas 5,000,109 hektar (MPOB, 2011) dan ianya meningkat dari tahun ke tahun.

Industri kelapa sawit terus berkembang pesat dan tanaman ini terus menjadi sumber ekonomi yang utama bagi Malaysia dan Indonesia pada masa kini. Kelapa sawit mempunyai hasil minyak yang tinggi iaitu 3.68 tan/ha/tahun berbanding dengan tanaman kacang soya, bunga matahari, dan sesawi dengan masing-masing menghasilkan hasil minyak 0.36 tan/ha/tahun, 0.42 tan/ha/tahun dan 0.59 tan/ha/tahun (Mata, Martins, & Caetano, 2010).

Kini, kelapa sawit merupakan tanaman komoditi utama di Malaysia. Menurut kajian yang dijalankan oleh pihak MPOB, pada tahun 2005, Malaysia telah menghasilkan Buah Tandan Segar (FFB) sebanyak 89 juta tan dengan nilai dagangan sebanyak RM 24.5 bilion. Pembangunan pesat industri kelapa sawit telah menyumbang kepada pembangunan ekonomi negara, serta memberikan sumber pendapatan dan meningkatkan taraf hidup masyarakat tempatan. Terdapat beberapa peringkat proses yang dijalankan bagi pengekstrakan CPO daripada buah kelapa sawit. Proses-proses ini dirumuskan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.1 (Thani et al., 1999). Proses bermula daripada penerimaan buah kelapa sawit, pemindahan dan menyimpan FFB. Proses berikutnya ialah pensterilan FFB, iaitu memanaskan buah kelapa sawit dengan menggunakan stim. Stim yang digunakan adalah pada suhu 140°C dan mempunyai tekanan 3 kg/cm² selama 75-90 minit. Seterusnya, FFB yang telah disterilkan akan melalui proses pengupasan di mana, buah akan diasing daripada tandan. Proses seterusnya ialah proses pencernaan buah yang telah diasingkan dengan

menggunakan stim pada suhu 90°C. Pada peringkat seterusnya, minyak akan diekstrak daripada serat. Proses terakhir ialah klarifikasi dan pemurnian. Selain menghasilkan CPO, kilang kelapa sawit juga menghasilkan minyak inti sawit (PKO).

Pemrosesan kelapa sawit menghasilkan bahan cemar dalam kuantiti yang besar dan seterusnya menjejaskan kualiti udara, dan sumber-sumber air yang berdekatan dengan kilang kelapa sawit. Pemrosesan FFB dalam skala yang besar menghasilkan jumlah sisa separa cecair dan cecair yang banyak, dan berdasarkan laporan Rupani et al., (2010), bagi setiap kitaran pemrosesan FFB sebanyak 0.75 ton air sisa kelapa sawit dihasilkan (Thani et al., 1999; Yacob et al., 2006). Rajah 2.2 menunjukkan punca air sisa *POME* yang dihasilkan daripada kilang kelapa sawit yang terdiri dalam bentuk pepejal, gas, pencemar, dan cecair. Berdasarkan Thani et al., (1999) sisa pepejal daripada kilang kelapa sawit meliputi:

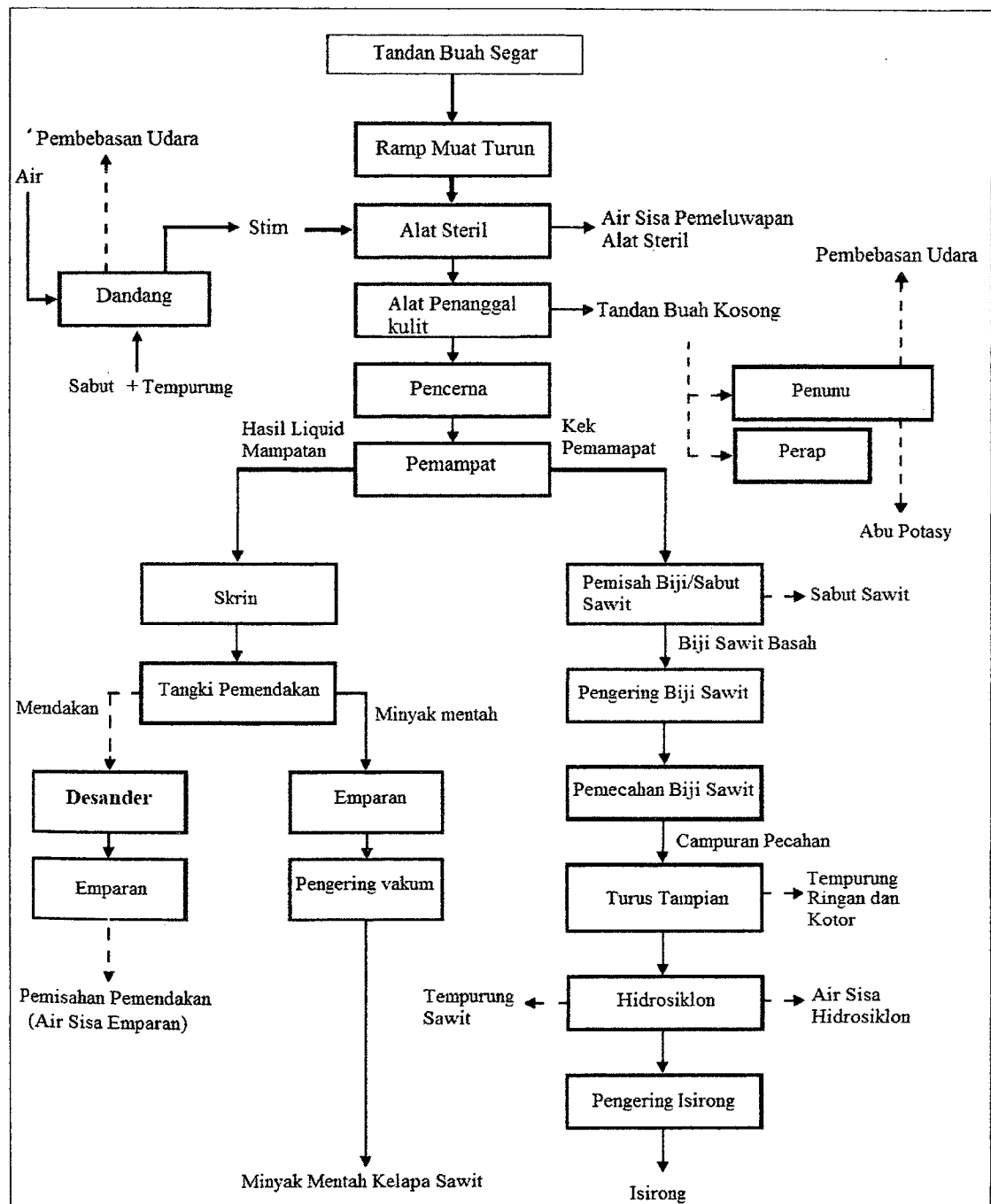
- Tandan Kosong (EFB) – 23% daripada buah kelapa sawit (FFB)
- Abu tawas – 0.5% daripada FFB
- Isirung kelapa sawit - 6% daripada FFB
- Serat – 13.5% daripada FFB
- Tempurung – 5.5% daripada FFB

Selain pencemaran sumber air, industri kelapa sawit juga menyumbang kepada pencemaran udara iaitu perlepasan gas karbon dioksida, karbon monoksida, serta gas metana. Pencemaran udara daripada kilang kelapa sawit berpunca daripada dandang yang menggunakan serat dan tempurung sebagai bahan bakar, dan penunu yang membakar EFB bagi mendapatkan abu tawas.

2.2.1 Air Sisa Kilang Kelapa Sawit (*POME*)

Antara bahan buangan utama yang dihasilkan daripada pemrosesan buah kelapa sawit dalam menghasilkan CPO ialah air sisa loji kelapa sawit (*POME*). *POME* dijana terutamanya daripada proses pensterilan buah kelapa sawit, proses klarifikasi dan juga daripada proses pemecahan buah. Daripada 1 tan CPO yang dihasilkan, adalah dianggarkan 0.9-1.5 m³ *POME* terhasil (Ahmad et al., 2003). *POME* adalah sisa yang

kaya dengan bahan organik, serta mempunyai nilai kepekatan COD dan BOD yang tinggi iaitu masing-masing melebihi 40 dan 20 g/L. Selain itu, *POME* juga kaya dengan nutrien, seperti nitrogen dan fosforus. *POME* mentah, dianggarkan mempunyai kandungan kepekatan nitrogen di sekitar 0.2 dan 0.5 g/l sebagai nitrogen ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dan nitrogen keseluruhan (TN) (Arthur dan Glover, 2012).



Rajah 2.1 Proses pengekstrakan minyak sait mentah (CPO) di dalam loji kelapa sawit.

Sumber: *Handbook Industrial Process and The Environment*, Department of Environment, 1999.