

**PEMBANGUNAN METODOLOGI PEMILIHAN DAN PENILAIAN
TEKNOLOGI MEMPROSES SISA INDUSTRI KELAPA SAWIT
MENGUNAKAN KAEDAH ANALISIS HIERARKI PROSES**

Oleh

AULIA ISHAK

**Tesis ini Dikemukakan Sebagai Memenuhi Syarat
Keperluan untuk Ijazah
Doktor Falsafah**

April 2018

**PEMBANGUNAN METODOLOGI PEMILIHAN
DAN PENILAIAN TEKNOLOGI MEMPROSES
SISA INDUSTRI KELAPA SAWIT
MENGUNAKAN KAEDAH
ANALISIS HIERARKI PROSES**

AULIA ISHAK

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2018

PENGHARGAAN

Saya ingin merakamkan ucapan terima kasih saya yang tidak terhingga dan ikhlas kepada penyelia saya, Amir Yazid bin Ali Ph.D untuk panduan yang sangat besar dan sokongan sepanjang sejak pencalonan saya di USM sehingga kepada kerja-kerja projek ini. Ia adalah peluang yang baik untuk melakukan penyelidikan di bawah kelolaannya untuk pengalaman yang luas dalam bidang ini. Pengetahuannya yang luas dan usaha beliau untuk membetulkan perkataan demi perkataan tesis ini, kalimat demi kalimat, halaman demi halaman, dan bab dengan bab akan menjadi panduan yang berguna untuk saya.

Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanikal USM termasuk kakitangannya yang menyediakan saya kemudahan semasa pencalonan saya. Kesyukuran saya juga kepada Rektor Universitas Sumatera Utara kerana membantu saya dan menyokong kerja-kerja projek saya. Bersyukur saya juga untuk Ibu Ulfi Andaya, ST.M.Kom sebagai pengamal dalam programmer system sokongan keputusan dan Elfa Emila, ST serta Ibnu Harto, ST atas sumbangan beliau kepada sokongan dalam mengumpul data dan maklumat.

Akhir kata, saya ingin memberi penghargaan kepada isteri tercinta saya Dr. Hj. Asfriyati Nasution, SKM, M.Kes dan anak-anak Arfita Sipahutar, SKG, Amilia Arifah Sipahutar, Muhammad Faiz Fadhilah Sipahutar dan Muhammad Fadhlan Abrar Sipahutar atas kesabaran dan persefahaman yang membolehkan saya menyiapkan kajian ini

.Aulia Ishak

Desasiwa Jaya Utama USM

April 2018

ISI KANDUNGAN

	Muka Surat
PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iii
SENARAI JADUAL	vii
SENARAI RAJAH	xiv
SENARAI SINGKATAN	xvi
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xx
BAB SATU: PENGENALAN	
1.0 Pengenalan	1
1.1 Latar Belakang Penyelidikan	3
1.2 Pernyataan Masalah	8
1.3 Objektif Kajian	8
1.4 Skop Kajian	9
1.5 Sumbangan dan Kepentingan Kajian	10
1.6 Struktur Tesis	10
BAB DUA: TINJAUAN LITERATUR	
2.0 Pengenalan	12
2.1 Proses pengeluaran kelapa sawit	12
2.1.1 Jenis-Jenis sisa buangan kelapa sawit	14
2.1.2. Jenis teknologi Pemprosesan sisa	18

2.1.2 (a)	Teknologi Pemrosesan sisa cecair	19
2.2	Kriteria Kemampanan	26
2.2.1	Pembuatan Keputusan Pelbagai Kriteria (PKPK)	29
2.3	Sistem Sokongan Keputusan (SSK)	41
2.3.1	Pembangunan Perisian	45
2.3.2.	Kaedah Delphi	47
2.4	Ringkasan	50

BAB TIGA: METODOLOGI PENYELIDIKAN

3.0	Pengenalan	51
3.1	Membangunkan Satu Pangkalan Data dan Keperluan Pihak Berkepentingan	57
3.1.1	Soal Selidik dari Tinjauan Literatur	58
3.1.2	Tinjauan melalui Soal Selidik dengan Mengolah dan Menyusun Soal Selidik	58
3.2	Mencari kriteria untuk membantu keputusan secara kualitatif	59
3.2.1	Kriteria Kualitatif Teknologi Pemrosesan Sisa	60
3.2.2	Mencari dan Memilih Kaedah Penilaian Kriteria	61
3.2.3	Melakukan perbandingan alat penilaian kriteria	61
3.2.4	Pemilihan kriteria penilaian	61
3.3	Transformasi kualitatif kepada kriteria yang Berbentuk Kuantitatif	61
	Dalam Borang Perisian	
3.3.1	Reka bentuk struktur Hierarki Keputusan	62
3.3.2	Membangunkan Perisian	63
3.4.	Kajian Kes	63

BAB EMPAT: HASIL

4.0	Pengenalan	64
4.1	Membangunkan satu Pengkalan Data dan Keperluan Pihak Berkepentingan	64
4.1.1	Hasil Kandungan Soal Selidik	67
4.1.2	Hasil Soalan Kaji Selidik untuk Mendapatkan Ketersediaan Teknologi	69
4.1.3	Hasil dari Delphi Kaji selidik	72
4.2	Kriteria Keputusan secara kualitatif	75
4.2.1	Kriteria Teknologi Pemprosesan Sisa	75
4.2.2	Senarai Kekuatan dan Kelemahan Satu Alat	80
4.2.3	Kriteria dan Sub Kriteria dari Penilaian Teknologi Sisa	82
4.3	Reka Bentuk Struktur Hierarki	86
4.3.1.	Hasil Struktur Hierarki Teknologi Pemprosesan Sisa Pepejal	86
4.3.2.	Hasil Struktur Hierarki Teknologi Pemprosesan Sisa Cecair	87
4.3.3.	Membina Perisian	88

BAB LIMA: ANALISIS

5.0	Pengenalan	97
5.1	Penilaian Tingkat Kepentingan Teknologi Pemprosesan Sisa	97
5.1.1	Kriteria, sub kriteria dan Alternatif pada Teknologi Sisa Cecair	97
5.1.2	Kriteria, sub kriteria dan Alternatif terhadap Teknologi Sisa Pepejal	118
5.2	Penentuan Pemberat kriteria, Sub Kriteria dan Alternatif	152
5.3	Kira Pemberatan dan Ketekalan Alternatif	154
5.4	Kesahihan Perisian	166
5.5	Kajian Kes	173
5.6	Ringkasan	175

BAB ENAM: PERBINCANGAN

6.0	Pengenalan	176
6.1	Membangunan Pengkalan Data dan Keperluan Pihak Berkepentingan	176
6.2	Kriteria keputusan secara kualitatif	181
6.2.1	Kriteria Teknologi Sisa Pepejal	183
6.2.2	Kriteria Teknologi Pemprosesan Sisa Cecair	185
6.3	Membangunkan Perisian	185
6.4	Kajian Kes Sistem Sokongan Keputusan	188

BAB TUJUH: KESIMPULAN DAN PENYELIDIKAN MASA HADAPAN

7.0	Pengenalan	192
7.1	Sumbangan Teori	192
7.2	Penyelidikan Masa Depan	192
7.3	Kesimpulan	193
7.4.	Kelebihan dan Kekurangan Penyelidikan	194

RUJUKAN	196
----------------	------------

LAMPIRAN

Lampiran A: Soal Selidik

Lampiran B: Soal Selidik Keperluan Pihak Berkepentingan

Lampiran C: Soal Selidik Proses Hierarki Analisis untuk Sisa Cecair

Lampiran D: Soal Selidik Proses Hierarki Analisis untuk Sisa Pepejal

Lampiran E: Soal Selidik Analisis Kriteria

SENARAI JADUAL

		Muka surat
Jadual 2.1	Perbandingan Teknologi Sisa Buangan IKS	25
Jadual 2.2	Kemampuan Pembangunan Bio-Tenaga	26
Jadual 2.3	Kriteria yang dikenal pasti untuk pemilihan teknologi pemprosesan sisa cecair	28
Jadual 2.4	Skala Nisbah 9 titik Perbandingan Berpasangan	33
Jadual 2.5	Nilai Indeks Rawak (IR)	33
Jadual 2.6	Kaedah Pengambilan Keputusan Pelbagai Kriteria	39
Jadual 4.1	Hasil Tinjauan Kaedah Teknologi Sisa Pepejal	64
Jadual 4.2	Hasil Tinjauan Kaedah Teknologi Sisa Cecair	66
Jadual 4.3	Pengkalan Data Teknologi Pemprosesan Sisa	69
Jadual 4.4	Input Data Untuk Teknologi Sisa Pepejal Teknologi Pengelolaan Sisa Berdasarkan Jenisnya	71
Jadual 4.5	Isian Rekod pada Pengkalan Data Kriteria Alam Sekitar	71
Jadual 4.6	Isian Rekod pada Pengkalan Data Kriteria Sosial	71
Jadual 4.7	Isian Rekod pada Pengkalan Data Kriteria Teknologi	72
Jadual 4.8.	Isian Rekod pada Pengkalan Data Kriteria Ekonomi	72
Jadual 4.9	Senarai Keperluan Pihak Berkepentingan Sistem Kawalan Sisa Industri Kelapa Sawit	73
Jadual 4.10	Hasil dari Delphi Kaji Selidik	74
Jadual 4.11	Hasil Pencarian Kriteria Teknologi Sisa	75
Jadual 4.12	Parameter Alat	81
Jadual 4.13	Kelebihan dan Kekurangan Alat Pembuat Keputusan	82
Jadual 4.14	Kriteria dan Sub-kriteria Penilaian Teknologi Pemprosesan Sisa Cecair	83
Jadual 4.15	Kriteria dan Subkriteria Penilaian Teknologi	84

Pemrosesan Sisa Pepejal

Jadual 5.1	Matriks Perbandingan Berpasangan Antara Subkriteria kepada Aspek Ekonomi terhadap Sistem Pengkomposan	98
Jadual 5.2	Ringkasan Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Aspek Ekonomi	99
Jadual 5.3	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Subkriteria dari Aspek Alam sekitar terhadap Sistem Pengkomposan	100
Jadual 5.4	Ringkasan Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris dari Aspek Alam Sekitar	101
Jadual 5.5	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Subkriteria dari Aspek Teknologi terhadap Sistem Pengkomposan	102
Jadual 5.6	Ringkasan Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris dari Aspek Teknologi	103
Jadual 5.7	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Alternatif pada Kos Pemasangan	104
Jadual 5.8	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Terhadap Kos Pemasangan	104
Jadual 5.9	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Alternatif pada Kos Penyelenggaraan	105
Jadual 5.10	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kos Penyelenggaraan	105
Jadual 5.11	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Alternatif pada Kos Operasi	106
Jadual 5.12	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kos Operasi	107
Jadual 5.13	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Alternatif pada Kos Sumber Manusia	107
Jadual 5.14	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kos Sumber Manusia	108
Jadual 5.15	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Alternatif pada Nilai Kualiti Sisa	108
Jadual 5.16	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris	109

Nilai Kualiti Sisa

Jadual 5.17	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Alternatif pada Kadar Enapcemar	109
Jadual 5.18	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kadar Enapcemar	110
Jadual 5.19	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Alternatif pada Tahap pelepasan	110
Jadual 5.20	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Tahap pelepasan	111
Jadual 5.21	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Alternatif pada Prestasi	111
Jadual 5.22	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Prestasi	112
Jadual 5.23	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Alternatif pada Penyelenggaraan	113
Jadual 5.24	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Penyelenggaraan	114
Jadual 5.25	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Alternatif Terhadap Sumber daya	114
Jadual 5.26	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Sumber Manusia	115
Jadual 5.27	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Alternatif pada Kawasan	115
Jadual 5.28	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris terhadap Keluasan	116
Jadual 5.29	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Alternatif pada Ketahanlasakan	116
Jadual 5.30	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Ketahanlasakan	117
Jadual 5.31	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Alternatif pada Mesra pengguna	117
Jadual 5.32	Matriks Perbandingan Berpasangan Tahap 2	118

Jadual 5.33	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Teknologi Sisa Pepejal	120
Jadual 5.34	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Unsur Tahap Aspek Alam sekitar	120
Jadual 5.35	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris terhadap dari Aspek Alam Sekitar	121
Jadual 5.36	Matriks Perbandingan Berpasangan antara tahap Unsur Tahap Aspek Teknologi	121
Jadual 5.37	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Aspek Teknologi	122
Jadual 5.38	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Unsur Tahap Aspek Ekonomi	123
Jadual 5.39	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Aspek Ekonomi	124
Jadual 5.40	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Unsur Tahap Aspek Sosial	124
Jadual 5.41	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Aspek Sosial	125
Jadual 5.42	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Penggunaan Tenaga	126
Jadual 5.43	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Penggunaan Tenaga	127
Jadual 5.44	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Penggunaan Tenaga	127
Jadual 5.45	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Penyepaduan Sisa	129
Jadual 5.46	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Kecekapan Tenaga	129
Jadual 5.47	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Kecekapan Tenaga	130
Jadual 5.48	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Tahap Pelepasan	131

Jadual 5.49	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Tahap Pelepasan	132
Jadual 5.50	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Potensi Pembangunan Sisa	132
Jadual 5.51	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Potensi Pembangunan Sisa	134
Jadual 5.52	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Prestasi	134
Jadual 5.53	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Prestasi	135
Jadual 5.54	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Penyelenggaraan	136
Jadual 5.55	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Penyelenggaraan	137
Jadual 5.56	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Sumber Manusia	137
Jadual 5.57	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Sumber Manusia	138
Jadual 5.58	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Sokongan Industri	139
Jadual 5.59	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Sokongan Industri	140
Jadual 5.60	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Pelaburan Permulaan	140
Jadual 5.61	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Pelaburan Permulaan	142
Jadual 5.62	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Kos Operasi	142
Jadual 5.63	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Kos Operasi	143
Jadual 5.64	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Kos Penyelenggaraan	144
Jadual 5.65	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Kos Penyelenggaraan	145

Jadual 5.66	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Kos Sumber Manusia	145
Jadual 5.67	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Kos Sumber manusia	147
Jadual 5.68	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Penggunaan Keluasan	147
Jadual 5.69	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Penggunaan Lahan	149
Jadual 5.70	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Penerimaan Sosial	149
Jadual 5.71	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Penerimaan Sosial	150
Jadual 5.72	Matriks Perbandingan Berpasangan antara Kriteria Kesan Teknologi	151
Jadual 5.73	Rekapitulasi Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Kriteria Kesan Teknologi	152
Jadual 5.74	Perhitungan Rata-Rata Geometri antara Subkriteria pada Aspek Ekonomi	153
Jadual 5.75	Perhitungan Rata-Rata Geometri antara Subkriteria pada Aspek Alam sekitar	153
Jadual 5.76	Perhitungan Rata-Rata Geometri antara Subkriteria pada Aspek Teknologi	153
Jadual 5.77	Ringkasan Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Aspek Ekonomi	155
Jadual 5.78	Ringkasan Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Aspek Alam sekitar	157
Jadual 5.79	Ringkasan Matriks Normalisasi dan Pemberat Setiap Baris Aspek Teknologi	159
Jadual 5.80	Pemberat Subkriteria	159
Jadual 5.81	Perhitungan Rata-rata Pemberat untuk Elemen Tahap 2	160
Jadual 5.82	Penjumlahan ruang matriks Perbandingan Tahap 2	160
Jadual 5.83	Nisbah ringkasan ketekalan Pengiraan	160

Jadual 5.84	Perhitungan Pemberat Keutamaan Tahap 2	162
Jadual 5.85	Ringkasan Pemberat Teknologi Pemprosesan Sisa Pepejal IKS	165
Jadual 5.86	Skala Perbandingan Berpasangan (Saaty)	169

SENARAI RAJAH

Muka Surat

Rajah 2.1	Proses Imbangan Bahan Proses Pemprosesan Kelapa Sawit	14
Rajah 2.2	Biojisim Industri Kelapa Sawit yang Dihasilkan dari 1 Ha	15
Rajah 2.3	Peratusan Pengeluaran Pemprosesan Sisa Kelapa Sawit	18
Rajah 2.4	Jenis Teknologi Pemprosesan Sisa	19
Rajah 3.1	Carta Alir Kajian Penyelidikan	56
Rajah 3.2	Carta Alir Membangunkan Satu Pangkalan Data dan Keperluan Pihak Berkepentingan	57
Rajah 3.3	Carta Alir Pencarian Kriteria Kualitatif	60
Rajah 3.4	Carta Alir Mentransformasikan Kualitatif kepada Kriteria yang Berbentuk Kuantitatif	62
Rajah 4.1	Hierarki Kriteria dan Pilihan Teknologi Pemprosesan Sisa Pepejal	87
Rajah 4.2	Hierarki Kriteria dan Pilihan Teknologi Pemprosesan Sisa Cecair	88
Rajah 4.3	GUI Mula Papan Pemuka	89
Rajah 4.4	GUI Profil Industri	89
Rajah 4.5	GUI Tambah Data Industri	90
Rajah 4.6	GUI Data Jenis	90
Rajah 4.7	GUI Tambah Data Jenis	91
Rajah 4.8	GUI Data Pemberat	91
Rajah 4.9	GUI Tambah Data Pemberat	92
Rajah 4.10	GUI Data Kriteria	92
Rajah 4.11	GUI Data Sub kriteria	93
Rajah 4.12	GUI Data Alternatif	93
Rajah 4.13	GUI Analisis Kriteria	94

Rajah 4.14	GUI Analisis Alternatif	95
Rajah 4.15	GUI Proses Algoritma	95
Rajah 4.16	GUI Keputusan Pemilihan	96
Rajah 5.1	Keputusan Pengiraan Perisian Sisa Pepejal	165
Rajah 5.2	Keputusan Pengiraan Perisian Sisa Cecair	166
Rajah 5.3	Carta Aliran Aturcara	168
Rajah 5.4	Kod untuk Sub Kriteria dan Alternatif Teknologi Pemprosesan Sisa Cecair	170
Rajah 5.5	Kod Untuk Sub Kriteria dan Alternatif Teknologi Pemprosesan Sisa Cecair	171
Rajah 6.1	GUI Login Pengkalan Data	177
Rajah 6.2	Carta Aliran dalam Membangunkan Perisian	187

SENARAI SINGKATAN

MSM	Minyak Sawit Mentah
IKS	Industri Kelapa Sawit
MIS	Minyak Inti Sawit
AHP	Analisis Hierarki Proses
BTS	Buah Tandan Segar
TBK	Tandan Buah Kosong
SSK	Sistem Sokongan Keputusan
KOB	Keperluan Oksigen Biologi
KOK	Keperluan Oksigen Kimia
POME	Palm Oil Mill Effluent
PHP	Hypertext Preprocessor
SQL	Structured Query Language
RANUT	Reaktor Anaerobik Unggun Tetap
SCIKS	Sisa Cecair Industri Kelapa Sawit
SPIKS	Sisa Pepejal Industri Kelapa Sawit
MDF	Medium Density Fiberboard
NK	Nisbah Ketekalan
IK	Indeks Ketekalan
IR	Indeks Rawak
PKPK	Pembuatan Keputusan Pelbagai Kriteria
WSM	Weighted Sum Method

WPM	Weighted Product Method
ANP	Analytic Network Process
PROMETEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
ELECTRE	The Elimination and Choice Translating Reality
TOPSIS	The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions
GUI	Antarmuka pengguna secara Grafik

**PEMBANGUNAN METODOLOGI UNTUK PEMILIHAN DAN PENILAIAN
TEKNOLOGI MEMPROSES SISA INDUSTRI KELAPA SAWIT
MENGUNAKAN KAEDAH ANALISIS HIERARKI PROSES**

ABSTRAK

Sisa buangan cecair dan pepejal yang dihasilkan oleh industri kelapa sawit banyak menyumbang kepada kerosakan alam sekitar jika ia tidak dikendalikan dengan baik. Sisa tersebut terdiri sebanyak 70% daripada jumlah sebenar bahan mentah yang dimana hampir separuh dalam bentuk cecair. Keadaan menjadi lebih buruk kerana industri ini semakin berkembang setiap tahun. Pihak industri kelapa sawit harus mempunyai teknologi pemprosesan sisa yang mesra alam dan mampu memberikan nilai tambah. Terdapat banyak alternatif untuk memproses sisa industri kelapa sawit, bermula dari teknologi paling canggih sehingga teknologi konvensional. Kesukaran untuk memilih dan menilai dan melaksanakan teknologi paling tepat bagi syarikat tertentu dari pelbagai teknologi alternatif menjadi permasalahan yang utama. Oleh itu, sebuah Sistem Sokongan Keputusan (SSK) telah dibangunkan untuk membantu mengenal pasti, menilai dan memilih teknologi memproses sisa industri itu. Di dalam penyelidikan ini, tiga operasi telah dibangunkan dalam MySQL iaitu sebuah pengkalan data untuk teknologi pemprosesan sisa; Pengenalan kriteria menggunakan pendekatan Analisis Hierarki Proses (AHP) dan Kaedah analisis data yang digunakan. Nilai penilaian teknologi pemprosesan yang digunakan terdiri daripada nilai nominal dari empat perspektif, iaitu dari aspek ekonomi, alam sekitar, dan teknologi. Pengesahan program pemilihan teknologi pemprosesan sisa membuktikan bahawa peringkat dan hasil analisis program telah selaras dengan objektif pemodelan dimana

hubungan input dan output serta konsep logik model yang direka bentuk telah tepat mewakili masalah yang dikaji . Kaedah AHP juga sebagai alat terbukti sesuai untuk proses membuat keputusan pemilihan teknologi pemprosesan sisa. Perlu ada pelarasan untuk melaksanakan model ini di industri kelapa sawit, oleh itu pengkalan data perisian boleh dikemaskini dan algoritma program boleh di ubah suai menurut keperluan pengguna. Kajian ini dapat membantu dalam usaha membuat keputusan dan mengoptimumkan pemprosesan semula sisa cecair dan pepejal kilang kelapa sawit.

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR SELECTION AND
ASSESSMENT OF WASTE PROCESSING TECHNOLOGY FROM OIL
PALM INDUSTRY USING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP)**

ABSTRACT

Liquid and solid waste generated by the palm oil industry can contribute significantly environmental damage if not handled properly. The waste consists of 70% of the actual amount of raw material of which almost half in the form of liquid. The situation is worsening as the industry is growing every year. The oil palm industry should have eco-friendly waste processing technology and capable of providing added value. There are many alternative technologies in palm oil industry waste processing, from the most advanced to conventional technology. The difficulty in selecting, evaluating and implementing the most appropriate technology from various alternative technologies for a particular company was a major problem. Therefore, a Decision Support System (DSS) had been developed to assist in identifying, assessing and selecting the appropriate technology for processing the industrial waste. In this research, three operations had been developed in MySQL which were: a database for waste processing technology; Identification of criteria using the Process Hierarchy Analysis (AHP) approach; and Method of data analysis to be applied. The evaluation of the processing technologies which consist of the nominal value were from four perspectives namely, from the economic, environmental, and technological aspects. Validation of the waste processing technology selection program proved that the program analysis stages and results were in line with modelling objectives. whereby the input and output relationships and the logic of the model's design concepts accurately being represented in the

problem being studied. The AHP method was also proven to be a suitable tool for decision making process of waste processing technology selection. There should be adjustments to implement the model in the palm oil industry, hence the software database can be updated and program algorithms can be modified according to user requirements. This study can assist in decision making and optimizing the re-processing of liquid and solid wastes from palm oil mill.

BAB SATU

PENGENALAN

1.0 Pengenalan

Industri kelapa sawit terus mengalami perkembangan dari tahun ke tahun. Industri kelapa sawit memproses kelapa sawit kepada Minyak Sawit Mentah (MSM) dan Minyak Inti Sawit (MIS). Perbandingan kuantiti kelapa yang dihasilkan kedua produk tersebut cuma 30% dari bahan mentah. Ini bermakna 70% menjadi sisa industri. Kuantiti sisa industri kelapa sawit (IKS) akan semakin meningkat seiring dengan perkembangan industri kelapa sawit. Banyaknya sisa yang dihasilkan IKS sekiranya tidak ditangani dengan baik dan berkesan akan memberikan impak signifikan terhadap kemusnahan alam sekitar baik pada masukan dan dari sisi keluaran kegiatan industri. bahkan ianya akan mengganggu kehidupan masyarakat sekitar industri. Pihak industri kelapa sawit harus mempunyai teknologi pemrosesan sisa yang mesra alam sekitar, kos pengendalian yang murah, dan mampu memberikan nilai tambah terhadap sisa tersebut dan boleh dijadikan sebagai hasil sampingan dari industri kelapa sawit.

Mengukur kemampuan teknologi pemrosesan sisa industri kelapa sawit adalah isu utama dan penggerak perbincangan pada pembangunan kemampuan. Membangunkan kriteria penilaian dan kaedah yang memberi ukuran kelestarian merupakan prasyarat untuk memilih alternatif terbaik, mengenal pasti keperluan teknologi pemrosesan sisa industri kelapa sawit, memaklumkan reka bentuk pembuat bersepadu persembahan satu alternatif dan kesan pemantauan yang alam sekitar sosial. Kepelbagaian kriteria dan alat pengukuran yang terkini dalam bidang yang pesat berkembang ini menunjukkan pentingnya kerja konseptual dan

metodologi dalam bidang ini. Pembangunan dan pemilihan kriteria memerlukan parameter yang berkaitan dengan kebolehpercayaan, kesesuaian, praktikal dan had ukuran. Walaupun banyak teknologi yang telah dibangunkan, malangnya pemilihan teknologi sukar dilakukan kerana tidak ada satu pengkalan data dan kaedah penilaian teknologi.

Masalah pemilihan tersebut menunjukkan betapa pentingnya mempunyai sistem sokongan keputusan. Kerja dan metodologi konsep dalam membangunkan kriteria penilaian dan kaedah yang memberikan pengukuran kemampuan adalah prasyarat untuk pembangunan model. Pembangunan dan pemilihan kriteria memerlukan parameter yang berkaitan dengan kebolehpercayaan, kesesuaian, praktikal dan had saiz. Sistem sokongan keputusan yang akan dibangunkan diharapkan dapat digunakan sebagai alat untuk industri kelapa sawit dalam pemilihan dan penilaian IKS yang akan digunakan. Sistem ini dibina dalam bentuk sistem sokongan keputusan untuk mengoptimalkan penggunaan sisa industri kelapa sawit. Sistem sokongan keputusan ini juga dijangka bahawa industri kelapa sawit boleh mengenalpasti nilai-nilai kebaikan yang boleh diperolehi dari pelbagai kaedah pengendalian sisa industri itu supaya nilai pemakaian kaedah pengendalian sisa industri bukan sahaja dihantar dari kos pelaksanaan, tetapi juga dihantar dari nilai faedah yang akan diperolehi serta supaya memilih dan menilai teknologi dengan bijak.

Maklumat dan data mengenai penerapan pelbagai kaedah diperolehi dari empat kilang kelapa sawit yang berkapasiti 30 tan BTS/jam dan 60 tan BTS/jam dan telah melaksanakan salah satu kaedah pemprosesan dan penggunaan sisa IKS yang dikaji. Butir-butir berikut mengenai kaedah pemprosesan dan penggunaan sisa IKS yang dikaji, antara lain, IKS Sisa Cecair iaitu sistem kolam, sistem pengkomposan

dan Reaktor Anaerobik Unggun Tetap (RANUT). Bagi sisa pepejal IKS, kaedah pemprosesan yang dikaji adalah kaedah pengkomposan, brikuet, dan sungkupan serta produk yang dihasilkan iaitu makanan ternakan dan bahan api dandang.

1.1 Latar Belakang Penyelidikan

Permasalahan yang sering terjadi adalah kesukaran untuk melaksanakan teknologi yang paling tepat dari satu set alternatif teknologi pemprosesan sisa industri di syarikat tertentu. Faktor-faktor seperti kos modal, kos operasi dan penyelenggaraan dan keperluan kawasan, menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan teknologi pemprosesan sisa industri kelapa sawit. Kriteria kemampuan juga perlu dimasukkan ke dalam proses membuat keputusan supaya teknologi yang tepat akan dipilih.

Istilah teknologi didefinisikan oleh Steele (1989) sebagai "pengetahuan tentang bagaimana melakukan sesuatu". Dalam industri pembuatan, teknologi adalah pembekal dari kemampuan untuk memungkinkan sesebuah organisasi memberikan pelanggannya dengan barangan dan perkhidmatan, baik sekarang maupun di masa depan. Perkara ini membawa kepada matlamat pemilihan teknologi iaitu untuk memperoleh pengetahuan, komponen dan sistem baru dalam keupayaan teknologi umum, yang merupakan blok bangunan yang penting untuk kecekapan teras. Ia akan membantu syarikat-syarikat membuat produk dan perkhidmatan supaya lebih berdaya saing, mempunyai proses yang lebih berkesan, dan/atau membuat penyelesaian yang baru, Torkkeli & Tuominen (2002).

Pemilihan teknologi pemprosesan sisa yang sesuai membolehkan pembangunan mampan menjadi cabaran bagi pembuat dasar kebangsaan, serantau dan tempatan. Pemilihan dan pewartan teknologi melibatkan pembuat keputusan

yang penting untuk keuntungan dan pertumbuhan syarikat dalam senario global yang semakin kompetitif. dalam proses pemilihan dan pewajaran ini memerlukan analisis sejumlah besar faktor ekonomi dan analisis, Chan, Chan, & Tang (2000). Raafat (2002) menyediakan senarai literatur teknologi pembuatan maju secara menyeluruh, sedangkan Khouja & Offodile (1994) mengulas teknologi pembuatan maju yang umum digunakan pendekatan pewajaran dengan kelebihan dan kekurangannya. Alat sokongan keputusan untuk pemilihan teknologi pemprosesan sisa sangat diperlukan di negara-negara berkembang, seperti Indonesia, terutama kerana masih tiada yang sesuai untuk digunakan dalam konteks pertumbuhan ekonomi dan peningkatan beban sumber daya alam. Keperluan kepada untuk jenis alat sokongan keputusan ini sangat menonjol di Indonesia kerana ada jurang besar antara sisa minyak kelapa sawit dan teknologi pemprosesan sisa yang tersedia. ia akan menghasilkan 5.678 juta m³ sisa cecair setahun, 1.135 juta tan enapcemar dan 1,865 juta tan tandan buah kosong. Perkembangan terkini dalam teknologi pemprosesan sisa menyediakan banyak pilihan untuk pemprosesan sisa. Banyak teknologi telah dibangunkan untuk pemprosesan sisa dan yang terbanyak digunakan iaitu sistem kolam. Banyak teknologi lain yang telah dibangunkan yang menggunakan pelbagai proses pemprosesan, baik aerobik dan anaerobik, sangat mekanikal bukan mekanikal, termasuk Sistem pengkomposan, RANUT (Reaktor Anaerobik Ungun Tetap), sistem kolam, brikuet, sungkupan dan lain-lain, Ditjen PPHP Departemen Pertanian (2006).

Dalam proses pemprosesan buah tandan segar (BTS) menjadi minyak kelapa sawit akan dihasilkan sisa pengeluaran berupa sisa. Sisa IKS terdiri dari sisa pepejal, sisa cair dan sisa gas. Sisa pepejal di industri kelapa sawit terbahagi kepadatempurung dua jenis iaitu sisa pepejal dan sisa cecair.

Industri kelapa sawit merupakan industri sektor yang mempunyai potensi yang sangat besar untuk dikembangkan sebagai salah satu industri unggulan Indonesia. Pada tahun 2013 menurut data BP3-Deptan, jumlah industri kelapa sawit di Indonesia mencapai 320 unit dengan berbagai kapasitas pengeluaran industri. Jumlah pengeluaran olahan industri kelapa sawit di Indonesia adalah 13.520 tan BTS/jam. Selain menghasilkan MSM dan MIS sebagai produk utama, industri kelapa sawit juga menghasilkan sisa pengeluaran berupa sisa cecair industri kelapa sawit (SCIKS), tandan kosong sawit (TKS), tempurung, dan gentian. Tempurung dan gentian telah dimanfaatkan oleh industri sebagai Bahan Api Dandang alternatif tetapi penanganan LCIKS dan TKS masih belum optimal. Bila dilakukan penukaran dari kapasitas industri kelapa sawit di Indonesia maka setiap tahunnya akan menghasilkan sisa sebesar 5.678 juta m³, enapcemar sebesar 1.135 juta tan, dan 1.865 juta tan TKS. Sisa pepejal dari proses terdiri dari tandan buah kosong, kernel dan gentian. Tempurung dan gentian umumnya digunakan sebagai Bahan Api Dandang atau dijual kepada pihak lain, sementara tandan kosong dimanfaatkan di kawasan perkebunan sebagai Sungkupan. Kandungan biojisim di dalam sisa pepejal yang dapat terurai secara alami membuat resiko pencemarannya terhadap alam sekitar sangat kecil. Sementara itu sisa pepejal dari sisa cecair adalah enapcemar, Yoo Lin Chiew & Sohei Shimada (2013), Kiichiro Hayashi (2007), Sastrosaryono (2003).

Cabaran dalam pemprosesan sisa adalah pemilihan teknologi terbaik yang tersedia untuk tujuan pemprosesan sisa tertentu pada situasi tertentu. Pemilihan teknologi adalah kegiatan keputusan yang kompleks yang jika tidak diurus dengan betul akan menyebabkan kemunduran yang cepat dalam kesejahteraan organisasi, Garcia & Alvarado (2012). Hal ini umumnya didasarkan pada penilaian subjektif pengambil keputusan yang terlibat. Pengalaman dan pengetahuan pasukan pakar

dalam memilih hingga menilai sokongan keputusan individu. Banyak faktor, seperti kos modal, kos operasi dan kos yang terlibat dalam proses pengambilan keputusan. Hal ini juga diperlukan untuk membangunkan kerangka kerja keputusan yang menggabungkan kebijaksanaan indikator untuk membantu negara-negara berkembang, seperti Indonesia, dalam memilih teknologi yang tepat untuk pengendalian sisa. Literatur dalam pemilihan teknologi pembuatan untuk pengambilan keputusan sangat bergantung kepada input pendapat pakar, di mana kerugian dan keuntungannya berasaskan kriteria untuk menentukan peringkat. Pendekatan ini, seperti Analisis Hierarki Proses (AHP) Chang, Wu, Lin, & Chen, (2007) Cimren, Catay, & Budak (2007) baik untuk mengatur dan menganalisa keputusan yang kompleks, tetapi berdasarkan ahli pakar dan kurang penggunaan kembali pelajaran yang dipetik.

Pada masa ini terdapat banyak kaedah teknologi pemprosesan sisa yang dibangunkan untuk mengendalikan seluruh sisa IKS. Pelbagai kaedah teknologi pemprosesan sisa sedia ada dan menghasilkan produk yang boleh dimanfaatkan oleh IKS sendiri, contohnya pemprosesan sisa IKS menghasilkan bahan api dandang yang boleh digunakan sebagai sumber tenaga dan tandan buah kosong yang dapat diproses menjadi baja pengkomposan yang dapat digunakan di kawasan ladang sebagai pengganti baja anorganik yang harganya lebih mahal.

Walau bagaimanapun, kaedah teknologi pemprosesan sisa industri kelapa sawit yang telah dibangunkan belum banyak digunakan oleh industri kelapa sawit. Ini kerana kaedah teknologi yang dibangunkan memerlukan kos penggunaan yang mahal sehingga industri masih menggunakan kaedah teknologi pemprosesan sisa secara konvensional seperti kolam penstabilan. Sebaliknya, banyak kaedah penentuan kriteria yang ada membuat industri-industri perlu mempertimbangkan

pelbagai kriteria agar mereka boleh memilih dan menggunakan kaedah penetapan industri yang sesuai dengan syarat syarikat dan tujuan pemulihan yang dimaksudkan. Banyak teknik pendekatan pembuatan keputusan pelbagai kriteria dan juga kaedah hibrida telah digunakan dalam literatur. Beberapa penulis menyiasat penggunaan AHP untuk pelbagai masalah pemilihan pembuatan, Arbel & Shapira (1986) Bayazit (2005) Chang et. al (2007) Datta, Sambasivarao, Kodali, & Deshmukh (1992) Goh (1997) Jaganathan, Erinjeri, & Ker (2007) Yang, Chuang, & Huang (2009).

Kaedah dalam literatur mengenai aktiviti membuat keputusan yang tepat ialah pembuat keputusan menggunakan penilaian subjektif dan pengalaman mereka untuk memilih teknologi yang tepat. AHP menyediakan pendekatan metodologi kepada isu membuat keputusan yang memerlukan ketepatan penilaian pakar untuk menilai teknologi yang sedia ada dengan secukupnya. Perbandingan berpasangan membandingkan kriteria secara berpasangan untuk menilai kriteria mana yang harus dipilih, atau mempunyai nilai kuantiti yang lebih besar. Punniyamoorthy et. al (2003) dan Kreng et. al (2011) telah memberi tumpuan kepada strategi pemilihan teknologi menggunakan kaedah AHP untuk membuat keputusan. Pendekatan subjektif seperti AHP bergantung pada pendapat keputusan pasukan untuk menilai pilihan alternatif.

Sistem sokongan keputusan yang akan dibangunkan diharapkan dapat digunakan sebagai alat dalam pemilihan dan penilaian dan membuat keputusan IKS oleh pengusaha industri kelapa sawit. Sistem ini akan dibina dalam bentuk sistem sokongan keputusan untuk mengoptimumkan penggunaan sisa IKS.

Sistem ini juga diharapkan industri kelapa sawit dapat mengetahui nilai manfaat yang dapat diperolehi dari pelbagai kaedah pengendalian seluruh industri. Hal ini supaya nilai penggunaan suatu kaedah pengendalian seluruh industri tidak

hanya ditunjukkan dari kos pelaksanaannya sahaja tetapi juga ditunjukkan dari nilai manfaat yang akan diperolehi kemudian.

1.2 Pernyataan Masalah

- 1) Keperluan untuk membangunkan pengkalan data yang mengandungi teknologi pemprosesan data bank industri sisa minyak sawit.
- 2) Mengenalpasti kriteria kualitatif dan kriteria pemilihan untuk membantu dalam membuat keputusan dan mengubah kriteria kualitatif kepada bentuk kriteria kuantitatif bagi format perisian
- 3) Keperluan untuk pembangunan perisian daripada proses pendekatan dan algoritma membuat keputusan untuk pemilihan teknologi pemprosesan minyak kelapa sawit
- 4) Keperluan untuk penilaian kelayakan perisian yang dibina untuk pelaksanaan teknologi pemprosesan sisa di industri kelapa sawit

1.3. Objektif Kajian

Objektif kajian adalah :

- 1) Untuk membangunkan pengkalan data yang mengandungi teknologi pemprosesan data bank dari industri kelapa sawit.
- 2) Mengenalpasti kriteria kualitatif dan kriteria pemilihan untuk membantu membuat keputusan dan mengubah kriteria kualitatif dalam bentuk kriteria kuantitatif untuk borang perisian
- 3) Membangunkan perisian pengambilan keputusan (SKK) untuk pemilihan dan penilaian teknologi pemprosesan sisa industri kelapa sawit.

- 4) Menilai hasil keberkesanan perisian pembuat keputusan untuk pemilihan teknologi pemprosesan sisa industri kelapa sawit yang telah dibangunkan

1. 4. Skop Kajian

Skop tinjauan penyelidikan membangunkan sebuah kaedah baharu untuk pemilihan dan penilaian teknologi pemprosesan sisa industri kelapa sawit :

- 1) Teknologi yang khusus di gunakan di Indonesia sahaja.
- 2) Teknologi pemprosesan adalah untuk teknologi pemprosesan sisa pepejal dan sisa cecair industri kelapa sawit sahaja.
- 3) Hanya merangkumi teknologi yang memberikan nilai tambah dan mengurangkan kesan negatif pada alam sekitar.
- 4) Hanya Teknologi yang tersedia ada dan sudah di buat oleh penyelidik (setakat tahun 2015).
- 5) Hanya kriteria alam sekitar, teknologi, ekonomi dan sosial yang dikaji.
- 6) Maklumat dan data mengenai penerapan pelbagai kaedah diperolehi dari empat kilang kelapa sawit yang berkapasiti 30 tan BTS/jam dan 60 tan BTS/jam dan telah melaksanakan salah satu kaedah pemprosesan dan penggunaan sisa IKS yang dikaji. Butir-butir berikut mengenai kaedah pemprosesan dan penggunaan sisa IKS yang dikaji, antara lain, IKS Sisa Cecair iaitu sistem kolam, sistem pengkomposan dan Reaktor Anaerobik Unggun Tetap (RANUT). Bagi sisa pepejal IKS, kaedah pemprosesan yang dikaji adalah kaedah pengkomposan, brikuet, dan sungkupan serta produk yang dihasilkan iaitu makanan ternakan dan bahan api dandang.

1. 5 Sumbangan dan Kepentingan Kajian

Pembangunan satu pengkalan data boleh memudahkan pencarian dan mengenal pasti teknologi pemprosesan sisa. Hasil dari pengkalan data menjadi masukan dalam mencari dan memilih kriteria teknologi pemprosesan sisa. Kajian ini juga akan menjelmaan kualitatif kepada kriteria yang berbentuk kuantitatif dalam borang perisian dan membangunkan suatu perisian yang berkonsep Sistem Sokongan Keputusan (SSK) untuk mengukur kriteria secara kuantitatif yang telah diberikan nilai supaya keputusan menjadi lebih objektif. Kesesuaian dan sumbangan kepada sains dalam kajian ini adalah bahawa kajian ini membangun pendekatan, kerangka dan algoritma kriteria pemprosesan pada kaedah membuat keputusan dan teknologi pemprosesan sisa kelapa sawit

1. 6 Struktur Tesis

Tesis ini terdiri dari 7 bab iaitu bab satu pengenalan yang berisikan gambaran penyelidikan latar belakang, pernyataan masalah, objektif kajian, skop kajian, sumbangan dan kepentingan kajian serta struktur tesis. Bab dua terdiri dari tinjauan literatur proses pengeluaran kelapa sawit, jenis-jenis pemprosesan sisa industri kelapa sawit, jenis teknologi pemprosesan sisa kelapa sawit, kriteria kemampuan, pembuat keputusan pelbagai kriteria, sistem sokongan keputusan. bab tiga terdiri dari metodologi penyelidikan pembangunan pengkalan data dan keperluan pihak berkepentingan, mencari kriteria untuk membantu keputusan secara kualitatif, transformasi kualitatif kepada kriteria yang berbentuk kuantitatif, reka bentuk struktur hierarki keputusan, membangunkan perisian, kajian kes. bab empat tersedianya satu pengkalan data dan keperluan pihak berkepentingan, soal selidik, soalan kaji selidik, senarai keperluan, kriteria keputusan secara kualitatif, kriteria

teknologi pemrosesan sisa, jadual kelebihan dan kekurangan alat, reka bentuk struktur hierarki, membangunkan perisian. Bab lima merupakan analisis dari hasil yang diperolehi. Bab enam merupakan perbincangan dari analisis yang ditemukan. Bab tujuh adalah kesimpulan dan penyelidikan masa depan.

BAB DUA

TINJAUAN LITERATUR

2.0 Pengenalan

Bab ini menerangkan tinjauan literatur mengenai dengan beberapa kriteria yang dikaji dan bahan-bahan lain yang berkaitan dengan objektif tinjauan.

2.1 Proses Pengeluaran Kelapa Sawit

Kelapa sawit adalah industri pemprosesan buah tandan segar (BTS) dari tanaman kelapa sawit menjadi minyak sawit mentah (MSM) dan minyak isi sawit (MIS). Menurut Singh et. al (2010), industri kelapa sawit purata boleh menangani kira-kira 100 tan metrik dari buah tandan segar setiap hari. Disamping hasil yang boleh digunakan, pemprosesan juga menghasilkan pelbagai jenis sisa dari kelapa sawit. Pada proses pengeluaran kelapa sawit yang memberikan sumbangan yang cukup signifikan pemproses sisa industri kelapa sawit pada stesen pendidihan dan stesen pelucutan. Proses pengeluaran produk kelapa sawit pada stesen pendidihan dan pelucutan boleh dijelaskan dan disimpulkan :

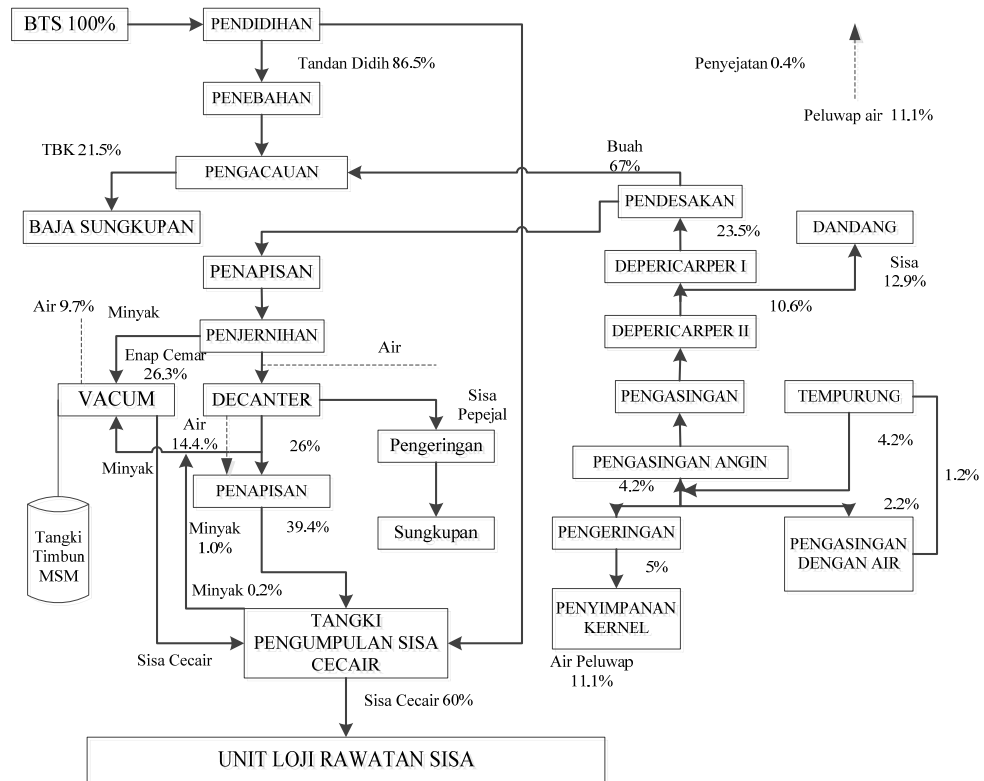
a) Stesen Pendidihan

Stesen rebusan merupakan stesen yang melakukan proses pendidihan BTS. Proses pendidihan sangat menentukan kualiti hasil pemprosesan BTS di Industri kelapa sawit (IKS). Tujuan dari proses pendidihan BTS iaitu menghentikan perkembangan asid lemak bebas, memudahkan proses pengupasan, mengurangkan kadar air di dalam buah sehingga mempermudah proses pengempaan dan pemisahan minyak dari bahan-bahan bukan lemak serta peningkatan dalam proses pemprosesan inti sawit.

Proses pendidihan BTS dilakukan dengan menggunakan tekanan wap sebagai media panasnya. Pemrosesan sisa menghasilkan kumbah industri minyak kelapa sawit iaitu 67%, Orathai, C. (2006) Sulaiman, F. (2010). Untuk setiap tan BTS diolah, kira-kira 0,27 meter padu terbentuk pendidihan peluwap, atau 36% daripada jumlah keseluruhan Palm Oil Mill Effluent (POME) terdiri dari pendidihan peluwap DOE, (1999) & Wu, et. al (2010).

b) Stesen pelucutan

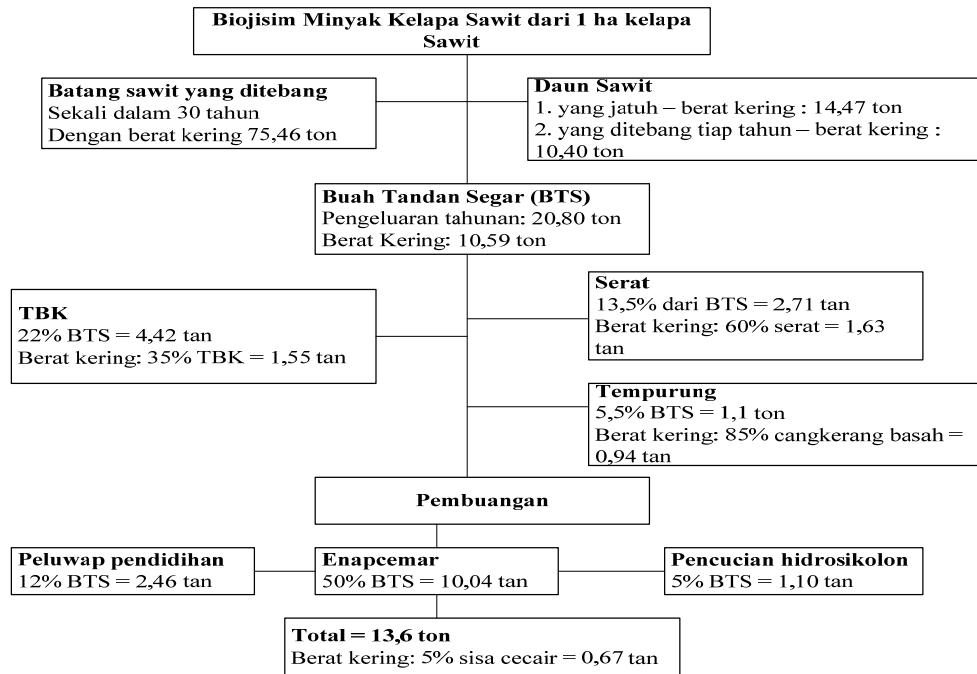
BTS yang telah direbus dihantar ke stesen pelucutan dan dituangkan ke alat pengupas dengan bantuan kren angkat. Pada stesen pelucutan dilakukan proses pelucutan untuk melepaskan brondolan dari tandannya. Proses pelucutan ini terjadi akibat tromol berputar pada paksi mendatar yang membawa BTS ikut berputar sehingga membanting-banting BTS dan menyebabkan brondolan terlepas dari tandannya. Brondolan dibawa ke stesen pengacauan dan pengempaan. Sementara itu, tandan yang telah dilepaskan brondolannya atau tandan buah kosong keluar melalui hujung tromol dan dibawa ke tempat perlindungan tandan buah kosong. Sisa pemrosesan dari industri sebanyak, 22%, Pahan, I. (2008) Kiichiro, H (2007) Orathai, C. (2006) Sulaiman, F (2010). Rajah prosesimbangan bahan pemrosesan kelapa sawit boleh dilihat kepada Rajah 2.1.



Rajah 2.1. Proses Imbangan Bahan Proses Pemprosesan Kelapa Sawit

2. 1.1 Jenis-jenis Sisa Kelapa

Industri kelapa kelapa sawit menghasilkan dua hasil utama dari buah tandan segar (BTS) iaitu Minyak Kelapa Sawit (MKS) dan Minyak Isirong Kelapa Sawit (MIKS). MSM berasal dari mesokprium dan MIS berasal dari endosperm. Pengeluaran hasil utama ini menghasilkan sisa setengah jadi. V. I. Otti (2014) Sisa ini berasal dari 70-75% BTS dan sisa utama iaitu tandan buah kosong, tempurung, serat dan sisa cecair serta air hasil pendidihan peluwap.



Rajah 2.2. Biojisim Industri kelapa sawit yang Dihasilkan dari 1 Ha

Hasil sampingan industri kelapa sawit berupa sisa pepejal iaitu tempurung, serat, dan tandan buah kosong dan sisa cecair. Rushdan, et. al (2007) Yong (2007) Singh, et. al (2010) Ahmad et. a (2011) Pattanapongchai (2011) Singh et. al (2013). Beberapa tinjauan telah dilakukan terhadap penggunaan biojisim tersebut. Penggunaan yang paling prospektif adalah sebagai sumber tenaga. Begum, et. al (2013). Sisa cecair boleh menghasilkan bahan api yang terdiri dari gas metana yang merupakan penyebab pemanasan global. Ma (2000) Sisa cecair tersebut terutama berasal dari pemurnian minyak (60%), pendidihan buah tandan segar (36%), dan *hidroyclone* (4%).

a) Sisa Pepejal Industri kelapa sawit (SPIKS)

Aziz & Abdul (2007), Singh, Hakimi & Esa (2010), Fauziah Sulaiman (2010) sisa pepejal terdiri dari tandan kosong, pelepah, tempurung dan lain-lain. Sedangkan sisa cecair yang terjadi semasa pencucian kilang.

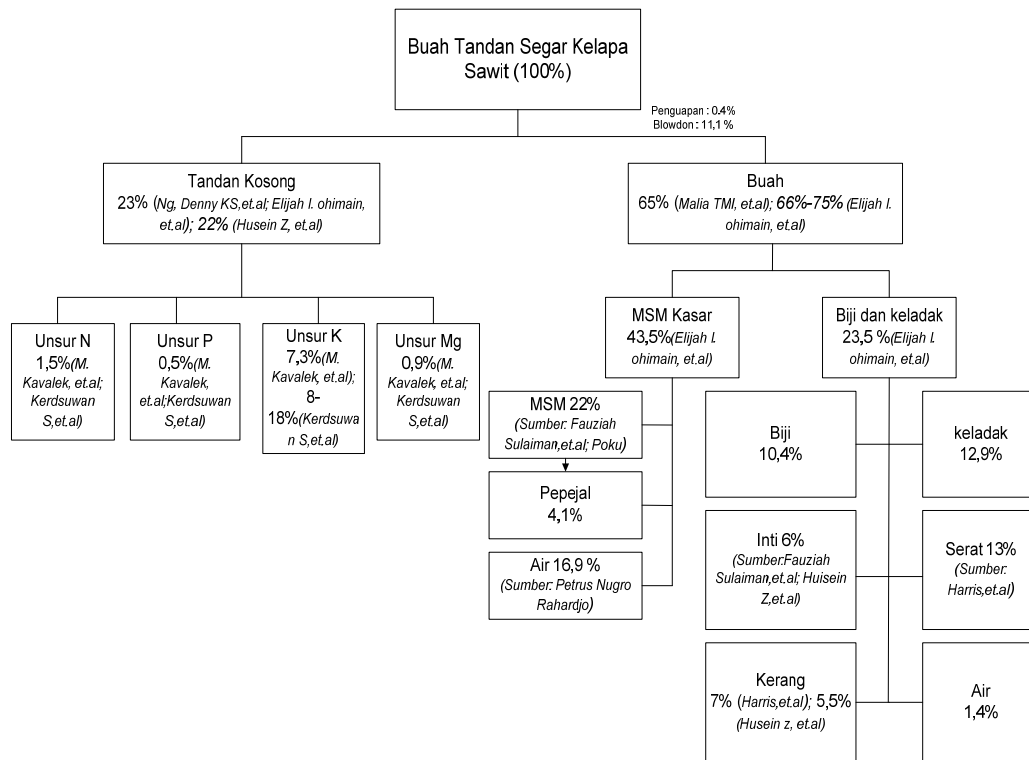
Pada Rajah 2.1, Rajah 2.2 terlihat upaya sisa kelapa sawit yang boleh dimanfaatkan sehingga mempunyai nilai ekonomi yang besar. Salah satunya adalah upaya sisa boleh dimanfaatkan sebagai sumber nutrient yang mampu menggantikan baja sintetik. Ma AN, et. al (1993) Kamarudin et. al (1997) AAZ, Lorestani (2006). S. Pleanjai, et. al (2004) sisa pepejal, terutamanya TBK, lebih dari 20% dari berat buah tandan segar. AAZ. Lorestani (2006) Kavalek et. al (2012) Embrandiri et. al. (2013) Setiap pengeluaran satu tan MSM diperlukan 5.8 tan buah tandan segar dan menghasilkan tandan buah kosong setara 20-28,5%. Alam et. al (2008) menambah bahawa TBK mewakili 9% jumlah pengeluaran sisa pepejal kelapa sawit. Baharuddin et. al (2009) Tandan buah kosong, berdasarkan asas berat kering mengandungi bahan organik yang terdiri daripada N, P, K dan Mg masing-masing 0,8%, 0,1-0,7%, 2,4-2,8%, dan 0, 2-0,8%. Sreekala et. al (1997) Khalil et. al (2007) untuk meminimumkan pencemaran, penggunaan yang baharu untuk sisa biojisim dari industri kelapa sawit mengandungi 45-50% selulosa, 25-35% hemiselulosa dan 25-35% lignin. Oleh sebab itu, TBK boleh digunakan sebagai baja organik yang boleh terus disebar ke kawasan atau dengan terlebih dahulu di bakar Singh et. al (2010). Law & Jiang (2001) Rushdan (2007) Singh et. al (2013) Selain digunakan sebagai baja organik, tandan buah kosong berupaya dimanfaatkan sebagai bahan baku pulp dan industri kertas. Kardono (2008). Sisa pepejal terdiri daripada tandan buah kosong, tempurung, tempurung kelapa sawit dan sabut. Sisa gas dan abu dihasilkan daripada pembakaran Ma AN. et. al (1993) Tandan buah kosong

merupakan bahan mentah yang sesuai untuk kitar semula kerana dihasilkan dalam jumlah yang besar dan sering digunakan sebagai bahan api untuk dandang dan proses pendidihan. Pada masa ini sebahagian besar tandan buah kosong digunakan sebagai sungkupan di ladang, hampir seluruhnya menggantikan pembakaran, yang sekarang terhad hanya beberapa industri, tahap penggunaan biasa TBK adalah 40-70 tan/hektar.

b) Sisa Cecair Industri kelapa sawit (SCIKS)

Mohammad et. al (2008) SCIKS merupakan penggantungan koloid yang terdiri daripada 95-96% air, 0,6-0,7% minyak, 4-5% pepejal total yang terdiri daripada 2-4% pepejal digantung.

Rupani et. al (2010) Ma (2000) Lohsomboon et. al (2002) SCIKS mengandungi bahan organik Keperluan Oksigen Biologi (KOB), Keperluan Oksigen Kimia (KOK) dan pepejal dalam jumlah yang berbeza-beza. Bahan organik yang terdapat pada SCIKS tersebut menimbulkan kerosakan alam sekitar apabila tidak dilakukan teknologi pemprosesan dengan baik. Teknologi pemprosesan dan penggunaan SCIKS iaitu sebagai baja cecair dan sumber penghasil dandang. Sisa cecair daripada pengeluaran minyak kelapa dihasilkan dari unit pendidihan dan unit penjernihan. Peratusan sisa kelapa sawit boleh dilihat pada Rajah 2.3.

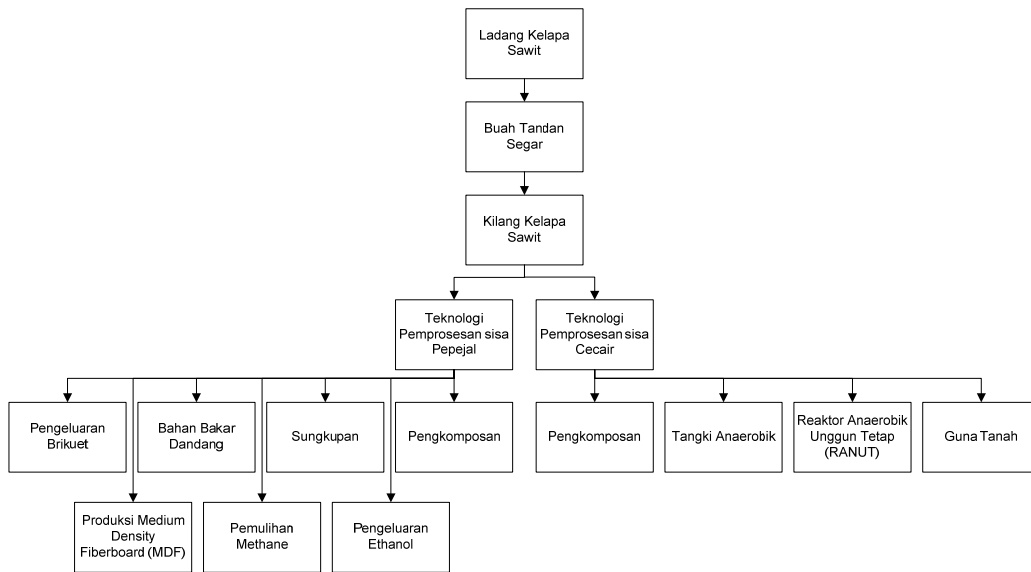


Rajah 2.3. Peratusan Pengeluaran Pemprosesan Sisa Kelapa Sawit

2.1.2 Jenis Teknologi Pemprosesan Sisa

Tujuan dari tinjauan ini adalah untuk menilai teknologi utama yang berlaku untuk pemilihan teknologi dari sisa kelapa sawit dan untuk tinjauan maklumat fakta yang berkaitan dengan penggunaannya di Indonesia. Banyak teknologi baharu yang dibangunkan melalui penyelidikan tempatan atau kolaborasi antara pihak swasta maupun institut pengajian tinggi. Pelbagai jenis teknologi sisa dan penggunaan sisa Industri kelapa sawit telah banyak dihasilkan dan layak dipertimbangkan untuk dilaksanakan. Teknologi pemprosesan dan penggunaan sisa IKS yang dibincangkan merupakan hasil penyelidikan dari Pusat Penyelidikan Kelapa Sawit (PPKS) dan Institut Penyelidikan Bioteknologi Perkebunan Indonesia yang disyorkan oleh pihak Ditjen PPHP Jabatan Pertanian sebagai salah satu agensi kerajaan yang mengawasi

pelaksanaan pengendalian sisa industri pertanian, salah satunya industri kelapa sawit. jenis teknologi pemrosesan sisa boleh dilihat pada Rajah 2.4.



Rajah 2.4. Jenis Teknologi Pemrosesan Sisa

2. 1.2 (a) Teknologi Pemrosesan Sisa Cecair

1) Pengkomposan

Taniwiryono (2009) pengkomposan merupakan sisa Pepejal yang mengandungi bahan organik yang telah mengalami pelapukan, dan jika pelapukannya berlangsung dengan baik disebut baja organik. Pusat Penyelidikan Bioteknologi Perkebunan Indonesia telah membangunkan dua macam teknik Pengkomposan TBK, iaitu Pengkomposan dengan pembalikan dan tanpa pembalikan. Teknologi Pengkomposan menghasilkan baja Pengkomposan yang boleh digunakan sebagai baja alternatif pada kawasan pertanian atau boleh pula dikomersilkan. Pengkomposan tandan buah kosong adalah cara yang mungkin untuk menukar tandan besar menjadi bernilai, di mana tandan buah kosong diuruskan untuk digunakan pada ladang atau sebagai produk yang akan dipasarkan.

Lim (1989) Darnoko et. al (1993) Theo & Chia (1993) Thambirajah et. al (1995) Goenadi, D.H et. al (1998) Schuchardt et. al (2007) Siasatan ciri-ciri pemprosesan tandan buah kosong (TBK) selama Pengkomposan telah dilakukan selama beberapa tahun. Menurut JAS (2011), proses Pengkomposan merupakan endapan anaerobik dari kolam anaerobik, dan enapcemar anaerobik dari anaerobik terbuka atau tertutup dicerna tangki yang digunakan untuk pemprosesan pengkomposan pada skala di lapangan. TBK ditekan dan dicincang pada koleksi untuk pemulihan minyak sawit mentah. TBK diurai dengan saiz panjang 15-20 cm. TBK bertindak sebagai sumber karbon utama untuk diproses dengan pengkomposan kerana selulosa tinggi dan kandungan hemiselulosa dengan masing-masing TBK selulosa 52,8 dan 14.8%. Baharuddin et. al (2010) sedangkan kumbah industri minyak kelapa sawit enapcemar anaerobik merupakan sumber nutrien yang dilaporkan untuk pengkomposan dengan kepekatan tinggi nitrogen (3.600 mg L) daerah besar mungkin memerlukan. Ma, (1991) pemasangan pam air atau paip tambahan untuk mengekalkan tekanan yang cukup di seluruh aliran sistem sesuai untuk kawasan tanah yang luas, sesuai untuk semua jenis tanah.

Pada anaerobik kumbah industri minyak kelapa sawit enapcemar dari bahagian bawah tangki clarifier digunakan untuk Pengkomposan pemprosesan. Baharuddin et. al (2010) Jumlah enapcemar POME anaerobik dimasukkan ke dalam Pengkomposan TBK seluruh proses ini kira-kira satu tan (1: 1 nisbah). Sebuah proses Pengkomposan selesai menggunakan mesin koyak TBK dan sebahagian diperlakukan kumbah industri minyak kelapa sawit dari kolam anaerobik terbuka membuat 80 hari dengan akhir C/N nisbah 12.5. Baharuddin AS et. al (2009) Namun, ciri-ciri Pengkomposan matang dilaporkan menunjukkan beberapa perbezaan sebahagian diperlakukan dari bidang kepelbagaian kumbah industri minyak kelapa sawit. Baharuddin AS et. al

(2010) Sebuah lebih malar mikrob dan nitrogen sumber dari tangki tertutup anaerobik kumbah industri minyak kelapa sawit enapcemar maka disukai dengan 40 hari tempoh Pengkomposan dan akhir C/N nisbah daripada 12.4.

Ishak et. al (1999). Liao et al. (1993) Pengkomposan menggunakan teknik berasaskan biologi yang telah diiktiraf sebagai kaedah yang mesra alam sekitar pengurusan sisa. Georgacakis et. al (1996) Zang et. al (1998). Bersamaan dengan itu, produk akhir dari Pengkomposan mempunyai kesan yang luar biasa pada nilai-nilai nutrien untuk pertumbuhan tanaman dengan menyelenggarakan kesuburan tanah yang sesuai.

2) Sungkupan

Teknik penggunaan Tandan Buah Kosong (TBK) yang biasa digunakan oleh pelbagai industri kelapa sawit adalah dengan memanfaatkan TBK sebagai Sungkupan. Sungkupan merupakan teknologi pengendalian sisa yang memanfaatkan tandan buah kosong sebagai penutup permukaan tanah, baja organik dan baja kalium. Mangoensoekarjo & Semangun, H. (2003) Nilai menggemburkan per tan Sungkupan adalah lebih kurang bersamaan dengan urea 7 kg, rock phosphate 2.5 kg, Muriate of potash 18.8 kg , dan kieserite 4.7 kg. Guna TBK sangat berkesan sebagai Sungkupan kerana boleh menurunkan suhu tanah, mengekalkan kelembapan tanah dan membantu mengurangkan kesan yang kurang baik terhadap pertumbuhan tanaman serta pengeluaran pada saat kemarau. Untuk kawasan yang curah hujannya tinggi, TBK secara signifikan boleh mengurangkan kerugian nutrien melalui proses pengubahan dan aliran permukaan atau menjaga terjadinya hakisan tanah. Selain itu, Sungkupan TBK juga boleh menjadi pembekal tambahan nutrient tanah.

Pada guna secara sungkupan, TBK digunakan pada suatu kawasan tertentu berdasarkan sifat tanah dan nutrien yang diperlukan tanaman kelapa sawit. Pahan, I. (2008) Dos guna TBK yang disyorkan untuk tanaman belum menghasilkan (TBM) 1 dan 2 iaitu 180 kg/pokok atau setara dengan 25 tan TBK/ha (penduduk kira-kira 136 pokok/ha). TBK hanya diguna satu kali per tahun pada kawasan yang sama.

3) Bahan Api Dandang

Sabut dan tempurung kelapa sawit merupakan sisa pepejal kelapa sawit. Sabut kelapa sawit, dihasilkan dari proses pengiraan dan pengempaan brondolan kelapa sawit, yang dijadikan sebagai bahan api dandang untuk membekalkan keperluan wap panas dan penjanaan elektrik. Nilai haba yang dihasilkan daripada pembakaran sabut kelapa sawit iaitu 2.637 – 4.554 kkal/kg. Untuk sebuah IKS dengan kapasiti olah 100.000 tan BTS per tahun akan dihasilkan kira-kira 12.000 tan sabut kelapa sawit. Budiarto & Agung (2008) Apabila kecekapan penjanaan sebanyak 25%, maka tiap tahunnya akan dihasilkan tenaga elektrik sebanyak 9.2 - 15.9 GW tiap tahunnya. Demikian juga untuk tempurung kelapa sawit, hasil daripada proses pemecahan biji kelapa sawit untuk membuat inti kelapa sawit di dalam biji tersebut. Nilai haba yang dihasilkan daripada pembakaran sabut kelapa sawit iaitu 4.105 - 4.802 kkal/kg.

4) Pengeluaran Brikuet

Global Green Synergy Sdn. Bhd (2010) Saat ini, Global Green Synergy, sebuah syarikat Malaysia, menyediakan model untuk pengeluaran brikuet, dengan menekan gantian TBK kering menjadi silinder diameter 9,5 cm dan panjang 30 cm, yang memiliki kadar air kurang dari 10% dan nilai kalor dari 18 MJ kg⁻¹.

5) Pengeluaran Ethanol

Denmark's Technical University (2008) Sebuah pengujian telah dilakukan oleh BioCentrum di Technical University Denmark memperkirakan bahawa 1 tan TBK kering mampu menghasilkan 0.39 m³ etanol menggunakan proses baharu untuk pemprosesan mula. Piarpuza'n D et. al. (2011) Kaedah pengeluaran etanol dari TBK menggunakan alkaline permulaan pemprosesan dengan pendekatan hidrolisis dan yang menghasilkan ethanol 0.067 m³ t⁻¹ enzimatik. Millati et. al (2011) juga menggunakan encer asam sulfat permulaan pemprosesan dari TBK kering, mencapai hasil 0,112 m³ t⁻¹. Yano et. al (2009) dikembangkan strain ragi baharu, dan dimanfaatkan penggilingan mula pengobatan, dengan hidrolisis enzim, sehingga hasil etanol 0,13 m³ t⁻¹ dari TBK kering.

6) Pemulihan Metana

Pada masa ini, ada sebuah syarikat lokal di Malaysia, yang menggunakan perahan dari TBK ditekan dicampur dengan kumbah industri minyak kelapa sawit untuk pengeluaran metana. Novaviro Technology Sdn. Bhd. (2011) Dengan menggunakan teknologi pencernaan anaerobik untuk menangkap dandang di industri kelapa sawit dengan 30 tan BTS per jam, syarikat mampu menghasilkan 11.200 m³/d dari dandang dengan 62,5% dari metana.

7) Pengeluaran Medium Density Fiberboard (MDF)

Hasil penyelidikan menunjukkan bahawa MDF dari TBK kebolehpadaan dengan sifat-sifat MDF dari getah. MDF Mohamad H. et. al (2002) untuk pengeluaran industri MDF dari TBK, MPOB membangun industri MDF percontohan untuk mensimulasikan tanaman industri, untuk mempromosikan penggunaan TBK sebagai

bahagian dari bahan baku untuk pengeluaran. Menurut Rushdan (2003) TBK diparut ke dalam gentian dan dicampur dengan formalin, kemudian ditekan dengan tekanan panas pada suhu sekitar 413 K. MDF dari TBK memiliki pepejal 400-800 kg m⁻³, dan memiliki sifat penyerapan yang besar dibandingkan dengan MDF berasas kayu. Ridzuan et. al (2002) untuk meningkatkan kualitas TBK untuk pengeluaran MDF, penyelidikan saat ini terus menyelidiki nisbah optimal dari TBK untuk dicampur dengan getah, pemprosesan permulaan gentian TBK dilakukan untuk menghilangkan sisa minyak, dan memahami sifat mekanik dan fizik dari MDF dari TBK.

Dari tinjauan literatur yang dilakukan, penilaian teknologi pemprosesan sisa ditujukan untuk memberikan keterangan kepada pengguna dalam memutuskan teknologi yang akan dipilih untuk pemprosesan sisa. Keluaran dari hasil ini adalah teknologi pemprosesan sisa terpilih yang boleh dijadikan asas untuk pemilihan berikutnya. Perbandingan teknologi pemprosesan sisa ditunjukkan pada Jadual 2.1.