

**KEBERKESANAN MODUL MFC-BIOTEKH
BERINTEGRASIKAN *MICROBIAL FUEL CELL*
DALAM MENINGKATKAN PENGETAHUAN
TERHADAP TEKNOLOGI HIJAU DAN
KEMAHIRAN MANIPULATIF DALAM
AMALI BIOLOGI**

SITI ROHANA BINTI MAN

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2024

**KEBERKESANAN MODUL MFC-BIOTEKH
BERINTEGRASIKAN *MICROBIAL FUEL CELL*
DALAM MENINGKATKAN PENGETAHUAN
TERHADAP TEKNOLOGI HIJAU DAN
KEMAHIRAN MANIPULATIF DALAM
AMALI BIOLOGI**

oleh

SITI ROHANA BINTI MAN

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sastera**

September 2024

DEDIKASI

Teristimewa buat arwah abah tersayang...

Akan kukenang jasa dan pengorbananmu membanting tulang demi membesarkanku..

Buat ibu tercinta,

Tidak terbalas jasmu melahirkanku dan membesarkanku....

Tidak dilupakan adik beradik yang dikasihi,

Terima kasih kerana sentiasa membantu dalam setiap urusanku...

Buat suami tercinta...

Terima kasih atas segala pengorbanan sepanjang pengajianku ini....

Buat anak-anak yang dikasihi,

Terima kasih kerana memahami umi sepanjang pengajian umi...

Buat semua sahabat HLP ambilan 2020 dan 2021,

Semoga Allah memberkati ilmu yang kita peroleh sepanjang pengajian kita di

Universiti Sains Malaysia.

PENGHARGAAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan nama ALLAH Yang Maha Pemurah Lagi Maha Mengasihani...

Segala puji bagi Allah, Tuhan Yang Maha Mentadbir, Maha Mengurus dan Maha Mengatur. Bersyukur saya ke hadrat Ilahi kerana dengan izin dan limpah kurniaNya, saya diberikan ruang, peluang, petunjuk, dan ilham yang berterusan dalam menjalankan kajian dan menyiapkan tesis ini. Selawat dan salam juga ditujukan buat Junjungan Besar Nabi Muhammad s.a.w. Semoga tesis ini dapat dijadikan rujukan buat para penyelidik khususnya dalam bidang penyelidikan pendidikan Biologi dan STEM.

Setinggi-tinggi penghargaan dan jutaan terima kasih diucapkan buat Penyelia Utama, Dr. Nor Asniza binti Ishak dan Penyelia Bersama, Dr. Muaz bin Mohd Zaini Makhtar di atas tunjuk ajar, peluang, kritikan, motivasi, pengertian, dan kesabaran dalam memberi bimbingan sepanjang menjalankan kajian dan melengkapkan penulisan tesis ini. Ribuan terima kasih turut ditujukan buat pihak pentadbir, para pensyarah, warga Pusat Pengajian Ilmu Pendidikan dan Pusat Pengajian Teknologi Industri yang tidak lokek ilmu sepanjang pengajian saya di Universiti Sains Malaysia. Tidak dilupakan juga Institut Pengajian Pasca Siswazah, Universiti Sains Malaysia yang sentiasa membantu dan memberikan peluang dalam melaksanakan pengajian dengan jayanya.

Tesis ini juga didedikasikan buat arwah Abah yang sentiasa diingati, Man bin Abdullah, Mak yang amat dikasihi, Che An binti Chin, suami tercinta, Muhd ‘Ashmawi bin Ishak, putera puteri tersayang, Muhammad Nuruddin, Siti Azzahra Althafunnisa’, Muhammad Salahuddin, Muhammad Ameeruddin, dan Siti Naura

Safiyya, kakak sulung yang sentiasa membantu dalam pembinaan grafik modul, Siti Fatimah binti Man, dan seluruh ahli keluarga yang memahami. Berkat doa kalian dan izin Allah s.w.t, segala dugaan dan cabaran sepanjang pengajian ini berjaya ditempuh dan diharungi. Jutaan terima kasih atas segala pengorbanan dan kesabaran kalian dalam memberi ruang dan peluang untuk mengharungi jalan yang penuh liku ini.

Jutaan terima kasih diucapkan buat sahabat-sahabat seperjuangan, Norazura Said, Wan Fazwani Wan Ahmad, Mohammad Najib Mohammed Na'aim, Adam Malik Ahmad, Siti Norbaya Md Asif, Mohd Saharizal Mohd Baharuddin, Rafiza Rosli, Titiyaka Jajuri, Bazilah Arshad, Juraini Jaafar, Azlina Harun, Asnida Ismail, Nurul Wahida Hamdan, Saidatul Ainoor Shaharim, Suhaida Mohd Sahid, Salmiza Mohd Sahid, Muhammad Najib Ikmal Mohd Sabri, dan Mohd Yahya Fadzli Jusoh atas segala bantuan, bimbingan, kepercayaan, dan sokongan yang diberikan sepanjang menjalankan pengajian sepenuh masa ini. Terima kasih tidak terhingga juga buat Bahagian Tajaan, Kementerian Pendidikan Malaysia yang telah memberikan tajaan kewangan sepanjang empat semester pengajian ini di bawah Hadiah Latihan Persekutuan (HLP).

Ucapan penghargaan juga ditujukan buat guru-guru Biologi di negeri Kedah, Kelantan, Terengganu, dan Pulau Pinang yang sentiasa membantu menjalankan kajian ini sehingga selesai. Akhir kata, kepada semua yang telah terlibat secara langsung dan tidak langsung dalam kajian ini, jasa kalian amat dihargai. Semoga Allah sentiasa melimpahkan rezeki buat kita semua dan meletakkan kita semua di tempat yang mulia di sisiNya.

Siti Rohana Binti Man
September 2024

SENARAI KANDUNGAN

PENGHARGAAN	ii
SENARAI KANDUNGAN	iv
SENARAI JADUAL	x
SENARAI RAJAH.....	xiii
SENARAI GAMBAR RAJAH.....	xv
SENARAI SINGKATAN	xvi
SENARAI LAMPIRAN.....	xvii
ABSTRAK	xix
ABSTRACT	xxi
BAB 1 PENGENALAN	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Latar Belakang Kajian	4
1.3 Penyataan Masalah.....	9
1.4 Objektif Kajian.....	13
1.5 Persoalan Kajian	14
1.6 Hipotesis Kajian.....	15
1.7 Kepentingan Kajian	15
1.7.1 Kepentingan Kepada Murid	16
1.7.2 Kepentingan Kepada Guru dan Sekolah	17
1.7.3 Kepentingan Kepada PPD, JPN dan KPM	18
1.8 Definisi Operasional	19
1.8.1 Teknologi Hijau	19
1.8.2 Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau.....	20
1.8.3 Kemahiran Manipulatif Dalam Amali Biologi	20
1.8.4 Modul MFC-BioTekH	21

1.9	Limitasi dan Delimitasi Kajian	22
1.10	Rumusan	23
BAB 2	SOROTAN LITERATUR.....	24
2.1	Pendahuluan	24
2.2	Teknologi Hijau	24
2.2.1	Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau.....	27
2.2.2	Pengurusan Sisa dan Air Sisa	28
2.2.3	Bekalan Tenaga.....	29
2.2.4	Kajian-Kajian Lepas Berkaitan Teknologi Hijau	30
2.3	<i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC) atau Sel Bahan Bakar Mikrob	32
2.4	Kemahiran Manipulatif dalam Amali Biologi	33
2.4.1	Kepentingan Kemahiran Manipulatif.....	36
2.4.2	Kajian-Kajian Lepas Berkaitan Kemahiran Manipulatif dalam Kalangan Murid	37
2.5	Pendidikan Alam Sekitar	39
2.5.1	Perkembangan Pendidikan Alam Sekitar.....	41
2.5.2	Kajian-Kajian Lepas Mengenai Pendidikan Alam Sekitar	50
2.6	Kurikulum Standard Sekolah Menengah (KSSM) Biologi.....	51
2.6.1	Penerapan Pendidikan Alam Sekitar dalam Kurikulum Biologi	53
2.7	Teori dan Model Kajian	55
2.7.1	Teori Konstruktivisme Sosial	55
2.7.2	Model Pendidikan Alam Sekitar	57
2.7.3	Teori ACT-R.....	60
2.7.4	Kerangka Teori	62
2.7.5	Model-Model Reka Bentuk Pengajaran.....	64
2.7.5(a)	Model ADDIE.....	66
2.7.5(b)	Model ASSURE.....	66
2.7.5(c)	Model Dick & Carey.....	67

2.7.6	Kerangka Konseptual	69
2.8	Rumusan	70
BAB 3	METODOLOGI	71
3.1	Pendahuluan	71
3.2	Reka Bentuk Kajian	71
3.3	Populasi dan Pensampelan Kajian	78
3.4	Kesahan Kajian	81
3.4.1	Ancaman Kesahan Dalam	82
3.4.2	Ancaman Kesahan Luar	84
3.5	Instrumen Kajian Kuantitatif	85
3.5.1	Soal Selidik Pengetahuan Terhadap Sel Bahan Bakar Mikrob (MFC)	86
3.5.2	Rubrik Kemahiran Manipulatif	87
3.6	Instrumen Kajian Kualitatif	89
3.6.1	Protokol Temu Bual Pengetahuan Murid Terhadap Teknologi Hijau, MFC, dan Kemahiran Manipulatif dalam Amali Biologi	89
3.6.2	Protokol Temu Bual Kemahiran Manipulatif	92
3.6.3	Senarai Semak Pemerhatian Berstruktur	93
3.7	Kajian Rintis	94
3.7.1	Kesahan dan Kebolehpercayaan Instrumen Kuantitatif	95
3.7.1(a)	Kesahan Soal Selidik Pengetahuan Terhadap Sel Bahan Bahan Bakar Mikrob	95
3.7.1(b)	Kebolehpercayaan Soal Selidik Pengetahuan Terhadap Sel Bahan Bakar Mikrob	97
3.7.1(c)	Kesahan Rubrik Kemahiran Manipulatif	99
3.7.2	Kesahan dan Kebolehpercayaan Instrumen Kualitatif	101
3.8	Prosedur kajian	102
3.9	Analisis Data	108
3.10	Matriks Kajian	109

3.11	Rumusan	111
BAB 4	REKA BENTUK DAN PEMBANGUNAN MODUL	
	MFC-BioTekH.....	112
4.1	Pendahuluan.....	112
4.2	Reka Bentuk Pengajaran	112
4.3	Model ADDIE dan Justifikasi Pemilihan Model ADDIE.....	113
4.3.1	Fasa 1: Analisis Keperluan	115
4.3.1(a)	Ujian Aneka Pilihan Kelestarian Alam Sekitar	117
4.3.1(b)	Soal Selidik Pengetahuan Terhadap Sel Bahan Bakar Mikrob (MFC).....	118
4.3.1(c)	Protokol Temu Bual Separa Berstruktur.....	120
4.3.1(d)	Tinjauan Literatur Sistemik (<i>Systematic Literature Review</i>)	129
4.3.2	Fasa 2: Reka Bentuk Modul MFC-BioTekH	131
4.3.2(a)	Pemetaan Kandungan Modul MFC-BioTekH	132
4.3.2(b)	Pembinaan Papan Cerita (<i>Storyboard</i>)	136
4.3.2(c)	Menetapkan Objektif Modul MFC-BioTekH.....	137
4.3.2(d)	Menentukan Kaedah Instruksional Modul MFC-BioTekH.....	143
4.3.3	Fasa 3: Pembangunan Modul MFC-BioTekH	144
4.3.3(a)	Kesahan Muka dan Kesahan Kandungan Modul MFC-BioTekH.....	148
4.3.3(b)	Kesahan Kandungan Aktiviti Modul MFC-BioTekH.....	152
4.3.3(c)	Maklum Balas dan Cadangan Panel Pakar Terhadap Modul MFC-BioTekH	153
4.3.3(d)	Kajian Rintis	155
4.3.3(e)	Kebolehpercayaan Modul MFC-BioTekH	157
4.3.4	Fasa 4: Pelaksanaan Modul MFC-BioTekH	158
4.3.4(a)	Pentadbiran Ujian Pra	161

4.3.4(b)	Pelaksanaan Intervensi Modul MFC-BioTekH	161
4.3.4(c)	Pentadbiran Ujian Pasca	162
4.3.4(d)	Pentadbiran Ujian Pasca Lanjutan	162
4.3.5	Fasa 5: Penilaian Modul MFC-BioTekH	162
4.4	Rumusan	163
BAB 5	ANALISIS DAN DAPATAN KAJIAN.....	165
5.1	Pendahuluan.....	165
5.2	Dapatan Kajian.....	167
5.3	Dapatan Data Kuantitatif	168
5.3.1	Analisis Statistik Bagi Persoalan Kajian 1: Adakah terdapat perbezaan skor min Ujian Pra, Ujian Pasca, dan Ujian Pasca Lanjutan bagi pengetahuan terhadap teknologi hijau selepas penggunaan modul MFC-BioTekH?.....	169
5.3.1(a)	Analisis Deskriptif	169
5.3.1(b)	Analisis Inferensi	170
5.3.2	Analisis Statistik Bagi Persoalan Kajian 2: Adakah terdapat perbezaan skor min Ujian Pra, Ujian Pasca, dan Ujian Pasca Lanjutan bagi kemahiran manipulatif dalam amali Biologi selepas penggunaan modul MFC-BioTekH?	181
5.3.2(a)	Analisis Deskriptif	181
5.3.2(b)	Analisis Inferensi	182
5.4	Dapatan Data Kualitatif	190
5.4.1	Demografi Informan	191
5.4.2	Analisis Kualitatif Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau dan Kemahiran Manipulatif Dalam Amali Biologi	192
5.5	Interpretasi Dapatan Kuantitatif dan Kualitatif.....	215
5.6	Rumusan	218
BAB 6	PERBINCANGAN DAN KESIMPULAN.....	220
6.1	Pendahuluan.....	220
6.2	Ringkasan Kajian	221

6.3	Perbincangan Dapatan Kajian.....	225
6.3.1	Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau.....	225
6.3.2	Kemahiran Manipulatif Dalam Amali Biologi	232
6.4	Implikasi Kajian.....	239
6.4.1	Implikasi Terhadap PdPc Biologi	239
6.4.2	Implikasi Terhadap Teori Konstruktivisme Sosial dan Teori ACT-R.....	240
6.4.3	Implikasi Terhadap Kaedah Pedagogi Pendidikan Alam Sekitar dan Teknologi Hijau	241
6.4.4	Implikasi Terhadap Sekolah.....	244
6.5	Cadangan Kajian Lanjutan.....	245
6.6	Kesimpulan	249
	RUJUKAN	251

LAMPIRAN

SENARAI PENERBITAN

SENARAI JADUAL

	Halaman
Jadual 2.1	Kemahiran Manipulatif Sains 35
Jadual 2.2	Kronologi Persidangan Berkaitan Pendidikan Alam Sekitar 48
Jadual 2.3	Senarai semak aplikasi pendidikan alam sekitar merentas kurikulum mata pelajaran sains. 54
Jadual 2.4	Kekerapan dan Peratusan Penggunaan Model Reka Bentuk Pengajaran 65
Jadual 3.1	Skala Likert Soal Selidik 86
Jadual 3.2	Kandungan Soal Selidik Pengetahuan Terhadap Se/ Bahan Bakar Mikrob (MFC)..... 87
Jadual 3.3	Kriteria Kemahiran Manipulatif 88
Jadual 3.4	Perincian Soalan-soalan Protokol Temu Bual 90
Jadual 3.5	Kod Transkrip Informan (Murid) 92
Jadual 3.6	Kod Transkrip Informan (Guru) 93
Jadual 3.7	Nilai CVI bagi Kesahan Kandungan Soal Selidik Pengetahuan Terhadap Sel Bahan Bakar Mikrob..... 97
Jadual 3.8	Nilai alpha Cronbach 98
Jadual 3.9	Nilai alpha Cronbach bagi keseluruhan item soal selidik..... 99
Jadual 3.10	Nilai CVI Bagi Kesahan Kandungan Rubrik Kemahiran Manipulatif Dalam Amali Biologi..... 100
Jadual 3.11	Senarai Aktiviti Modul MFC-BioTekH 1044
Jadual 3.12	Kaedah Analisis Data 109
Jadual 3.13	Matriks Kajian 110
Jadual 4.1	Interpretasi Skor Min bagi Melaporkan Dapatan Deskriptif Statistik 119
Jadual 4.2	Tahap Pengetahuan Terhadap Sel Bahan Bakar Mikrob (MFC) 120
Jadual 4.3	Latar Belakang Informan Temu Bual Analisis Keperluan 121

Jadual 4.4	Strategi dan Aktiviti Dalam Pembelajaran Pendidikan Alam Sekitar dan Teknologi Hijau.....	130
Jadual 4.5	Pemetaan Aktiviti MFC dengan Aplikasi Teknologi Hijau dan Sukatan Pelajaran Biologi KSSM.....	133
Jadual 4.6	Hasil Pembelajaran bagi Setiap Aktiviti Modul MFC-BioTekH	140
Jadual 4.7	Butiran Panel Pakar dan Penyemak Kesahan Kandungan Modul MFC-BioTekH.....	149
Jadual 4.8	Nilai Peratusan Kesahan Kandungan Bahasa bagi Modul MFC-BioTekH.....	150
Jadual 4.9	Nilai CVI bagi Kesahan Kandungan Soal Selidik Kesahan Kandungan Modul MFC-BioTekH	152
Jadual 4.10	Nilai CVI bagi Kesahan Kandungan Aktiviti Modul MFC-BioTekH	153
Jadual 4.11	Maklum Balas dan Cadangan Penambahbaikan oleh Panel Pakar Modul	154
Jadual 4.12	Nilai alpha Cronbach bagi keseluruhan aktiviti Modul MFC-BioTekH.....	1588
Jadual 4.13	Butiran Taklimat dan Bengkel kepada Guru Fasilitator	16060
Jadual 5.1	Analisis Frekuensi dan Peratusan Responden Mengikut Jantina.....	1677
Jadual 5.2	Deskripsi Min dan Sisihan Piawai Secara Keseluruhan Soal Selidik bagi Ujian Pra, Ujian Pasca, dan Ujian Pasca Lanjutan bagi Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau	1699
Jadual 5.3	Nilai Pencongan (Skewness) dan Kurtosis bagi Ujian Pra, Ujian Pasca, dan Ujian Pasca Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau.....	1744
Jadual 5.4	Keputusan Ujian Kesferaan Mauchly bagi Pengetahuan Teknologi Hijau.....	1755
Jadual 5.5	Keputusan Ujian Univariat bagi Kesan Variabel Antara Subjek bagi Min Skor Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau	1766
Jadual 5.6	Interpretasi Nilai Eta Separa Kuasa Dua	1766
Jadual 5.7	Keputusan Ujian Bonferroni bagi Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau.....	1777

Jadual 5.8	Keputusan Ujian Multivariat Min Skor Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau.....	1799
Jadual 5.9	Keputusan Ujian Estimated Marginal Means bagi Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau	18080
Jadual 5.10	Deskripsi Min dan Sisihan Piawai Secara Keseluruhan Rubrik Ujian Pra, Ujian Pasca, dan Ujian Pasca Lanjutan bagi Kemahiran Manipulatif dalam Amali Biologi.....	1811
Jadual 5.11	Nilai Pencongan (Skewness) dan Kurtosis bagi Ujian Pra, Ujian Pasca, dan Ujian Pasca Kemahiran Manipulatif dalam Amali Biologi	1844
Jadual 5.12	Keputusan Ujian Kesferaan Mauchly bagi Kemahiran Manipulatif dalam Amali Biologi.....	1855
Jadual 5.13	Keputusan Ujian Univariat bagi Kesan Variabel Antara Subjek bagi Min Skor Kemahiran Manipulatif dalam Amali Biologi	1866
Jadual 5.14	Keputusan Ujian Perbandingan Pelbagai Pos Hoc Bonferroni bagi Kemahiran Manipulatif dalam Amali Biologi	1888
Jadual 5.15	Keputusan Ujian Multivariat Min Skor Kemahiran Manipulatif dalam Amali Biologi.....	1899
Jadual 5.16	Keputusan Ujian Estimated Marginal Means bagi Kemahiran Manipulatif dalam Amali Bologi.....	18989
Jadual 5.17	Latar Belakang Informan (Guru) Temu Bual bagi Kajian Kualitatif.....	1911
Jadual 5.18	Latar Belakang Informan (Murid) Temu Bual bagi Kajian Kualitatif.....	1911
Jadual 5.19	Gabungan Interpretasi Data Kuantitatif dan Data Kualitatif.....	2166
Jadual 5.20	Jadual Keseluruhan Dapatan Analisis Kajian.....	2199

SENARAI RAJAH

	Halaman
Rajah 1.1	Matlamat Pembangunan Lestari (SDG) 6
Rajah 2.1	Kronologi Persidangan Berkaitan Pendidikan Alam Sekitar 47
Rajah 2.2	Kerangka KSSM..... 52
Rajah 2.3	Kerangka Konsep Kurikulum Biologi..... 52
Rajah 2.4	Model Pendidikan Alam Sekitar..... 59
Rajah 2.5	Proses Perolehan Kemahiran Manipulatif 62
Rajah 2.6	Kerangka Teori Kajian 64
Rajah 2.7	Carta Alir Model Pembelajaran Dick & Carey 68
Rajah 2.8	Kerangka Konseptual Kajian..... 70
Rajah 3.1	<i>‘Sequential Explanatory Design’</i> 73
Rajah 3.2	Reka Bentuk Kajian Pra-Eksperimen: Ujian Pra-Ujian Pasca Satu Kumpulan 74
Rajah 3.3	Perincian Reka Bentuk Kajian Penjelasan Berturutan (Sequential Explanatory Design)..... 77
Rajah 3.4	Carta Alir Prosedur Kajian 107
Rajah 4.1	Aliran kerja model ADDIE..... 115
Rajah 4.2	Graf Keputusan Ujian Aneka Pilihan Kelestarian Alam Sekitar 118
Rajah 4.3	Papan cerita muka hadapan dan isi kandungan modul MFC-BioTekH..... 137
Rajah 4.4	Muka Hadapan dan Belakang Modul MFC-BioTekH Edisi Guru..... 146
Rajah 4.5	Senarai Kandungan Aktiviti Modul MFC-BioTekH 146
Rajah 4.6	Contoh Aktiviti Yang Terkandung Di Dalam Modul MFC-BioTekH..... 147
Rajah 5.1	Carta Palang bagi Jantina Responden Kajian 1688

Rajah 5.2	Q-Q Plot Ujian Pra bagi Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau	1722
Rajah 5.3	Q-Q Plot Ujian Pasca bagi Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau.....	1722
Rajah 5.4	Q-Q Plot Ujian Pasca Lanjutan bagi Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau.....	1733
Rajah 5.5	Graf Plot Profil Estimated Marginal Means bagi Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau	18080
Rajah 5.6	Q-Q Plot Ujian Pra bagi Kemahiran Manipulatif dalam Amali Biologi	1833
Rajah 5.7	Q-Q Plot Ujian Pasca bagi Kemahiran Manipulatif dalam Amali Biologi	1833
Rajah 5.8	Q-Q Plot Ujian Pasca Lanjutan bagi Kemahiran Manipulatif dalam Amali Biologi.....	1844
Rajah 5.9	Graf Plot Profil Estimated Marginal Means bagi Kemahiran Manipulatif.....	19090
Rajah 5.10	Enam fasa analisis tematik	1944
Rajah 5.11	Teknik Triangulasi Sumber-sumber Data Kualitatif	1955
Rajah 5.12	Ringkasan Tema Data Kualitatif	1966
Rajah 5.13	Gabungan Interpretasi Data Kajian QUAN-qual Penjelasan Berturutan	2177
Rajah 6.1	Ringkasan Kajian.....	2222

SENARAI GAMBAR RAJAH

	Halaman
Gambar Rajah 5.1	Guru fasilitator memberikan taklimat sebelum aktiviti MFC dijalankan.....2022
Gambar Rajah 5.2	Murid-murid membahagikan tugas dengan baik mengikut masa yang ditetapkan2044
Gambar Rajah 5.3	Kerosakan Pada Multimeter Diuji Terlebih Dahulu Sebelum Digunakan.....2088
Gambar Rajah 5.4	Murid Mengendalikan Alat Radas dan Bahan MFC Dengan Berhati-hati Bagi Mengelakkan Kerosakan2099
Gambar Rajah 5.5	Murid Sedang Menggunakan Multimeter bagi Membaca Nilai Voltan Terhasil Daripada Kompos Buah-Buahan2122
Gambar Rajah 5.6	Murid Menimbang Bahan Yang Digunakan Dalam Aktiviti MFC Dengan Betul2122

SENARAI SINGKATAN

ACT-R	<i>Adaptive Control Thought-Rationale</i>
BPK	Bahagian Pembangunan Kurikulum
ESD	<i>Education for Sustainable Development</i>
KBAT	Kemahiran Berfikir Aras Tinggi
KPM	Kementerian Pendidikan Malaysia
KSSM	Kurikulum Standard Sekolah Menengah
LPM	Lembaga Peperiksaan Malaysia
MFC	<i>Microbial Fuel Cell</i>
PAK21	Pembelajaran Abad ke-21
PdPc	Pembelajaran dan Pemudahcaraan
PIPP	Pelan Induk Pembangunan Pendidikan
PPPM	Pelan Pembangunan Pendidikan Malaysia
SDG	<i>Sustainable Development Goals</i>
STEM	<i>Science, Technology, Mathematics, and Engineering</i>
UNEP	<i>United Nations Environmental Programme</i>
UNESCO	<i>United Nations Decade of Education for Sustainable Development</i>

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Surat Kebenaran Kementerian Pelajaran Malaysia (KPM)
LAMPIRAN B	Surat Kebenaran Jabatan Pendidikan Negeri (JPN) Kedah
LAMPIRAN C	Soalan Aneka Pilihan Bagi Analisis Keperluan
LAMPIRAN D	Jadual Spesifikasi Item (JSI) Bagi Soalan Aneka Pilihan
LAMPIRAN E	Soal Selidik Pengetahuan Terhadap Sel Bahan Bakar Mikrob atau <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC) Bagi Analisis Keperluan
LAMPIRAN F	Protokol Temu Bual Separa Berstruktur (Guru) Bagi Analisis Keperluan
LAMPIRAN G	Protokol Temu Bual Separa Berstruktur (Pakar) Bagi Analisis Keperluan
LAMPIRAN H	Protokol Temu Bual Separa Berstruktur Bagi Kajian Rintis Modul
LAMPIRAN I	Protokol Temu Bual Separa Berstruktur (Murid) Bagi Kajian Kualitatif
LAMPIRAN J	Protokol Temu Bual Separa Berstruktur (Guru) Bagi Kajian Kualitatif
LAMPIRAN K	Soal Selidik Pengetahuan Terhadap Sel Bahan Bakar Mikrob atau <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC) Bagi Kajian Kuantitatif
LAMPIRAN L	Rubrik Kemahiran Manipulatif Dalam Amali Biologi Bagi Kajian Kuantitatif
LAMPIRAN M	Senarai Semak Pemerhatian Berstruktur Bagi Kajian Kualitatif
LAMPIRAN N	Soal Selidik Kesahan Kandungan Aktiviti Modul MFC-BioTekH
LAMPIRAN O	Soal Selidik Kesahan Bahasa Modul MFC-BioTekH
LAMPIRAN P	Soal Selidik Kesahan Kandungan Modul MFC-BioTekH
LAMPIRAN Q	Papan Cerita (<i>Storyboard</i>) Modul MFC-BioTekH
LAMPIRAN R	Surat-surat Lantikan Pakar
LAMPIRAN S	Pengesahan Pakar
LAMPIRAN T	Surat Akuan Kebenaran Ibu Bapa/Penjaga

LAMPIRAN U	Modul Edisi Guru
LAMPIRAN V	Modul Edisi Murid
LAMPIRAN W	Sijil dan Notis Hak Cipta Logo dan Modul MFC-BioTekH
LAMPIRAN X	Sijil Pencapaian

**KEBERKESANAN MODUL MFC-BIOTEKH BERINTEGRASIKAN
MICROBIAL FUEL CELL DALAM MENINGKATKAN PENGETAHUAN
TERHADAP TEKNOLOGI HIJAU DAN KEMAHIRAN
MANIPULATIF DALAM AMALI BIOLOGI**

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan untuk mengkaji keberkesanan Modul MFC-BioTekH yang berintegrasikan cabang teknologi hijau iaitu *Microbial Fuel Cell* atau Sel Bahan Bakar Mikrob dalam meningkatkan pengetahuan terhadap teknologi hijau dan kemahiran manipulatif dalam amali Biologi. Modul MFC-BioTekH dibangunkan berdasarkan Model ADDIE dan melibatkan pelbagai aktiviti MFC yang berteraskan amali. Kajian ini menggunakan reka bentuk kajian Penjelasan Berturutan KUAN-kual (*QUAN-qual Sequential Explanatory Research Design*). Bagi kajian kuantitatif, reka bentuk Pra-Eksperimen: Ujian Pra-Ujian Pasca Satu Kumpulan dijalankan menggunakan Soal Selidik Pengetahuan Terhadap Sel Bahan Bakar Mikrob (MFC) dan Rubrik Kemahiran Manipulatif manakala bagi kajian kualitatif, protokol temu bual separa berstruktur dan pemerhatian PdPc dilaksanakan. Kaedah pensampelan rawak digunakan bagi kajian kuantitatif melibatkan 44 orang murid tingkatan empat aliran sains tulen bagi menjalankan intervensi menggunakan Modul MFC-BioTekH manakala kaedah pensampelan bertujuan digunakan bagi kajian kualitatif melibatkan enam orang informan murid dan dua orang informan guru. Dua orang guru mata pelajaran Biologi terlibat secara kolaboratif sebagai fasilitator semasa pelaksanaan intervensi. Dapatan kajian kuantitatif diuji secara statistik inferensi menggunakan ANOVA Pengukuran Berulang manakala dapatan kajian kualitatif diterjemahkan menggunakan analisis tematik. Dapatan kajian kuantitatif menunjukkan bahawa

intervensi menggunakan Modul MFC-BioTekH memberi kesan yang signifikan ($p < .05$) ke atas pengetahuan terhadap teknologi hijau dan kemahiran manipulatif dalam amali bagi Biologi. Dapatan kajian kualitatif memperlihatkan tema utama yang terdiri daripada Murid Memahami Konsep Berkaitan Teknologi Hijau dan Kemahiran Manipulatif Murid Dalam Amali Mata Pelajaran Biologi. Implikasi dapatan kajian terhadap bidang pendidikan sains adalah tertumpu kepada pelaksanaan kepelbagaian aktiviti pendidikan alam sekitar melalui cabang teknologi hijau iaitu MFC dalam pembelajaran Biologi. Kajian ini memberikan implikasi terhadap PdPc Biologi, Teori Konstruktivisme Sosial dan Teori ACT-R, kaedah pedagogi alam sekitar dan teknologi hijau, serta implikasi terhadap sekolah. Kesimpulannya, intervensi menggunakan Modul MFC-BioTekH yang berintegrasikan *Microbial Fuel Cell* dalam kajian ini terbukti dapat meningkatkan pengetahuan murid terhadap teknologi hijau dan kemahiran manipulatif murid dalam amali Biologi.

**THE EFFECTIVENESS OF MFC-BIOTEKH MODULE INTEGRATED
WITH MICROBIAL FUEL CELL IN IMPROVING KNOWLEDGE OF
GREEN TECHNOLOGY AND MANIPULATIVE SKILLS IN
PRACTICAL FOR BIOLOGY**

ABSTRACT

This study aims to investigate the effectiveness of the MFC-BioTekH Module integrated with Microbial Fuel Cell on the knowledge of green technology and manipulative skills in Biology practical. The MFC-BioTekH module is developed based on the ADDIE Model and involves various MFC activities related to practicals. This study uses the QUAN-qual Sequential Explanatory research design. For the quantitative study, a pre-experimental research design: One Group Pre-Test and Post-Test using Microbial Fuel Cells Knowledge Questionnaire and Manipulative Skills Rubric while for the qualitative study, a semi-structured interview protocol and classroom observation were conducted. The random sampling method was used for a quantitative study involving 44 form four science stream students to conduct an intervention using the MFC-BioTekH Module while the purposive sampling method was used for a qualitative study involving two different informants which are six students and two teachers. Two Biology subject teachers were involved collaboratively as facilitators during the implementation of the intervention. The findings of the quantitative study were analysed through inferential statistical analysis using Repeated Measure ANOVA while the findings of the qualitative study were interpreted using thematic analysis. The findings of the quantitative study were analysed statistically using Repeated Measure ANOVA while the findings of the qualitative study were interpreted using thematic analysis. The findings of the

quantitative study showed that the intervention using the MFC-BioTekH Module has a significant effect ($p < .05$) on the knowledge of green technology and manipulative skills in Biology practicals among Form Four secondary school students. The findings of the qualitative study show the main themes consisting of Students' Understanding on Concepts Related to Green Technology and Students' Manipulative Skills in Biology Practical. The study have implications for the field of science education, particularly concerning the application of a variety of environmental education approaches to teaching Biology classes through the use of green technology. This study provides implications for teaching and learning in Biology, Social Constructivism Theory and ACT-R Theory, environmental education pedagogy and green technology, as well as implications for schools. As a conclusion, the intervention using the MFC-BioTekH Module integrated with Microbial Fuel Cell in this study able to help students to improve their knowledge of green technology and their manipulative skills in Biology practical.

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Perkembangan sistem pendidikan sains dan teknologi abad ke-21 telah mengubah paradigma Pembelajaran dan Pemudahcaraan (PdPc) di seluruh dunia di mana penekanan terhadap kaedah PdPc abad ke-21 semakin meluas dilaksanakan (Faria Ruhana et al., 2024; Nor Hazizah Julaihi & Aniza Hamdan, 2019; Nur Hanani Hussin & Ab. Halim Tamuri, 2017; Siti Hendon Sheikh Abdullah, 2016; Suwanjinda, 2022) bagi melahirkan murid yang mempunyai nilai kebolehpasaran yang tinggi dalam bidang STEM (Stehle & Peters-Burton, 2019). Hal ini kerana pendidikan STEM menggalakkan pemikiran kritis, kerjasama, dan kreativiti (DeCoito & Briona, 2023; Faria Ruhana et al., 2024; Noor Fadzilah Aris, 2020). Pengintegrasian STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) ke dalam sistem pendidikan masa kini adalah sangat penting kerana pendidikan merupakan satu platform yang menentukan kebolehpasaran modal insan yang berkualiti (Brosens & Emmanouil, 2019; Nur Farhana Ramli & Othman Talib, 2017).

Sejajar dengan kemajuan arus sains dan teknologi, sistem pendidikan negara juga berubah bagi memastikan kemajuan Malaysia tidak ketinggalan berbanding dengan negara-negara maju yang lain. Hal ini terbukti dengan transformasi pendidikan yang dilaksanakan di dalam mata pelajaran sains di sekolah (Suraya Bahrum et al., 2017). Transformasi pendidikan yang berlaku juga adalah demi membangunkan potensi para murid melalui pedagogi guru bagi meningkatkan sumber tenaga kepakaran serta tenaga kerja mahir di dalam bidang penyelidikan dan industri utama negara (Nur Zaitul Akmar et al., 2022). Fokus harus diberikan kepada kemahiran

berfikir aras tinggi, pembelajaran berasaskan inkuiri, penyelesaian masalah, pembelajaran kontekstual, pembelajaran kolaboratif, pembelajaran berasaskan projek, dan pendekatan STEM (Ahmad Adnan Mohd Shukri et al., 2020; KPM, 2016). Pendekatan STEM dilihat dapat mengintegrasikan pelbagai aktiviti merentas kurikulum, khususnya apabila melibatkan elemen pendidikan alam sekitar (Koculu & Girgin, 2022; Zetty Zuryanty Zawawi & Ruhizan Mohd Yasin, 2023).

Menurut Falsafah Pendidikan Sains Negara, budaya Sains dan Teknologi perlu diberi penekanan terhadap perkembangan individu melalui pendidikan sains dalam perkembangan individu yang kompetitif, dinamik, tangkas, dan berdaya tahan serta dapat menguasai ilmu sains dan ketrampilan teknologi. Kerajaan telah menggubal dan melaksanakan Dasar Sains dan Teknologi Negara Pertama (1986-1989) bagi mencerminkan komitmen negara dalam memanfaatkan, mengguna serta memajukan sains dan teknologi. Bagi mencapai hasrat tersebut, Malaysia perlu mewujudkan masyarakat yang bersifat saintifik, progresif, berilmu pengetahuan, mempunyai daya perubahan yang tinggi, memandang jauh ke hadapan, berinovatif, dan menjadi penyumbang kepada tamadun sains dan teknologi untuk masa depan (KPM, 2016; MOSTI, 2017). Melalui anjakan Pelan Tindakan STEM Nasional (2018), Kurikulum Bersepadu Sekolah Menengah (KBSM) berubah kepada Kurikulum Standard Sekolah Menengah (KSSM) secara berperingkat bermula dengan Tingkatan 1 pada tahun 2017. Kurikulum bagi mata pelajaran sains turut berubah, termasuklah mata pelajaran Biologi bermula tahun 2020 (KPM, 2018).

Kerja amali telah menjadi komponen kurikulum sains di kebanyakan negara di dunia ini sejak sekian lama (Erduran et al., 2020; Bybee, 1997; Donnelly, 1994; Nazzla Roshita Putri et al., 2024; Nwokocha, 2024). Seiring dengan perkembangan kurikulum Biologi daripada KBSM kepada KSSM, elemen amali dalam mata pelajaran ini turut

diberi penekanan. Hal ini disebabkan mata pelajaran Biologi merupakan salah satu mata pelajaran sains yang menumpukan kepada penguasaan kemahiran psikomotor melalui eksperimen dan amali bagi mengkaji salah satu cabang ilmu sains (Hidayah Mohd Fadzil & Rohaida Mohd Saat, 2020; Nazzla Roshita Putri et al., 2024; Nwokocha, 2024; Windralela Wainin, 2019). Bermula tahun 2021, ujian amali dimasukkan kembali ke dalam silibus Biologi KSSM bagi mengukur kemahiran saintifik murid-murid iaitu kemahiran proses sains dan kemahiran manipulatif. Bersesuaian dengan konsep pendidikan alam sekitar, kerja amali dilihat sebagai salah satu pendekatan PdPc yang terbaik bagi mendedahkan para murid dengan pengalaman pembelajaran di mana mereka perlu berinteraksi dengan bahan atau sumber data sekunder untuk memerhati dan memahami alam semula jadi (Lee & Fauziah Sulaiman, 2018). Pada masa yang sama, kemahiran manipulatif murid dapat diasah melalui kerja amali yang dijalankan kerana melibatkan pelbagai alat radas dan bahan yang berada di dalam makmal (Lok & Yau, 2020).

Pembangunan modul MFC-BioTekH sebagai Bahan Bantu Mengajar (BBM) bagi mata pelajaran Biologi dilihat mampu menjadi satu alternatif bagi menerapkan elemen konstruktif, reka cipta, kreativiti, dan inovasi dalam PdPc. Modul ini juga diharapkan mampu mengasah kemahiran manipulatif murid, terutama ketika sesi amali yang dijalankan semasa PdPc (Abrahams et al., 2013). Diana Susanti et al. (2019) menyatakan, modul merupakan satu pakej pembelajaran yang melibatkan satu siri pengalaman belajar yang dirancang dan dicipta secara sistematik untuk membantu murid-murid mencapai objektif pembelajaran. Pembangunan modul MFC-BioTekH ini juga diharapkan mampu meningkatkan pengetahuan murid terhadap teknologi hijau dan kemahiran manipulatif dalam amali Biologi.

1.2 Latar Belakang Kajian

Pemanasan global merupakan salah satu punca utama kepada perubahan iklim dan mencetuskan kebimbangan di seluruh dunia. Suhu yang melampau menyebabkan impak negatif kepada flora, fauna, manusia dan muka bumi (Siti Nor Syazwani Saibani et al., 2012). Secara purata, suhu Bumi telah meningkat kira-kira 1°C sejak tahun 1970 (Karami et al., 2017). Laporan World Meteorological Organization (WMO) menunjukkan perubahan suhu global terkini telah melebihi 1.2°C berbanding zaman pra-industri pada tahun 1850-an. Tambahan pula, tahun 2020 juga direkodkan sebagai salah satu tahun yang mencatat suhu yang tertinggi (*World Meteorological Organization*, 2021). Pada Jun 2022, suhu di bandar Isesaki di wilayah Gunma di utara Tokyo juga telah mencatatkan suhu paling panas, iaitu 40.2°C (Reuters, 2022).

Peningkatan suhu bumi berlaku akibat kesan daripada aktiviti manusia yang tidak terkawal terutama pelepasan gas rumah hijau. Di Malaysia, kajian yang dijalankan oleh Shamsuddin Shahid et al. (2017) menunjukkan suhu di Semenanjung Malaysia akan meningkat 1.1°C sehingga 3.6°C menjelang akhir abad ini. Rentetan daripada peningkatan suhu global, corak taburan hujan turut berubah serta menyebabkan peningkatan paras laut di sekitar kawasan pesisir, ribut, taufan, dan banjir (Shaho Karami et al., 2017). Fenomena ini juga dilihat semakin meruncing dan memerlukan kerjasama masyarakat global dalam mengurangkan impak terhadap alam sekitar (Ibáñez et al., 2020).

Pelbagai usaha telah diambil bagi mencapai persefahaman sejagat seperti Protokol Montreal (1987) untuk menangani isu penipisan ozon, *International Panel on Climate Control* (IPCC) pada tahun 1988 bagi isu perubahan iklim bumi, *Earth Summit* (1992) dan *Millenium Ecosystem Assesment* (2005) bagi mengkaji sumber

biologi di muka bumi (Petsonk, 1990). Penglibatan Malaysia dalam persidangan ke-26 dalam Konvensyen Rangka Kerja Perubahan Iklim Pertubuhan Bangsa-bangsa Bersatu atau *United Nation Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) atau dikenali sebagai COP26 yang telah berlangsung di Glasgow, Scotland, menunjukkan bahawa Malaysia turut mengambil bahagian dalam menyelesaikan masalah alam sekitar secara global. Kata sepakat yang telah dicapai melalui perjanjian '*The Glasgow Climate Pact*' dalam persidangan tersebut adalah penting bagi memastikan matlamat mengehadkan pemanasan global pada tahap 1.5 darjah Celsius tercapai. Malaysia juga tidak ketinggalan dalam memastikan isu alam sekitar tidak menjadi semakin parah kesan daripada aktiviti manusia.

Melalui Pelan Induk Teknologi Hijau atau *Green Technology Master Plan* Malaysia (2017-2030), Dasar Teknologi Hijau Negara (DHTN) yang dilancarkan pada 24 Julai 2009 menggariskan empat tonggak utama iaitu tenaga, alam sekitar, ekonomi, dan sosial (KeTTHA, 2017) bagi memastikan pembangunan lestari dapat dicapai. Seterusnya, melalui penubuhan Yayasan Hijau Malaysia dan *Centre for Education, Training, and Research in Renewable Energy and Energy Efficiency* (CETREE), pelbagai aktiviti pendidikan alam sekitar berteraskan teknologi hijau dilaksanakan bagi meningkatkan kesedaran dalam kalangan generasi muda ke arah pembangunan alam sekitar yang lestari (KeTTHA, 2017) seiring dengan Matlamat Pembangunan Lestari atau *Sustainable Development Goals* (SDG).

Matlamat yang terkandung dalam SDG menekankan pendidikan sebagai kunci utama bagi menyelesaikan isu alam sekitar secara global, bukan sahaja objektif dan silibus, tetapi juga program-program yang lebih spesifik bagi menghasilkan murid-murid yang kompeten (Ibáñez et al., 2020). SDG menggariskan 17 matlamat, 169 sasaran, dan 232 petunjuk yang diterima pakai oleh 193 negara anggota PBB, termasuk

Malaysia (Jabatan Perangkaan Malaysia, 2019). SDG menggariskan 17 matlamat di mana konteks kajian ini memfokuskan kepada empat matlamat iaitu matlamat ke-4 iaitu kualiti pendidikan (*Quality Education*), matlamat ke-7 iaitu tenaga yang bersih dan berpatutan (*Affordable and Clean Energy*), matlamat ke-12, penggunaan dan pengeluaran yang bertanggungjawab (*Responsible Consumption and Production*) dan matlamat ke 13, tindakan iklim (*Climate Action*) (Jabatan Perangkaan Malaysia, 2019).

Rajah 1.1

Matlamat Pembangunan Lestari (SDG)



Sumber: United Nations (2022)

Malaysia mempunyai potensi untuk membangunkan teknologi hijau yang bukan sahaja memberi faedah kepada ekonomi negara, malah menyokong kelestarian alam sekitar (Nor Farahin Jasmi & Arasinah Kamis, 2019). Pengurangan aktiviti manusia melalui teknologi hijau dapat memelihara alam sekitar dengan mapan (Bradud et al., 2023; Mohd Wira & Hooman Abadi, 2017). Melalui penerapan elemen teknologi hijau dalam pendidikan, tumpuan diberikan kepada kemahiran menangani masalah alam sekitar atas tanggungjawab sosial masyarakat (Norjihan Abdul Ghani, 2022; Yean & Suzieleez Syrene, 2021). Oleh yang demikian, antara pendekatan yang boleh

diambil ialah melalui teknologi sel bahan bakar mikrob atau MFC yang dapat menjana elektrik daripada tenaga kimia yang dihasilkan daripada penguraian susbtrat organik termasuk air sisa melalui bakteria elektrogenik (Khairul Baqir et al., 2018; Naha et al., 2023). MFC juga dilihat berpotensi dapat mengurangkan masalah sumber tenaga, jurang permintaan yang luas, serta perubahan iklim global (Shah et al., 2019). Murid-murid bukan sahaja memperoleh pendidikan yang lebih berkualiti, tetapi juga mampu menyokong usaha kerajaan bagi mengurangkan masalah alam sekitar di samping memelihara hidupan seluruhnya dalam usaha mengurangkan impak aktiviti manusia terhadap iklim dunia.

Penerapan elemen teknologi hijau dapat dilaksanakan dalam kalangan masyarakat bermula dengan pendidikan alam sekitar di sekolah rendah. Pendidikan alam sekitar dan ESD di Malaysia sudah mula diperkenalkan sejak tahun 1982 lagi melalui Kurikulum Bersepadu Sekolah Rendah (KBSR) (Azlinawati Abdullah et al., 2018; Hafsa Taha et al., 2021; Haliza Abdul Rahman, 2017). Penerapan elemen alam sekitar dan ESD bertujuan untuk menghasilkan generasi yang celik alam sekitar termasuklah pengetahuan, sikap, nilai, amalan, serta kemahiran (Hanifah Mahat et al., 2019; Susanti Indah Perwitasari et al., 2023). Sejajar dengan transformasi pendidikan di Malaysia, pendidikan alam sekitar dan ESD kini diterapkan secara lebih spesifik di dalam kurikulum sekolah seiring dengan hasrat KPM dalam mengintegrasikan elemen merentas kurikulum (EMK) iaitu kelestarian alam sekitar, kreativiti, dan inovasi (KPM, 2016). Penerapan elemen teknologi hijau dalam kurikulum dilihat mampu menjana minda murid dalam mencipta pelbagai inovasi dan sentiasa berdaya saing pada peringkat global.

Sehubungan dengan itu, elemen teknologi hijau dapat diaplikasikan dalam sistem pendidikan bagi memupuk minat murid mencintai alam sekitar (Nor Farahin Jasmi & Arasinah Kamis, 2019) sekaligus meningkatkan pemahaman murid terhadap teknologi hijau. Ini juga disokong oleh Siti Nor Syazwani Saibani et al. (2012) di mana kerajaan seharusnya mengambil inisiatif bagi menganalisis kurikulum yang mengintegrasikan elemen teknologi hijau dalam sistem pendidikan di Malaysia yang bermula dengan pendidikan tahap rendah atau pra-sekolah sehingga pendidikan tahap tertinggi.

Aktiviti PdPc Biologi akan menjadi lebih komprehensif dan efektif seiring dengan hasrat KPM (Nur Zaitul Akmar et al., 2022) apabila dilaksanakan melalui kepelbagaian pendekatan pedagogi, khususnya amali. Melalui penerapan aktiviti teknologi hijau dalam pendidikan alam sekitar, keupayaan murid dalam menggunakan peralatan makmal sains seperti termometer, silinder penyukat, penunu Bunsen, dan mikroskop dapat diuji (Hidayah Mohd Fadzil & Rohaida Mohd Saat, 2014; Summayyah Aimi Mohd Najib et al., 2020; Suheirfiza Mat Jap, 2016) dengan lebih sistematik dan terancang. Keberkesanan aktiviti teknologi hijau semasa proses PdPc Biologi yang melibatkan bahan, material, peralatan, dan sumber konkrit adalah bergantung kepada perancangan, persediaan yang sistematik, objektif yang jelas, dan tugas yang berkesan (Suheirfiza Mat Jap, 2016; Sukumar, 2019). Kemahiran manipulatif murid juga sangat penting untuk mengenalpasti tahap kebolehan dan pencapaian murid dalam mendapatkan pemerhatian dan data yang tepat ketika menjalankan amali (Lok & Yau, 2020; Hidayah Mohd Fadzil & Rohaida Mohd Saat, 2013; Hidayah Mohd Fadzil & Rohaida Mohd Saat, 2017; Hidayah Mohd Fadzil & Rohaida Mohd Saat, 2019; Hidayah Mohd Fadzil & Rohaida Mohd Saat, 2020).

Bagi membantu murid-murid memahami konsep teknologi hijau dalam mata pelajaran Biologi, penyelidik mengadaptasi teori konstruktivisme, selari dengan pembelajaran abad ke-21 di mana murid-murid mampu belajar secara aktif (Zurainu Mat Jasin & Abdull Sukor Shaari, 2012) dalam mengaplikasikan pengetahuan sedia ada dengan pengalaman sebenar dalam kehidupan seharian (Vygotsky, 1997). Matlamat pendidikan alam sekitar melalui teknologi hijau yang dimasukkan ke dalam silibus Biologi tidak akan tercapai jika tiada perancangan sistematik dan lengkap dalam pembinaan sesebuah modul (Farihah Mohd Jamel et al., 2021; Riasat Ali et al., 2010) kerana aktiviti-aktiviti teknologi hijau yang dijalankan bergantung kepada penglibatan aktif murid dalam mengenal pasti persekitaran semulajadi, pengumpulan maklumat, latihan kepada murid bagi menguasai kemahiran belajar dan mengaplikasikannya dalam kehidupan seharian (Arasinah Kamis et al., 2017; Al Fowehi Hazaa et al., 2011). Aktiviti amali yang terdapat dalam Modul MFC-BioTekH yang dibina ini adalah sama seperti amali Biologi yang dilaksanakan semasa PdPc. Justeru itu, melalui penggunaan modul MFC-BioTekH sebagai bahan bantu mengajar, diharapkan mampu meningkatkan pengetahuan murid terhadap teknologi hijau, sekaligus meningkatkan kemahiran manipulatif murid itu sendiri ketika melaksanakan amali Biologi.

1.3 Penyataan Masalah

Pendidikan alam sekitar dan ESD adalah penting bagi mendidik masyarakat bermula dari alam persekolahan. Transformasi kurikulum daripada KBSM kepada KSSM telah membawa kepada integrasi teknologi hijau dalam kurikulum sains, termasuklah mata pelajaran Biologi (KPM, 2017; Mohd Wira Mohd Shafiei, 2018; Siti Nor Syazwani Saibani et al., 2012). Namun begitu, elemen teknologi hijau dalam

pendidikan alam sekitar tidak ditekankan secara menyeluruh menyebabkan pengetahuan dan pemahaman murid-murid terhadap pendidikan alam sekitar masih rendah (Amarumi Alwi et al., 2017; Azlinawati Abdullah et al., 2018; Wan Ahmad Suhaidi et al., 2019). Antara sebabnya adalah elemen pendidikan alam sekitar dan ESD yang terkandung di dalam kurikulum sains dan Biologi hanya dilaksanakan melalui pembelajaran secara teori sahaja. Ini menyebabkan murid-murid tidak mempunyai pengetahuan dan kemahiran yang tinggi dalam menguruskan alam sekitar dengan bijak.

Sungguhpun pengintegrasian elemen pendidikan alam sekitar seperti teknologi hijau adalah penting bagi menerapkan pengetahuan yang tinggi dalam kalangan murid-murid sekolah, murid-murid didapati masih kurang pengetahuan dan kefahaman terhadap teknologi hijau. Ini menyebabkan kurangnya kosa kata dan istilah-istilah teknologi hijau yang dikuasai oleh murid sekaligus menyebabkan murid-murid tidak mengetahui dan memahami konsep teknologi hijau dengan lebih mendalam. Buktinya, dapatan hasil kajian Siti Nor Syazwani Saibani et al. (2012) juga menunjukkan integrasi topik-topik berkaitan teknologi hijau adalah tidak menyeluruh dan perlu dikemaskini mengikut peringkat dan tahap pemahaman murid. Dapatan ini diperoleh berdasarkan analisis sukatan dan kurikulum yang dilaksanakan oleh KeTTHA pada tahun 2011 melibatkan prasekolah, sekolah rendah, dan sekolah menengah. Kurikulum sedia ada pula yang menekankan program pendidikan alam sekitar secara formal juga adalah kurang efektif (Torkar & Bogner, 2019) dalam meningkatkan pengetahuan murid terhadap teknologi hijau. Maka, pengetahuan murid-murid terhadap teknologi hijau adalah rendah kerana masa yang diperuntukkan bagi mempelajari konsep teknologi hijau adalah sangat minimum bagi mata pelajaran Biologi.

Kajian yang dijalankan oleh Shri dan Tiwari (2021) ke atas 280 orang pelajar universiti mendapati hampir 40% daripada responden kajian tidak mengetahui tentang alam sekitar dan tidak mahu mengubah gaya hidup mereka untuk melindungi alam sekitar. Pada masa yang sama, terdapat beberapa kajian yang berkaitan dengan pelaksanaan dan aplikasi teknologi hijau di kolej vokasional. Menurut kajian yang dijalankan oleh Anusuya Kaliappan dan Hashima Hamid (2022), pengetahuan terhadap teknologi alam sekitar pelajar-pelajar kolej vokasional adalah berada pada tahap sederhana. Kajian yang dijalankan oleh Nurzalikha Sa'adi & Nadzirah Zainordin (2019) menggunakan soal selidik terhadap 200 orang responden pula menunjukkan lebih 60% responden kajian tidak mengetahui konsep teknologi hijau. Kajian ini juga selaras dengan kajian yang telah dijalankan oleh Siti Rohani Johar (2013) terhadap warga universiti, di mana tahap pengetahuan pelajar terhadap teknologi hijau berada pada tahap yang sederhana.

Selain daripada itu, kandungan pendidikan alam sekitar dan ESD yang lebih berfokus kepada pembelajaran teori menyebabkan kurangnya pembelajaran melalui aktiviti amali yang menjurus kepada alam sekitar, khususnya teknologi hijau. Ini menyebabkan murid-murid kurang menguasai kemahiran manipulatif. Pendekatan pendidikan bagi mata pelajaran sains, terutama mata pelajaran Biologi perlu lebih relevan dan dapat disesuaikan dengan perubahan dalam pembangunan sains dan teknologi. Maka, salah satu pendekatan yang boleh diambil dan boleh mencetuskan minat murid adalah melalui kerja amali (Sorgo & Spornjak, 2012). Walaupun pendekatan amali sains telah lama dimasukkan ke dalam kurikulum Biologi, namun murid-murid masih mempunyai masalah dalam menguasai kemahiran manipulatif ketika mengendalikan peralatan saintifik di dalam makmal kerana tidak mengenal alat radas di dalam makmal (Azuuga et al., 2021).

Penguasaan kemahiran manipulatif melibatkan penggunaan alat radas dan bahan ketika menjalankan aktiviti amali sains adalah sangat penting (Hidayah Mohd Fadzil & Rohaida Mohd Saat, 2017; KPM, 2020; Sedumedi, 2017). Namun, amali sedia ada juga tidak berkesan meningkatkan kemahiran manipulatif murid, kerana murid-murid hanya mengikut arahan yang diberikan guru tanpa menggunakan kemahiran manipulatif, kreativiti dan pemikiran kognitif untuk memproses maklumat (Shana & Abulibdeh, 2020). Buktinya, guru-guru lebih mendominasi aktiviti amali ketika sesi PdPc melalui demonstrasi menyebabkan kurangnya penglibatan aktif murid ketika menjalankan eksperimen. Prosedur yang disediakan di dalam buku amali sedia juga adalah terhad. Ini menyebabkan murid-murid tidak dapat mengaplikasikan pengetahuan dan menguasai kemahiran manipulatif dalam aktiviti amali (Nur Zaitul Akmar et al., 2022; Ward & Wyllie, 2019; Wilcox & Lewandowski, 2016). Ini menyebabkan murid-murid lebih cenderung menghafal prosedur yang terkandung di dalam buku teks, tanpa memahami dan seterusnya tidak dapat menguasai kemahiran manipulatif ketika amali Biologi dijalankan apabila melibatkan pelbagai alat radas dan bahan yang baru.

Kajian yang dijalankan oleh Chua dan Mageswary Karpudewan (2017) mendapati penglibatan murid dalam menjalankan eksperimen adalah masih rendah dan mereka tidak dibimbing secara berkesan oleh guru. Pembelajaran semasa di sekolah melibatkan teknologi hijau bagi mata pelajaran Biologi melalui amali juga adalah terhad dan tidak menjurus kepada teknologi hijau terkini (Jariah Khalib et al., 2020). Dapatan ini memberikan implikasi bahawa penekanan kepada kemahiran manipulatif semasa PdPc amali atau eksperimen masih belum berjaya meningkatkan tahap kemahiran manipulatif murid dalam amali. Kajian-kajian oleh Hidayah Mohd Fadzil dan Rohaida Mohd Saat (2013); Hidayah Mohd Fadzil dan Rohaida Mohd Saat (2017);

Hidayah Mohd Fadzil dan Rohaida Mohd Saat (2019); Hidayah Mohd Fadzil dan Rohaida Mohd Saat (2020) juga telah merumuskan bahawa proses pembelajaran amali adalah sangat penting dalam menyelesaikan isu kemahiran manipulatif, terutama dalam melibatkan penggunaan alat radas dan bahan di dalam makmal secara berkesan.

Sehubungan dengan itu, penggunaan modul pembelajaran sebagai Bahan Bantu Mengajar (BBM) dilihat mampu menggabungkan pelbagai kaedah dan pendekatan pedagogi (Handayani et al., 2021) secara sistematik dan terancang bagi menerapkan konsep teknologi hijau terkini dan pembelajaran Biologi melalui amali bagi mengasah kemahiran manipulatif murid. Berdasarkan permasalahan yang wujud dalam perbincangan di atas, Modul MFC-BioTekH telah dibina melibatkan pelbagai aktiviti amali berteraskan cabang teknologi hijau iaitu *Microbial Fuel Cell*. Aktiviti-aktiviti tersebut menekankan konsep teknologi hijau melalui penggunaan sumber-sumber sisa pertanian, air sisa, dan sisa domestik serta bagaimana sisa-sisa tersebut mampu menjana elektrik melalui pengendalian pelbagai alat radas dan bahan MFC. Ini sekaligus yang dapat meningkatkan pengetahuan murid terhadap teknologi hijau dan kemahiran manipulatif dalam amali Biologi.

1.4 Objektif Kajian

Kajian ini dilakukan bertujuan mengkaji kesan Modul MFC-BioTekH berintegrasikan *Microbial Fuel Cell* ke atas pengetahuan murid terhadap teknologi hijau dan kemahiran manipulatif murid dalam amali Biologi. Secara spesifiknya, objektif kajian ini adalah untuk:

- 1.4.1 Membangunkan modul MFC-BioTekH bagi mata pelajaran Biologi
Tingkatan Empat.

1.4.2 Mengenal pasti keberkesanan modul MFC-BioTekH berintegrasikan *Microbial Fuel Cell*.

1.4.2.1 Mengenal pasti kesan modul dalam meningkatkan pengetahuan murid terhadap teknologi hijau.

1.4.2.2 Mengenal pasti kesan modul dalam meningkatkan kemahiran manipulatif murid dalam amali Biologi.

1.4.3 Meneroka sejauh mana modul MFC-BioTekH yang berintegrasikan *Microbial Fuel Cell* dapat meningkatkan pengetahuan teknologi hijau dan kemahiran manipulatif dalam amali bagi amali Biologi.

1.5 Persoalan Kajian

1.5.1 Bagaimanakah modul MFC-BioTekH bagi mata pelajaran Biologi dapat dibangunkan?

1.5.2 Apakah keberkesanan Modul MFC-BioTekH yang berintegrasikan *Microbial Fuel Cell* dalam meningkatkan pengetahuan terhadap teknologi hijau dan kemahiran manipulatif dalam amali Biologi?

1.5.2.1 Adakah terdapat perbezaan skor min Ujian Pra, Ujian Pasca, dan Ujian Pasca Lanjutan bagi pengetahuan terhadap teknologi hijau selepas penggunaan modul MFC-BioTekH?

1.5.2.2 Adakah terdapat perbezaan skor min Ujian Pra, Ujian Pasca, dan Ujian Pasca Lanjutan bagi kemahiran manipulatif dalam amali Biologi selepas penggunaan modul MFC-BioTekH?

1.5.3 Sejauh manakah modul MFC-BioTekH dapat meningkatkan pengetahuan teknologi hijau dan kemahiran manipulatif dalam amali Biologi?

1.6 Hipotesis Kajian

Berdasarkan persoalan kajian pada 1.5.2, hipotesis kajian yang boleh dikemukakan termasuklah:

H₀₁: Tidak terdapat perbezaan yang signifikan penggunaan modul MFC-BioTekH ke atas skor min Ujian Pra, Ujian Pasca, dan Ujian Pasca Lanjutan bagi pengetahuan terhadap teknologi hijau.

H₀₂: Tidak terdapat perbezaan signifikan penggunaan modul MFC-BioTekH ke atas skor min Ujian Pra, Ujian Pasca, dan Ujian Pasca Lanjutan bagi kemahiran manipulatif dalam amali Biologi.

1.7 Kepentingan Kajian

Setiap kajian yang dijalankan oleh para penyelidik bertujuan memberikan manfaat kepada semua pihak, termasuklah kepada para penyelidik lain dalam bidang pendidikan sains, khasnya pendidikan Biologi. Pelbagai kajian melibatkan penerapan pendidikan alam sekitar telah dijalankan sebelum ini (Amarumi Alwi, 2018; Amarumi Alwi et al., 2017; Anusuya Kaliappan & Hashima Hamid, 2021; Anusuya Kaliappan & Hashima Hamid, 2022, Arasinah Kamis et al., 2019; Arasinah Kamis et al., 2016; Azlinawati Abdullah et al., 2018; Brosens & Emmanouil, 2019; Hanifah Mahat et al., 2016; Noor Azmi, 2020; Sarah Alisa Abdul Razak, 2019). Namun, kajian-kajian yang telah dijalankan adalah lebih berfokus kepada pendidikan alam sekitar secara umum serta tidak melibatkan penekanan terhadap kemahiran manipulatif dalam amali Biologi di dalam bilik darjah. Kajian-kajian lepas yang melibatkan teknologi hijau juga hanya tertumpu kepada aktiviti kitar semula serta melibatkan pendidikan Teknik dan Vokasional (TVET), bukannya pendidikan sains seperti Biologi.

1.7.1 Kepentingan Kepada Murid

Kajian yang dijalankan ini penting dalam menerapkan elemen pendidikan alam sekitar iaitu teknologi hijau secara eksplisit khususnya para murid ketika menjalankan amali Biologi. Dapatan kajian yang telah dijalankan juga dapat memberikan petunjuk tentang keberkesanan pembelajaran cabang teknologi hijau iaitu *Microbial Fuel Cell* dalam meningkatkan pengetahuan murid terhadap teknologi hijau tersebut sekaligus meningkatkan penguasaan murid terhadap kemahiran manipulatif dalam amali Biologi. Modul teknologi hijau sedia ada tidak memfokuskan mana-mana cabang teknologi hijau secara menyeluruh, maka, kajian ini dilihat mampu mendedahkan murid dengan konsep teknologi hijau melalui penggunaan air sisa, sisa domestik, kompos, serta sisa taman dengan lebih mendalam. Kepelbagaian sumber alat radas dan bahan yang digunakan dalam pemasangan MFC dapat meningkatkan penguasaan murid dalam mengendalikan alat radas dan bahan di makmal dengan baik. Contohnya penggunaan multimeter, klip buaya, penyediaan kultur bakteria, serta penyediaan sumber MFC.

Penerapan elemen teknologi hijau di dalam modul ini juga mampu mencungkil bakat para murid mencipta pelbagai produk inovasi teknologi hijau serta mampu memantapkan kemahiran saintifik mereka, terutama kemahiran manipulatif. Melalui aktiviti MFC yang dijalankan, murid-murid didedahkan dengan prosedur penyediaan sumber MFC dan pelaksanaannya yang mampu menjana elektrik dengan lebih sistematik. Maka, minat murid-murid dalam bidang STEM, khasnya Biologi dapat ditingkatkan. Akhir sekali, modul MFC-BioTekH berintegrasikan *Microbial Fuel Cell* ini dapat dijadikan panduan yang lebih komprehensif bagi menjalankan PdPc Biologi melibatkan elemen pendidikan alam sekitar iaitu teknologi hijau dengan lebih menarik, sekaligus meningkatkan pengetahuan mereka serta kemahiran manipulatif dalam amali Biologi.

1.7.2 Kepentingan Kepada Guru dan Sekolah

Kajian ini juga dapat memberikan peluang kepada guru merangka proses PdPc bagi menerangkan konsep teknologi hijau melalui pendekatan yang lebih kreatif dan inovatif. Modul ini juga membantu para guru untuk mempelbagaikan kaedah pengajaran amali selaras dengan kehendak KPM yang menginginkan amalan pembelajaran abad ke 21 (PAK-21) diterapkan di dalam kelas (Ahmad Adnan Mohd Shukri, 2019). Inisiatif membangunkan modul pembelajaran berasaskan aktiviti amali ini perlu dilaksanakan untuk membantu guru-guru Biologi. Pelbagai aktiviti MFC ‘hands-on’ yang sesuai dapat dilaksanakan dalam satu tempoh masa PdPc yang tetap supaya pengisian aktiviti tersebut menjadi ringkas tetapi bermakna melalui bimbingan guru.

Seterusnya, dapatan kajian melalui penggunaan modul MFC-BioTekH berintegrasikan *Microbial Fuel Cell* menjadi perintis kepada cabang teknologi hijau yang baru di Malaysia. Guru-guru dapat menjalankan program pembelajaran pendidikan alam sekitar melalui aktiviti MFC sama ada di dalam atau di luar bilik darjah (Al Fowehi Hazaa et al., 2011). Banyak faedah yang diperoleh daripada aktiviti MFC, bukan sahaja mendedahkan guru kepada cabang teknologi hijau yang baru, tetapi juga memberikan alternatif kepada guru-guru sains, khususnya guru Biologi bagi menjalankan pembelajaran pendidikan alam sekitar merentas kurikulum melalui amali Biologi. Ini adalah kerana aktiviti MFC melibatkan elemen STEM yang lain iaitu Matematik, Fizik, dan Kimia. Tahap pengetahuan dan pemahaman guru-guru terhadap cabang teknologi hijau juga dapat ditingkatkan. Guru-guru juga dapat menjalankan aktiviti MFC ketika aktiviti kokurikulum. Ini secara tidak langsung dapat membantu sekolah dalam menyusun aktiviti STEM dengan lebih berkesan.

1.7.3 Kepentingan Kepada PPD, JPN dan KPM

Kajian yang dijalankan ini mempunyai beberapa kepentingan kepada PPD, JPN, dan KPM. Antaranya modul MFC-BioTekH ini dapat membantu merealisasikan hasrat PPD, JPN, dan KPM bagi menghasilkan modal insan yang berdaya saing, kreatif, dan inovatif seiring dengan perkembangan dan revolusi industri 5.0. Di samping itu, penerapan elemen teknologi hijau juga membantu memupuk sikap cinta akan alam sekitar dalam kalangan murid, guru, serta warga sekolah yang lain. Hasrat kerajaan bagi mencapai matlamat yang termaktub dalam SDG juga mampu dicapai. Seterusnya, dapatan kajian melalui penggunaan modul MFC-BioTekH pada peringkat JPN, PPD, dan sekolah dilihat mampu menarik minat murid terhadap mata pelajaran Biologi, sekaligus meningkatkan pencapaian akademik murid bagi mata pelajaran Biologi, termasuklah kemahiran manipulatif mereka semasa menjalankan ujian amali.

Seterusnya, melalui dapatan kajian juga, pelbagai strategi dan modus operandi dapat digubal oleh PPD dan JPN seiring dengan hasrat kerajaan bagi menghasilkan modal insan yang berkualiti melalui kemahiran abad ke-21. Ini sejajar dengan kajian yang dijalankan oleh Arasinah Kamis et al. (2016), di mana penghasilan murid yang kompeten dan berkualiti adalah penting melalui aktiviti teknologi hijau. Kekuatan serta kelemahan yang wujud dalam pembelajaran pendidikan alam sekitar, khususnya teknologi hijau dapat dikenal pasti. Seterusnya, Modul MFC-BioTekH yang telah dibina juga boleh dijadikan panduan dan sumber rujukan kepada Sektor Pengurusan Akademik Pejabat Pendidikan Daerah (PPD), Jabatan Pendidikan Negeri (JPN), serta Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM) bagi menyusun kursus-kursus yang sesuai kepada para guru melibatkan pendidikan alam sekitar dan amali sains seterusnya meningkatkan kompetensi guru-guru sains, khasnya Biologi.

1.8 Definisi Operasional

Berikut ialah istilah-istilah yang perlu diberikan takrifan dalam konteks kajian ini untuk memudahkan kefahaman kajian ini:

1.8.1 Teknologi Hijau

Secara umumnya, teknologi hijau boleh didefinisikan sebagai produk, peralatan atau sistem yang memenuhi kriteria seperti meminimumkan degradasi kualiti persekitaran, mempunyai pembebasan gas rumah hijau yang rendah atau sifar, selamat untuk digunakan dan menyediakan persekitaran sihat dan lebih baik untuk semua hidupan, menjimatkan tenaga dan sumber asli dan menggalakkan sumber yang boleh diperbaharui (Iskandar Hasan Tan Abdullah, 2015). Menurut Laporan IPCC 2014, terdapat tujuh sektor teknologi hijau yang utama iaitu sektor Bekalan Tenaga, Pengurusan Sisa dan Air Sisa, Bangunan, Pengangkutan, Industri, ICT, serta Pertanian dan Perhutanan.

Dalam konteks kajian ini, teknologi hijau yang difokuskan adalah melibatkan sektor Pengurusan Sisa dan Air Sisa dan Bekalan Tenaga. Cabang teknologi hijau iaitu *Microbial Fuel Cell* (MFC) atau Sel Bahan Bakar Mikrob yang digarap masuk ke dalam modul MFC-BioTekH berperanan sebagai satu cara mengintegrasikan pendidikan alam sekitar ke dalam mata pelajaran Biologi. Cabang teknologi hijau ini melibatkan sektor Pengurusan Sisa dan Air Sisa dan Bekalan Tenaga kerana melibatkan penggunaan sisa dapur dan sisa domestik seperti enap cemar dan enap cemar ternyah air, sisa taman, serta najis haiwan ternakan bagi menghasilkan bahan api bio sebagai salah satu Tenaga Boleh Baharu.

1.8.2 Pengetahuan Terhadap Teknologi Hijau

Konsep teknologi hijau perlu dipelajari oleh semua golongan bagi mendidik masyarakat ke arah yang lebih peka terhadap masalah alam sekitar. Pengetahuan terhadap teknologi hijau merujuk kepada kecenderungan individu untuk memahami teknologi hijau sebagai penyelesaian kepada isu alam sekitar yang berkaitan dengan ekosistem dan alam semula jadi (Anusuya Kaliappan & Hashima Hamid, 2022). Apabila konsep teknologi hijau difahami, ini dapat membantu membangunkan masyarakat berilmu dan mendorong ke arah mempraktikkan tenaga lestari serta cara hidup yang lebih baik.

Dalam konteks kajian ini, pengetahuan terhadap teknologi hijau merujuk kepada pemahaman murid tentang bagaimana sel bahan bakar mikrob (MFC) berfungsi dan memahami MFC sebagai salah satu cabang teknologi hijau yang membantu mengurangkan masalah alam sekitar melalui penggunaan semula sisa dan air sisa serta kompos yang mampu membekalkan tenaga boleh baharu dan penjanaan elektrik.

1.8.3 Kemahiran Manipulatif Dalam Amali Biologi

Kaedah mengeksperimen melibatkan kemahiran saintifik yang terdiri daripada kemahiran proses sains dan kemahiran manipulatif. Kemahiran manipulatif merupakan kemahiran psikomotor dalam penyiasatan sains yang membolehkan murid mengguna dan mengendalikan peralatan serta bahan sains dengan betul dan selamat, menyimpan peralatan dan bahan sains dengan cara yang betul, mengendalikan spesimen hidup dan bukan hidup dengan betul dan cermat, mematuhi arahan eksperimen dan membuat pemerhatian, perekodan serta pengukuran dengan betul (KPM, 2019; Hidayah Mohd Fadzil & Rohaida Mohd Saat, 2017; Hidayah Mohd

Fadzil & Rohaida Mohd Saat, 2014). Menurut Abrahams dan Reiss (2015), kemahiran manipulatif juga dirujuk sebagai kemahiran praktikal, iaitu kecekapan individu untuk memanipulasi peralatan atau peralatan tertentu dalam amali bagi mata pelajaran sains.

Dalam konteks kajian ini, kemahiran manipulatif merujuk kepada kemahiran murid ketika menggunakan semua bahan dan peralatan dalam setiap aktiviti teknologi hijau yang terkandung di dalam modul MFC-BioTekH bagi mata pelajaran Biologi. Oleh yang demikian, melalui pendidikan alam sekitar yang menggunakan elemen teknologi hijau ini, murid-murid didedahkan dengan pelbagai aktiviti yang menyumbang kepada pemahaman konsep sel bahan bakar mikrob atau MFC melalui alat radas dan bahan MFC termasuklah pemerhatian dan pengukuran melalui aktiviti amali.

1.8.4 Modul MFC-BioTekH

Modul MFC-BioTekH merupakan singkatan kepada 'Modul *Microbial Fuel Cell*-Biologi Teknologi Hijau. Modul ini mengandungi aktiviti-aktiviti MFC yang menggunakan amali Biologi dan diolah supaya aktiviti teknologi hijau menggunakan pendekatan *Microbial Fuel Cell* dapat dihasilkan. Ciri-ciri pembelajaran menggunakan prosedur amali adalah selari dengan kehendak pendidikan alam sekitar yang melibatkan teori konstruktivisme (Bramwell-Lalor et al., 2020). Murid dididik supaya lebih bertanggungjawab terhadap pembelajaran mereka, mengembangkan, dan memahami serta menyusun maklumat dengan baik, terutama dalam menjalankan aktiviti amali berasaskan teknologi hijau yang melibatkan pendidikan alam sekitar.

Dalam konteks kajian ini, Modul MFC-BioTekH yang dibina mengandungi lapan aktiviti yang melibatkan penggunaan sumber MFC termasuklah kompos sisa dapur, enap cemar, enap cemar ternyah air, kompos roti dan nasi, kompos sayur dan

buah, najis haiwan ternakan, serta kompos sisa taman. Selain pengenalan kepada konsep MFC, Modul MFC-BioTekH mengandungi kaedah penyediaan dan pelaksanaan sumber MFC semasa menjalankan aktiviti amali.

1.9 Limitasi dan Delimitasi Kajian

Kajian ini tertakluk kepada beberapa limitasi dan delimitasi kajian. Limitasi kajian adalah merujuk kepada kelemahan kajian di luar kawalan penyelidik manakala delimitasi pula adalah skop kajian yang dibentuk dan ditetapkan oleh penyelidik dalam melaksanakan kajian (Anis Norma Mohamad Jaafar, 2019; Othman Talib, 2010). Faktor jarak, masa, dan kos menyebabkan populasi kajian adalah hanya melibatkan murid-murid sekolah menengah di daerah Kulim sahaja. Sebuah sekolah menengah sahaja yang terlibat dalam kajian ini kerana kesanggupan dan kerjasama yang diberikan oleh pentadbir dan warga sekolah tersebut. Pengaruh luaran yang terlibat adalah pengetahuan sedia ada murid terhadap teknologi hijau yang amat dipengaruhi oleh keluarga, rakan, masyarakat, tempat tinggal, dan media massa.

Kajian ini hanya tertumpu kepada sebuah sekolah menengah harian dan terbatas kepada murid-murid tingkatan empat aliran sains tulen di sebuah sekolah menengah harian yang mengambil mata pelajaran Biologi sahaja. Pemilihan sampel kajian adalah berdasarkan strategi pembelajaran yang memfokuskan cabang teknologi hijau yang lebih sesuai dengan isi kandungan kurikulum Biologi KSSM dan tahap keupayaan murid-murid menengah atas. Ini berdasarkan kandungan dokumen standard kurikulum dan pentaksiran (DSKP) mata pelajaran Biologi bagi Tema Kelestarian Alam Sekitar. Pensampelan rawak mudah (*simple random sampling*) bagi kajian kuantitatif dan pensampelan bertujuan (*purposive sampling*) bagi kajian kualitatif juga dilakukan kerana pemilihan sampel melibatkan pengurusan masa dan pentadbiran sekolah serta

kesediaan murid-murid bagi menjalankan aktiviti berasaskan amali menggunakan alat radas dan bahan MFC yang tidak pernah dipelajari sebelum ini.

Seterusnya, skop kajian ini hanya melibatkan cabang pembelajaran pendidikan alam sekitar iaitu teknologi hijau sahaja ditekankan. Maka, pencapaian murid terhadap mata pelajaran Biologi tidak dapat diukur secara spesifik disebabkan pembelajaran yang terhad kepada aktiviti amali di dalam makmal sahaja. Cabang teknologi hijau iaitu *Microbial Fuel Cell* dipilih untuk difokuskan dalam kajian ini kerana penekanan terhadap isu alam sekitar semakin meruncing dan perlu ditekankan dengan menyeluruh bagi mendidik masyarakat agar lebih bertanggungjawab terhadap alam sekitar melalui penggunaan sisa pepejal dan kompos (Arasinah Kamis et al., 2018; Fang et al., 2023; Zurainy Rahman et al., 2019). Pengendalian alat radas dan bahan di dalam makmal juga adalah terhad kepada alat radas dan bahan MFC ketika menjalankan aktiviti amali. Rasional pemilihan alat radas dan bahan MFC adalah mudah diperolehi dan dikendalikan di dalam makmal serta memerlukan kos yang rendah.

1.10 Rumusan

Secara kesimpulannya, bab ini menerangkan beberapa istilah penting dalam kajian yang dijalankan. Objektif kajian yang dinyatakan adalah berdasarkan pengetahuan murid terhadap teknologi hijau di dalam pembinaan modul MFC-BioTekH berintegrasikan *Microbial Fuel Cell* dan kemahiran manipulatif dalam amali Biologi. Malahan, persoalan kajian yang dibina juga adalah berdasarkan objektif kajian iaitu peningkatan pengetahuan murid terhadap teknologi hijau dan kemahiran manipulatif dalam amali Biologi. Kepentingan serta limitasi kajian turut dibincangkan dengan jelas di dalam bab ini.

BAB 2

SOROTAN LITERATUR

2.1 Pendahuluan

Bab ini menerangkan secara langsung konteks kajian yang telah dijalankan. Melalui sorotan literatur, latar belakang kajian dapat diterjemahkan dengan lebih jelas kepada para pembaca berdasarkan kajian-kajian yang lepas. Teori pembelajaran dan model berkaitan kajian ini juga dibincangkan dengan lebih terperinci melalui kerangka teori yang dibina. Kerangka teori merangkumi Teori Konstruktivisme Sosial, Model Pendidikan Alam Sekitar, dan Teori ACT-R. Kerangka konseptual yang menunjukkan hubungan antara pemboleh ubah bersandar dan pemboleh ubah tidak bersandar juga diterangkan dengan lebih mendalam dalam bab ini.

2.2 Teknologi Hijau

Teknologi hijau telah menjadi salah satu elemen yang diterapkan dalam pendidikan alam sekitar di seluruh dunia. Malaysia juga tidak terkecuali dalam usaha menerapkan pendidikan alam sekitar dalam pendidikan negara. Salah satu agenda Kementerian Pendidikan Malaysia adalah menghasilkan generasi yang berdaya saing seiring dengan arus peredaran zaman. Pendidikan alam sekitar di sekolah seharusnya menekankan konsep asas teknologi hijau itu sendiri kerana ini akan mendidik para murid agar sedar akan kepentingan kelestarian alam sekitar (Arasinah Kamis et al., 2019; Zetty Zuryanty Zawawi & Ruhizan Mohd Yasin, 2023).

Teknologi hijau merupakan pembangunan dan aplikasi produk peralatan dan sistem untuk memulihara alam sekitar serta sumber semula jadi di samping mengurangkan kesan negatif impak daripada aktiviti manusia (Monu Bhardwaj &