

**CIRI-CIRI FAKTOR KUALITI AIR EMPANGAN  
BERIS BERDASARKAN FIZIKOKIMIA DAN  
ANALISIS INTERPOLASI MENGGUNAKAN  
SISTEM MAKLUMAT GEOGRAFI**

**ABDUL RAHMAN BIN MD ISA**

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**2025**

**CIRI-CIRI FAKTOR KUALITI AIR EMPANGAN  
BERIS BERDASARKAN FIZIKOKIMIA DAN  
ANALISIS INTERPOLASI MENGGUNAKAN  
SISTEM MAKLUMAT GEOGRAFI**

oleh

**ABDUL RAHMAN BIN MD ISA**

**Tesis diserahkan untuk  
memenuhi keperluan bagi  
Ijazah Sarjana Sains**

**August 2025**

## **PENGHARGAAN**

**“Bismillahirrahmanirrahim”**

**“In the Mighty Name of ALLAH, The Most Beneficent, The Most Merciful”**

**“Dengan Nama ALLAH Yang Maha Pemurah lagi Maha Penyayang”**

Saya ingin merakamkan ucapan terima kasih dan kasih sayang kepada ibu bapa saya, Allahyarham Md Isa bin Awang dan Pudiah binti Hashim, serta isteri saya Nur Hamiza, anak saya Muhammad Arif Zawawi, dan seluruh keluarga saya, atas sokongan dan tunjuk ajar sepanjang perjalanan Sarjana Sains saya. Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada penyelia saya, Dr. Izham Mohd Yusoff, atas sokongan, teguran, dan persahabatannya. Tanpa penyeliaan dan bantuan Dr. Izham, tesis ini tidak akan dapat disampaikan dengan jayanya. Setinggi-tinggi penghargaan saya kepada jabatan kerja saya MetMalaysia kerana menyediakan data untuk analisis iklim, MUPA USM dan DCM Ipoh untuk analisis yang diperlukan di makmal, IPS USM kerana menyediakan kelulusan lesen percubaan melalui e-mel pelajar untuk menilai perisian ArcGIS Pro 2.9 daripada ESRI, dan kepada semua saya rakan yang telah membantu saya dalam pelbagai cara.

# ISI KANDUNGAN

<b>PENGHARGAAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>ISI KANDUNGAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>SENARAI JADUAL .....</b>	<b>ix</b>
<b>SENARAI RAJAH.....</b>	<b>x</b>
<b>SENARAI SINGKATAN.....</b>	<b>xv</b>
<b>SENARAI LAMPIRAN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>xviii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xx</b>
<b>BAB 1        <b>PENGENALAN.....</b></b>	<b>1</b>
1.1        Pengenalan Umum.....	1
1.2        Pernyataan Masalah.....	3
1.3        Matlamat Penyelidikan.....	5
1.4        Persoalan Kajian.....	6
1.5        Objektif Kajian.....	6
1.6        Skop Kajian.....	7
1.7        Elemen Utama Penyelidikan.....	8
1.8        Batasan Penyelidikan.....	11
1.9        Kepentingan Penyelidikan.....	12
1.10       Struktur Tesis.....	12
<b>BAB 2        <b>KAJIAN LITERATUR.....</b></b>	<b>14</b>
2.1        Pengenalan.....	14
2.2        Profil geologi kawasan kajian.....	15
2.3        Iklim dan imbalan air di kawasan kajian.....	16

2.4	Asal usul tasik.....	18
2.5	Parameter fizikokimia kualiti air.....	20
2.5.1	Suhu air.....	21
2.5.2	Kekeruhan.....	23
2.5.3	Permintaan Oksigen Biokimia (BOD) .....	25
2.5.4	Permintaan Oksigen Kimia (COD) .....	26
2.5.5	Oksigen Terlarut (DO) .....	28
2.5.6	Jumlah Pepejal Terampai (TSS) .....	29
2.5.7	Jumlah Pepejal Terlarut (TDS) .....	30
2.5.8	Kekonduksian Elektrik (EC) .....	31
2.5.9	Kemasinan.....	32
2.5.10	Klorida.....	34
2.5.11	Fluorida.....	35
2.5.12	Sulfat.....	36
2.5.13	Nitrogen Ammonia (NH <sub>3</sub> -N) .....	38
2.5.14	Kedalaman Secchi.....	39
2.5.15	Jumlah Fosforus.....	41
2.5.16	Klorofil-a.....	42
2.5.17	pH ( <i>Potential of Hydrogen</i> ) .....	45
2.6	Indeks Kualiti Air (DOE-WQI) .....	46
2.7	Indeks Keadaan Trofik Carlson (CTSI) .....	48
2.8	Perbezaan kegunaan Indeks Kualiti Air (WQI) dan Indeks Keadaan Trofik Carlson (CTSI).....	50
2.9	Cabaran kualiti air di malaysia.....	52
2.9.1	Aktiviti akuakultur.....	53

2.9.2	Eko pelancongan.....	54
2.9.3	Penggunaan baja dan air larian pertanian.....	55
2.9.4	Perindustrian dan pembalakan.....	56
2.9.5	Perubahan iklim.....	57
2.10	Aplikasi GIS dalam kajian kualiti air.....	59
2.11	Jenis interpolasi permukaan.....	61
2.11.1	Inverse Distance Weighting (IDW) .....	63
2.11.2	Kriging.....	64
2.11.3	Spline.....	66
2.11.4	Permukaan Arah Aliran.....	68
2.11.5	Poligon Thiessen.....	70
2.12	Analisa permukaan bumi menggunakan imej Landsat 8 OLI-TIRS.....	72
2.12.1	Suhu permukaan tanah dan air menggunakan imej Landsat 8 OLI-TIRS.....	74
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI KAJIAN.....</b>	<b>75</b>
3.1	Pengenalan.....	75
3.2	Kawasan penyelidikan.....	75
3.3	Kaedah pensampelan dan prosedur analisis fizikokimia.....	78
3.3.1	Peralatan analisis in-situ.....	86
3.3.2	Analisis makmal ammonium.....	84
3.3.3	Analisis makmal nitrogen ammonia (NH <sub>3</sub> -N) .....	85
3.3.4	Analisis makmal fluorida dan klorida.....	85
3.3.5	Analisis makmal COD dan BOD.....	85
3.3.6	Analisis makmal terhadap TSS.....	86
3.4	Penilaian kualiti air berdasarkan kaedah statistik.....	86

3.5	Klasifikasi kelas kualiti air dan eutrofikasi menggunakan DOE-WQI dan Indeks Keadaan Trofik Carlson (CTSI) .....	87
3.6	Analisis interpolasi spatial menggunakan ArcGIS.....	88
3.7	Analisis suhu permukaan air menggunakan imej Landsat 8 OLI-TIRS.....	89
3.7.1	Proses mendapatkan pancaran di puncak atmosfera (TOA) bagi sinaran.....	90
3.7.2	Proses mendapatkan pancaran di puncak atmosfera (TOA) bagi suhu.....	91
3.7.3	Mendapatkan indeks perbezaan normalisasi vegetasi (NDVI).....	94
3.7.4	Mendapatkan emisiviti permukaan tanah (LSE).....	95
3.7.5	Mendapatkan suhu permukaan tanah (LST).....	95
3.8	Carta alir metodologi kajian .....	94
<b>BAB 4</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN.....</b>	<b>96</b>
4.1	Pengenalan.....	96
4.2	Aktiviti guna tanah yang memberi kesan kepada kepekatan fizikokimia.....	96
4.3	Bacaan fizikokimia antara pensampelan musim kering dan musim lembap.	99
4.3.1	Bacaan fizikokimia pH.....	99
4.3.2	Bacaan fizikokimia suhu air.....	100
4.3.3	Bacaan fizikokimia oksigen terlarut (DO).....	102
4.3.4	Bacaan fizikokimia kemasinan.....	103
4.3.5	Bacaan fizikokimia jumlah pepejal terlarut dan terampai.....	104
4.3.6	Bacaan fizikokimia kekonduksian.....	105
4.3.7	Bacaan fizikokimia Jumlah Fosforus.....	106
4.3.8	Bacaan fizikokimia klorida.....	107
4.3.9	Bacaan fizikokimia sulfat.....	108

4.3.10	Bacaan fizikokimia BOD dan COD.....	109
4.3.11	Bacaan fizikokimia klorida.....	111
4.3.12	Bacaan fizikokimia kedalaman Secchi.....	115
4.3.13	Bacaan fizikokimia kekeruhan.....	113
4.3.14	Bacaan fizikokimia klorofil-a.....	114
4.4	Kolerasi matriks antara fizikokimia musim lembap dan kering.....	115
4.5	Analisis Indeks Kualiti Air DOE (DOE-WQI) .....	119
4.6	Analisis Indeks Keadaan Trofik Carlson (CTSI) .....	120
4.7	Perbandingan antara teknik interpolasi spatial oleh ArcGIS Pro 2.9.....	121
4.8	Nilai RSME antara analisis interpolasi spatial.....	129
4.9	Analisis interpolasi spatial antara fizikokimia musim kering dan lembap....	131
4.9.1	Interpolasi spatial Indeks Kualiti Air (DOE-WQI) musim lembap dan kering.....	132
4.9.2	Interpolasi spatial CTSI musim lembap dan kering.....	135
4.9.3	Interpolasi spatial pH musim lembap dan kering.....	139
4.9.4	Interpolasi spatial suhu air musim lembap dan kering.....	142
4.9.5	Interpolasi spatial jumlah pepejal larut (TDS) musim lembap dan kering.....	146
4.9.6	Interpolasi spatial jumlah pepejal terampai (TSS) musim lembap dan kering.....	149
4.9.7	Interpolasi spatial kekonduksian musim lembap dan kering.....	153
4.9.8	Interpolasi spatial kekeruhan musim lembap dan kering.....	156
4.9.9	Interpolasi spatial oksigen terlarut (DO) musim lembap dan kering.....	160
4.9.10	Interpolasi spatial BOD dan COD musim lembap dan kering.....	164

4.9.11	Interpolasi spatial kedalaman Secchi musim lembap dan kering.....	171
4.9.12	Interpolasi spatial Jumlah Fosforus (TP) musim lembap dan kering.....	175
4.9.13	Interpolasi spatial Klorofil-a musim lembap dan kering.....	179
4.10	Data min -maks interpolasi spatial terhadap data fizikokimia.....	183
4.11	Analisis suhu air permukaan menggunakan imej Landsat 8 OLI-TIRS.....	185
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN.....</b>	<b>190</b>
5.1	Pengenalan.....	190
5.2	Hasil Penyelidikan.....	190
5.3	Kerja Penyelidikan Lanjutan.....	193
	<b>RUJUKAN.....</b>	<b>195</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	
	<b>SENARAI PENERBITAN</b>	

## SENARAI JADUAL

	<b>Halaman</b>
Jadual 2.1	Maklumat mengenai struktur Empangan Beris (Department of Irrigation and Drainage Malaysia, 2017).....16
Jadual 2.2	Data meteorologi stesen meteorologi bantuan Pusat Pertanian Batu Seketol tahun 2020 (Zu et al., 2021).....17
Jadual 2.3	Klasifikasi dan status kualiti air berdasarkan pengiraan WQI (Jabatan Alam Sekitar Malaysia, 2004)..... 47
Jadual 2.4	Had kelas ambang WQI dan parameter (JAS Malaysia, 2019).....47
Jadual 2.5	Nilai indeks keadaan trofik Carlson dan klasifikasi tasik (Carlson, 1977).....50
Jadual 2.6	Maklumat jalur dan panjang gelombang imej cerapan Landsat 8 OLI dan TIRS (Zhao et al., 2018).....73
Jadual 3.1	Lokasi pensampelan dan koordinat titik pensampelan.....77
Jadual 3.2	Penggunaan peralatan dan penggunaan unit dalam kajian (Uddin et al., 2020).....79
Jadual 4.1	Matriks korelasi antara fizikokimia dalam musim lembap..... 117
Jadual 4.2	Matriks korelasi antara fizikokimia dalam musim kering.....118
Jadual 4.3	Nilai sisihan antara jenis interpolasi dengan menggunakan data suhu kering..... 123
Jadual 4.4	Nilai RSME antara raster interpolasi spatial.....130
Jadual 4.5	Perbandingan data min-maks selepas interpolasi spatial (musim lembap).....184
Jadual 4.6	Perbandingan data min-maks selepas interpolasi spatial (musim lembap).....184

## SENARAI RAJAH

	<b>Halaman</b>
Rajah 1.1	Elemen utama penilaian kualiti air dan interpolasi spatial.....10
Rajah 2.1	Meter kualiti air lapangan model Horiba D-200 khusus untuk . mengambil bacaan suhu dan lain-lain parameter (Horiba Inc)..... 23
Rajah 2.2	Piring Secchi dan meter kekeruhan (Bigham Stephens et al., 2015)..... 23
Rajah 2.3	Model rangkaian poligon Thiessen (Han & Bray, 2006).....70
Rajah 3.1	Lokasi titik pensampelan di Empangan Beris.....78
Rajah 3.2	(a) Peralatan analisis in-situ AZ-86031 dengan probe multi parameter dan (b) peralatan analisis kekeruhan in-situ WGZ-1B..... 81
Rajah 3.3	Carta alir analisis suhu permukaan menggunakan imej Landsat 8 OLI- TIRS..... 90
Rajah 3.4	Carta Alir Metodologi Kajian .....95
Rajah 4.1	Lokasi SS 1 dan SS 2 di Empangan Beris.....97
Rajah 4.2	Lokasi SS 3 di Empangan Beris.....98
Rajah 4.3	Lokasi SS 5 di Empangan Beris.....98
Rajah 4.4	Data cerapan pH semasa musim lembap dan musim kering.....104
Rajah 4.5	Data cerapan suhu air semasa musim lembap dan musim kering.....101
Rajah 4.6	Data cerapan oksigen terlarut musim lembap dan musim kering..... 102
Rajah 4.7	Data cerapan kemasinan semasa musim lembap dan musim kering..103
Rajah 4.8	Data cerapan TDS semasa musim lembap dan musim kering..... 104
Rajah 4.9	Data cerapan TSS semasa musim lembap dan musim kering.....105

Rajah 4.10	Data cerapan kekonduksian semasa musim lembap dan musim kering.....	106
Rajah 4.11	Data cerapan jumlah fosforus semasa musim lembap dan musim kering.....	107
Rajah 4.12	Data cerapan flourida semasa musim lembap dan musim kering.....	108
Rajah 4.13	Data cerapan sulfat semasa musim lembap dan musim kering.....	109
Rajah 4.14	Data cerapan BOD semasa musim lembap dan musim kering.....	110
Rajah 4.15	Data cerapan COD semasa musim lembap dan musim kering.....	110
Rajah 4.16	Data cerapan klorida semasa musim lembap dan musim kering.....	111
Rajah 4.17	Data cerapan kedalaman Secchi semasa musim lembap dan musim kering.....	112
Rajah 4.18	Data cerapan kekeruhan semasa musim lembap dan musim kering..	113
Rajah 4.19	Data cerapan klorofil-a semasa musim lembap dan musim kering....	114
Rajah 4.20	Indeks DOE-WQI pada data cerapan semasa musim lembap dan musim kering.....	119
Rajah 4.21	Data cerapan CTSI semasa musim lembap dan musim kering.....	120
Rajah 4.22	Label petunjuk raster untuk interpolasi spatial (a) IDW, (b) kriging dan (c) spline berdasarkan data suhu musim.....	123
Rajah 4.23	Hasil raster data suhu ke dalam (a) IDW, (b) kriging dan (c) spline.	124
Rajah 4.24	Nilai ramalan dalam pengesahan silang (a) IDW, (b) kriging dan (c) spline.....	125
Rajah 4.25	Analisis raster dan ralat piawai untuk interpolasi IDW.....	126
Rajah 4.26	Analisis raster dan ralat piawai untuk interpolasi Kriging.....	127
Rajah 4.27	Analisis raster dan ralat piawai untuk interpolasi Spline.....	127

Rajah 4.28	Nilai perhubungan di antara Band 1 (Raster suhu) dan ID Pixel (a) IDW, (b) kriging dan (c) spline.....	128
Rajah 4.29	Taburan interpolasi IDW.....	130
Rajah 4.30	Taburan interpolasi Kriging.....	130
Rajah 4.31	Taburan interpolasi Spline.....	131
Rajah 4.32	Peta interpolasi spatial DOE-WQI musim lembap (a) IDW (b) kriging (c) spline .....	133
Rajah 4.33	Peta interpolasi spatial DOE-WQI musim kering (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	135
Rajah 4.34	Peta interpolasi spatial CTSI musim lembap (a) IDW (b) kriging (c) spline .....	137
Rajah 4.35	Peta interpolasi spatial CTSI musim kering (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	138
Rajah 4.36	Peta interpolasi spatial pH musim lembap (a) IDW (b) kriging (c) spline .....	140
Rajah 4.37	Peta interpolasi spatial pH musim kering (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	142
Rajah 4.38	Peta interpolasi spatial suhu musim lembap (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	144
Rajah 4.39	Peta interpolasi spatial suhu musim kering (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	145
Rajah 4.40	Peta interpolasi spatial TDS musim lembap (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	147

Rajah 4.41	Peta interpolasi spatial TDS musim kering (a) IDW (b) kriging (c) spline .....	149
Rajah 4.42	Peta interpolasi spatial TSS musim lembap (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	151
Rajah 4.43	Peta interpolasi spatial TSS musim kering (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	152
Rajah 4.44	Peta interpolasi spatial kekonduksian musim lembap (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	154
Rajah 4.45	Peta interpolasi spatial kekonduksian musim kering (a) IDW (b) kriging (c) spline .....	156
Rajah 4.46	Peta interpolasi spatial kekeruhan musim lembap (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	158
Rajah 4.47	Peta interpolasi spatial kekeruhan musim kering (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	159
Rajah 4.48	Peta interpolasi spatial oksigen terlarut musim lembap (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	162
Rajah 4.49	Peta interpolasi spatial oksigen terlarut musim kering (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	163
Rajah 4.50	Peta interpolasi spatial BOD musim lembap (a) IDW (b) kriging (c) spline .....	165
Rajah 4.51	Peta interpolasi spatial BOD musim kering (a) IDW (b) kriging (c) spline .....	167
Rajah 4.52	Peta interpolasi spatial COD musim lembap (a) IDW	

	(b) kriging (c) spline.....	169
Rajah 4.53	Peta interpolasi spatial COD musim kering (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	170
Rajah 4.54	Peta interpolasi spatial kedalaman secchi musim lembap (a) IDW (b) kriging (c) spline .....	173
Rajah 4.55	Peta interpolasi spatial kedalaman secchi musim kering (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	174
Rajah 4.56	Peta interpolasi spatial TP musim lembap (a) IDW (b) kriging (c) spline.....	177
Rajah 4.57	Peta interpolasi spatial TP musim kering(a) IDW (b) kriging (c) spline .....	178
Rajah 4.58	Peta interpolasi spatial klorofil-a musim lembap (a) IDW (b) kriging (c) spline .....	181
Rajah 4.59	Peta interpolasi spatial klorofil-a musim kering (a) IDW (b) kriging (c) spline .....	182
Rajah 4.60	Imej remote sensing Band 10 Landsat 8 pada tarikh 11 Oktober 2020.....	185
Rajah 4.61	Imej remote sensing Band 10 Landsat 8 pada tarikh 18 Mac 2021.....	186
Rajah 4.62	Isi kandungan file MTL bagi setiap imej remote sensing Landsat 8 yang dibekalkan bersama dengan data setiap band.....	187
Rajah 4.63	Imej analisis suhu air permukaan Landsat 8 pada bulan Oktober 2020.....	188
Rajah 4.64	Imej analisis suhu air permukaan Landsat 8 pada bulan	

Mac 2021..... 188

## SENARAI SINGKATAN

APHA	<i>American Public Health Association</i>
BOD	Permintaan Oksigen Biokimia
COD	Permintaan Oksigen Kimia
CTSI	Indeks Keadaan Trofik Carlson
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
DO	Oksigen Terlarut
EC	Kekondusian Elektrik
GIS	Sistem Maklumat Geografi
GPS	Sistem Kedudukan Global
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
LST	<i>Land Surface Temperature</i>
NDVI	<i>Normalize Differential Vegetation Index</i>
NWQS	Standard Kualiti Air Kebangsaan
OK	<i>Ordinary Kriging</i>
pH	Potensi Hidrogen
TDS	Jumlah Pepejal Terlarut
TOA	<i>Top of Atmosphere</i>
TIFF	<i>Tag Image File Format</i>
TP	Jumlah Fosforus
TSS	Jumlah Pepejal Terampai
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
WQI	Water Quality Index

## **SENARAI LAMPIRAN**

- LAMPIRAN A      DOE-WQI SUB INDEX CALCULATION
- LAMPIRAN B      INDEKS KEADAAN TROFIK CARLSON (CTSI
- LAMPIRAN C      JADUAL PENCERAPAN DATA FIZIKOKIMIA

**CIRI-CIRI FAKTOR KUALITI AIR EMPANGAN BERIS BERDASARKAN  
FIZIKOKIMIA DAN ANALISIS INTERPOLASI MENGGUNAKAN SISTEM  
MAKLUMAT GEOGRAFI**

**ABSTRAK**

Kajian ini meneliti ciri-ciri kualiti air Empangan Beris berdasarkan parameter fizikokimia dan analisis interpolasi menggunakan Sistem Maklumat Geografi (GIS). Objektif utama kajian adalah untuk mengenal pasti faktor yang mempengaruhi kualiti air, menganalisis perubahan fizikokimia air berdasarkan Indeks Kualiti Air (DOE-WQI) dan Indeks Keadaan Trofik Carlson (CTSI), serta menilai keberkesanan kaedah interpolasi GIS dalam pemantauan kualiti air. Data dikumpulkan melalui pensampelan in-situ di beberapa stesen serta analisis imej Landsat 8 bagi menentukan suhu air permukaan. Hasil kajian menunjukkan bahawa aktiviti manusia seperti pembalakan dan pertanian serta guna tanah memberikan sedikit kesan terhadap perubahan kualiti air kecuali terhadap jumlah fosforus, namun faktor semula jadi seperti aliran sungai dan pereputan bahan organik lebih signifikan. Parameter fizikokimia yang dianalisis menunjukkan bahawa air empangan berada dalam kategori Kelas 2 (DOE-WQI) dengan indeks antara 82 hingga 90, sementara tahap eutrofikasi berada dalam kelas oligotrofik (CTSI: 27–34), menandakan air dalam keadaan bersih dan selamat. Analisis interpolasi menggunakan *Inverse Distance Weighting* (IDW), Kriging, dan Spline menunjukkan IDW sebagai kaedah yang lebih sesuai untuk memplot data kualiti air walaupun dengan jumlah stesen pensampelan yang terhad. Kajian juga mendapati bahawa imej Landsat 8 dapat digunakan untuk memantau suhu air permukaan dengan julat suhu antara 19.1°C hingga 27.1°C, melengkapkan kaedah pemantauan in-situ. Secara keseluruhan,

kajian ini mengesahkan keberkesanan kombinasi GIS dan *remote sensing* dalam pemantauan kualiti air empangan secara lebih sistematik dan berterusan.

**CHARACTERISTICS OF BERIS DAM WATER QUALITY FACTOR  
BASED ON PHYSICOCHEMICAL AND INTERPOLATION ANALYSIS  
USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM**

**ABSTRACT**

This study examines the water quality characteristics of Beris Dam based on physicochemical parameters and interpolation analysis using Geographic Information System (GIS). The main objectives are to identify factors influencing water quality, analyze physicochemical changes with reference to the Water Quality Index (DOE-WQI) and Carlson's Trophic State Index (CTSI), and assess the effectiveness of GIS interpolation methods in water quality monitoring. Data were collected through in-situ sampling at multiple stations and Landsat 8 imagery analysis to determine surface water temperature. Findings indicate that human activities such as agriculture and forestry have minimal impact on water quality changes except for total phosphorous, whereas natural factors like river flow and organic matter decomposition play a more significant role. The analyzed physicochemical parameters reveal that the reservoir water falls under Class 2 (DOE-WQI) with an index range of 82 to 90, while the trophic state remains oligotrophic (CTSI: 27–34), indicating clean and safe water conditions. Interpolation analysis using Inverse Distance Weighting (IDW), Kriging, and Spline demonstrates that IDW is the most suitable method for mapping water quality data, even with a limited number of sampling stations. Additionally, Landsat 8 imagery proves useful in monitoring surface water temperature, with recorded values ranging from 19.1°C to 27.1°C, complementing in-situ monitoring methods.

Overall, this study confirms the effectiveness of combining GIS and remote sensing for systematic and continuous water quality assessment in reservoirs.

## **BAB 1**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 Pengenalan Umum**

Air merupakan elemen dan sumber yang penting dalam kehidupan manusia sejagat yang terhasil dari pencantuman dua unsur iaitu hidrogen dan oksigen di mana ia meliputi dari 70 % daripada permukaan bumi. Secara umumnya, air boleh didefinisikan sebagai cecair jernih yang tak berwarna, mempunyai rasa dan tidak mempunyai bau (Mohd Bakri, 2020). Pertambahan penduduk dan aktiviti manusia telah menyebabkan peningkatan ketara dalam permintaan air tawar sejak beberapa abad yang lalu (Sun et al., 2020).

Sumber air tawar seperti sungai, tasik, empangan dan air dalam tanah merupakan bekalan air domestik yang penting untuk kehidupan manusia dan beberapa kaedah pengelasan ciri fizikal, biologi, dan kimia digunakan untuk mengelaskan air tawar ini (Ramakrishnaiah et al., 2009). Tasik telah menjadi tumpuan kajian alam sekitar sejak beberapa dekad yang lalu kerana ciri atribut, taburan geografi, kajian hidrologi dan faktor substrat yang ditunjukkan. Pelbagai faktor biotik dan abiotik yang dipengaruhi oleh persekitaran tempatan termasuk ke dalam kaedah menentukan kualiti air (Pant et al., 2017). Ini juga termasuklah jarak masa dan ruang di mana ia juga mempengaruhi kualiti air.

Empangan merupakan sistem tadahan air buatan manusia yang memainkan peranan untuk menyekat dan menyimpan air dalam kuantiti yang besar bagi memastikan ia dapat digunakan dalam tempoh yang panjang. Lazimnya sesebuah empangan mempunyai peranannya yang tersendiri iaitu menjadi penampungan banjir, menjadi sumber pembekalan air kepada pertanian dan domestik, serta menjadi

sumber tenaga kinetik bagi penjanaan tenaga elektrik menerusi sistem jana kuasa elektrik hidro.

Di Malaysia, salah satu isu yang sering dihadapi adalah mengenal pasti persekitaran air dan sumber pencemaran yang mempengaruhi kualiti air (Loukas, 2010). Empangan dibina untuk menyeimbangkan penggunaan air tawar yang diperoleh dari sungai dan tasik semula jadi. Namun, empangan juga terdedah kepada pelbagai ejen pencemaran seperti industri, perlombongan, dan sisa aktiviti manusia, yang memberi kesan jangka panjang kepada kualiti air. Contohnya, di Pulau Pinang, keberkesanan empangan terbukti apabila kegagalan loji rawatan air utama di kawasan tersebut dapat diatasi dengan bantuan Empangan Air Itam dan Empangan Teluk Bahang, serta Empangan Mengkuang di Seberang Perai Tengah, yang berfungsi sebagai sumber sandaran utama jika loji rawatan air Sungai Dua mengalami masalah dalam memproses air bersih untuk kegunaan negeri Pulau Pinang (Rashid et al., 2021).

Untuk melindungi dan mengurus sungai dan tasik di Malaysia, Piawaian Kualiti Air Kebangsaan (NWQS) telah disyorkan sebagai kualiti air asas (Sharip et al., 2016). Satu ukuran kualiti air boleh diperoleh daripada indeks yang mengambil kira beberapa pemboleh ubah penting. Sebagai panduan, indeks kualiti air menggabungkan data daripada beberapa kriteria kualiti air ke dalam persamaan terbitan yang meletakkan kedudukan kesihatan sistem air secara numerik (White et al., 2010). Kaedah penilaian air tasik menggunakan Indeks Keadaan Trofik Carlson (CTSI) juga merupakan kaedah alternatif untuk menilai kategori trofik yang berbeza menerusi penilaian nutrien di dalam air tasik yang mengambil kira konsentrasi fosforus, klorofil-a dan ketelusan air menggunakan piring secchi.

Penilaian kualiti air, pengindeksan dan sains ekologi dapat diaplikasikan pada Sistem Maklumat Geografi (GIS). GIS dapat membantu pemodelan hidrologi, pengecaman dan pemetaan pelbagai elemen yang terkait dengan sumber air seperti sungai, tasik, tadahan dan lembangan saliran serta lokasi air bawah tanah. Ia juga membolehkan pemantauan kualiti air dengan lebih tepat di mana dengan menggabungkan data kualiti air misalan kadar pencemaran, kepekatan kandungan kimia dengan data spatial.

Dengan adanya kaedah GIS, penyelidik dapat mengidentifikasikan pola dan tren yang terkait di sesuatu kawasan kajian di mana hal ini amat penting dalam pengurusan sumber air dan perlindungan sistem tadahan air. GIS juga dapat membantu pihak berkaitan untuk mencipta model hidrologi dan menjalankan ramalan kejadian banjir di mana perancangan mitigasi banjir menjadi lebih efektif dan dengan itu ia boleh menjadi alat untuk membuat keputusan dengan lebih cepat dan baik. Dengan menggunakan analisis geostatistik, kaedah interpolasi dalam GIS boleh meramalkan nilai-z atau atribut (nilai x dan y) di stesen pensampelan di lokasi tertentu (nilai x dan y). Dengan menggunakan data analisis geostatistik dan atribut, peta interpolasi yang terdiri dari beberapa kaedah seperti interpolasi jarak-berat atau *Inverse Distance Weighting* (IDW), interpolasi jarak terdekat atau *Nearest Neighbour*, kriging, spline dan lain-lain dapat dihasilkan (Fuentes et al., 2017).

## **1.2 Pernyataan Masalah**

Kedah mempunyai empat empangan air iaitu Pedu, Muda, Ahning, dan Beris. Empangan Beris dibina di Sungai Beris pada tahun 1999 dan siap pada tahun 2003 di mana ia diselia oleh Lembaga Air Kedah (Abdullah, 2021). Empangan Beris dirancang untuk memenuhi keperluan air minuman, pertanian dan industri di

kawasan Sungai Petani dan lembangan Sungai Muda (Md Sah et al., 2009). Empangan ini juga berperanan sebagai pusat tarikan pelancongan yang ingin menikmati keindahan alam semula jadi dan aktiviti air seperti memancing dan lain-lain lagi selain juga berperanan mengawal banjir kerap berlaku di kawasan berkenaan (Opmac, 2011).

Dalam ia menjalankan fungsinya sebagai empangan yang membekalkan air dan mengawal banjir, ia juga tidak terlepas akan kesan perubahan iklim global di mana perubahan pola hujan, perubahan cuaca ekstrem dan peningkatan suhu juga menjejaskan kualiti air Empangan Beris dari semasa ke semasa. Permintaan air yang semakin meningkat setiap tahun di negeri Kedah dan Pulau Pinang memberi tekanan kepada sumber air yang sedia ada. Pada tahun 2015, Pulau Pinang memerlukan sebanyak 668 juta liter sehari, manakala Kedah menggunakan 120 juta liter sehari (Ab Rashid et al., 2021). Kawasan sekitar Empangan Beris terdedah kepada pelbagai aktiviti manusia seperti pertanian, penternakan, perikanan, pelancongan dan pembangunan setempat. Aktiviti yang paling dominan dan berpotensi besar memberi impak terhadap kualiti air masih belum dikenal pasti secara terperinci. Ketiadaan maklumat yang jelas berkaitan jenis dan skala aktiviti ini menyukarkan usaha pemantauan serta kawalan pencemaran air secara berkesan. Pencemaran alam yang tidak dibendung juga menyumbang kepada eutrofikasi di mana nutrien yang berlebihan terdiri daripada parameter fizikokimia seperti nitrogen dan fosforus akan menggalakkan pembiakan alga yang menyebabkan kandungan oksigen dalam air terganggu lalu mengancam habitat organisma di dalam air (Sharifudin, 2020).

Selain itu, empangan juga tidak terkecuali daripada permasalahan-permasalahan pengurusan yang terdiri daripada pengurusan enap cemar dan sedimen. Perkara ini ialah kebiasaan bagi sesebuah empangan kerana sifat empangan itu

sendiri menyekat pergerakan air dan sedimen terampai di dalam air. Masalah enapan pasir dan lumpur juga menjadi gangguan kepada kekeruhan air dan menyebabkan juga kapasiti penyimpanan air empangan juga mula berkurangan. Tahap kekeruhan ini juga ialah parameter fizikokimia yang selalu diambil berat dalam setiap kajian kualiti air di sesebuah tadahan air atau empangan. Kualiti air Empangan Beris boleh dinilai melalui beberapa parameter fizikokimia seperti suhu, pH, kekeruhan, oksigen terlarut, nitrat, fosfat dan jumlah pepejal terampai. Namun begitu, masih belum jelas parameter manakah yang memainkan peranan paling kritikal dalam menyumbang kepada perubahan nilai Indeks Kualiti Air (DOE-WQI) dan tahap eutrofikasi berdasarkan Indeks Keadaan Trofik Carlson (CTSI). Ketidakpastian ini membataskan pemahaman terhadap punca utama degradasi kualiti air empangan secara saintifik.

Walaupun teknologi penderiaan jauh (*remote sensing*) seperti imejan satelit Landsat 8 serta analisis sistem maklumat geografi (GIS) semakin kerap digunakan dalam kajian kualiti air, masih wujud persoalan mengenai tahap ketepatan dan kesesuaian teknik-teknik ini dalam menghasilkan data yang mewakili keadaan sebenar di lapangan. Kaedah interpolasi GIS yang berbeza seperti IDW, kriging dan spline juga menunjukkan variasi hasil yang memerlukan penilaian lanjut bagi menentukan pendekatan terbaik dalam pemantauan kualiti air empangan secara berkala.

### **1.3 Matlamat Penyelidikan**

Matlamat utama penyelidikan ini adalah untuk menilai tahap parameter fizikokimia dan status eutrofikasi air di Empangan Beris bagi memastikan kualitinya sentiasa berada dalam keadaan yang optimum dan terkawal. Penyelidikan ini turut

bertujuan untuk mengaplikasikan pendekatan penilaian berasaskan Sistem Maklumat Geografi (GIS), khususnya melalui penggunaan imejan penderiaan jauh (*remote sensing*) dan kaedah interpolasi spatial. Melalui pendekatan ini, status eutrofikasi dapat dianalisis secara berterusan serta dibandingkan dengan keadaan semasa, sekali gus membolehkan penilaian dinamik terhadap perubahan kualiti air. Di samping itu, kajian ini juga berhasrat untuk menilai keberkesanan dan kesesuaian kaedah penderiaan jauh dan interpolasi spatial dalam konteks pemantauan dan pemetaan kualiti air empangan secara saintifik dan bersepadu.

#### **1.4 Persoalan Kajian**

Terdapat tiga (3) persoalan kajian yang telah dikenal pasti, iaitu:

- a) Apakah aktiviti yang dominan dilakukan berhampiran Empangan Beris yang berpotensi mempengaruhi kualiti air?
- b) Apakah parameter kualiti air yang menyumbang kepada perubahan fizikokimia air Empangan Beris merujuk kepada Indeks Kualiti Air (DOE-WQI) dan Indeks Keadaan Trofik Carlson (CTSI)?
- c) Bagaimana *remote sensing* menyumbang kepada dapatan data fizikokimia dan apakah kaedah interpolasi GIS yang lebih bersesuaian dalam membantu dalam menilai kualiti air menerusi Indeks Kualiti Air (DOE-WQI) dan Indeks Keadaan Trofik Carlson (CTSI)?

#### **1.5 Objektif Kajian**

Terdapat tiga (3) objektif kajian yang telah dikenal pasti, iaitu:

- a) Mengetahui pasti aktiviti manusia dan persekitaran yang mempengaruhi kualiti air Empangan Beris.

- b) Mengkaji parameter fizikokimia yang menyumbang kepada perubahan kualiti air dan eutrofikasi menurut Indeks Kualiti Air (DOE-WQI) dan Indeks Keadaan Trofik Carlson (CTSI).
- c) Menganalisis parameter fizikokimia berkenaan menggunakan analisa *remote sensing* Landsat 8, kaedah interpolasi GIS dan menilai kesesuaiannya dalam pemantauan kualiti air empangan menerusi DOE-WQI dan CTSI.

## **1.6 Skop Kajian**

Skop penyelidikan ini merangkumi penilaian terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kualiti air semasa di Empangan Beris, khususnya yang berpunca daripada aktiviti antropogenik di kawasan sekitarnya. Penilaian kualiti air akan dijalankan berdasarkan analisis parameter fizikokimia utama seperti pH, kekeruhan, oksigen terlarut (DO), kekonduksian, jumlah pepejal terlarut (TDS), dan kehadiran bahan kimia terpilih yang lazim digunakan dalam penilaian kualiti air sungai, tasik, dan perairan umum.

Kajian ini memberi tumpuan kepada penggunaan data lapangan yang diperoleh secara langsung dari kawasan kajian, termasuk maklumat berkaitan aktiviti manusia, keadaan persekitaran, serta sejarah perubahan guna tanah yang berpotensi mempengaruhi profil kualiti air empangan. Data sokongan turut diperoleh daripada agensi kerajaan yang berkaitan seperti Institut Penyelidikan Hidraulik Kebangsaan Malaysia (NAHRIM) dan Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS), bagi memperkukuh analisis dan interpretasi dapatan.

Selain itu, kajian ini akan menggunakan teknologi Sistem Maklumat Geografi (GIS) dan penderiaan jauh menerusi imejan satelit Landsat 8 yang diperoleh daripada pangkalan data United States Geological Survey (USGS). Data tambahan seperti

*Digital Elevation Model* (DEM) dan peta geologi akan digunakan untuk memahami aspek morfologi kawasan dan potensi hubungan antara faktor geofizikal dengan variasi kualiti air empangan.

Kajian ini juga akan memberi gambaran mengenai isu kualiti air Empangan Beris yang dikelaskan menerusi oleh Indeks Kualiti Air (DOE-WQI) dan Indeks Keadaan Trofik Carlson (CTSI), di mana pengaplikasian interpolasi menggunakan GIS ditekankan sebagai kaedah analisa indeks yang lebih berkesan selain analisa interpolasi ke atas data numerik indeks sahaja di setiap stesen pensampelan. Ini juga akan melibatkan kelebihan dan kekurangan kaedah interpolasi yang diuji sama ada sesuai dengan data yang diperoleh menerusi analisa fizikokimia dan indeks. Kekurangan dan kelebihan setiap kaedah interpolasi yang diuji terhadap data fizikokimia yang terpilih di dalam kajian diterangkan menerusi kaedah pengiraan matematik dan perbandingan model interpolasi.

### **1.7 Elemen Utama Penyelidikan**

Setiap analisis kualiti air harus dijalankan berdasarkan piawaian yang ditetapkan oleh agensi kerajaan yang berwajib dalam bidang pengurusan sumber air. Di Malaysia, Institut Penyelidikan Hidraulik Kebangsaan Malaysia (NAHRIM) merupakan agensi utama yang mengeluarkan garis panduan serta manual khusus mengenai prosedur pengambilan sampel, metodologi penyelidikan, dan elemen-elemen yang perlu diambil kira dalam penilaian kualiti air. Panduan ini diterbitkan melalui dokumen seperti *National Water Quality Standard for Malaysia* (NWQS) dan *National Lakes Water Quality Standards* (NLWQS) yang telah dikemas kini bagi memastikan kaedah penilaian kualiti air relevan dengan perubahan semasa.

Bagi tujuan penyelidikan ini, beberapa kaedah pengelasan kualiti air yang ditambah baik akan digunakan, termasuk Indeks Kualiti Air (WQI) dari United States Environmental Protection Agency (USEPA) dan WQI dari Bureau of Indian Standards (BIS). Elemen yang diterapkan dalam kajian ini adalah bagaimana kaedah interpolasi dapat digunakan untuk mewakili data indeks serta parameter fizikokimia dalam bentuk peta analisis yang lebih berkesan dan interaktif.

Kajian ini akan menilai kebolehan kaedah interpolasi sedia ada dan menguji potensi kaedah interpolasi baru yang mungkin akan diterapkan pada masa hadapan. Fokus utama adalah untuk menentukan sejauh mana kaedah interpolasi mampu mengolah dan memaparkan data kualiti air dengan lebih dinamik, serta kesesuaiannya dalam menggunakan perisian Sistem Maklumat Geografi (GIS) yang ada pada masa kini.

Kebolehubahan dalam aplikasi kaedah interpolasi menggunakan perisian GIS bukan sahaja merupakan subjek perdebatan dalam kalangan penyelidik, malah turut menjadi halangan sekiranya kaedah tersebut gagal menghasilkan analisis yang tepat dan berkesan. Oleh itu, kajian ini akan menekankan elemen-elemen penting yang akan menentukan kaedah terbaik dalam menganalisis data kualiti air, serta merumuskan hipotesis kajian yang berkaitan, seperti yang diterangkan dalam Rajah 1.1.

Objektif	<ul style="list-style-type: none"> <li>Objektif ditentukan kerana ianya menentukan cara analisis, sorotan kajian dan metodologi yang akan digunakan dalam kajian dimana ianya melibatkan kaedah analisa spatial dan pengumpulan data</li> </ul>
Tinjauan Awal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tinjauan awal ke lokasi kajian untuk melihat secara lebih dekat keperluan yang akan diperlukan untuk menjalankan kajian misalan keperluan sewaan bot, pembelian peralatan khusus dan penyimpanan sampel. Ini juga diambil kira bagi menentukan jarak masa dan masa yang bersesuaian untuk menjalankan pengambilan sampel.</li> </ul>
Reka Bentuk Pemantauan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ini adalah termasuk dalam menentukan keluasan tapak pengambilan sampel, jumlah stesen pensampelan yang akan ditentukan, julat masa yang diperlukan bagi setiap stesen pensampelan dan kekerapan pengambilan sampel dalam tempoh penyelidikan</li> </ul>
Operasi Pemantauan Lapangan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Termasuklah analisis in-situ kepada parameter fizikokimia di setiap stesen pensampelan, penyimpanan sampel makmal dan pengangkutan sampel ke makmal yang dipilih</li> </ul>
Aktiviti Makmal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pengesanan tahap konsentrasi fizikokimia terhadap sampel yang dianalisis di makmal. Melibatkan pihak Makmal Unit Perkhidmatan Analisis USM (MUPA USM) dan Jabatan Kimia Malaysia.</li> </ul>
Kawalan Kualiti Data	<ul style="list-style-type: none"> <li>Untuk memastikan sampel dan data yang diambil adalah tepat pada masa dan kualitinya berpandu kepada manual proses operasi standard (SOP) dan analisis kualiti air yang ditetapkan menerusi Indeks Kualiti Air Jabatan Alam Sekitar (DOE-WQI) dan Indeks Kualiti Air Tasik Kebangsaan (NLWQS).</li> </ul>
Penyimpanan dan Pelaporan Data	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kaedah pengkomputeran pada masa sekarang amat memudahkan penyimpanan data yang telah dicerap dalam komputer, lalu memudahkan analisa dan perbandingan dibuat. Ianya juga dapat menjamin kehilangan data dari kecuaiian kerana pengkomputeran yang canggih seperti penyimpanan di awan membolehkan data disimpan di mana-mana.</li> </ul>
Interpretasi Data	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aktiviti ini melibatkan perbandingan data kualiti lampau dan semasa, kolerasi matriks antara parameter fizikokimia, kesan-kesan kehadiran fizikokimia dalam air</li> <li>Menjalankan semak silang dengan pihak berkuasa berkenaan mengenai seliaan kualiti air bagi mempertahankan penemuan dan kajian yang dibuat.</li> </ul>
Cadangan Penyelidikan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keputusan yang harus dibuat bagi menentukan kaedah yang bersesuaian dengan data yang telah dicerap bagi membolehkan ianya menjadi rujukan di masa depan. Penambahbaikan juga adalah melibatkan kaedah yang digunakan untuk interpolasi spatial dan kekerapan pengambilan sampel pada masa hadapan.</li> </ul>

Rajah 1.1: Elemen utama penilaian kualiti air dan interpolasi spatial

## **1.8 Batasan Penyelidikan**

Kajian yang dijalankan melibatkan kawasan pedalaman yang mempunyai bentuk muka bumi buatan manusia iaitu tasik buatan yang terbentuk dari pembinaan empangan, kesukaran menjalankan pensampelan air dan analisis kualiti atas faktor keselamatan, perundangan dari agensi berkaitan yang mengawal selia empangan dan kerjasama daripada penduduk setempat. Ia juga mempunyai beberapa cabaran dalam mengekalkan jaminan kualiti sampel kerana melibatkan kawasan tadahan air yang luas dan kualiti air boleh berubah-ubah kerana air yang berombak-ombak akibat hempasan badan bot dapat mempengaruhi kandungan sisa terampai di permukaan air.

Setiap perkara harus dipertimbangkan terlebih dahulu sebelum pemilihan lokasi pensampelan misalannya merekodkan dengan betul koordinat lokasi pensampelan bagi pensampelan ulangan, ini kerana peralatan Global Positioning Satellite (GPS) mempunyai ralat tersendiri yang dipengaruhi oleh signal satelit GPS dan beberapa faktor lain. Kaedah analisis kualiti in-situ juga harus dilakukan dengan cepat di setiap stesen pensampelan dan pengangkutan sampel dibuat demi menjaga kualiti sampel dari dipengaruhi faktor persekitarannya. Masalah teknikal juga boleh berlaku dari peralatan analisis in-situ dan analisa kekeruhan kerana peralatan berkenaan menggunakan bateri dan berpotensi bermasalah sekiranya tidak diselenggarakan dengan baik dan bukan semua parameter fizikokimia boleh dianalisis terus dari atas bot semasa pensampelan dijalankan dan harus diteliti menerusi analisis makmal.

Kekeruhan dan sesetengah parameter fizikokimia akan berubah sifatnya dibandingkan dengan faktor masa sekiranya lambat di analisa. Faktor ralat data juga boleh berlaku semasa analisis statistik kerana ianya melibatkan data-data numerikal dan perbandingan. Data-data yang mempunyai ralat atau berada di luar julat tidak

dapat dibandingkan antara satu sama lain dan ini mengurangkan ketepatan pengiraan kolerasi, indeks dan analisis GIS, iaitu proses interpolasi menggunakan kaedah IDW, kriging dan spline terhadap data fizikokimia berkenaan.

## **1.9 Kepentingan Penyelidikan**

Kepentingan penyelidikan ini dinyatakan di bawah:

- a) Menganalisis keadaan fizikokimia semasa air Empangan Beris di mana perubahan berkenaan akan menunjukkan indeks kualiti air semasa bagi Empangan Beris.
- b) Menunjukkan kecekapan Indeks Kualiti Air (WQI) dan Indeks Keadaan Trofik Carlson (CTSI) dengan menggunakan aplikasi dan metodologi GIS bagi mana-mana sumber air terutamanya tasik dan takungan tertutup.
- c) Memaparkan analisis kaedah interpolasi dan penderiaan jauh terhadap kualiti air secara menyeluruh dan membuat penilaian lebih deskriptif dan saintifik untuk penyelidik dan pihak berkepentingan.

## **1.10 Struktur Tesis**

Kajian ini telah dibahagikan kepada lima bab yang diperincikan di bawah.

**Bab 1:** Pengenalan menunjukkan pengenalan umum, pernyataan masalah, objektif kajian, persoalan kajian, skop kajian, batasan penyelidikan, dan kepentingan kajian.

**Bab 2:** Kajian literatur ialah suatu proses penelitian yang dilakukan untuk mengumpulkan, meninjau, menganalisis, dan mensintesis literatur yang relevan dengan topik penelitian tertentu. Tujuan daripada kajian literatur adalah untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif tentang topik yang

diteliti, mengidentifikasi kekurangan pengetahuan yang ada, dan menilai bukti-bukti yang telah dikumpulkan sebelumnya.

**Bab 3:** Metodologi merujuk kepada pendekatan sistematik atau set kaedah yang digunakan dalam bidang kajian atau penyelidikan tertentu. Dalam konteks analisis fizikokimia, ia melibatkan teknik, prosedur dan protokol yang diikuti untuk mengumpul, mengukur, menganalisis dan mentafsir sifat fizikal dan kimia bahan.

**Bab 4:** Hasil dan perbincangan lazimnya membentangkan penemuan yang diperoleh melalui analisis sifat fizikal dan kimia bahan, aplikasi penderiaan jauh serta aplikasi teknik interpolasi untuk menganggar atau meramal nilai antara titik data yang diketahui sama ada menggunakan data fizikokimia atau indeks yang berkenaan

**Bab 5:** Dalam bahagian kesimpulan dan cadangan kajian yang melibatkan analisis fizikokimia dan interpolasi, akan merumuskan penemuan utama dan implikasi penyelidikan dan memberikan cadangan untuk kerja masa hadapan.

## **BAB 2**

### **KAJIAN LITERATUR**

#### **2.1 Pengenalan**

Tasik merupakan sumber air pedalaman yang tidak mempunyai hubungan langsung dengan laut, berfungsi sebagai takungan semula jadi atau buatan bagi air tawar. Pembentukan tasik boleh berlaku melalui pelbagai proses geologi dan hidrologi, termasuk aktiviti tektonik, glasiasi, letusan gunung berapi, atau pembinaan empangan oleh manusia. Setiap tasik mempunyai ciri-ciri biologi, kimia, dan fizikal yang unik, di mana komponen biologinya merangkumi ekosistem akuatik seperti fitoplankton, zooplankton, ikan, dan makroinvertebrata. Tasik buatan manusia, seperti empangan air, berkongsi ciri-ciri yang serupa dengan tasik semula jadi. Selain itu, tasik boleh mengandungi air tawar atau air masin (meromiktik) di beberapa kawasan, dan kedalamannya pula bergantung kepada faktor cuaca serta perubahan iklim (Zadereev et al., 2017). Tasik juga menjadi habitat untuk ikan, haiwan, dan tumbuhan bawah air, menyumbang kepada komponen biologi, kimia dan fizikal air tasik. Sebilangan besar kehidupan bergantung kepada sumber air tawar, dan manusia sering kali bergantung pada tasik untuk pelbagai keperluan, antaranya sebagai sumber air minuman, untuk aktiviti perikanan, pengairan pertanian, rekreasi, serta untuk kegunaan industri. Oleh itu, tasik memainkan peranan yang amat penting dalam memastikan keseimbangan ekosistem dan pengawalan suhu di kawasan daratan yang terhad.

Penderiaan jauh dan Sistem Maklumat Geografi (GIS) merupakan teknologi yang amat penting dalam pemantauan kualiti air serta penilaian kesan aktiviti manusia terhadap sumber air. Penderiaan jauh menggunakan imej satelit untuk menilai pelbagai parameter kualiti air, termasuk kandungan klorofil-a, kejelasan air, suhu permukaan, serta kehadiran sedimen terampai, yang kesemuanya memainkan peranan dalam menentukan status kesihatan ekosistem akuatik. Sementara itu, GIS berfungsi untuk memetakan kawasan yang sensitif terhadap perubahan kualiti air, mengenal pasti sumber-sumber pencemaran, serta memantau perubahan dinamik kualiti air dalam kawasan tadahan. Gabungan kedua-dua teknologi ini membolehkan pemantauan yang lebih meluas dan berkesan, serta menyediakan platform untuk pengesanan awal isu-isu berkaitan kualiti air. Ini seterusnya menyokong perancangan dan pengurusan sumber air yang lebih tepat, lestari, dan responsif terhadap cabaran semasa.

## **2.2 Profil geologi kawasan kajian**

Empangan Beris dibina di atas lapisan batuan konglomerat yang tebal, yang terdiri daripada batu pasir berbutir kasar hingga halus, serta batu lumpur kecil, yang dipetakan sebagai Formasi Semanggol dari era *Triassic* (Raj, 2019). Batuan konglomerat mendominasi kawasan abutment kanan dan di bawah empangan utama, manakala di abutment kiri dan alur tumpahan, batuan konglomerat tersebut dilapisi dengan batu grit dan batu pasir kasar. Batuan konglomerat, batu grit, dan batu pasir yang terdedah pada asas, abutment, serta alur tumpahan telah mengalami peluluhan ringan hingga sederhana (Gred II-III) (Jamaluddin & Yusoff, 2003).

Empangan ini dihubungkan dengan Sungai Muda melalui Sungai Beris di hulu. Pada paras purata takungan, kawasan takungan meliputi 16.1 km<sup>2</sup>, manakala

apabila menenggelami kawasan tadahan, ia meliputi 116.0 km<sup>2</sup>. Berdasarkan Jadual 2.1, empangan ini mempunyai kapasiti storan kasar sebanyak 122.4 juta m<sup>3</sup>, dengan kapasiti storan maksimum mencapai 144 juta m<sup>3</sup> (Department of Irrigation and Drainage Malaysia, 2017). Empangan Beris dihubungkan oleh dua buah sungai utama, iaitu Sungai Beris dan Sungai Batang, serta dua sungai kecil, iaitu Sungai Terenas dan Sungai Charuk Sungkai.

Jadual 2.1: Maklumat mengenai struktur Empangan Beris (Department of Irrigation and Drainage Malaysia, 2017)

<b>Maklumat mengenai Struktur Empangan Beris</b>			
Kawasan Takungan	Kapasiti	Kawasan Tadahan	Ketinggian
16.1 km <sup>2</sup>	122.4 m <sup>3</sup> / 144 m <sup>3</sup> (maksima)	116.0 km <sup>2</sup>	40.0 m
Kelebaran Empangan	Bahan Struktur	Ketinggian Puncak	Jenis <i>Spillway</i>
155.0 m	<i>Rockfill</i> bermuka konkrit	88.0 m	Limpahan <i>ogee</i> dengan penggelongsor dan baldi saluran sisi

### 2.3 Iklim dan imbangan air di kawasan kajian

Sungai Beris, Sungai Batang, Sungai Charuk Sungkai, dan Sungai Terenas membekalkan air kepada takungan empangan melalui aliran dari bukit-bukit berhampiran serta kawasan tadahan air. Purata aliran masuk ke dalam empangan ini adalah sekitar 109.4 m<sup>3</sup> setiap tahun (Sharip, 2020). Berdasarkan data yang direkodkan pada tahun 2020, jumlah hujan bulanan di kawasan sekitar yang diperoleh daripada Stesen Meteorologi Bantuan Pusat Pertanian Batu Seketol adalah

sebanyak 533.4 mm pada bulan Oktober, manakala hujan minimum dicatatkan sebanyak 0.0 mm pada bulan Januari (Zu et al., 2021). Pada masa yang sama, suhu maksimum yang direkodkan pada bulan Mac adalah 38.4°C, di mana paras air di Empangan Beris menunjukkan penurunan yang ketara dari bulan Mac hingga Mei, bertepatan dengan kejadian kemarau yang berlaku pada tempoh tersebut.

Jadual 2.2 di bawah menunjukkan rekod meteorologi suhu kering maksimum tertinggi, suhu kering minimum terendah, dan hujan yang direkodkan pada tahun 2020, masing-masing, dari stesen meteorologi bantuan yang terdekat dengan Empangan Beris.

Jadual 2.2: Data meteorologi stesen meteorologi bantuan Pusat Pertanian Batu Seketol tahun 2020 (Zu et al., 2021)

Bulan	Suhu Kering Maksimum Tertinggi (°C)	Suhu Kering Minimum Terendah (°C)	Hujan Bulanan (mm)
January	36.6	16.6	0
February	36.8	17.2	30.8
March	38.4	18.4	88
April	37.9	21.2	322.2
May	35.4	21.8	455.5
Jun	34	21.6	207
July	34	21.5	475.2
August	34.3	21.5	238.6
September	34.8	21.7	523.3
October	33.7	21.3	533.4
November	33.4	20.8	435.9
December	32.8	20.7	219.9

Antara faktor-faktor yang menyumbang kepada perbezaan taburan hujan pada musim pensampelan ialah perubahan monsun. Malaysia secara lazimnya mempunyai perubahan monsun yang dikategorikan kepada 2 monsun iaitu monsun timur laut dan monsun barat daya. Secara umumnya di Semenanjung Malaysia, monsun timur laut adalah monsun yang membawa banyak hujan terutama di kawasan

pantai timur Semenanjung Malaysia dan juga terhadap kawasan utara Semenanjung Malaysia. Dengan kadar hujan yang lebih tinggi berbanding monsun barat daya, musim monsun timur laut membawa hujan yang lebih lebat terutamanya di kawasan pantai timur Semenanjung Malaysia. Sebaliknya, musim peralihan monsun dicirikan oleh kadar taburan hujan yang lebih rendah. Kawasan daerah Sik, sebagai contoh, menerima kesan perubahan monsun pada kadar yang minimum kerana lokasinya berhampiran Banjaran Titiwangsa. Banjaran ini bertindak sebagai pelindung daripada kesan monsun timur laut di barat Semenanjung Malaysia, manakala monsun barat daya yang melanda kawasan ini menyumbang kepada musim kemarau serta penurunan isi padu air di Empangan Beris (Fadzilatulhusni et al., 2011).

Malaysia juga tidak terkecuali daripada mengalami kesan ekstrem monsun akibat fenomena El-Nino. Perubahan yang dibawa oleh El-Nino sedikit sebanyak menyumbang kepada perubahan pola monsun timur laut dan barat daya yang lebih ekstrem. Dalam tempoh ini, monsun timur laut cenderung menghasilkan kerosakan yang lebih teruk, seperti kejadian banjir besar, manakala monsun barat daya pula membawa kepada kemarau yang lebih panjang dan ekstrem.

#### **2.4 Asal usul tasik**

Daripada istilah geologi, tasik adalah bersifat sementara. Ia berasal sebagai produk proses geologi dan berakhir kerana kehilangan mekanisme kolam, penyejatan yang disebabkan oleh perubahan dalam keseimbangan hidrologi, atau pemfailan yang disebabkan oleh pemendapan (Chapman et al., 1996). (Håkanson, 2012), membincangkan pelbagai jenis tasik utama berdasarkan asal usulnya, ciri-ciri morfometrik, dan taburannya di seluruh dunia. Jenis-jenis tasik utama yang

dikategorikan termasuk tasik glasier, tasik tektonik, tasik vulkanik, tasik ladam, tasik air masin, tasik bermusim, tasik meromitik, dan tasik buatan manusia atau empangan.

Sebagai perbandingan, Empangan Beris adalah contoh tasik buatan manusia, yang dibina melalui pembinaan empangan untuk tujuan pengumpulan dan penyimpanan air. Berbeza dengan tasik semula jadi seperti tasik glasier atau tektonik yang terbentuk secara geologi dalam tempoh yang panjang, Empangan Beris dibina melalui campur tangan manusia untuk memenuhi keperluan sumber air di kawasan sekitarnya, seperti bekalan air minuman dan pengairan pertanian. Ciri morfometrik Empangan Beris, termasuk saiz takungan dan kedalamannya, berbeza dengan tasik semula jadi dan lebih terurus berdasarkan keperluan manusia serta pertimbangan teknikal dalam reka bentuk empangan.

(Søndergaard et al., 2023) mencadangkan bahawa antara 11 jenis tasik utama yang ada boleh dibahagikan lagi kepada 76 sub jenis. Proses terbentuknya tasik utama terdiri daripada aktiviti tektonik misalan Laut Caspian, tasik yang dibentuk daripada aktiviti glasier seperti Tasik Bled di Slovenia, tasik yang terbentuk daripada aktiviti gunung berapi seperti Tasik Danau Toba Sumatera Indonesia, tasik yang terhasil daripada aktiviti hakisan dan pemendapan seperti tasik ladam kuda Sungai Mati di Muar, Johor dan akibat tindakan fluvial seperti Tasik Chini di Pahang.

Tasik yang terbentuk hasil daripada pembinaan empangan tidak diklasifikasikan sebagai tasik semula jadi atau yang terbentuk secara geologi secara alami. Tasik Beris, yang juga dikenali sebagai Empangan Beris, merupakan sebuah tasik buatan manusia yang dibina bagi tujuan pengumpulan air sebagai sistem tadahan utama. Empangan ini berperanan penting dalam menyokong fungsi Sungai Muda sebagai sumber utama bekalan air bersih, khususnya bagi tujuan pengairan pertanian di negeri Kedah dan Pulau Pinang.

## 2.5 Parameter fizikokimia kualiti air

Sejak mula beroperasi pada tahun 2004, Empangan Beris telah menjadi lokasi kepada pelbagai aktiviti antropogenik yang berpotensi menyumbang kepada pencemaran sumber air. Kesan daripada pencemaran ini telah mengakibatkan perubahan terhadap parameter kualiti air, termasuk peningkatan kadar eutrofikasi, sekali gus menjejaskan status kualiti air empangan secara keseluruhan dan menimbulkan risiko terhadap kelestarian sumber air tersebut (Dr. Mohd Bakri, 2020). Pertambahan populasi serta kepelbagaian aktiviti manusia, khususnya di kawasan tadahan dan sekitar Empangan Beris, telah menyebabkan peningkatan yang signifikan terhadap permintaan air tawar. Keadaan ini sering mengakibatkan ketidakseimbangan antara jumlah permintaan dan kapasiti bekalan air empangan, menjadikan sumber air sentiasa berada dalam keadaan tertekan. Bagi memastikan air yang dibekalkan adalah sesuai untuk pelbagai kegunaan seperti minuman, aktiviti rekreasi, kegunaan domestik, pengairan pertanian, serta keperluan industri, penilaian terhadap parameter fizikokimia perlu dijalankan secara berkala. Parameter yang menjadi keutamaan dalam analisis ini termasuklah pH, oksigen terlarut (DO), kandungan pepejal terampai dan sedimen, serta kepekatan nutrien seperti nitrogen dan fosforus, yang merupakan penunjuk utama kepada tahap kesuburan air dan risiko eutrofikasi (Saha et al., 2020).

Air tasik atau empangan, termasuk Empangan Beris, secara semula jadi mengandungi pelbagai kekotoran seperti zarah terampai (*suspended solids*), bahan terlarut (*dissolved substances*), serta mikroorganisma termasuk bakteria patogen. Oleh itu, ujian fizikal dan kimia perlu dijalankan bagi menilai status kualiti air secara menyeluruh. Ujian fizikal melibatkan pengukuran parameter seperti suhu air,

kekeruhan (*turbidity*), pH, jumlah pepejal terlarut (*Total Dissolved Solids*, TDS), kekonduksian elektrik (*electrical conductivity*), dan kemasinan (*salinity*). Sementara itu, ujian makmal lebih tertumpu kepada analisis parameter kimia dan biologi seperti permintaan oksigen biokimia (*Biochemical Oxygen Demand*, BOD), permintaan oksigen kimia (*Chemical Oxygen Demand*, COD), oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*, DO), kealkalian (*alkalinity*) dan keliatan air (*hardness*), seperti yang digariskan oleh (Chapman et al., 1996).

Bagi memastikan pemantauan kualiti air dijalankan secara berterusan dan konsisten, pensampelan air perlu dilaksanakan sekurang-kurangnya dua kali setahun pada musim kering dan musim hujan, bagi mengenal pasti kesan perubahan iklim bermusim terhadap dinamik parameter air tasik atau empangan tersebut.

### **2.5.1 Suhu air**

Suhu air tasik merupakan salah satu parameter fizikokimia yang penting dalam menentukan keseimbangan ekosistem akuatik serta kualiti air secara keseluruhan. Variasi suhu ini dipengaruhi oleh pelbagai faktor seperti iklim setempat, musim, kedalaman tasik, sinaran suria, suhu udara, serta peredaran air (Wetzel, 2001). Secara umum, suhu air mengalami turun naik harian (*diurnal*), bermusim (*seasonal*), dan tahunan (*annual*). Pada waktu siang, peningkatan suhu air berlaku akibat penyerapan sinaran matahari, manakala pada waktu malam, suhu menurun disebabkan hilangnya haba melalui proses penyejukan dan penyinaran semula (*radiative cooling*) (Livingstone, 1998). Suhu udara ambien juga memainkan peranan dalam menentukan suhu permukaan air (Lotter, 1998).

Stratifikasi haba berlaku dalam tasik yang dalam apabila lapisan permukaan (*epilimnion*) menjadi panas dan kurang tumpat, berbanding lapisan bawah

(*hypolimnion*) yang lebih sejuk dan tumpat. Keadaan ini mengurangkan pencampuran air antara lapisan dan memberi kesan kepada kualiti air serta kandungan oksigen (Chang et al., 2022). Sekiranya peredaran air lemah, seperti dalam keadaan tiada angin atau dalam tasik bertebing tinggi, suhu akan kekal tinggi di permukaan, manakala lapisan bawah tetap sejuk (Huo et al., 2023).

Faktor tambahan yang turut memberi kesan terhadap suhu air termasuklah luas permukaan tasik, kehadiran teduhan daripada tumbuhan sekeliling, kedalaman tasik, dan kadar penyejatan (Boehrer, 2008). Oleh itu, pemantauan suhu air secara berkala adalah penting dalam mengesan perubahan dalam ekosistem air tawar dan mengenal pasti kesan perubahan iklim serta aktiviti antropogenik terhadap sistem akuatik.

Kebanyakan hidupan akuatik menyesuaikan diri untuk hidup dalam julat suhu terhad, dan akan mati apabila suhu ternyata terlalu rendah atau terlalu tinggi. Suhu mempengaruhi pembiakan, metabolisme dan faktor luaran haiwan akuatik ini dan juga boleh mempengaruhi suhu air. Contohnya, larva nyamuk (*Culex spp.*) di mana proses penguraian larva berkenaan juga menyumbang kepada peningkatan sisa terampai yang mempengaruhi suhu air (Asare et al., 2016). Suhu juga mengganggu tahap fotosintesis tumbuhan akuatik dan asas kitaran makanan laut. Bahan pencemar boleh menjadi lebih beracun pada suhu yang lebih tinggi misalan nitrat. Suhu diukur dalam darjah Celsius (*Centigrade*) dan menggunakan peralatan khas yang dipanggil termometer. Untuk kajian suhu air di lapangan, kebiasaan penyelidik menggunakan meter *multi parameter* khas untuk kualiti air (Vancouver Water Resources Education Center, 2017).



Rajah 2.1: Meter kualiti air lapangan model Horiba D-200 khusus untuk mengambil bacaan suhu dan lain-lain parameter (Horiba Inc)

### 2.5.2 Kekeruhan

Kekeruhan air merujuk kepada tahap kejernihan atau jumlah pepejal terampai dalam air. Zarah ini terdiri daripada bahan organik, bahan bukan organik, sedimen, atau mikroorganisma. Kekeruhan air boleh diukur secara manual sama ada menggunakan piring secchi atau menggunakan meter kekeruhan yang menghasilkan unit NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) (de Roos et al., 2017).



Rajah 2.2 : Piring Secchi dan meter kekeruhan

Kekeruhan air merupakan salah satu parameter fizikokimia penting dalam penilaian kualiti air empangan, dan ia dipengaruhi oleh pelbagai faktor semula jadi dan antropogenik. Berdasarkan pemantauan dan kajian sekitar Empangan Beris, beberapa faktor utama telah dikenal pasti sebagai penyumbang kepada peningkatan kekeruhan air di kawasan tersebut. Antara faktor utama ialah pemendapan sedimen yang berlaku akibat peningkatan kadar aliran masuk air dari sungai-sungai utama seperti Sungai Beris, Sungai Batang, Sungai Charuk Sungkai, dan Sungai Terenas, terutama semasa hujan lebat atau musim tengkujuh. Keadaan ini menyebabkan zarah-zarah terampai seperti kelodak dan pasir halus dibawa masuk ke dalam takungan, lalu meningkatkan tahap kekeruhan air. Hakisan tanah juga dikenal pasti sebagai faktor signifikan, khususnya di kawasan hulu sungai dan lereng bukit berhampiran kawasan tadahan empangan. Aktiviti hakisan ini sering dikaitkan dengan pembukaan tanah untuk aktiviti pertanian, pembalakan tidak terkawal, dan pembangunan infrastruktur di sekitar kawasan tadahan (Miller et al., 2015).

Aktiviti antropogenik seperti perlombongan mineral dan pengoperasian kuari yang tidak dirancang secara mampan berpotensi menyumbang secara signifikan kepada peningkatan kadar kekeruhan air di kawasan tasik dan empangan. Selain itu, pelepasan sisa industri dan domestik yang tidak dirawat dengan sempurna turut mengakibatkan zarah pepejal dan bahan pencemar organik memasuki sistem akuatik, seterusnya menjejaskan kualiti air secara keseluruhan (Karbassi et al., 2006; Zhang et al., 2023). Kekeruhan air yang tinggi memberi kesan langsung terhadap ekosistem akuatik, antaranya mengurangkan penembusan cahaya matahari ke dalam kolum air, yang seterusnya menghalang proses fotosintesis tumbuhan akuatik dan fitoplankton. Keadaan ini menurunkan tahap oksigen terlarut (DO) dalam air, sekali gus