



**Fakulti Seni Gunaan dan Kreatif**

**Reka Bentuk Turbin Piko Hidrokinetik Dan Kesesuaiannya  
Kepada Lokaliti Pedalaman Sarawak**

**Zahrul Zamri bin Jamaluddin**

**Doktor Falsafah  
2024**

Reka Bentuk Turbin Piko Hidrokinetik Dan Kesesuaiannya  
Kepada Lokaliti Pedalaman Sarawak

Zahrul Zamri bin Jamaluddin

Tesis ini dikemukakan

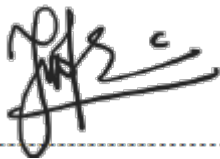
Bagi memenuhi keperluan untuk Ijazah Doktor Falsafah

(Seni Gunaan dan Kreatif)

Fakulti Seni Gunaan dan Kreatif  
UNIVERSITI MALAYSIA SARAWAK  
2024

## **PERAKUAN**

Saya mengaku bahawa kerja-kerja di dalam tesis ini telah diselaraskan dengan peraturan-peraturan Universiti Malaysia Sarawak, dan tesis ini adalah asli. Tesis ini tidak pernah diterima untuk sebarang ijazah dan tidak dikemukakan secara serentak bagi sebarang pencalonan ijazah lain.



Tandatangan

Nama: Zahrul Zamri Jamaluddin

No. Matrik: 15010195

Fakulti Seni Gunaan dan Kreatif

Universiti Malaysia Sarawak

Tarikh: 3 Oktober 2024

## **PENGHARGAAN**

Alhamdulillah, bersyukur ke hadrat Ilahi dengan izin dan berkat-Nya, saya dapat menyiapkan penyelidikan ini dengan baik.

Setinggi-tinggi ucapan terima kasih dan sejuta penghargaan ditujukan kepada penyelia Utama, Profesor Dr. Saiful Bahari bin Mohd Yusoff yang telah memberikan nasihat dalam bidang penyelidikan reka bentuk perindustrian. Penghargaan terima kasih juga diucapkan kepada penyelia kedua iaitu Profesor Madya Dr Engku Azrulhisyam bin Engku Mohammad yang telah memberikan bimbingan dan panduan di dalam bidang teknikal untuk menyiapkan penyelidikan tesis ini. Beliau juga amat komited dalam setiap penyelidikan yang dijalankan terutama ketika ekspedisi penyelidikan di lapangan pedalaman Sarawak.

Kesempatan ini, saya ingin menyampaikan ucapan ribuan terima kasih kepada keluarga dan rakan rakan yang amat memahami dan memberikan sokongan moral di sepanjang cabaran menyiapkan penyelidikan akademik ini.

Akhir sekali, terima kasih kepada Kementerian Tenaga, Teknologi Hijau dan Air (KeTTHA) yang telah menyumbangkan dana penyelidikan yang besar untuk menjayakan penyelidikan saya di Sarawak.

## ABSTRAK

Teknologi tenaga boleh diperbaharui dalam kategori hidrokinetik untuk keperluan komuniti pedalaman di negeri Sarawak menjadi fokus penyelidikan ini. Lokaliti pedalaman ini berada di luar grid elektrik nasional iaitu melebihi lingkungan 10 kilometer menjadikan komuniti ini tidak dapat disambungkan dengan kemudahan tenaga elektrik. Selain daripada keberadaan lokaliti pedalaman, kelompok komuniti yang kecil juga merumitkan kemajuan kemudahan asas tenaga elektrik. Walau bagaimanapun, elektrifikasi pedalaman adalah elemen penting dalam membawa pembangunan sosial dan ekonomi. Untuk mengatasi permasalahan ini, prototaip turbin hidrokinetik mudah alih dibina berkonsepkan Darrieus jenis H yang menggunakan tiga bilah lengan hidrofoil. Prototaip ini direka bentuk berdasarkan dua aspek penting iaitu keseimbangan persekitaran dan halaju aliran air sungai secara semula jadi. Penyelidikan ini menunjukkan tingkah laku peranti pada sudut serangan air yang mengalir secara rawak pada kadar air yang berbeza. Penyelidikan ini juga menguji kebolehan kriteria reka bentuk peranti dalam memacu kecekapan pekali daya angkat pada setiap putaran hidrofoil. Kecekapan ini membantu mekanisma lain meningkatkan pengeluaran daya yang optimum dari sistem. Tesis ini membincangkan hasil pengumpulan maklumat dan data di sekitar sungai lokaliti pedalaman. Pembangunan reka bentuk prototaip turbin hidrokinetik mudah alih ini dibina menggunakan pencetak 3D dan fabrikasi logam. Manakala proses akhir pula adalah menguji prototaip ini di Pusat Kajian Air. Ujian ini adalah untuk mengenal pasti potensi fungsi turbin hidrokinetik mudah alih sebagai penjana tenaga elektrik. Dapatan penyelidikan ini dianalisis menggunakan perisian Minitab. Kesimpulan daripada hasil analisis yang telah dijalankan, penyelidik berjaya membuktikan kebolehsanaan turbin hidrokinetik mudah alih tersebut.

**Kata kunci:** Lokaliti pedalaman, piko hidro, turbin hidrokinetik, turbin mudah alih

## ***Hydrokinetic Pico Turbine Design and Its Suitability to Locality Inland Sarawak***

### ***ABSTRACT***

*Renewable energy technology in the hydrokinetic category for rural communities in the state of Sarawak is the focus of this research. These rural localities, which are located more than 10 kilometres outside of the national electricity off-grid, cannot be connected to electricity facilities. Besides the existence of rural localities, small community groups also complicate the development of basic electricity facilities. However, rural electrification is an important element in bringing about social and economic development. In order to solve these issues, a portable hydrokinetic turbine prototype was built using H-Darrieus concept. This concept used three hydrofoil blade arms and was designed based on two important aspects, which are environmental balance and river flow rate. This research shows the behaviour of device at angle of attack for random flowing water at different water flow rates. This research also shows the ability of the device, designed in driving the efficiency of lifting coefficient criteria occurs in every hydrofoil rotation. This efficiency helps other mechanisms to produce optimal power from the system. This thesis discusses the results of information and data collection around rivers of rural community localities. The design development of hydrokinetic turbine prototype used 3D printer and metal fabrication. Final process of this prototype was testing it in a water tank laboratory. The test was done to identify its functional potential as an electrical power generator. The findings of this research were analyzed using Minitab software. Based on the analysis, researcher has proven the feasibility of portable turbine hydrokinetics.*

***Keywords:*** *Hydrokinetic turbine; portable turbine; pico hydro; rural locality*

## ISI KANDUNGAN

|                                 | <b>Mukasurat</b> |
|---------------------------------|------------------|
| <b>PERAKUAN</b>                 | <b>i</b>         |
| <b>PENGHARGAAN</b>              | <b>ii</b>        |
| <b>ABSTRAK</b>                  | <b>iii</b>       |
| <b><i>ABSTRACT</i></b>          | <b>v</b>         |
| <b>ISI KANDUNGAN</b>            | <b>vi</b>        |
| <b>SENARAI RAJAH</b>            | <b>xiii</b>      |
| <b>SENARAI GAMBAR</b>           | <b>xiv</b>       |
| <b>SENARAI SINGKATAN</b>        | <b>xvi</b>       |
| <b>BAB 1: PENGENALAN</b>        | <b>1</b>         |
| 1.1 Pengenalan                  | 1                |
| 1.2 Latar Belakang Penyelidikan | 1                |
| 1.3 Kepentingan Penyelidikan    | 4                |
| 1.4 Keperluan Penyelidikan      | 5                |
| 1.5 Penyataan Masalah           | 7                |
| 1.6 Objektif Penyelidikan       | 11               |
| 1.7 Persoalan Penyelidikan      | 11               |
| 1.8 Skop Penyelidikan           | 12               |
| 1.9 Kerangka Konseptual         | 13               |

|                                |                                              |           |
|--------------------------------|----------------------------------------------|-----------|
| 1.10                           | Limitasi Penyelidikan                        | 14        |
| 1.11                           | Perbelanjaan Penyelidikan                    | 15        |
| 1.12                           | Rumusan                                      | 15        |
| <b>BAB 2: KAJIAN LITERATUR</b> |                                              | <b>17</b> |
| 2.1                            | Pengenalan                                   | 17        |
| 2.2                            | Lokaliti Pedalaman Di Sarawak                | 17        |
| 2.2.1                          | Bekalan Tenaga Elektrik                      | 18        |
| 2.2.2                          | Tenaga Solar Fotovoltan                      | 21        |
| 2.2.3                          | Sumber Disil                                 | 22        |
| 2.3                            | Hidrokinetik                                 | 23        |
| 2.3.1                          | Piko Hidro                                   | 25        |
| 2.3.2                          | Turbin Arus Aliran Air                       | 26        |
| 2.3.3                          | Turbin Darrieus Jenis H                      | 27        |
| 2.3.4                          | Sungai di Pedalaman Sarawak                  | 29        |
| 2.3.5                          | Hidrofoil                                    | 30        |
| 2.3.6                          | Profil NACA                                  | 31        |
| 2.3.7                          | Kadar Air                                    | 31        |
| 2.4                            | Hidrokinetik Sedia Ada Di Pasaran            | 32        |
| 2.4.1                          | Pengenalan                                   | 32        |
| 2.4.2                          | Reka Bentuk Turbin yang Sedia Ada di Pasaran | 33        |

|                                                   |           |
|---------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.2.1 New Energy Corporation Inc. (Kanada)      | 33        |
| 2.4.2.2 Teknologi Tenaga Lucid (US)               | 34        |
| 2.4.2.3 Alternative Hydro Solutions Ltd. (Kanada) | 35        |
| 2.4.2.4 Thropton Energy Services (UK)             | 36        |
| 2.4.3 Rumusan                                     | 37        |
| 2.5 Hidrokinetik di Malaysia                      | 38        |
| 2.5.1 Pengenalan                                  | 38        |
| 2.5.2 Sistem Mikro hidrokinetik                   | 38        |
| 2.5.3 Jurang Penyelidikan                         | 39        |
| 2.6 Pendekatan Kualitatif                         | 39        |
| <b>BAB 3: METODOLOGI</b>                          | <b>42</b> |
| 3.1 Pengenalan                                    | 42        |
| 3.2 Proses Pemikiran Reka Bentuk                  | 42        |
| 3.3 Metod Penyelidikan                            | 44        |
| 3.4 Prosedur Pengumpulan Data di Lapangan         | 46        |
| 3.4.1 Pemerhatian dan Fotografi                   | 46        |
| 3.4.2 Metod Penyelidikan Kadar Air Sungai         | 47        |
| 3.5 Lokasi Penyelidikan                           | 48        |
| 3.6 Pembangunan Reka Bentuk Prototaip Turbin      | 48        |
| 3.7 Analisis Data Penyelidikan                    | 50        |

|                                    |                                                   |           |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------|
| 3.8                                | Keselamatan                                       | 51        |
| 3.9                                | Ringkasan                                         | 52        |
| <b>BAB 4: ANALISIS DAN DAPATAN</b> |                                                   | <b>53</b> |
| 4.1                                | Pengenalan                                        | 53        |
| 4.2                                | Dapatan Pemerhatian di Lokaliti Pedalaman Sarawak | 53        |
| 4.2.1                              | Kampung Semulong Ulu                              | 53        |
| 4.2.1.1                            | Demografik                                        | 53        |
| 4.2.1.2                            | Pemerhatian Di Sungai Semulong Ulu                | 58        |
| 4.2.2                              | Sungai Engkari, Batang Ai di Lubuk Antu           | 61        |
| 4.2.2.1                            | Demografik                                        | 61        |
| 4.2.2.2                            | Pemerhatian Di Sungai Engkari                     | 64        |
| 4.2.3                              | Sungai Niah di Miri                               | 69        |
| 4.2.3.1                            | Demografik                                        | 69        |
| 4.2.3.2                            | Pemerhatian Di Sungai Niah                        | 70        |
| 4.3                                | Dapatan Pengukuran Arus Air Sungai                | 73        |
| 4.3.1                              | Penyelidikan Lapangan Di Sungai Engkari           | 73        |
| 4.3.2                              | Penyelidikan Lapangan Di Sungai Niah              | 75        |
| 4.4                                | Analisis Prototaip Turbin Hidrokinetik Mudah Alih | 76        |
| <b>BAB 5: PERBINCANGAN</b>         |                                                   | <b>82</b> |
| 5.1                                | Pengenalan                                        | 82        |

|                                       |                                                |            |
|---------------------------------------|------------------------------------------------|------------|
| 5.2                                   | Lokality dan Sungai di Pedalaman Sarawak       | 82         |
| 5.3                                   | Prototaip Turbin Hidrokinetik Mudah Alih       | 90         |
| 5.4                                   | Penyelenggaraan Turbin Hidrokinetik Mudah Alih | 96         |
| 5.5                                   | Pelarasan Turbin Hidrokinetik Mudah Alih       | 97         |
| 5.6                                   | Kebolehsanaan Turbin Hidrokinetik Mudah Alih   | 98         |
| 5.7                                   | Validasi                                       | 100        |
| 5.7.1                                 | Fungsi dan Pretasi                             | 101        |
| 5.7.2                                 | Keselamatan                                    | 101        |
| 5.7.3                                 | Kebolehgunaan                                  | 102        |
| 5.7.4                                 | Fleksibiliti dan Adaptabiliti                  | 102        |
| 5.7.5                                 | Kepentingan Alam Sekitar                       | 103        |
| 5.7.6                                 | Pengurusan Projek                              | 103        |
| 5.8                                   | Ringkasan                                      | 104        |
| <b>BAB 6: KESIMPULAN DAN CADANGAN</b> |                                                | <b>105</b> |
| 6.1                                   | Pengenalan                                     | 105        |
| 6.2                                   | Rumusan                                        | 105        |
| 6.3                                   | Implikasi                                      | 107        |
| 6.4                                   | Cadangan                                       | 107        |
| 6.4.1                                 | Sistem Penyaringan Serpihan Bahan Semula Jadi  | 107        |

|                 |                                           |            |
|-----------------|-------------------------------------------|------------|
| 6.4.2           | Perletakan Turbin Hidrokinetik Mudah Alih | 108        |
| 6.4.3           | Penutup                                   | 109        |
| <b>RUJUKAN</b>  |                                           | <b>110</b> |
| <b>APENDIKS</b> |                                           | <b>117</b> |

## **SENARAI JADUAL**

|                                                 | <b>Mukasurat</b> |
|-------------------------------------------------|------------------|
| Jadual 4.1: Catatan Bacaan di Sungai Engkari    | 67               |
| Jadual 4.2: Catatan Bacaan di Sungai Niah       | 68               |
| Jadual 4.3: Catatan Ujian di Pusat Kajian Air   | 70               |
| Jadual 4.4: Catatan Pengeluaran Tenaga Elektrik | 71               |

## SENARAI RAJAH

|                                                      | <b>Mukasurat</b> |
|------------------------------------------------------|------------------|
| Rajah 1.1: Kerangka Konseptual Brown dan Svenson     | 14               |
| Rajah 3.1: Pemikiran Reka Bentuk (Idea Penyelidik)   | 42               |
| Rajah 3.2: Metod Penyelidikan (Sumber Penyelidik)    | 44               |
| Rajah 3.3: Reka Bentuk Turbin (Sumber Penyelidik)    | 50               |
| Rajah 4.1: Lokasi sungai Engkari (Sumber Google)     | 61               |
| Rajah 4.2: Peta Batang Ai (Sumber Penyelidik)        | 62               |
| Rajah 4.3: Scatterplot antara RPM dan Kadar Air      | 78               |
| Rajah 4.4: Graf Tenaga Elektrik Yang Dihasilkan      | 80               |
| Rajah 5.1: Reka Bentuk Hidrofoil (Sumber Penyelidik) | 93               |
| Rajah 5.2: Reka Bentuk Turbin (Sumber Penyelidik)    | 94               |
| Rajah 5.3: NACA 0018 (Sumber Penyelidik)             | 95               |

## SENARAI GAMBAR

|                                                                         | <b>Mukasurat</b> |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Gambar 2.1: Penjana kuasa disil (Sumber Anyi et al., 2010)              | 23               |
| Gambar 2.2: Peranti EnCurrent (www.newenergycorp.ca)                    | 34               |
| Gambar 2.3: Peranti Lucid (www.lucidenergy.com)                         | 35               |
| Gambar 2.4: Peranti Alternative Hydro (www.althydrosolutions.com)       | 36               |
| Gambar 2.5: Peranti Thropton Energy (www.throptonenergy.co.uk)          | 37               |
| Gambar 2.6: Konsep Turbin Pelton (Sumber Anyi et al., 2010)             | 39               |
| Gambar 3.2: Di Lapangan Penyelidikan Sungai Engkari (Sumber Penyelidik) | 47               |
| Gambar 4.1: Panel Solar fotovoltan (Sumber Penyelidik)                  | 55               |
| Gambar 4.2: Kerosakan pada Panel Solar dan Diod (Sumber Penyelidik)     | 56               |
| Gambar 4.3: Lokaliti Pedalaman (Sumber Penyelidik)                      | 57               |
| Gambar 4.4: Ruang Dalam di Rumah Panjang (Sumber Penyelidik)            | 57               |
| Gambar 4.5: Keadaan Tebing Sungai (Sumber Penyelidik)                   | 58               |
| Gambar 4.6: Perubahan Paras Air Sungai (Sumber Penyelidik)              | 59               |
| Gambar 4.7: Keadaan Tebing Sungai (Sumber Penyelidik)                   | 60               |
| Gambar 4.8: Pengangkutan Air Komuniti (Sumber Penyelidik)               | 63               |
| Gambar 4.9: Pengangkutan Air Komuniti (Sumber Penyelidik)               | 64               |
| Gambar 4.10: Aktiviti Komuniti Pedalaman (Sumber Penyelidik)            | 64               |
| Gambar 4.11: Keadaan Tebing Sungai (Sumber Penyelidik)                  | 65               |
| Gambar 4.12: Perubahan Paras Air Sungai (Sumber Penyelidik)             | 65               |
| Gambar 4.13: Serpihan Bahan Semula Jadi (Sumber Penyelidik)             | 66               |
| Gambar 4.14: Serpihan Bahan Semula Jadi (Sumber Penyelidik)             | 66               |
| Gambar 4.15: Keadaan di Sungai Engkari (Sumber Penyelidik)              | 67               |
| Gambar 4.16: Keadaan di Sungai Engkari (Sumber Penyelidik)              | 68               |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.17: Perubahan Air di Hulu Sungai (Sumber Penyelidik)    | 68 |
| Gambar 4.18: Keratan Rentas Morfologi Sungai (Sumber Penyelidik) | 70 |
| Gambar 4.19: Keadaan Tebing Sungai (Sumber Penyelidik)           | 70 |
| Gambar 4.20:Perubahan Paras Air Sungai (Sumber Penyelidik)       | 71 |
| Gambar 4.21:Keadaan di Sungai (Sumber Penyelidik)                | 72 |
| Gambar 4.22:Keadaan di Pinggir Sungai (Sumber Penyelidik)        | 73 |

## SENARAI SINGKATAN

|         |                                             |
|---------|---------------------------------------------|
| AC      | Arus ulang-alik                             |
| DC      | Arus terus                                  |
| KeTTTHA | Kementerian Tenaga, Teknologi Hijau dan Air |
| kW      | Kilowatt                                    |
| M/S     | Meter persaat                               |
| NACA    | National Advisory Committee for Aeronautics |
| RPM     | Putaran Per Minit                           |
| UniKL   | Universiti Kuala Lumpur                     |
| UNIMAS  | Universiti Malaysia Sarawak                 |
| W       | Watt                                        |

## **BAB 1**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 Pengenalan**

Penyelidikan ini berteraskan kepada teknologi hijau dan mampan. Penyelidikan yang berteraskan kepada cabaran dalam konteks merealisasikan kemudahan elektifikasi komuniti pedalaman di Sarawak, Malaysia. Oleh itu pada bab ini penyelidik menerangkan tentang latar belakang penyelidikan, persoalan penyelidikan, objektif yang digariskan dalam penyelidikan ini serta ringkasan. Penyelidikan memberikan penumpuan kepada penyelidikan tenaga elektrik yang berasaskan tenaga hidrokinetik. Lokasi penyelidikan tertumpu di kawasan penempatan komuniti yang mendiami di kawasan pedalaman negeri Sarawak.

#### **1.2 Latar Belakang Penyelidikan**

##### **1.2.1 Penyelidikan Di Pedalaman Sarawak**

Penyelidikan ini mendapat geran dari Kementerian Tenaga, Teknologi Hijau dan Air (KeTTHA) untuk menjalani penyelidikan di Sarawak. Rentetan dari termeterainya Memorandum Persefahaman (MoU) antara Universiti Kuala Lumpur (UniKL) dan Universiti Malaysia Sarawak (UNIMAS) pada tahun 2015 telah memberikan impak dari segi kerjasama ke arah penyelidikan tenaga boleh diperbaharui. Penyelidikan tertumpu di kawasan pedalaman Sarawak yang memerlukan alternatif metod untuk mendapatkan kemudahan tenaga elektrik. Ekspedisi penyelidikan telah berjaya memperolehi data penyelidikan di lokaliti pedalaman seperti di Semulong Ulu, Sungai Engkari dan Sungai Niah. Walau bagaimanapun, terdapat beberapa sungai yang gagal untuk mendapatkan data

penyelidikan disebabkan keadaan persekitaran di lapangan yang tidak selamat untuk dijalankan penyelidikan. Sungai yang terlibat adalah di Padawan, pasukan penyelidikan gagal untuk mendapatkan data penyelidikan akibat dari hujan yang lebat dan kecerunan sungai yang tinggi serta merbahaya. Begitu juga keadaan di sungai Semulong Ulu, hujan turun pada sebelah pagi yang menyebabkan keadaan air sungai yang meningkat naik dan deras. Keadaan pinggir sungai yang diliputi lumpur boleh membahayakan kepada pasukan penyelidik. Walaupun setiap persiapan ekspedisi ini telah dirancang dengan rapi, akan tetapi pasukan penyelidik tidak dapat mengelak dari perubahan cuaca dan keadaan persekitaran yang bahaya ketika berada di lapangan. Setiap ekspedisi penyelidikan telah mengambil masa antara tiga hingga empat hari sahaja, bergantung kepada masa, lokasi dan perbelanjaan.

Penyelidikan ini memfokuskan kepada mod penyelidikan gunaan yang memerlukan penyelidik menjalankan kajian secara kerja lapangan, observasi dan menghasilkan reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih untuk keperluan komuniti setempat. Mod kajian gunaan digunakan untuk menyelesaikan sesuatu masalah praktis yang dihadapi dengan menguji sesuatu teori dalam bidang reka bentuk turbin Darrieus jenis H yang menggunakan aplikasi turbin jenis paksi menegak untuk menyesuaikan profil di sungai pedalaman yang terpilih di Sarawak.

### **1.2.2 Tenaga Boleh Diperbaharui**

Tenaga boleh diperbaharui merupakan tenaga yang dihasilkan daripada sumber semula jadi seperti sinar matahari, angin, hujan, air pasang surut, ombak, biojisim dan geoterma yang mampan. Secara umumnya, tenaga boleh diperbaharui menyediakan tenaga untuk empat bahagian utama iaitu penjanaan tenaga elektrik, pengangkutan, sistem pemanasan dan penjanaan tenaga elektrik di kawasan pedalaman. Tenaga boleh diperbaharui

mulai menjadi sumber utama penjaan tenaga elektrik global menjelang abad ke-21 (Niebuhr, 2019).

Tenaga hidro berasal dari air yang mengalir dan boleh diubah menjadi tenaga elektrik. Terdapat pelbagai jenis tenaga hidro yang berada di pasaran seperti kincir air, empangan kuasa hidro, tenaga air sungai dan tenaga pasang surut (Salleh, 2018). Tenaga hidro dari sesebuah loji penjana kuasa hidroelektrik memerlukan pembinaan empangan air yang besar. Air empangan yang berada pada paras yang paling tinggi akan menuruni dengan deras ke paras yang lebih rendah secara berterusan. Prinsip ini adalah untuk mengerakkan fungsi komponen mekanikal dengan menukarkan potensi tenaga air menjadi tenaga mekanikal (Mandelli et al., 2014). Pembangunan perancangan logi penjana kuasa hidro memerlukan jangka masa yang panjang. Pembinaan ini merangkumi kos untuk kerja kerja awam yang mahal seperti rumah kuasa, penstock, intake, peralatan, dan sistem kawalan. Pemilihan kawasan pembangunan system hidroelektrik yang strategik juga memerlukan penelitian yang tepat (Jamaluddin et al., 2018).

Oleh itu, Gorlov (1998) menjelaskan bahawa turbin hidraulik tidak praktikal untuk diterapkan pada stesen hidroelektrik yang berkedudukan pada dataran yang rendah. Pada prinsipnya, turbin hidraulik berfungsi dengan baik pada halaju aliran air yang sangat tinggi dan air mengalir secara berterusan. Untuk memanfaatkan tenaga hidro, tiga jenis turbin hidraulik yang biasanya digunakan iaitu Kaplan, Francis dan Pelton. Pembinaan hidroelektrik memerlukan sebuah empangan besar yang memerlukan kawasan yang amat luas. Pembinaan hidroelektrik juga telah melihat sejarah penempatan komuniti terpadam dan berlaku kemusnahan kasanah alam semula jadi. Walau bagaimanapun, tenaga hidro berskala kecil di sungai amat berpotensi tanpa berlaku kerosakan yang besar dan merupakan merupakan salah satu pilihan tenaga paling mesra alam yang semula jadi (Khan et al., 2009).

Tenaga hidro berskala kecil iaitu tenaga hidro piko adalah sistem tenaga hidro dengan pengeluaran arus elektrik maksimum iaitu 5 kilowatt (Abdullah et al., 2016) dan Askari et al., (2015) menjelaskan bahawa sistem tenaga hidro yang berukuran ini mendapat manfaat dari pendekatan reka bentuk, perancangan dan pemasangan yang berbeza dari segi kos dan penyelenggaraan. Inovasi dari klasifikasi tenaga hidro piko dapat menyumbang kepada sumber tenaga elektrik untuk kemudahan komuniti yang tinggal di luar grid elektrik nasional.

### **1.3 Kepentingan Penyelidikan**

Kepentingan dan sumbangan penyelidikan yang dilaksanakan adalah:-

1. Kelestarian tenaga elektrik untuk lokaliti pedalaman di Sarawak.

Usahawan komuniti pedalaman telah menghasilkan produk makanan dan kraftangan menggunakan alatan tradisional. Proses produktiviti mengambil masa yang lama untuk menyiapkan kerja secara manual. Kemudahan elektrik menggalakkan kegiatan ekonomi keusahawan menjadi cepat dan teratur. Oleh yang demikian, kegiatan ekonomi ini mendorong penghijrahan kembali anak tempatan yang berpengalaman balik ke kampung halaman dan memajukan lokaliti pedalaman.

2. Menjadi pemangkin kepada investor untuk mengalih perhatian kepada peranti tenaga piko hidrokinetik mudah alih.

Penyelidikan peranti tenaga piko hidro mudah alih ini dapat menjayakan misi dan visi Kementerian Tenaga, Teknologi Hijau dan Air (KeTTHA) dalam penyelidikan sumber tenaga boleh diperbaharui. Manakala penyelidikan di lokaliti pedalaman Sarawak dapat membantu dengan memberikan perkongsian maklumat dan data kepada agensi Sarawak Energy Berhad untuk membangunkan sistem tenaga boleh diperbaharui di lokaliti di luar grid elektrik nasional.

Disamping itu, tenaga boleh diperbaharui ini dapat mengekalkan kelestarian alam sekitar. Pengeksplotasian alam sekitar yang melibatkan kerja-kerja penebangan hutan dalam melaksanakan pembukaan kawasan baru di pedalaman mendatangkan ancaman yang serius terhadap habitat flora dan fauna.

#### **1.4 Keperluan Penyelidikan**

Penurunan bekalan bahan bakar fosil, pelepasan karbon dioksida yang tinggi, pemanasan global dan pencemaran alam sekitar adalah faktor utama yang mendorong pemacuan ke arah teknologi tenaga boleh diperbaharui sebagai sumber yang bersih dan mampan untuk penjanaan tenaga elektrik. Tidak dinafikan bahawa, penggunaan tenaga elektrik memainkan peranan penting dalam pertumbuhan ekonomi dan peningkatan taraf hidup rakyat. Oleh itu, sumber tenaga yang perlu mempunyai ciri-ciri dari tenaga yang boleh diperbaharui dan harus mempunyai kesan minima terhadap alam sekitar. Apabila permintaan untuk tenaga boleh diperbaharui meningkat, penggunaan turbin hidro kecil menjadi semakin menarik untuk diperluaskan perlaksanaannya diserata pelusuk lokasi.

Elektrifikasi luar bandar adalah elemen penting dalam membawa pembangunan sosial dan ekonomi penduduk luar bandar yang kurang bernasib baik. Elektrik luar grid nasional yang dijana oleh sistem mikro hidro telah digunakan untuk membekalkan elektrik untuk lokasi terpencil yang terletak di kawasan berbukit dengan high head yang mencukupi untuk pembinaan empangan kecil. Namun begitu, sistem mikro hidro konvensional tidak sesuai untuk masyarakat luar bandar yang tinggal di tanah pamah atau di sepanjang tebing sungai utama. Salah satu penyelesaiannya ialah dengan memperkenalkan teknologi hidrokinetik untuk menggunakan tenaga daripada aliran air yang bergerak bebas untuk menjana kuasa elektrik dengan menggunakan turbin piko hidro.

Keperluan penyelidikan ini berdasarkan kepada keperluan semasa dan data penyelidikan untuk topik yang berkaitan amat terhad dan memerlukan penyelidikan yang lebih banyak lagi. Perbezaan geografi, Sarawak berpotensi besar untuk membangunkan tenaga hijau dari sumber semula jadi sungai untuk menghasilkan tenaga elektrik. Krisis tenaga elektrik ini juga merupakan faktor utama ke arah kemajuan pendidikan untuk komuniti pedalaman. Antara lebih 10,000 buah sekolah di Malaysia, 809 buah sekolah yang kebanyakannya terletak di Sabah dan Sarawak yang masih belum dibekalkan dengan tenaga elektrik 24 jam (Jamaluddin et al., 2018).

Sektor pertanian merupakan pekerjaan sara hidup utama komuniti di pedalaman Sarawak. Sebahagian dari komuniti menjadi usahawan dengan menjual hasil pertanian dan membuat kraftangan dari sumber alam semula jadi. Pembuatan kerja dihasilkan dengan kaedah manual dan hasil yang diperolehi tidak dapat dikomesilkan dengan baik. Kemudahan tenaga elektrik yang murah dan berterusan mampu untuk mengerakkan operasi mesin serta menjana pendapatan yang baik. Justeru itu, kemudahan ini boleh menjadi pemangkin dan mengalakkan keusahawanan kelompok kecil di kalangan komuniti pedalaman Sarawak. Di samping itu, tiada rancangan untuk menyambungkan tenaga elektrik di luar sambungan grid elektrik nasional untuk komuniti pedalaman (Mahmud et al., 2010) dimana kelompok sesebuah komuniti pedalaman adalah sedikit dan kos penyambungan elektrik yang mahal. Kelesuan sumber tenaga konvensional dan peningkatan permintaan telah memaksa para perancang dan penggubal dasar mencari sumber alternatif untuk merealisasikan. Melalui pelbagai usaha, tenaga diperbaharui adalah jawapan terbaik untuk menghadapi krisis tenaga di luar grid elektrik nasional (Fauzi Shahab et al., 2017). Cabaran logistik, kos dan modal yang mencabar tidak pernah menghentikan usaha berterusan dari kerajaan negeri Sarawak di bawah Sarawak Energy Berhad (2020) untuk memastikan setiap orang di kawasan

pedalaman disediakan dengan kemudahan elektrik dan mempunyai kualiti kehidupan yang lebih baik. Keperluan penyelidikan ke arah kemajuan kemudahan asas menjadi agenda penting untuk pengumpulan maklumat dan data penyelidikan dalam konteks kemajuan di negeri Sarawak.

## **1.5      Penyataan Masalah**

### **1.       Isu yang mendorong pemilihan tajuk penyelidikan**

Menurut Abdullah et al. (2019), kemudahan teknologi tenaga hidroelektrik yang tersedia di Malaysia telah dinikmati oleh penduduk yang tinggal di bandar atau di kawasan komuniti yang besar. Sebaliknya, sebahagian komuniti yang tinggal di pedalaman tidak mendapat menikmati kemudahan elektrik ini kerana lokasi telah melepasi lingkungan sambungan grid elektrik nasional. Justeru itu, kaedah yang efektif untuk menghasilkan tenaga elektrik di luar sambungan grid elektrik nasional adalah kaedah yang diklasifikasikan seperti mini hidro, mikro hidro dan piko hidro. Kaedah ini juga memerlukan penyelidikan yang terperinci, kos pembinaan yang tinggi dan keluasan untuk pembinaan empangan. Aplikasi kuasa mikro hidro yang menghasilkan pengeluaran kuasa elektrik diantara 5kW hingga 500kW amat membantu kepada komuniti pedalaman (Abdullah et al., 2016). Walau bagaimanapun teknologi mikro hidro ini memerlukan penyelenggaraan berkala yang merumitkan untuk komuniti pedalaman yang tidak cenderung kepada bidang teknikal dan tidak dapat memahami manual operasi yang ditulis dalam bahasa asing (Shafie, 2011). Selain itu, pengeluaran kuasa dari kuasa mikro hidro memerlukan keseimbangan dengan jumlah komuniti yang tinggal di sesebuah rumah panjang untuk mengelakkan pembaziran tenaga elektrik dan kos penyelenggaraan berkala yang mahal. Komuniti etnik Sarawak masih mengekalkan tradisi tinggal secara berkelompok di Rumah Panjang. Dimana, lokasi penempatan komuniti Rumah Panjang terletak jauh di pedalaman dan komuniti Rumah

Panjang mempunyai antara 20 hingga 40 buah keluarga sahaja (Anyi & Kirke, 2010). Tambahan pula jarak lingkungan di antara setiap rumah panjang di Sarawak adalah terlalu jauh ke dalam hutan belantara. Akses perhubungan yang digunakan adalah pengangkutan air.

Terdapat juga etnik komuniti Sarawak yang masih mengamalkan konsep berpindah randah. Menurut Utusan Borneo (2017) Ahli Dewan Undangan Negeri (ADUN) Telang, Usan Dennis Ngau, Kaum Penan telah mula memilih gaya kehidupan secara tetap. Penempatan komuniti kaum Penan di Long Kawi telah disediakan kemudahan seperti sekolah oleh kerajaan Sarawak. Walau bagaimanapun, perjalanan untuk ke penempatan komuniti ini mengambil masa kira kira enam jam perjalanan dengan menggunakan kenderaan pacuan empat roda dari Miri. Keadaan ini menjadi lebih sukar apabila lokasi ke kawasan pedalaman ini perlu menempuh anak sungai dan jeram di sepanjang dataran tinggi.

## 2. Penjelasan tentang masalah atau isu yang menjadi tumpuan penyelidikan

Komuniti pedalaman Sarawak mendapat kemudahan tenaga elektrik dari penjana kuasa elektrik. Penjana kuasa ini menggunakan medium disil atau petrol sebagai sumber utama untuk pencahayaan kediaman pada waktu malam. Peningkatan harga disil dan petrol menjadi beban sara hidup kepada lokaliti pedalaman Sarawak. Lokasi lokaliti yang juga berada jauh di pedalaman menjadi beban dengan kos pengangkutan juga tinggi dan perjalanan yang mengambil masa lama untuk mendapatkan sumber ini di bandar serta memerlukan kos penyelenggaraan penjana kuasa berkala.

Oleh yang demikian, fokus penyelidikan adalah tertumpu pada potensi sumber semulajadi iaitu aliran air sungai yang berada di sekitar kediaman lokaliti rumah panjang yang terpilih di negeri Sarawak. Prestasi pengeluaran kuasa tertinggi adalah pada struktur

sungai yang mempunyai pengaliran air linier yang lancar pada halaju aliran air yang tinggi. Aliran air sungai mempunyai variasi pembolehubah yang membawa kepada kadar air yang berbeza pada setiap hari. Halaju setiap aliran air bergantung kepada ketinggian dataran di sekitar sungai. Keadaa muka bumi pinggiran sungai yang tinggi dan sungai yang berliku liku menjadikan potensi untuk tenaga yang boleh diperbaharui. Tenaga yang boleh diperbaharui merupakan alternatif yang semakin popular dan berkebolehan untuk memenuhi kriteria bagi membekalkan kemudahan tenaga elektrik untuk lokaliti pedalaman Sarawak. Tenaga yang boleh diperbaharui merupakan agenda baru dalam perkembangan sumber lain yang berpotensi untuk menjana tenaga elektrik di Malaysia. Dengan kelebihan yang ada, negeri Sarawak telah menerima hujan dari 2000 - 4000 milimeter setiap tahun dan catatan kadar air sungai di pedalaman pada 1.0 m/s mampu untuk menghasilkan tenaga elektrik yang mampan. (Anyi & Kirke, 2010). Oleh itu, keberadaan lokaliti pedalaman yang tinggal di sekitar hulu sungai mempunyai kelebihan halaju air sungai yang mengalir dengan baik (Chong et al., 2020). Manakala aspek positif aliran air sungai di hulu sungai adalah pengaliran aliran air sungai hanya mengalir dalam satu arah kerana bentuk aliran sungai yang tidak berliku liku.

Oleh yang demikian, pembangunan reka bentuk memerlukan penelitian keadaan persekitaran sungai lokaliti pedalaman untuk menghasilkan peranti yang berkebolehan berfungsi dengan baik. Setiap peranti turbin hidrokinetik memerlukan reka bentuk yang menepati keadaan persekitaran dan strategi perletakan peranti yang tepat dapat menghasilkan potensi pengeluaran aliran kuasa elektrik yang lebih konsisten (Anyi & Kirke, 2010). Untuk penukar hidrokinetik kepada tenaga elektrik, tahap output daya secara langsung berkaitan dengan karektor halaju aliran air. Maklumat aliran volumetrik mungkin telah tersedia untuk lokasi sungai di pedalaman akan tetapi potensi halaju aliran air adalah

berbeza mengikut lokasi dan bergantung pada keluasan keratan rentas sungai. Di mana setiap sungai di pedalaman ini mempunyai kelebaran yang berbeza beza. Setiap sungai perlu dilakukan penyelidikan terhadap kelajuan air dan persekitaran. Setiap data yang diperolehi amat penting untuk dianalisis bagi meningkatkan prestasi pada pembangunan reka bentuk peranti turbin.

Pengesanan lokasi yang strategik boleh memberikan impak yang baik terhadap fungsi turbin hidrokinetik untuk menjana tenaga elektrik. Menurut Askari et al., (2015) lokasi perletakan hidrokinetik yang strategik memerlukan pemahaman dalam pelbagai aspek, yang berkebolehan mempengaruhi tenaga kinetik atau halaju aliran air pada setiap titik di keratan rentas sungai (Askari et al., 2015). Penyelidikan turbin hidrokinetik yang sedia ada adalah menjurus kepada penyelidikan yang berteraskan kepada bidang kejuruteraan. Di luar negara, pembangunan turbin hidrokinetik lebih tertumpu kepada lokasi sungai yang besar dan luas. Manakala di Malaysia untuk penjanaan kuasa elektrik lebih tertumpu kepada kuasa hidroelektrik yang memerlukan pembinaan empangan. Penjanaan kuasa hidroelektrik berupaya mengeluarkan tenaga elektrik berkapasiti yang tinggi namun metod ini tidak relevan untuk pembinaan untuk lokaliti kecil yang terletak di pedalaman.

Selain itu, penyelidikan tenaga boleh diperbaharui dalam konteks penyelidikan hidrokinetik adalah kurang dan tiada lagi pembangunan penyelidikan berkonsepkan turbin berpaksi menegak di pedalaman Sarawak. Kaedah penyelidikan ini adalah unik kerana menggunakan kaedah seni reka perindustrian sebagai asas pembangunan reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih. Pada pengamatan penyelidikan, tiada lagi penyelidikan yang menggunakan kaedah senireka perindustrian sebagai asas pembinaan dan penyelidikan hidrokinetik. Oleh itu, unsur unsur yang berada di persekitaran tidak direkodkan dalam penyelidikan yang mana maklumat persekitaran ini adalah maklumat tambahan ini penting

dalam proses pembangunan peranti yang baik. Pembangunan reka bentuk juga perlu mengambil kira keadaan komuniti dan aktiviti aktiviti yang berlaku di persekitaran lapangan. Penyelidikan seni reka perindustrian mengadaptasikan setiap reka bentuk peranti yang mesra alam dan mengutamakan dari segi keselamatan. Selain itu, metod yang menjadi keperluan penting dalam pembangunan dan penyelidikan reka bentuk adalah pengukuran air sungai. Data ini diperlukan dalam merealisasikan reka bentuk yang seimbang dari segi saiz, pemilihan bahan pembinaan dan perletakan untuk turbin hidrokinetik sebagai inovasi kepada sumber penjanaan kuasa elektrik di lokaliti pedalaman Sarawak.

## **1.6 Objektif Penyelidikan**

Objektif kajian ini adalah untuk:

- (i) Mengumpul maklumat dan data di persekitaran sungai sungai terpilih di pedalaman Sarawak.
- (ii) Membangunkan reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih yang sesuai untuk lokaliti yang terpilih di pedalaman Sarawak.
- (iii) Menganalisis reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih.

## **1.7 Persoalan Penyelidikan**

Beberapa persoalan kajian telah dikemukakan bagi menentukan objektif kajian yang perlu dicapai iaitu:-

Persoalan Kajian 1:

Adakah aliran air semulajadi sungai sungai yang terpilih di sekitar lokaliti pedalaman Sarawak mempunyai potensi untuk menghasilkan tenaga elektrik.

Persoalan Kajian 2:

Apakah kriteria reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih yang bersesuaian untuk kegunaan komuniti di sungai sungai yang terpilih di lokaliti pedalaman Sarawak.

Persoalan Kajian 3:

Sejauh manakah kebolehsanaan reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih untuk berfungsi di sungai di lokaliti pedalaman Sarawak yang terpilih.

## **1.8 Skop Penyelidikan**

Penyelidikan ini berteraskan reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih. Penyelidikan ini bertujuan untuk memberikan manfaat kepada lokaliti pedalaman yang masih mengekalkan penggunaan penjana kuasa disil sebagai alternatif untuk menghasilkan tenaga elektrik. Penyelidikan ini berkonsepkan sains guna untuk menghasilkan reka bentuk yang lebih efektif. Oleh itu, penyelidik telah menetapkan beberapa batasan kajian:

Kajian reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih ini tertumpu pada sungai sungai yang berada di sekitar lokaliti pedalaman Sarawak. Skop penyelidikan merangkumi kepada keadaan persekitaran sungai yang terpilih. Metod pemerhatian dilakukan untuk mendapatkan maklumat terhadap rupa bentuk tebing sungai di setiap sungai yang terpilih. Di samping itu, maklumat terhadap tumbuh tumbuhan yang hidup di sekitar tebing sungai juga akan terkesan kepada pembinaan reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih. Aktiviti lokaliti di sungai sungai juga diperhatikan untuk mengimbangi perkongsian alam semulajadi antara aktiviti komuniti tempatan dan keberadaan peranti hidrokinetik mudah alih.

Selain itu, pemerhatian tingkah laku terhadap aliran air semulajadi yang menjadi elemen penting dalam proses pembangunan rekabentuk turbin hidrokinetik mudah alih

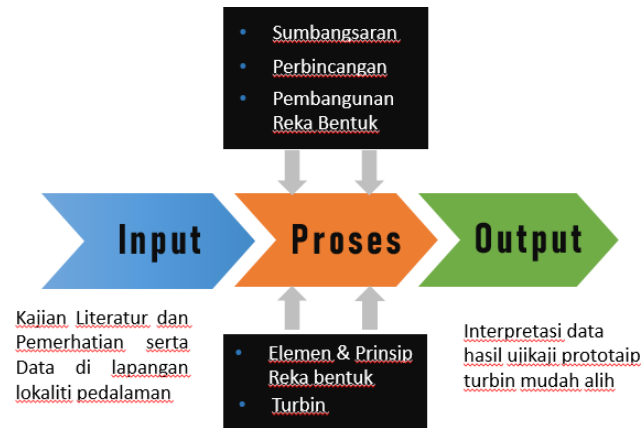
yang baik. Kajian lapangan iaitu pengambilan data halaju air merupakan elemen penting dalam merealisasikan peranti turbin hidrokinetik mudah alih yang berkemampuan menjana tenaga elektrik untuk lokaliti pedalaman Sarawak. Turbin hidrokinetik mudah alih ini telah dibangunkan dengan kriteria rekabentuk berlandaskan ciri-ciri yang terdapat di sungai-sungai yang dilakukan penyelidikan. Kajian ini terbatas kepada reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih. Pembinaan prototaip reka bentuk turbin berlandaskan program reka bentuk perindustrian. Pembangunan reka bentuk yang menumpukan kepada fungsi peranti untuk penjanaan tenaga elektrik. Perbincangan reka bentuk tidak menyentuh secara mendalam di dalam bidang teknikal kejuruteraan. Walau bagaimanapun rekabentuk peranti ini bersesuaian untuk kegunaan lokaliti yang mempunyai kriteria yang sama dengan struktur penyelidikan di lapangan.

## **1.9 Kerangka Konseptual**

Kerangka Konseptual yang diperkenalkan oleh Brown dan Svenson (1988) dipraktikkan untuk pengurusan yang lebih sistematik dalam menjalani penyelidikan rekabentuk turbin hidrokinetik mudah alih. Pengubahsuaian sub-topik memberikan impak yang lebih baik untuk mendapatkan maklumat yang tepat.

Pada bahagian INPUT terdiri daripada pengumpulan data penempatan komuniti pedalaman dan data lokasi kajian lapangan di sungai yang terpilih di Sarawak. Manakala bahagian PROSES pula, data-data yang lengkap telah menjalani proses perbincangan bersama pasukan penyelidikan untuk pembangunan dari segi reka bentuk, saiz dan kriteria turbin hidrokinetik mudah alih. Maka hasil pembinaan prototaip turbin hidrokinetik mudah alih ini perlu menjalani fasa ujian untuk mengesahkan kebolehgunaan di sungai-sungai yang terpilih pada peringkat yang dinamakan OUTPUT. Interpretasi data hasil

ujikaji akhir ini menjadi hujahan data yang penting untuk membentangkan hasil eksperimen sebagai penjelasan yang paling munasabah untuk peranti ini (Rajah 1.1).



**Rajah 1.1:** Kerangka Konseptual Brown dan Svenson

### 1.10 Limitasi Penyelidikan

Sepanjang penyelidik menjalankan penyelidikan di lapangan ini, terdapat pelbagai kekangan atau batasan penyelidikan yang telah dilalui. Namun begitu, setiap kesukaran yang dihadapi sepanjang penyelidikan lapangan ini dijalankan dan telah dilaksanakan dengan sebaiknya. Limitasi penyelidikan secara praktikalnya tidak dapat dielakkan pada penyelidikan di lapangan. Antara limitasi yang wujud semasa melaksanakan penyelidikan adalah dari aspek kekangan masa dan tenaga kerja berpasukan. Setiap operasi penyelidikan memerlukan persediaan yang melibatkan perancangan, perbelanjaan dan pasukan penyelidikan. Setiap operasi penyelidikan di lapangan, penyelidik mempunyai masa yang singkat iaitu mengambil masa antara dua hingga ke tiga jam sahaja untuk menyelesaikan penyelidikan lapangan di lokaliti pedalaman. Di samping, beberapa faktor fenomena alam

semula jadi yang tidak dapat dielakkan seperti hujan, kepala air dan keselamatan sering berlaku ketika penyelidikan di lapangan.

### **1.11 Perbelanjaan Penyelidikan**

Proses penyelidikan lapangan di pedalaman Sarawak memerlukan kos perbelanjaan yang tinggi. Pengangkutan bermula dari UniKL-MFI sehinggalah ke kawasan penyelidikan lapangan dibiayai dari geran Kementerian Tenaga, Teknologi Hijau dan Air (KeTTHA) iaitu di bawah penyeliaan Professor Madya Dr Engku Azrulhisyam bin Engku Mohamad. Geran KeTTHA-AAIBE ini bernilai RM750,000.00. KeTTHA mewajibkan pelaksanaan penyelidikan tenaga boleh diperbaharui dijalankan penyelidikan di negeri Sarawak. Oleh itu, pengumpulan data di Sarawak amat penting untuk kelestarian komuniti dalam konteks komuniti setempat di pedalaman. Kini KeTTHA telah ditukarkan nama kepada Kementerian Tenaga, Sains, Teknologi, Alam Sekitar & Perubahan Iklim (MESTECC). Oleh itu akaun geran ditamatkan selaras dengan penukaran akaun amanah untuk geran penyelidikan oleh kerajaan yang baru pada masa itu. Walau bagaimanapun, pengumpulan data penyelidikan lapangan telah cukup untuk di analisis dan seterusnya melakukan proses pembangunan reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih.

### **1.12 Rumusan**

Pada bab ini, penyelidik telah menerangkan secara menyeluruh mengenai latar belakang kajian dan permasalahan kajian yang mana menjadi panduan utama perjalanan penyelidikan. Selain itu, penyelidik juga menyenaraikan beberapa persoalan penyelidikan yang telah dikenal pasti daripada faktor permasalahan yang dikumpulkan pada sepanjang penyelidikan. Oleh itu, bagi merungkai segala persoalan yang terdapat di dalam penyelidikan ini, penyelidik telah menetapkan objektif penyelidikan untuk menjawab

semua soalan penyelidikan tersebut. Malah, objektif ini dijadikan garis panduan yang perlu diikuti oleh penyelidik sepanjang penyelidikan ini dilaksanakan. Seterusnya, penyelidik juga menyentuh mengenai kepentingan penyelidikan yang dijalankan di Sarawak pada masa kini.

## **BAB 2**

### **KAJIAN LITERATUR**

#### **2.1 Pengenalan**

Keperluan kajian literature adalah untuk mendapatkan informasi tentang kemudahan tenaga elektrik yang digunakan oleh lokaliti pedalaman Sarawak. Rujukan dari jurnal penyelidikan terdahulu yang berkaitan telah dikenal pasti untuk pembangunan reka bentuk penyelidikan hidrokinetik di lokaliti pedalaman Sarawak. kajian literatur dikumpulkan adalah untuk mendapatkan informasi untuk pembangunan reka bentuk hidrokinetik di Negeri Sarawak.

#### **2.2 Lokaliti Pedalaman Di Sarawak**

Negara Malaysia mengalami iklim khatulistiwa yang panas dan lembap sepanjang tahun. Iklim ini dialami oleh kawasan yang terletak pada atau berhampiran dengan garisan Khatulistiwa. Minima suhu tahunan adalah kira kira 27 darjah selsius dan julat suhu tahunan adalah kecil iaitu kira kira 10 darjah selsius hingga 30 darjah Celsius. Menurut Jamaluddin et al. (2018) juga, negeri terbesar di Malaysia adalah Sarawak. Luas kawasan negeri Sarawak adalah sekitar 131,598km<sup>2</sup>. Sarawak dibahagikan kepada sembilan buah daerah iaitu Kuching, Samarahan, Sri Aman, Sarikei, Sibul, Bintulu, Kapit, Miri dan Limbang. Sarawak mempunyai rangkaian sungai sungai yang terbesar. Manakala sungai sungai utama ialah Sungai Sarawak, Sungai Lupar, Sungai Saribas dan Sungai Rajang. Sarawak telah menerima purata hujan tahunan sekitar 3850 milimeter, iaitu lima kali lebih tinggi daripada purata dunia (Salleh et al., 2018). Ditambah pula, Sarawak mempunyai geografi kawasan yang luas dan mempunyai struktur muka bumi yang berbukit bukau.

Petikan pernyataan dari penyelidikan yang terdahulu mendapati negeri Sarawak terutamanya di kawasan pedalaman mempunyai taburan hujan yang banyak. Penyelidik bersetuju bahawa Sarawak mempunyai kelebihan dimana terdapat sungai yang wujud di antara kawasan yang bertanah tinggi dan diliputi oleh hutan belantara menjadikan pengaliran aliran air semula jadi yang lancar. Sungai sungai yang besar ini mempunyai banyak cabang anak anak sungai sehingga ke bahagian hulu sungai.

### **2.2.1 Bekalan Tenaga Elektrik**

Menurut Sarawak Energy Berhad (2019), terdapat 5% daripada penduduk Sarawak yang berada pada situasi kekal tanpa akses elektrik untuk selama 24 jam dari sumber elektrik atau solar. Ini disebabkan oleh kerana saiz komuniti pedalaman yang kecil dan berada pada jarak yang berjauhan antara sesebuah kampung serta berada di sambungan grid nasional yang tidak ekonomi (Tan et al., 2016). Manakala kenyataan dari Anyi et al. (2010) bahawa terdapat komuniti di pedalaman Sarawak tinggal di sebuah kampung yang mempunyai keluarga kecil iaitu kira-kira 20 hingga 40 keluarga sahaja. Perkampungan komuniti pedalaman Sarawak tertumpu di kawasan yang berhampiran dengan hulu sungai atau anak sungai untuk mendapatkan kemudahan bekalan air dan makanan. Sungai juga menjadi medium utama untuk sistem pengangkutan ke kawasan yang lain (Tan et al., 2021). Oleh yang demikian, sungai di pedalaman menjadi trafik yang sibuk sebagai perhubungan yang banyak pengguna sungai yang bersaing di dalam air termasuk bot nelayan dan aktiviti komuniti yang lain. Justeru itu, terdapat juga kemudahan jambatan yang di bina di tebing sungai (Radan et al., 2020). Di pedalaman tiada jalan raya yang menghubungkan antara perkampungan ataupun untuk ke bandar kecuali jalan pembalakan.

Kemudahan akhir grid elektrik nasional hanya beroperasi pada lingkungan kawasan 10 kilometer sahaja (Jamaluddin et al., 2018). Sehingga kini komuniti pedalaman menjadikan penjana kuasa diesel sebagai alternatif utama untuk kemudahan sumber tenaga elektrik. Oleh itu, komuniti pedalaman Sarawak menggunakan kemudahan penjana kuasa disil sebagai sumber tenaga elektrik seharian. Akan tetapi, penggunaan sumber disil adalah terhad (Azrulhisham et al., 2018). Menurut kajian dari Chong et al. (2020), waktu penggunaan puncak tenaga elektrik untuk seharian adalah bermula pada sekitar jam 7 malam. Pada waktu ini, komuniti menggunakan percahayaan untuk persiapan makan malam dan melakukan aktiviti hiburan seperti radio. (Chong et al., 2020). Begitu juga keadaan di sebilangan besar komuniti kampung Long Busang yang mempunyai penduduk yang ramai iaitu melebihi daripada 1200 orang. Komuniti ini menyara hidup sebagai petani dan pengumpulan hasil hutan. Kedudukan komuniti ini lebih jauh ke pedalaman dan tinggal di sekitar sungai serta bergantung penuh kepada penjana kuasa disil di mana tenaga elektrik hanya bertahan untuk beberapa jam sahaja pada setiap malam (Fauzi Shahab, 2017). Majoriti komuniti pedalaman Sarawak tinggal di sepanjang sungai sehingga ke hulu sungai atau anak anak sungai yang bergantung kepada sumber hasil alam semulajadi (Tan et al., 2021).

Syarikat tenaga negeri, Sarawak Energy Berhad, kini telah menyediakan Skim Pembekalan Elektrik Alternatif Luar Bandar Sarawak (SARES) yang telah membawa perubahan besar kepada kehidupan masyarakat luar bandar di negeri ini sejak dilancarkan pada Jun 2016. Melalui skim SARES, komuniti luar bandar yang paling terpencil telah dibekalkan dengan kemudahan elektrik melalui sistem tenaga suria berpusat dan pembinaan mikro hidroelektrik. Dari segi lain, parameter juga telah dipertimbangkan termasuklah faktor beban tenaga, tahap penggunaan sistem dan tingkah laku pengisian bateri tempatan. Manakala pada populasi elektrifikasi global, masih terdapat sekitar 13%, atau bersamaan

dengan 940 juta penduduk dunia yang hidup tanpa akses elektrik (IEA, “Southeast Asia Energy Outlook World Energy Outlook Special Report, IEA International Energy Agency,” 2017). Oleh itu, untuk negara-negara Persatuan Negara-negara Asia Tenggara (ASEAN), pencapaian kadar elektrifikasi adalah sekitar 90% pada tahun 2019 (Asian Development Bank 2019)

Cabaran terbesar untuk sambungan ke grid elektrik nasional memerlukan kos modal awal yang tinggi dan kesukaran untuk menyelesaikan projek pada kawasan jarak jauh tanpa akses pengangkutan yang efektif (Hamid et al., 2019). Oleh yang demikian, sistem tenaga hidro mikro konvensional telah dianggap sebagai pilihan yang paling sesuai untuk kemudahan kepada komuniti luar grid di Sarawak di mana keadaan topografi yang sesuai untuk pembinaan sistem ini (Yeo et al., 2014). Menjelang 2017, sejumlah 85 kampung mendapat manfaat daripada projek tenaga hidro mikro yang telah dilaksanakan oleh kerajaan negeri dan organisasi bukan kerajaan (Fauzi Shahab, 2017). Justeru itu, sistem tenaga hidro mikro telah dipercayai keupayaan dalam menjana tenaga elektrik dengan penjagaan yang baik, tetapi reka bentuk pembinaan bergantung kepada lokasi yang tertentu. Di mana sistem ini memerlukan aliran berterusan dari pengambilan air pada ketinggian yang signifikan di atas turbin (Tan et al., 2017). Apabila keadaan ini tidak tersedia dari aliran semula jadi, takungan atau empangan perlu dibina, dengan itu menambahkan kos pembinaan (Cader et al., 2016). Di samping itu, pembinaan sistem mikro hidro mengubah kondisi air, nutrisi serta ekosistem dengan ketara dalam rangkaian pengairan sungai (Deemer et al., 2016). Selanjutnya, Askari et al. (2015) menegaskan bahawa takungan air yang dihasilkan oleh empangan tenaga hidro di seluruh dunia merupakan pengeluaran pencemaran utama gas rumah hijau. Oleh itu, terdapat kesan perubahan alam sekitar yang mengganggu ekosistem penempatan manusia dan binatang serta menimbulkan pelbagai pencemaran lain di dalam

sungai (Belouda et al., 2018). Kakitangan Sarawak Energy Berhad dan komuniti telah melakukan gotong royang membersihkan puing puing yang terapung di sekitar Long Kebuho di Tasik Bakun. Pencemaran ini telah menyukarkan kepada komuniti pedalaman yang menggunakan laluan di tasik sebagai pengangkutan seharian. Malahan, puing puing yang terdiri daripada serpihan kayu balak, yang banyak terapung di permukaan air ini boleh mendatangkan permasalahan kepada operasi loji hidroelektrik di Tasik Bakun (Sarawak Energy, 2021).

Situasi di Sarawak digambarkan oleh pernyataan penyelidik terdahulu dimana pengguna medium disil untuk tenaga elektrik sebagai keperluan harian sudah tidak relevan pada masa kini. Alternatif tenaga elektrik perlu dinaik taraf kepada yang lebih baik untuk komuniti pedalaman yang jauh. Manakala kos untuk penyambungan eletriktrik dari lingkungan Grid Elektrik Nasional adalah amat mahal dan tidak sesuai dengan komuniti yang tinggal jauh di pedalaman Sarawak. Kelompok komuniti pedalaman tidak mempunyai saiz penduduk yang ramai dan untuk pembinaan aplikasi mikro hidro pula mempunyai kos pembinaan dan penyelenggaraan yang mahal. Sungai di Sarawak juga mengalami pencemaran dari cebisan kayu balak yang terapung dipermukaan air yang mengganggu trafik lalu lintas komuniti yang menggunakan sungai.

### **2.2.2 Tenaga Solar Fotovoltan**

Selain dari hidroelektrik, penggunaan solar di pedalaman telah menghadapi masalah di mana serangan kilat sering berlaku dan telah memusnahkan kawalan elektronik. Tanpa penjagaan berkala, kulat akan tumbuh di panel solar, dan pelbagai elektrik (Tan et al., 2021). Tambahan pula menurut Anyi (2010), lokasi penempatan komuniti di sekelilingi oleh pokok pokok yang bersaiz besar dan tinggi di mana menyukarkan panel solar untuk menerima cahaya matahari yang maksimum untuk sepanjang hari. Dalam kontek ini, Longo et al.

(2019) telah bersependapat bahawa sistem di luar grid kebangsaan perlu menawarkan penyelesaian dengan kos awal yang lebih rendah. Seterusnya mencari keperluan alternatif tenaga elektrik yang lebih efisien dan murah untuk kemudahan komuniti pedalaman di luar grid elektrik nasional. Bertitik tolak daripada itu, sumber tenaga boleh diperbaharui kini dianggap sebagai alternatif yang mampan untuk bekalan elektrik yang berterusan kepada komuniti pedalaman (Bashir, 2018). Dalam hal ini, setiap penempatan komuniti adalah berdekatan dengan sungai, pembolehubah tenaga kinetik boleh dimanfaatkan untuk menjana tenaga elektrik (Salleh et al., 2019).

Penyataan penyelidikan mendapati, penempatan lokaliti pedalaman berada di dalam hutan yang tebal dan dikelilingi oleh pokok yang besaiz besar dan tinggi. Situasi ini menyukarkan panel solar untuk menerima sumber utama iaitu sinaran cahaya matahari untuk menghasilkan tenaga elektrik. Penyelidik mendapati pembinaan sistem tenaga solar tidak relevan untuk dibangunkan di lokaliti pedalaman Sarawak. Pada sudut yang lain, aliran sungai semulajadi di pedalaman mempunyai potensi untuk menjana tenaga elektrik yang baik.

### **2.2.3 Sumber Disil**

Penggunaan penjana kuasa disil amat popular di komuniti pedalaman yang terletak di luar lingkungan grid elektrik nasional. Pada gambar 2.1, merupakan salah satu penjana kuasa disil yang digunakan oleh komuniti pedalaman di Sarawak. Menurut Anyi et al. (2010) keadaan penjana kuasa (AC) ini digunakan setiap hari untuk kemudahan lampu yang digunakkan hanya di waktu malam sahaja. Keadaan penjana kuasa ini telah mengalami kerosakan. Oleh itu, kos bakar menjadi tinggi disebabkan pembakaran enjin yang tidak seimbang. Penyelenggaraan berkala tidak dilakukan disebabkan komuniti tiada kemahiran

teknikal dan membawa untuk dibaiki ke kedai pula, komuniti tiada penjana kuasa tambahan untuk dijadikan sandaran pada waktu malam.



**Gambar 2.1:** Penjana kuasa disil (Sumber Anyi et al., 2010)

### 2.3 Hidrokinetik

Di Malaysia, sumber tenaga boleh diperbaharui iaitu hidro telah menyumbangkan 16.6 peratus pengeluaran tenaga elektrik negara. Tenaga boleh diperbaharui merangkumi solar, angin, hidro, sumber biomas, gelombang, pasang surut dan arus yang mudah diakses, dan mudah diisi semula (Wan Syakirah et al., 2019). Bagi janakuasa hidroelektrik berkapasiti tinggi, kos permulaan bagi pembinaan stesen kuasa adalah agak tinggi disebabkan oleh faktor pembinaan kawasan tadahan air dan empangan yang berada di kawasan berbukit atau banjaran yang jauh daripada kawasan penempatan. Selain itu juga,

pembangunan ini memerlukan penyelidikan hidrologi yang terperinci dan mengambil masa yang lama untuk menentukan kesesuaian serta keupayaan stesen janakuasa tersebut untuk menyamai pengeluaran seperti stesen janakuasa yang menggunakan bahan pembakaran dari sumber fosil. Kajian terhadap aspek ekosistem juga perlu dilakukan bagi memastikan hidupan liar serta penempatan orang asli (jika ada) dapat dipindahkan ke tempat yang bersesuaian (Aysen Eren, 2018). Manakala bagi stesen mini hidroelektrik, kos permulaan pembinaan adalah lebih rendah jika dibandingkan dengan stesen janakuasa hidroelektrik berkapasiti tinggi. Stesen mini hidroelektrik bergantung kepada potensi aliran air sungai. (Vougioukli, 2017) Terdapat juga metod lencongan aliran air yang digunakan untuk penjanakuasa stesen mini hidroelektrik. Walau bagaimanapun, sekiranya berlaku hujan lebat atau terdapat limpahan air sungai, menyebabkan berlaku pengumpulan sampah atau serpihan kayu balak yang terdapat di sungai dan mengganggu kelancaran pengaliran air serta memberi kesan kepada sistem hidroelektrik tersebut. Satu penyelidikan terperinci perlu dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut (Wan Syakirah et al., 2019).

Tidak dinafikan bahawa sistem hidroelektrik yang lebih bersih dan lebih senyap mampu mengatasi penggunaan dari sumber penjana kuasa disil (Belouda et al., 2018). Komuniti di pedalaman pada umumnya menghadapi cabaran untuk memenuhi keperluan kuasa elektrik dengan harga yang setimpal. Selain itu, sebahagian besar penjanaan kuasa elektrik dalam grid elektrik nasional, yang menggunakan sumber dari arang batu dan nuklear menghasilkan gas berbahaya, radiasi dan pelepasan karbon dioksida. Oleh itu sumber alternatif tenaga yang berpotensi perlu diubahsuai bagi memenuhi permintaan elektrik negara dan mengurangkan isu isu pencemaran global (Nag, 2021). Sistem tenaga boleh diperbaharui menjadi lebih manfaat terutama untuk sumber tenaga elektrik bagi kemudahan kawasan yang lebih layak seperti di kawasan pedalaman. (Aziz, 2019). Dengan

itu, amat mustahak untuk menggunakan sumber-sumber tenaga boleh diperbaharui dalam membangunkan sektor ekonomi komuniti di pedalaman (Nag, 2021).

Tenaga yang boleh diperbaharui iaitu sungai merupakan sumber yang berpotensi dibina untuk kemudahan komuniti pedalaman Sarawak. Dimana sungai di persekitaran pedalaman mempunyai sumber aliran air yang baik sesuai. Kaedah untuk kaedah dan mengurangkan pencemaran daritenaga elektrik yang dihasilkan dari aliran air sungai di Sarawak amat berpotensi untuk menjana tenaga elektrik melalui sistem hidrokinetik. Manakala kaedah sistem mikro hidro untuk lokaliti yang kecil dan menjalankan kehidupan berpindah randah adalah tidak sesuai untuk dibangunkan.

### **2.3.1 Piko Hidro**

Klasifikasi piko hidroelektrik menjadi mekanisma yang popular dan telah dipertimbangkan oleh banyak negara membangun untuk menjana elektrik di lokaliti pedalaman kerana kos kitaran hidup yang lebih rendah, pembuatan juga lebih mudah di kawasan pedalaman, dan kos pelaburan serta operasi yang lebih rendah daripada solar fotovoltan dan turbin angin (Ramadan et al., 2020). Aplikasi piko hidroelektrik menghasilkan had kuasa pengeluaran tenaga elektrik sehingga lima kilowatt (Adanta et al., 2018; Ramadan et al., 2020). Oleh yang demikian, pelbagai teknologi hidrokinetik yang inovatif dibangunkan untuk mendapat manfaat daripada arus hidrokinetik dengan berkesan pada aliran zero head (Saini, 2020). Tenaga aliran arus sungai dianggap sebagai teknologi hijau yang berkebolehan untuk memberikan kemudahan tenaga elektrik yang baik terutama untuk komuniti pedalaman yang tinggal berhampiran dengan kemudahan sungai (Ramadan, 2020). Menurut Chong et al. (2020) juga, kelebihan sistem tenaga hidrokinetik adalah dari segi kos dan kesederhanaan pendekatan dalam reka bentuk serta mudah untuk diramal perancangan yang lain. Inovasi terkini dalam teknologi piko hidro menjadikannya sumber

ekonomi walaupun hasil pengeluaran kuasa elektrik adalah kecil. Kelebihan piko hidro merupakan sumber kuasa yang sudah memadai bagi komuniti pedalaman. Selain itu, sistem ini mudah diangkut dan dipindahkan kerana saiz yang kecil. Sistem ini dapat dipasang di sepanjang pinggir sungai yang berpotensi dengan tambatan ke struktur tetap atau di ponton terapung (Anyi & Kirke, 2010). Pengeluaran elektrik dari piko hidro berkebolehan untuk penggunaan perkakas asas elektrik. Contoh peranti yang boleh dikuasakan oleh piko hidro adalah lampu, radio dan televisyen.

Teknologi reka bentuk piko hidro menghasilkan tenaga elektrik yang sesuai dengan keperluan komuniti pedalaman yang tinggal secara sederhana dan kelompok yang kecil. Sistem piko hidro yang kecil yang menghasilkan pengeluaran sehingga 5 watt ini boleh dibina dalam rekabentuk yang mudah alih. Rekabentuk peranti yang dibina mudah alih memudahkan komuniti terutama untuk proses penyelenggaraan berkala. Penyelidik bersependapat dengan pernyataan bahawa aplikasi hidro kinetik iaitu piko hidro berpotensi untuk dibangunkan kepada komuniti yang kecil yang tinggal di pedalaman.

### **2.3.2 Turbin Arus Aliran Air**

Turbin arus aliran air, juga dikenali sebagai hidrokinetik turbin. Turbin hidro dan turbin angin mempunyai persamaan metod. Perbezaan yang paling ketara antara kedua-dua turbin ini adalah ketumpatan air mempunyai sekitar 850 kali ganda lebih besar daripada ketumpatan udara (Koc, 2015). Penukaran kepada tenaga elektrik adalah hasil daripada penukaran tenaga keupayaan graviti menjadi tenaga kinetik, yang digunakan untuk mendorong putaran turbin hidraulik (Cleynen, 2018). Pendekatan hidrokinetik melibatkan menukar tenaga air yang mengalir secara langsung atau semula jadi. Penukaran tenaga hidrokinetik merujuk kepada penukaran tenaga kinetik yang terdapat dalam aliran air sungai, arus pasang surut, atau saluran air buatan manusia. Bagher et al., (2015). Ini adalah tenaga

hidro zero head yang mengeluarkan tenaga dari kelajuan air yang mengalir untuk menggerakkan hidrofoil untuk penjaan sistem penja kuasa. Ia juga boleh didefinisikan sebagai turbin Ultra low head dengan tekanan rendah yang beroperasi pada setara kurang dari 0.2 meter (Zhou, 2017). Isipadu metrik aliran air sungai mempunyai ciri mengikut variasi stokastik, tidak mengira musim atau hari (Rantererung et al., 2018) dan bergantung kepada keratan rentas sungai untuk mengaplikasikan turbin air (Pramadhony et al., 2019). Daripada kelebihan ini, penggunaan tenaga air boleh dilakukan di mana-mana sahaja, sama ada di kawasan rata, berbukit atau di dataran tinggi atau pergunungan (Corvis, 2016). Aplikasi turbin hidrokinetik juga telah mengurangkan pencemaran kelestarian alam sekitar, (Cleynen, 2018). Kelebihan hidrokinetik tidak memerlukan perancangan pembinaan empangan atau takungan air dan hidrokinetik amat ideal dalam aplikasi untuk penja kuasa di luar grid elektrik nasional (Ibrahim, 2021).

Sumber tenaga yang boleh diperbaharui dari sumber air lebih mempunyai potensi yang lebih baik dari sumber angin. Penyelidik bersetuju bahawa potensi yang ada di sungai Sarawak ini boleh dipelbagaikan rekabentuk aplikasi untuk menghasilkan sumber tenaga elektrik yang baik dan mengekalkan lestarian persekitaran.

### **2.3.3 Turbin Darrieus Jenis H**

Turbin paksi menegak merupakan salah satu hidrokinetik berskala kecil yang digunakan untuk penjaan kuasa elektrik. (Vermaak et al., 2014). Kebanyakan syarikat di seluruh dunia kini mengembangkan turbin hidrokinetik untuk menuai arus pasang surut dan aliran air sungai. Ini disebabkan turbin hidrokinetik paksi menegak sesuai untuk penjaan kuasa elektrik kecil yang menjadi sumber untuk pencahayaan, pengepaman air dan komunikasi mudah alih. Pelbagai aplikasi dari paksi menegak mahupun paksi mendatar telah diperkembangkan teknologi secara khusus untuk proses penukaran tenaga arus aliran air

sungai (Anbuechezhiyan, 2020). Turbin Darrieus jenis H merupakan salah satu turbin yang terdapat di dalam klasifikasi turbin paksi menegak. Turbin hidro kinetik Darrieus jenis H memiliki struktur binaan yang ringkas iaitu memudahkan dari segi pemasangan dan pembuatan reka bentuk turbin (Ramadan, 2020). Reka bentuk bilah turbin yang lurus menjadikan turbin berfungsi dengan lebih cekap daripada reka bentuk bilah yang berbentuk melengkung (Nishi et al., 2014). Malah menjadikan hidrofoil dapat menghasilkan persamaan daya awal dari aliran air (Rinaldi, 2015). Turbin Darrieus juga berkemampuan untuk berfungsi dengan baik pada aliran air yang bergerak dalam pelbagai arah di dalam sungai (Rudy, 2016) dengan posisi paksi menegak turbin dan selari dengan satah aliran air. Manakala kelemahan yang berkaitan dengan turbin paksi menegak adalah tork permulaan yang rendah dan kecekapan juga lebih rendah. Turbin jenis ini tidak boleh berfungsi untuk permulaan putaran hidrofoil dengan sendiri dan memerlukan adaptasi daripada beberapa jenis mekanisma yang lain untuk merangsang permulaan putaran (Permatasari et al., 2018). Di sungai juga terdapat serpihan bahan semula jadi atau puing puing yang terapung apung hasil dari aliran air sungai. Sistem penyaringan perlu disediakan untuk menghalang puing puing ini dari menjejaskan prestasi turbin. Perancangan untuk menghadapi keadaan limpahan air dan masalah serpihan bahan semula jadi, boleh diatasi dengan pemasangan sistem penyaringan. Sistem ini amat berkesan dengan kadar air yang telah di pintas tetapi boleh menyebabkan kecekapan turbin akan berkurangan (Tanaka et al., 2013).

Struktur hidrokinetik yang menggunakan rekabentuk turbin Darrieus jenis H adalah salah satu turbin yang popular. Turbin Darrieus jenis H berfungsi dengan baik ketika haluan aliran air yang tidak selari berbanding dengan reka bentuk turbin paksi menegak yang lain walaupun aliran air yang mengalir pada kadar yang rendah. Dimana reka bentuk saiz dan

jenis hidrofoil memainkan peranan penting untuk menghasilkan tenaga kinetik yang diperlukan.

Turbin Darrieus jenis H, merupakan turbin paksi menegak yang mempunyai struktur yang ringkas dan mudah untuk pemasangan dan penyelenggaraan. Penyelidik bersetuju dengan pernyataan penyelidik terdahulu iaitu turbin ini popular dan mempunyai kelebihan dari segi stuktur rekabentuk dan operasi. Selain itu, terdapat juga kelemahan pada turbin Darrieus jenis H iaitu turbin ini mempunyai tok permulaan yang rendah dan memerlukan adaptasi untuk mengatasi kekurangan ini.

### **2.3.4 Sungai di Pedalaman Sarawak**

Kadar air di bahagian permukaan air lebih tinggi daripada nilai bacaan kadar air di bahagian bawah sungai. Penilaian ini juga berbeza kerana aliran tenaga bergantung pada jarak perletakan turbin di tebing sungai. Aliran air yang cekap berada di bahagian tengah sungai (Azrulhisham et al., 2018). Akan tetapi keadaan dasar di dalam sungai adalah berbeza beza mengikut lokasi. Oleh itu, halaju air mempunyai profil sungai yang berbeza mengikut spesifik tapak di lapangan di mana rotor yang menentukan jumlah tenaga elektrik yang boleh dihasilkan (Saupi, 2018). Selain itu, di sungai terdapat pengguna yang bersaing untuk aliran air. Komuniti pedalaman menjadikan sungai sebagai pilihan utama untuk pengangkutan seharian. Maka terdapat pelbagai bot, kapal nelayan, jambatan, dan sebagainya, dan ini mungkin mengurangkan potensi penjana kuasa hidro ke lokasi yang boleh digunakan untuk perletakan turbin (Tan et al., 2021). Di samping itu, terdapat juga halangan dari pelbagai jenis serpihan bahan semula jadi yang tenggelam atau terapung di permukaan air, batu, ikan dan sebagainya di dalam sungai (Hydrovolts, 2010). Perletakan hidrokinetik turbin di lokasi yang strategik memerlukan pemahaman tentang faktor yang mempengaruhi tenaga kinetik atau halaju air di lokasi yang potensi di sungai (Alaskan Inc, 2010).

Penyataan penyelidikan ini membuktikan bahawa sungai di pedalaman Sarawak menjadi nadi pengangkutan utama kepada komuniti yang tinggal di pedalaman Sarawak. Setiap reka bentuk peranti memerlukan penelitian supaya tidak mengganggu dan mengancam keselamatan komuniti yang menggunakan kemudahan air seharian. Penyelidik juga bersependapat iaitu lokasi peletakan peranti juga perlu diletakkan di kawasan yang strategik untuk melancarkan proses penjanaan tenaga elektrik. Di samping memelihara kelastarian alam sekitar.

### **2.3.5 Hidrofoil**

Ramai penyelidik membuat kesimpulan bahawa bentuk bilah hidrofoil mempunyai kesan penting untuk meningkatkan fungsi turbin (Muhammad Jurial Sangi, 2021). Hidrofoil merupakan bahagian yang utama pada sesebuah turbin arus air. Jumlah bilangan bilah tidak hanya berpengaruh pada pekali kuasa ( $C_p$ ), tetapi juga berpengaruh pada kestabilan reka bentuk sesuatu struktur turbin (Anyi, 2010). Pada pendapat dari Li et al. (2016) juga menjelaskan bahawa kekuatan pekali kuasa menurun dengan pertambahan bilangan bilah turbin. Turbin yang mempunyai 2 bilah pada hidrofoil mempunyai tork kuasa yang lebih rendah dibandingkan dengan tiga bilah turbin. Oleh itu tiada daya kuat yang seranjang untuk memaksimumkan emparan turbin. Turbin yang mempunyai bilah hidrofoil yang sedikit boleh mewujudkan daya emparan yang tidak seimbang. Menurut Hammoudi (2020), bahawa jumlah bilah hidrofoil yang efektif dan seimbang dalam sebuah turbin paksi menegak ialah tiga dan empat bilah sahaja. Secara umum, penggunaan turbin hidroelektrik yang mempunyai tiga bilah adalah lebih meluas penggunaannya di dalam pasaran (Delafin et al., 2016).

Pemilihan bilangan reka bentuk hidrofoil memberikan kesan yang positif untuk menggerakkan rotor untuk menjana tenaga elektrik. Penyelidik menyokong untuk

menggunakan reka bentuk 3 bilah pada peranti sebagai pembangunan reka bentuk hidro kinetic mudah alih.

#### **2.3.6 Profil NACA**

Turbin hidrokinetik yang mempunyai reka bentuk keranjang yang simetri mempunyai prestasi yang lebih tinggi daripada turbin hidrofoil simetri (Rogowski, 2020). Profil NACA 0018 mempunyai karektoristik terbaik untuk aliran arus air yang menggunakan turbin paksi menegak dan umumnya popular digunakan untuk turbin Darrieus (Saini et al., 2018) kerana kerajang ini mempunyai nisbah ketebalan dan chord yang agak tinggi, Oleh itu, menjadikan reka bentuk bilah hidrofoil mempunyai kekuatan yang baik untuk menahan dari tekanan kadar air yang tinggi (Hantoro, 2011).

NACA 0018 merupakan reka bentu yang akan digunakan untuk pembaangunan reka bentuk hidro kinetic mudah alih. Reka bentuk NACA 0018 yang semetri memudahkan untuk proses pembuatan dan tahan lasak.

#### **2.3.7 Kadar Air**

Pengekstrakan tenaga hidrokinetik yang efisien adalah ketika kadar air melebihi 1.5 m/s (Narendran, 2016). Kenyataan ini juga disokong oleh Holand (2017) dimana bersetuju dengan kelajuan kadar air melebihi pada 1.5 m/s sudah dianggap berada dalam lingkungan kadar air yang ideal untuk dipertimbangkan kegunaan pada peranti hidrokinetik (Yoa et al., 2019). Menurut Riglin et al. (2016) pula, kadar air sungai yang efisien untuk turbin hidrokinetik adalah pada 1.3 m/s. Manakala kadar air yang ideal adalah dalam lingkungan 1.5 hingga 2.5 m/s. Namun begitu, Kirke (2020) berpendapat pada kadar air yang tidak melebihi 1 m/s masih berkebolehan untuk menghasilkan tenaga elektrik. Kecekapan hidrokinetik meningkat dengan pemilihan jenis peranti turbin yang tepat untuk sesuatu

lapangan dan reka bentuk bilah hidrofoil yang bersesuaian juga memainkan peranan penting dalam pembangunan turbin (Riglin et al., 2016). Faktor sudut bilah turbin berkebolehan untuk membentuk keupayaan daya angkat turbin akan memberikan hasil dapatan tenaga elektrik yang berbeza beza (Intizar Ali et al., 2021) dan mengurangkan daya perongga pada profil keranjang juga (Azrulhisham et al., 2019). Sudut pesongan bilah turbin yang dilaraskan dapat meningkatkan daya serangan pada bilah turbin dan meningkatkan daya angkat hidrofoil. Pelbagai sudut pesongan bilah turbin yang telah dianalisis oleh penyelidik bergantung dengan pelbagai jenis klasifikasi turbin dan keranjang NACA profil (Permatasari et al., 2021).

Turbin yang berfungsi pada kadar air yang rendah iaitu 1 m/s adalah amat positif. Reka bentuk turbin kecil yang disokong oleh reka bentuk hidrofoil yang bersesuaian dapat menjana tenaga kinetik yang sempurna. Ditambah pula, klasifikasi turbin dan keranjang NACA profil yang sesuai akan melengkapkan sebuah reka bentuk turbin kecil yang boleh menjana tenaga elektrik untuk komuniti pedalaman Sarawak.

## **2.4 Hidrokinetik Sedia Ada Di Pasaran**

### **2.4.1 Pengenalan**

Kajian literatur keatas peranti hidrokinetik mudah alih yang sediaada dipasaran adalah bertujuan untuk mendapatkan informasi untuk menghasilkan pembangunan reka bentuk peranti turbin hidrokinetik mudah alih yang baik. Peranti yang berada dipasaran menghasilkan kapasiti pengeluaran tenaga elektrik yang tinggi. Informasi rekabentuk peranti sediaada ini sesuai dengan pendekatan senireka perindustrian yang memerlukan elemen yang selari dengan reka bentuk.

## **2.4.2 Reka Bentuk Turbin yang Sedia Ada di Pasaran**

Terdapat beberapa syarikat dengan konsep yang berdaya maju dalam bidang hidrokinetik. Konsep reka bentuk peranti hidrokinetik diklasifikasikan sebagai mikro hidro yang menjanakuasa antara 5kW hingga 500kW. Antara peranti hidrokinetik yang berada di pasaran adalah:

### **2.4.2.1 New Energy Corporation Inc. (Kanada)**

New Energy Corporation Inc. dengan sokongan daripada Natural Resources Kanada dan Tenaga CANMET Energy Technology, telah membangunkan satu siri turbin atau set penjana kuasa yang menghasilkan kuasa antara 5 kW dan 25 kW (Gambar 2.2). Sasaran lokasi penggunaan peranti adalah di sungai, terusan pengairan, pengaliran keluar di kawasan perindustrian dan di muara yang mempunyai air pasang surut. Penjana kuasa ini dinamakan EnCurrent, menggunakan konsep hidrokinetik turbin Darrieus yang berpaksi menegak. EnCurrent menggunakan keranjang hidro yang dipasang selari dengan aci yang berkedudukan menegak untuk mengekalkan pemacuan penjana kuasa magnet dan peralatan elektrik yang lain. Kedudukan semua peralatan pada peranti ini dipasang di atas permukaan air (Ginter & Bear, 2009). EnCurrent mempunyai beberapa model peranti yang menggunakan tiga bilah dan 5 bilah turbin. Dimana model peranti bergantung kepada ciri-ciri pengaliran air di sesuatu kawasan. Peranti ini menggunakan ponton dan kabel sebagai sistem sokongan. Berat keseluruhan sistem untuk turbin ini adalah 340 hingga 360 kilogram dan ketinggiannya adalah 2.25 meter..



**Gambar 2.2:** Peranti EnCurrent ([www.newenergycorp.ca](http://www.newenergycorp.ca))

#### 2.4.2.2 Teknologi Tenaga Lucid (US)

Teknologi tenaga Lucid adalah pemegang lesen paten Helikal Gorlov yang bernaung di bawah Syarikat Lucid Seabell Co Antarabangsa (Lucid Energy Technologies, 2010). Peranti ini adalah turbin berpaksi menegak yang terdiri daripada satu atau lebih bilah helik yang panjang dan selari di sepanjang aci yang sejajar dengan permukaan putaran seperti benang skru. Reka bentuk oleh Alexander M. Gorlov telah dibangunkan penyelidikan di North-eastern University, Boston, U.S.A telah memberikan tumpuan pada sungai dan juga untuk aplikasi air pasang surut (Hydrovolts, 2010). Kedudukan peranti yang berorientasikan paksi menegak adalah untuk memberikan kemudahan sistem penjana kuasa dan gear supaya terletak berkedudukan di atas paras air (Gambar 2.3). Peranti ini mula mengeluarkan kuasa adalah pada kadar air iaitu kira-kira 0.60 m/s (Verdant Power, 2006). Peletakan peranti ini tiada pengkhususan metod. Material yang digunakan untuk pembuatan turbin adalah aluminium.



**Gambar 2.3:** Peranti Lucid ([www.lucidenergy.com](http://www.lucidenergy.com))

#### **2.4.2.3 Alternative Hydro Solutions Ltd. (Kanada)**

Alternatif Hydro Solutions Ltd. telah menggunakan konsep turbin Darrieus. Konsep reka bentuk turbin Darrieus telah diubahsuai untuk kesesuaian dengan sungai yang kecil. Menurut Alternatif Hydro Solutions Ltd., turbin kecil Darrieus ini dibina dengan menggunakan material yang berkualiti dan tahan lasak (Gambar 2.4). Material bilah turbin adalah diperbuat daripada aluminium dengan keratan rentas yang seimbang dan teratur serta kuat. Peranti ini tiada metod pengkhususuan untuk sistem sokongan. Ukuran bilah turbin boleh didapati dalam pelbagai ukuran garis pusat iaitu 1.2, 1.5, 3.0 dan 6.0 meter. Syarikat membina beberapa saiz peranti berdasarkan kepada keperluan pelanggan. Reka bentuk turbin yang mempunyai ketinggian 2 meter dengan bergaris pusat iaitu 3 meter berkebolehan menghasilkan pengeluaran 750 watts pada kadar air yang minima iaitu pada 1 m/s dan keseluruhan berat sistem ini adalah kira-kira 200 kilogram.



**Gambar 2.4:** Peranti Alternative Hydro ([www.althydrosolutions.com](http://www.althydrosolutions.com))

#### 2.4.2.4 Thropton Energy Services (UK)

Perkhidmatan Energy Thropton merupakan pereka dan pengeluar dari Garman turbin, yang boleh digunakan untuk proses mengepan air dan penjanaan kuasa elektrik. Turbin paksi menegak ini meletakkan bilah turbin di bawah paras permukaan air sungai atau terusan. Turbin ini di tambat di tepi tebing sungai dengan menggunakan pemasangan yg ringkas untuk meminimakan halangan kepada lalu lintas di sungai. Ukuran bilah turbin

boleh didapati dalam pelbagai ukuran garis pusat iaitu 4.0, 3.4, 2.8, 2.2, dan 1.8 meter. Manakala lokasi penjana kuasa diletakkan di atas permukaan air. Turbin hidrokinetik ini berupaya menjana kuasa yang maksimum sehingga kira-kira 2 kW. Thropton digunakan untuk mengepam pengairan dan air minuman dari sungai Nil serta untuk penjanaan tenaga elektrik. Kadar air yang diperlukan untuk menempatkan sistem ini adalah sekurang-kurangnya 0.5 m/s. Peranti ini hanya berfungsi pada kedalaman air 1.75 meter atau lebih untuk mengecaskan bateri turbin (Thropton Energy, 2010).



**Gambar 2.5:** Peranti Thropton Energy ([www.throptonenergy.co.uk](http://www.throptonenergy.co.uk))

#### **2.4.3 Rumusan**

Turbin yang sedia ada di pasaran adalah rujukan yang paling baik untuk mereka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih. Kriteria reka bentuk yang dibangunkan bersesuaian dengan keadaan sungai di negara mereka yang besar dan dalam. Kategori tenaga elektrik yang dibangunkan adalah untuk digunakan ke kawasan komuniti yang besar. Penyelidik

mendapati aplikasi turbin paksi menegak mempunyai kelebihan untuk konsep turbin mudah alih. Turbin paksi menegak mudah digabungkan dengan komponen elektrik yang lain dan pelbagai metod perletakan peranti yang mudah dipelbagaikan mengikut situasi di persekitaran sungai.

## **2.5 Hidrokinetik di Malaysia**

### **2.5.1 Pengenalan**

Di Negara Malaysia, penggunaan sistem hidrokinetik tiada direkodkan secara komersial. Reka bentuk hidrokinetik adalah berdasarkan kepada penyelidikan yang terkandung di dalam kajian kesusteraan mengenai penyelidikan komuniti dan sungai di Malaysia.

### **2.5.2 Sistem Mikro hidrokinetik**

Menurut Anyi et al. (2010), satu sistem mikro hidrokinetik yang telah di rekabentuk di Abok Mawangdi, Sri Aman, Sarawak. Konsep yang digunakan adalah turbin Pelton, yang telah dibina menggunakan paip galvanis dan diubahsuakan pada roda yang diletakkan selari untuk menghasilkan sistem cawan turbin (Gambar 2.6). Sistem ini perlu disokong oleh pembinaan takungan air buatan untuk mendapat kadar air yang dikehendaki. Reka bentuk turbin ini boleh menghasilkan pengeluaran AC 30kW dengan sokongan kadar air kira kira 1500 rpm.



**Gambar 2.6:** Konsep Turbin Pelton (sumber Anyi et al., 2010)

### **2.5.3 Jurang Penyelidikan**

Penempatan komuniti pedalaman berada di luar lingkaran Grid Elektrik Nasional dan kurang penyelidikan yang melibatkan potensi tenaga hidro kinetik di Sarawak: lokasi jauh, penempatan yang kebanyakan di pesisir sungai manakala sebahagiannya hidup berpindah randah.

## **2.6 Pendekatan Kualitatif**

Pendekatan kualitatif adalah penerokaan dan bertujuan untuk mencari dan memberikan keterangan serta pemerhatian yang bukan numerikal walaupun terdapat keterangan yang merujuk kepada statistik. Penyelidikan ini adalah penerokaan dan bertujuan untuk memberikan keterangan, interpretasi, atau makna dalam sesuatu proses komunikasi. Kaedah ini juga lebih merupakan usaha untuk memberikan keterangan tentang sifat dan keadaan sesuatu fenomena dengan menggunakan pandangan umum atau tafsiran

pengalaman secara berbeza (Creswell, 2007). Justeru, penyelidikan kualitatif tidak tertumpu ke arah pengutipan maklumat yang banyak. Sebaliknya, kaedah ini berusaha untuk memperoleh maklumat berkualiti dengan memberikan tumpuan terhadap sampel yang kecil.

Kaedah pengumpulan data didalam penyelidikan kualitatif tidak bergantung pada data bukan angka, menggunakan kaedah seperti temu bual, kumpulan fokus, pemerhatian peserta, dan analisis kandungan untuk mengumpulkan maklumat yang kaya dan terperinci. Selain itu, Penyelidikan kualitatif juga bersifat fleksibel didalam proses menyesuaikan pendekatan semasa menjalankan kajian berdasarkan penemuan yang didapati secara langsung di tapak penyelidikan lapangan (Denzin & Lincoln, 2005).

Manakala saiz sampel adalah kecil. Pengumpulan data tidak seperti penyelidikan kuantitatif, kajian kualitatif merupakan pendekatan kepada pemahaman kepada sesuatu situasi penyelidikan setempat. Sampel ini dianalisis bersifat induktif dan melibatkan mengenalpastian corak, tema dan kategori. Kaedah ini termasuk analisis tematik, teori asas, analisis kandungan yang tidak kearah numerical. Penerangan pendekatan kualitatif yang menjelaskan perincian tentang fenomena yang dikaji, meneliti kerumitan kajian dan berpandukan kepada konteks pengalaman secara langsung (Creswell & Brown, 1992).

Menurut Marshall & Rossman, 2006, pengkaji kualitatif juga memerlukan peranan instrument dalam proses penyelidikan. Latar belakang, pengalaman dan perspektif penyelidikan mempengaruhi pengumpulan dan tafsiran data. Pertimbangan etika adalah faktor penting dalam penyelidikan kualitatif. Penyelidikan perlu menangani isu persetujuan yang termaklum, kerahsiaan dan kehormatan terhadap peserta, mengiktiraf potensi kesan penyelidikan terhadap individu dan komuniti yang terlibat. Keberadaan ini menyerlahkan ciri dan prinsip yang baik dalam menangani penyelidikan kualitatif. Pendekatan yang

bermakna untuk mendapatkan pendapat dan pandangan sesuatu fenomena social yang kompleks dan memahani selok belok tingkah laku dan pelbagai pengalaman manusia.

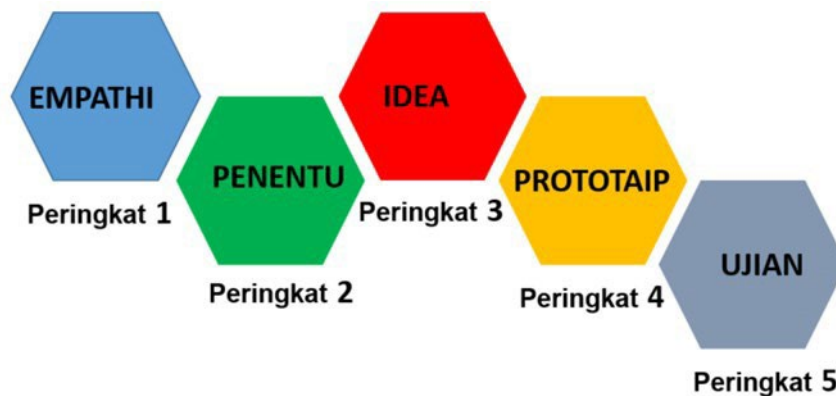
## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1 Pengenalan

Bab penyelidikan ilmiah, metodologi penyelidikan adalah hujahan utama untuk menjawab dan mencapai objektif penyelidikan. Penyelidikan ini menggunakan metod kualitatif sebagai panduan untuk mendapatkan hasil penyelidikan. Secara keseluruhannya, penyelidikan ini mengaplikasikan pendekatan kualitatif dalam proses pengumpulan data dan menganalisis data penyelidikan. Penyelidikan ini menjelaskan bagaimana paradigma pentaksiran data digunakan dalam konteks penyelidikan di lapangan.

#### 3.2 Proses Pemikiran Reka Bentuk



**Rajah 3.1:** Pemikiran Reka Bentuk (Idea Penyelidk)

Pada peringkat pertama ini iaitu Empathi, proses pemikiran reka bentuk telah diberikan keutamaan kepada penyelidikan berpusat kepada lokaliti yang tinggal di sekitar sungai di pedalaman Sarawak. Pemahaman Empathi kepada pemasalahan komuniti dalam menangani kesulitan kemudahan tenaga elektrik. Pada peringkat ini, penyelidikan adalah

berdasarkan fenomena yang diperhatikan dan diukur serta diperolehi dari pengetahuan dan pengalaman sebenar. Pemerhatian pada persekitaran fizikal sungai membantu untuk memahami keadaan persekitaran lapangan dan mengetahui aktiviti komuniti di kawasan lokaliti pedalaman Sarawak ini. Empathi adalah penting untuk menyelesaikan permasalahan dan pembangunan reka bentuk yang berpusatkan kepada aktiviti lokaliti. Pemahaman peribadi yang lebih mendalam tentang isu yang terlibat dicatatkan bukan berdasarkan daripada teori dan kepercayaan tetapi melalui pengalaman dan motivasi komuniti yang sebenar ketika di lokasi.

Matlamat utama peringkat ini adalah untuk memberikan pemahaman yang terbaik iaitu dari segi penggunaan, keperluan dan masalah komuniti yang menjadi dasar pembangunan reka bentuk turbin hidro kinetik mudah alih untuk tujuan kemudahan pengaliran tenaga elektrik. Semua usul diatas mempunyai satu kesamaan iaitu bergantung antara pemerhatian dan pengumpulan data sert pengujian di sungai yang terpilih di pedalaman Sarawak iaitu sungai Semulong Ulu, sungai Engkari dan sungai Niah.

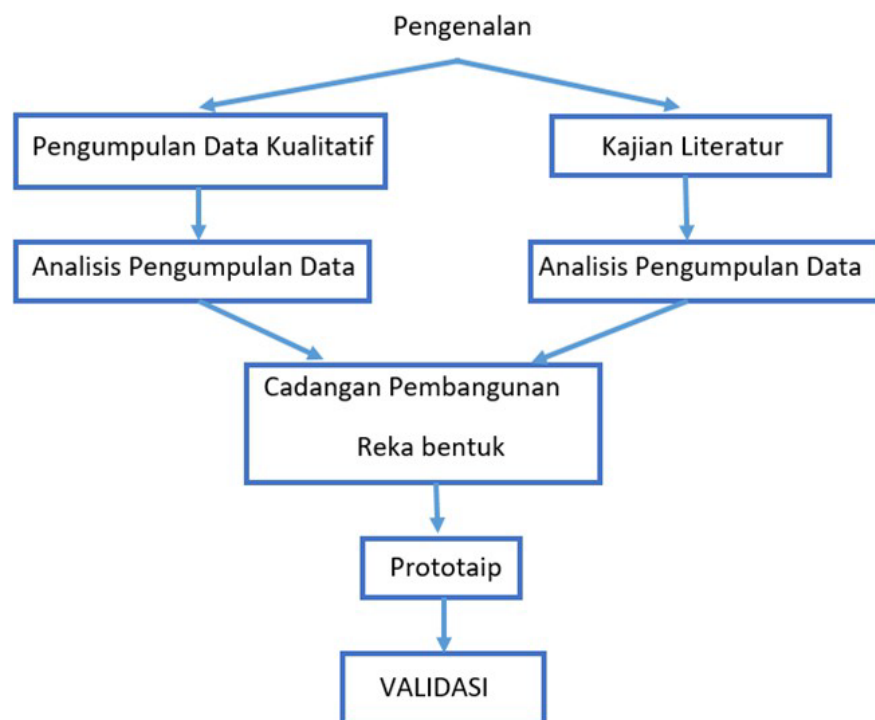
Pada peringkat Penentu pula, hasil dari pengumpulan data pada peringkat Emphati akan di susun dan dianalisis. Maklumat dari peringkat empati ini akan digunakan untuk menentukan masalah teras yang telah dikenalpasti sehingga tahap ini. Pengumpulan daripada kupasan literatur juga digabungkan untuk membantu penyelidikan ke arah yang lebih tepat.

Manakala pada peringkat Idea, proses pemikiran reka bentuk yang terdiri daripada sumbangsaran kearah kupasan idea. Sasaran penyelidikan iaitu lokaliti pedalaman Sarawak dimana pembangunan reka bentuk turbin hidro kinetik mudah alih dirungkai dari penyata masalah untuk membina kriteria reka bentuk turbin hidro kinetik mudah alih yang ideal untuk kegunaan di sungai di lokaliti pedalaman yang terpilih di Sarawak.

Seterusnya adalah pada peringkat Prototaip, kriteria reka bentuk yang telah ditetapkan akan melalui proses pembangunan reka bentuk 3D. Pemilihan ciri ciri pada sebuah peranti turbin perlu dimuktamadkan berdasarkan kepada penyelidikan yang telah dijalankan ke atas penyelidikan lapangan iaitu di lokaliti sungai yang terpilih di pedalaman Sarawak. Prototaip peranti ini dibangunkan menggunakan pencetak 3D untuk diuji kebolehsanaannya berdasarkan kriteria di lokasi komuniti pedalaman yang terpilih.

Pada peringkat Ujian reka bentuk prototaip melalui peringkat pengujian di Pusat Kajian Air. Proses pengujian ini perlu diselaraskan berdasarkan pengaliran halaju air yang telah dikumpulkan ketika diperingkat Empathi. Hasil ujian ini, penyelidik menginterpretasikan data yang dikumpul untuk memberikan penjelasan hasil kepada pembangunan reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih ini.

### 3.3 Metod Penyelidikan



**Rajah 3.2:** Metod Penyelidikan (Sumber Penyelidik)

Pada Rajah 3.2 menunjukkan metod penyelidikan yang perlu dilakukan oleh penyelidik secara sistematik. Pengumpulan maklumat dari kajian literatur adalah penting untuk penyelidikan reka bentuk perindustrian. Manakala reka bentuk peranti turbin yang telah lama berada di pasaran menjadi rujukan untuk menzahirkan idea untuk membangunkan sebuah peranti turbin hidrokinetik mudah alih untuk kemudahan komuniti pedalaman di Sarawak. Malah terdapat rekod penyelidikan hidrokinetik turbin yang terdahulu mengenai fenomena lokasi dan komuniti di pedalaman Sarawak.

Manakala pengumpulan data kualitatif melibatkan penyelidikan lapangan yang sebenar. Penyelidikan lapangan yang tertumpu kepada sungai yang terpilih di lokaliti pedalaman Sarawak. Penyelidikan yang dijalankan menggunakan dua kaedah iaitu pemerhatian dan pengambilan data aliran air sungai. Pertama, penyelidikan kualitatif memberi tumpuan kepada memahami fenomena dalam konteks keadaan persekitaran semula jadi iaitu pergerakan aliran air, rupa bentuk pinggir sungai dan aktiviti permukaan sungai. Manakala, yang kedua adalah melakukan pengambilan data aliran air sungai. Instrumen yang digunakan adalah swoffer meter. Pengambilan data tertumpu di kawasan pinggiran sungai yang jarak tidak lebih dari satu meter dari daratan. Ini mengambil kira kepada keadaan sungai yang menjadi tumpuan utama komuniti di pedalaman. Konsep turbin yang mudah alih ini merupakan sebuah reka bentuk yang ringan, kecil, mudah diselenggarakan. Oleh itu, faktor faktor yang dikemukakan dijadikan panduan untuk pembinaan reka bentuk yang selari dengan karektor air sungai yang terpilih di pedalaman Sarawak.

Peringkat seterusnya adalah cadangan pembangunan reka bentuk hidro kinetik mudah alih. Pada peringkat ini, proses sumbangsaran kepada konsep reka bentuk telah dilakukan untuk menetapkan kriteria reka bentuk dan memilih peralatana untuk binaan reka bentuk turbin mudah alih. Pemilihan jenis hidrofoil yang sesuai amat penting untuk

menyesuaikan penggunaannya di sungai yang terpilih di Sarawak. Pada peringkat ini, lakaran reka bentuk dijalankan dan pembinaan juga diaplikasi menggunakan perisian Solid Work dan perisian AutoCAD untuk mendapatkan ukuran yang tepat.

Setelah keputusan reka bentuk dan ukuran telah ditetapkan, pembinaan prototaip direalisasikan dengan menggunakan pencetak 3D. Pada peringkat ini, reka bentuk telah melalui kritikan sumbangsaran yang dilakukan bersama pasukan penyelidik. Setelah keputusan muktamad dicapai, prototaip reka bentuk turbin hidro kinetik mudah alih telah di cetak.

Manakala pada peringkat akhir, prototaip turbin hidro kinetik mudah alih perlu melalui pengujian di Pusat Kajian Air di NAHRIM, Selangor. Prosedur yang dilakukan secara berperingkat peringkat dengan berpandukan aliran air sebenar yang direkodkan di lapangan penyelidikan. Ujikaji ini bertujuan untuk mengesahkan kebolehsanaan peranti ini berfungsi dengan baik dan bersesuaian untuk digunakan di lokaliti pedalaman Sarawak. Data validasi ini direkodkan dengan menggunakan peranti Technometer dalam ukuran putaran perminit (RPM).

### **3.4 Prosedur Pengumpulan Data di Lapangan**

#### **3.4.1 Pemerhatian dan Fotografi**

Pemerhatian dan fotografi merupakan salah satu sumber penting untuk memperolehi data yang menggunakan kaedah kualitatif. Metod penyelidikan yang dijalankan di lapangan penyelidikan adalah bertujuan untuk mendapatkan data secara langsung. Catatan pemerhatian dirakamkan dalam bentuk fotografi. Bukti pengesahan informasi teknik ini memberikan pemahaman dan penjelasan kepada sesuatu fenomena dan di rakam dalam bentuk visual. Pemerhatian telah dilakukan di sekitar pinggir sungai. Kehidupan alam

semulajadi yang tumbuh dipinggir sungai mempunyai pelbagai jenis dan saiz pokok. Selain itu, pemerhatian terhadap aktiviti di sungai yang dijalankan oleh penduduk disekitar sungai (Gambar 3.2).



**Gambar 3.1:** Di Lapangan Penyelidikan Sungai Engkari (Sumber Penyelidik)

### **3.4.2 Metod Penyelidikan Kadar Air Sungai**

Pada penyelidikan di lapangan, pengumpulan data kadar air adalah di persekitaran tebing sungai sahaja. Ini bersesuaian dengan matlamat untuk mereka bentuk turbin hidrokinetik yang mudah alih untuk kegunaan lokaliti pedalaman. Faktor keselamatan di mana sungai yang menjadi sibuk sebagai nadi perhubungan dan makanan kepada lokaliti pedalaman. Peralatan optik yang digunakan untuk mendapatkan data kadar air adalah peranti Swoffer Current Meter. Unit pengukuran kadar air adalah dalam meter persaat (m/s).

### **3.5 Lokasi Penyelidikan**

Pasukan penyelidikan UniKL dan UNIMAS perlu mengenal pasti lokasi penyelidikan yang sesuai untuk penyelidikan lapangan ini. Kriteria pemilihan berasaskan kepada penempatan komuniti yang berada di pedalaman dan berada di luar kawasan penyambungan grid elektrik nasional serta lokaliti tinggal di sekitar pinggir sungai.

Ini adalah senarai lokaliti pedalaman yang telah berjaya memperolehi maklumat dan data penyelidikan. Lokaliti tersebut adalah:

1. Semulong Ulu, Sri Aman, Sarawak.
2. Sungai Engkari, Sri Aman, Sarawak.
3. Sungai Niah di daerah Miri, Sarawak.

Hasil ujikaji lapangan di sungai semulong Ulu, sungai Engkari dan sungai Niah telah dijadikan penyelidikan perintis. Dapatan dari pemerhatian dan data penyelidikan di lapangan ini digunakan untuk proses menghasilkan saiz dan reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih mengikut lokaliti penyelidikan yang terpilih ini.

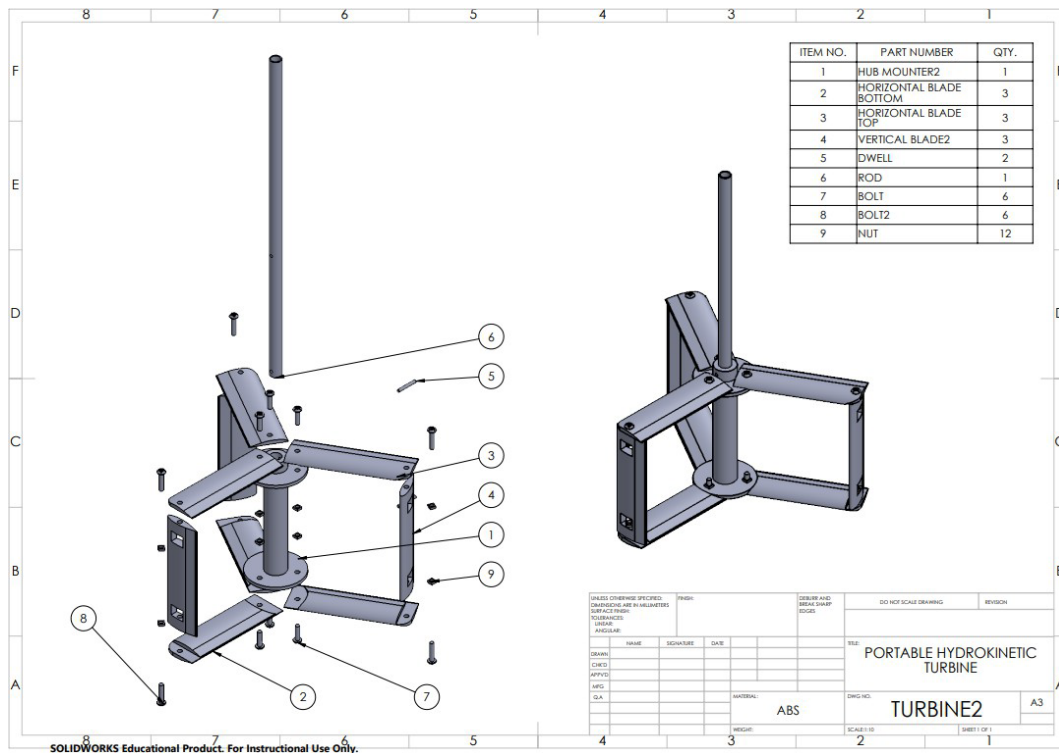
### **3.6 Pembangunan Reka Bentuk Prototaip Turbin**

Prototaip reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih ini dibangunkan berlandaskan kepada kriteria yang telah ditetapkan oleh penyelidik. Bilah turbin adalah aspek penting pada reka bentuk turbin mudah alih untuk berfungsi menghasilkan daya putaran yang diperlukan di dalam halaju aliran arus air. Proses lakaran reka bentuk dilakukan dengan menggunakan perisian Solid Work. Pada peringkat akhir, bilah turbin dihasilkan dengan menggunakan pencetak 3D. Material yang digunakan adalah jenis Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS). Selain itu, bahagian turbin yang lain dibangunkan dengan menggunakan material plat dan

selinder besi serta gear. Medium penyambungan material ini menggunakan teknik kimpalan arka logam terlindung (SMAW).

Manakala pembangunan reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih ini dibina berdasarkan kepada persamaan kuasa iaitu  $P = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p$  (watts). Konsep dan formula untuk teknologi hidrokinetik dimana P ialah Kuasa Air (watt),  $\rho$  ialah ketumpatan air dalam (1000 kgm<sup>3</sup>). A mewakili kawasan turbin dalam m<sup>2</sup>s, V ialah kadar air dalam nilai m/s. Manakala  $C_p$  adalah pekali kuasa daya turbin (kecekapan).  $C_p$  merupakan peratusan daya yang dapat diambil oleh turbin dari air yang mengalir melalui turbin. Persamaan ini adalah untuk mendapatkan pengiraan saiz yang ideal untuk mereka bentuk hidrofoil turbin hidrokinetik mudah alih. Saiz turbin dibangunkan selari dengan catatan data yang direkodkan di lapangan penyelidikan di sungai sungai yang terpilih di Sarawak. W.I. Ibrahim et al. (2021), keberkesanan turbin hidrokinetik untuk menghasilkan tenaga kinetik, bergantung kepada kepadatan air ( $\rho$ ), pekali daya turbin, luas keratan rentas, dan kadar air.

Turbin hidrokinetik mudah alih direka bentuk menggunakan aplikasi turbin paksi menegak iaitu turbin Darrieus jenis H. Kriteria reka bentuk yang menggunakan konsep turbin Darrieus jenis H sebagai platform asas yang penting. Hidrofoil bilah turbin ini dipasang dengan 3 lengan dan setiap lengan dipasang dengan bilah turbin yang mempunyai ciri-ciri keranjang udara NACA 0018. Rajah 3.5, menunjukkan reka bentuk akhir turbin hidrokinetik mudah alih. Manakala dibahagian tengah dihubungkan dengan hub sebagai penyokong utama untuk disambungkan kepada pemutar, gear dan sebagainya.



**Rajah 3.3: Reka Bentuk Turbin (Sumber Penyelidik)**

### 3.7 Analisis Data Penyelidikan

Pada peringkat ini, prototaip turbin ini melalui fasa untuk menguji potensi dan validasi reka bentuk turbin. Prosedur ujian turbin ini dijalankan di Pusat Kajian Air di Institut Penyelidikan Hidraulik Kebangsaan Malaysia (NAHRIM) di Seri Kembangan, Selangor. Peranti Techometer digunakan untuk mengukur putaran hydrofoil di dalam air yang diukur dalam putaran perminit (RPM). Prototaip turbin hidrokinetik mudah alih ini melalui proses ujian di Pusat Kajian Air pada kelajuan kadar air yang akan ditetapkan iaitu antara kadar air 0.1 meter persaat sehingga 1.6 meter persaat (m/s).

Hasil dapatan dari ujian penyelidikan akhir ini, model penilaian dikenal pasti iaitu menginterpretasi data dari hasil penyelidikan sebagai penjelasan yang paling munasabah

untuk peranti ini. Data-data yang diperolehi dianalisis untuk mengidentifikasi perubahan pada putaran hidrofoil ketika bertindak dengan halaju air. Data yang diperolehi dari perisian Minitab ini adalah berbentuk grafik dan rajah. Penganalisan data dijalankan menggunakan nilai bacaan iaitu putaran turbin perminit (RPM) dan graf jumlah tenaga elektrik yang dihasilkan oleh peranti ini. Secara keseluruhan data dipaparkan dalam bentuk graf scatterplot untuk membezakan perubahan turbin pada setiap pelarasan kadar air dilakukan. Graf scatterplot ini digunakan bagi menjawab objektif yang pertama, kedua dan ketiga dalam bab perbincangan. Oleh yang demikian, penyelidikan dan pembangunan reka bentuk prototaip turbin mudah alih menggunakan konsep hidrokinetik dapat dirumuskan dan dikenal pasti kebolehsanaan peranti untuk kegunaan di sungai pedalaman Sarawak.

### **3.8 Keselamatan**

Langkah keselamatan, pihak penyelidik UNIMAS telah terlebih dahulu mendapatkan kebenaran dari ketua komuniti untuk memasuki kawasan komuniti pedalaman bagi meneruskan penyelidikan. Setelah mendapat kebenaran dan penetapan tarikh, penyelidik perlu membuat persediaan segala kelengkapan untuk kegunaan di sepanjang perjalanan pasukan penyelidik dari UNIMAS dan UniKL ke lokasi lapangan penyelidikan. Dari segi pengangkutan, pacuan empat roda dan bot telah disewa untuk sepanjang aktiviti penyelidikan lapangan. Perjalanan darat mengambil masa lebih dari lima jam dari Kuching. Namun begitu, untuk akses ke lokaliti pedalaman hanyalah menggunakan bot panjang yang mengambil masa perjalanan yang agak lama. Perjalanan darat adalah tidak sesuai kerana jalan laluan pembalakan yang agak mencabar dengan bukit bukau yang curam. Semasa di kawasan lapangan penyelidikan, keselamatan juga perlu diutamakan. Sungai di Sarawak terkenal dengan hidupan binatang buas iaitu buaya. Oleh itu bantuan dari komuniti tempatan amat diperlukan untuk memberi panduan keselamatan kepada pasukan penyelidik.

Fenomena kepala air juga selalu berlaku di sungai pedalaman Sarawak ini. Segala aktiviti penyelidikan di lapangan perlu dirancang dengan teratur kerana proses pengambilan data sungai mempunyai masa yang terhad.

Selain itu, terdapat penyelidikan lapangan di pedalaman yang telah tergendala. Lokasi penyelidikan yang pertama adalah di sungai yang berdekatan dengan komuniti iaitu di pedalaman Semulong ulu. Keadaan sungai Semulong Ulu yang amat deras dan keadaan di persekitarannya adalah berpaya yang diliputi hutan tebal. Ini amat merbahaya kepada pasukan penyelidik melakukan pengambilan data aliran air di sungai. Walau bagaimanapun, penyelidikan telah mengumpul maklumat secara method pemerhatian dan direkodkan dengan mengambil fotografi untuk dijadikan rujukan penyelidikan sebenar.

Manakala, lokasi kedua juga gagal untuk mendapatkan data aliran air sungai iaitu di sungai Padawan, Sarawak. Keadaan tebing sungai yang tinggi dan berbatu batu serta terdapat rimbunan tumbuhan liar yang tebal menyukarkan pasukan untuk turun menyusuri tebing untuk ke sungai. Kekerapan hujan telah menjadikan keadaan kawasan sungai ini lembap. Keadaan ini amat merbahaya kepada pasukan penyelidik dan penyelidik mengambil keputusan untuk membatalkan ujikaji lapangan di sungai ini.

### **3.9 Ringkasan**

Metodologi penyelidikan ini dapat membantu penyelidik untuk mengumpulkan data dan maklumat secara lebih teratur dan jelas mengenai penyelidikan yang dijalankan. Selain itu, penyelidik juga telah memastikan kaedah dan prosedur yang dirancang di dalam metodologi ini dipatuhi dengan sebaiknya. Penyelidikan ini selari dengan bidang penyelidikan seni reka bentuk perindustrian.

## **BAB 4**

### **ANALISIS DAN DAPATAN**

#### **4.1 Pengenalan**

Pada bahagian ini, penyelidik membincangkan hasil dapatan penyelidikan yang diperolehi semasa menjalankan penyelidikan lapangan di sungai-sungai sekitar lokaliti pedalaman Sarawak. Pengumpulan data demografik komuniti juga direkodkan dari hasil temubual secara tidak langsung bersama komuniti tempatan. Keseluruhan data yang dikumpul, dianalisis dan dihuraikan mengikut metodologi yang telah ditetapkan. Pengumpulan data ini dianalisis untuk menghasilkan reka bentuk hidrokinetik turbin mudah alih yang bersesuaian dengan lokaliti pedalaman Sarawak yang terpilih.

#### **4.2 Dapatan Pemerhatian di Lokaliti Pedalaman Sarawak**

##### **4.2.1 Kampung Semulong Ulu**

###### **4.2.1.1 Demografik**

Kampung Semulong Ulu merupakan salah sebuah kampung yang terletak di kawasan pedalaman Sarawak, telah dimasukkan ke dalam program di bawah projek bekalan tenaga elektrik luar bandar. Dari pengalaman penyelidik, perjalanan ke kampung ini memerlukan masa selama 3 jam untuk sampai ke destinasi ini iaitu bermula dari Kuching hingga ke jeti di Pantu, Sri Aman dengan menaiki kenderaan pacuan 4 roda. Kemudian perjalanan diteruskan dengan menaiki bot panjang yang mengambil masa kira-kira 2 jam perjalanan untuk sampai ke destinasi. Salah sebuah perkampungan di Semulong Ulu mempunyai sebuah Rumah Panjang yang berukuran 143 meter. Akan tetapi, di perkampungan ini, setiap komuniti di Semulong Ulu ini telah membina rumah persendirian di sekitar rumah panjang.

Fungsi rumah panjang ini pula telah dijadikan kawasan untuk bergotong royong memproses hasil pertanian dan menjadikan rumah panjang ini sebagai stor untuk penyimpanan perkakas dan hasil pertanian sebelum dijual ke bandar. Komuniti kampung ini terdiri daripada 25 buah keluarga dan mempunyai ahli seramai 93 orang yang berketurunan etnik Iban. Kampung Semulong Ulu adalah salah satu komuniti pedalaman yang tidak bersambung dengan bekalan grid kuasa elektrik nasional.

Menurut salah seorang komuniti, pada tahun 2004, kerajaan telah menyediakan kemudahan sistem tenaga solar fotovoltan kepada kampung ini untuk menjana tenaga elektrik. Selama pasukan penyelidik berada di lokaliti ini, penyelidik mendapati hujan turun pada setiap hari. Lokasi komuniti yang berhampiran dengan paya menyebabkan air sentiasa bertakung di sekitar Rumah Panjang. Sekitar lokasi komuniti juga dikelilingi oleh pohon pohon balak yang besar dan tinggi menjadikan persekitaran sentiasa suram. Keadaan ini menyebabkan lokasi komuniti menerima sedikit cahaya matahari. Kesan daripada persekitaran yang lembap menjadikan panel solar yang telah dibina tidak mendapat pendedahan cahaya matahari yang mencukupi untuk menjana pertambahan simpanan bateri. Dengan rutin harian komuniti pada sebelah siang menyebabkan komuniti mempunyai kekangan masa untuk melakukan penyelenggaraan berkala. Pada Gambar 4.1, menunjukkan pokok pokok yang berada di sekitar penempatan komuniti ini pula telah tumbuh dengan subur dan menghalang solar panel dari menerima sumber pancaran cahaya matahari walaupun solar panel telah dipasang pada paras yang tinggi.



**Gambar 4.1:** Panel Solar fotovoltan (Sumber Penyelidik)

Hasil pemerhatian penyelidik, setiap panel solar yang berada di lokaliti ini mempunyai kesan hakisan dan perubahan warna pada sel panel serta retak pada diod pintas (Gambar 4.2). Pemerhatian penyelidik juga mendapati bahawa keseluruhannya kawasan permukaan panel solar telah berubah menjadi kehitaman disebabkan oleh kesan dari kulat dan sisa buangan burung. Oleh itu, kesan perubahan warna pada panel solar menjadikan kapasiti pengecasan panel menjadi menurun. Manakala panel yang dipasang di tiang yang tinggi bertujuan untuk mendapatkan pencahayaan matahari yang maksimum tetapi situasi ini telah mengundang kepada risiko kerosakan akibat dari sambaran kilat. Sistem solar ini tidak diberikan perhatian dan penjagaan yang baik. Sistem ini juga tidak diselenggarakan dengan baik dan pada tahun 2006, penghasilan tenaga elektrik dari sistem tenaga solar telah merosot dan akhirnya telah rosak. Oleh itu, komuniti tidak dapat untuk menggunakan kemudahan tenaga elektrik yang maksimum dari aplikasi solar panel ini.



**Gambar 4.2:** Kerosakan pada Panel Solar dan Diod (Sumber Penyelidik)

Ekoran daripada kegagalan program solar ini, penyelidik mendapati komuniti pedalaman di Semulong Ulu telah mendapat kemudahan tenaga elektrik dari tenaga yang diperbaharui yang lebih efisien. Kampung Semulong Ulu telah mendapat kemudahan bekalan tenaga elektrik melalui pembangunan sistem mikro hidro elektrik. Sistem mikro hidro ini berkebolehan untuk mengeluarkan tenaga elektrik sehingga 100 watts. Lokasi sistem mikro hidroelektrik di Semulong Ulu ini terletak pada  $1^{\circ} 20' 24''$  Utara dan  $111^{\circ} 11' 23''$ . Sistem hidroelektrik ini mempunyai takungan air yang di bina di atas bukir berhampiran. Air ini disambung dengan penstock yang bersaiz 100cm untuk memutarakan turbin. Sistem turbin ynag digunakan adalah jenis pelton. Sistem mikro hidroelektrik ini adalah hasil penyelidikan dan pembinaan di bawah kelolaan Fakulti Kejuruteraan UNIMAS dan lokaliti kampung Semulong Ulu.

Sekitar lokaliti ini dikelilingi oleh kawasan yang berpaya. Lokaliti ini dihubungkan dengan sebuah titi yang berukuran 30 meter panjang untuk ke sungai (Gambar 4.3). Manakala mata pencarian utama komuniti di Semulong Ulu adalah penanaman pokok lada hitam dan hasil sektor pertanian ini disimpan di dalam rumah panjang (Gambar 4.4).



**Gambar 4.3:** Lokaliti Pedalaman (Sumber Penyelidik)



**Gambar 4.4:** Ruang Dalam di Rumah Panjang (Sumber Penyelidik)

#### 4.2.1.2 Pemerhatian Di Sungai Semulong Ulu



**Gambar 4.5:** Keadaan Tebing Sungai (Sumber Penyelidik)

Pada gambar 4.5, mendapati sungai Semulong Ulu ini dikelilingi oleh dataran tinggi yang diliputi hutan tebal. Bentuk muka bumi di tebing sungai di Semulong Ulu adalah tinggi dimana tebing ini mengalami hakisan yang ketara disebabkan oleh fenomena air pasang surut dan diikuti kepala air yang berlaku hampir setiap hari. Pada tebing sungai ini juga diliputi oleh lumpur yang tebal. Manakala disepanjang persisiran tebing sungai, terdapat pelbagai jenis pokok renek yang tumbuh dengan subur. Di sepanjang teping sungai ini, terdapat juga pokok jenis Ara (ficus) yang bersaiz besar mendominasi di sepanjang tebing sungai. Pokok jenis Ara ini tumbuh dengan keadaan condong ke arah sungai. Pokok jenis Ara ini juga mempunyai karektor akar yang bersaiz besar dan bersifat keras. Akar kayu yang

menjalar ke dalam sungai yang kelihatan menonjol disebabkan hakisan tanah di tebing sungai (Gambar 4.5).



**Gambar 4.6:** Perubahan Paras Air Sungai (Sumber Penyelidik)

Sepanjang penyelidik berada di lokaliti Semulong Ulu, mendapati hujan tutun pada sebelah pagi dan pada lewat petang. Cuaca panas hanya berlaku sekitar jam 10 pagi hingga ke jam 5 petang sahaja. Walaupun cuaca yang tidak menentu, komuniti masih berada di lokasi pertanian dan pulang ke rumah pada jam 6.30 petang. Pemerhatian penyelidik ketika waktu hujan, keadaan paras air sungai meningkat sehingga menenggelamkan akar-akar pokok Ara. Keadaan halaju aliran air sungai pada masa itu adalah sangat deras. Pada ketika ini juga, kelihatan serpihan bahan semula jadi yang terapung di permukaan sungai. Serpihan bahan semula jadi itu terdiri daripada daun-daun, ranting dahan dan serpihan pokok. Selain itu, terdapat juga bahagian batang pokok balak bersaiz besar hanyut mengikut aliran air ke

bahagian hilir sungai. Malahan menurut informan dari komuniti tempatan, ketinggian air sungai di Semulong Ulu ini boleh mencecah ketinggian sehingga 3 meter dari paras air sungai yang normal (Gambar 4.6). Ini menyebabkan komuniti membina rumah panjang yang tinggi kerana sekeliling rumah panjang sentiasa di takungi oleh air.

Manakala ketika cuaca cerah, pemerhatian penyelidik mendapati tiada serpihan bahan semulajadi yang banyak terapung disekitar sungai lokaliti. Serpihan semulajadi yang terapung hanyalah daun daun kecil sahaja. Takisan tanah yang tinggi akibat dari kekerapan berlaku air pasang telah menyukarkan untuk komuniti untuk turun ke sungai. Walau bagaimana pun, lokaliti telah membina tangga kecil dari kayu balak yang kecil untuk memudahkan mereka menuruni ke tebing sungai.

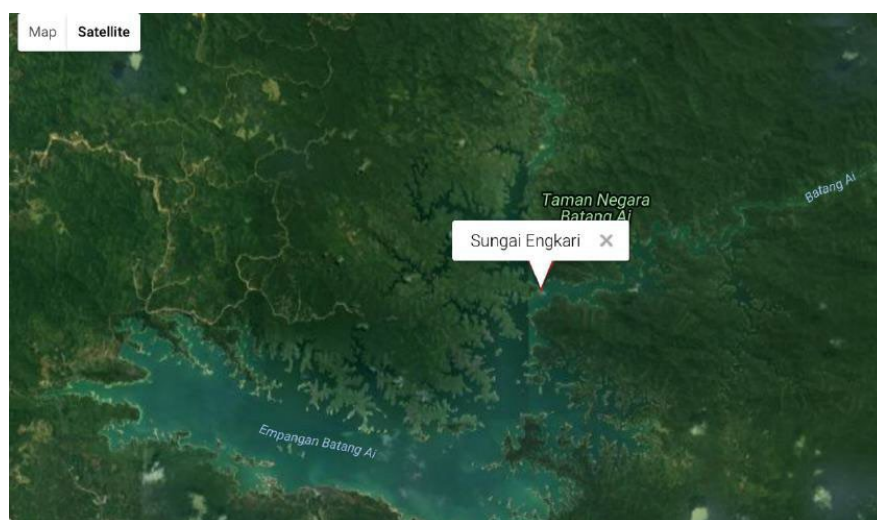


**Gambar 4.7:** Keadaan Tebing Sungai (Sumber Penyelidik)

Di samping itu, menurut informan lagi, pada masa-masa tertentu lokaliti tidak dapat menjalankan aktiviti harian menggunakan kemudahan sungai. Kawasan lokaliti pedalaman ini telah menjadi laluan kepada aktiviti pembalakan yang menggunakan sungai sebagai alternatif pengangkutan untuk membawa hasil pembalakan keluar dari hutan. Kesemua hasil pembalakan telah dikumpulkan di tepi tebing sungai sementara menunggu kedatangan kapal besar untuk mengangkut kayu-kayu balak ini (Gambar 4.7). Kesan dari aktiviti pemunggaan kayu-kayu balak ini mengakibatkan terdapat banyak serpihan kayu-kayu yang bersaiz besar yang terapung di atas permukaan sungai. Serpihan kayu ini terapung di permukaan aliran air di sepanjang sungai hingga ke empangan hidroelektrik. Oleh yang sedemikian, kesan pencemaran ini telah mewujudkan situasi merbahaya kepada aktiviti harian komuniti pedalaman yang sentiasa menggunakan sungai sebagai perhubungan dan sumber mata pencarian rezeki.

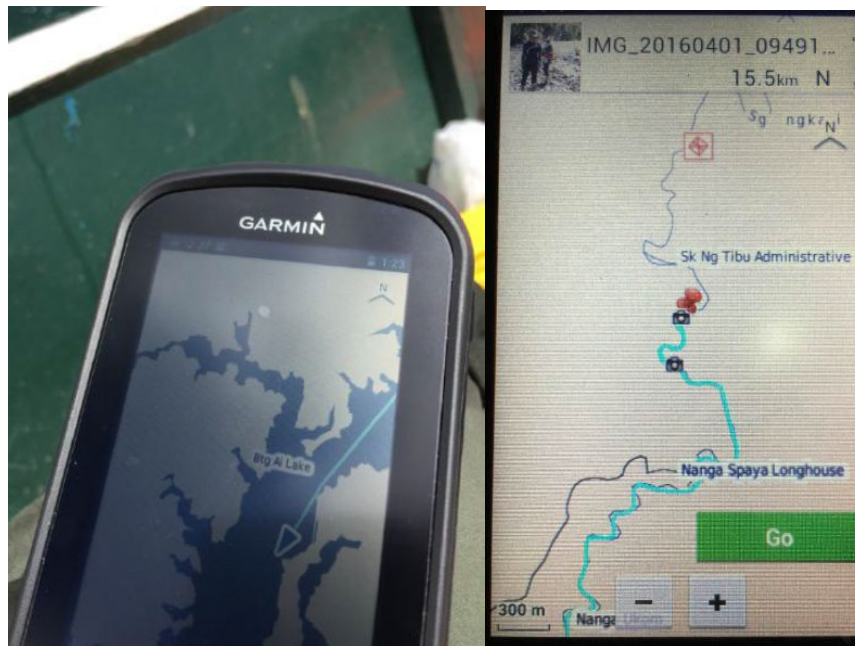
## 4.2.2 Sungai Engkari, Batang Ai di Lubuk Antu

### 4.2.2.1 Demografik



**Rajah 4.1:** Lokasi sungai Engkari (Sumber Google)

Lubuk Antu berada di dalam daerah di Sri Aman, Sarawak, Malaysia. Daerah ini terletak berhampiran dengan sempadan Sarawak-Kalimantan. Perjalanan darat dari Kuching ke Lubuk Antu mengambil masa selama lima jam dan perjalanan diteruskann lagi selama 2 jam dengan menggunakan bot panjang dari jeti Batang Ai untuk ke lokaliti pedalaman di sungai Engkari. Berpandukan pada Rajah 4.1, lokasi sungai Engkari terletak di bahagian utara tasik empangan hidroelektrik Batang Ai.



**Rajah 4.2:** Peta Batang Ai (Sumber Penyelidik)

Berdasarkan maklumat yang diberikan oleh informan, majoriti komuniti yang tinggal di sepanjang Sungai Engkari ini merupakan etnik Iban dan sektor pertanian merupakan aktiviti utama turun temurun (Rajah 4.2). Terdapat banyak penempatan rumah panjang di sepanjang sungai Engkari ini. Antaranya adalah Rumah Panjang Nanga Sepaya yang didiami

oleh 52 buah keluarga. Manakala Rumah Panjang Nanga Ukom pula mempunyai 38 buah keluarga. Penduduk etnik Iban di perairan Sungai Engkari amat bergantung kepada sumber alam semula jadi untuk menjalani keperluan kehidupan mereka (Gambar 4.9). Penanaman padi bukit adalah tanaman pilihan utama dan sungai juga menjadi sumber air dan makanan kepada mereka. Selain itu sungai menjadikan pasarana pengangkutan utama untuk perhubungan komuniti antara rumah panjang di sepanjang Sungai Engkari.



**Gambar 4.8:** Pengangkutan Air Komuniti (Sumber Penyelidik)

Pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9, merujuk kepada aktiviti pengangkutan yang digunakan oleh komuniti dengan menaiki bot laju atau perahu panjang yang bermotor. Perjalanan dari rumah panjang ke pangkalan Batang Ai, mengambil masa antara 4 hingga 6 jam bergantung kepada paras air dan kelajuan arus aliran air.



**Gambar 4.9:** Pengangkutan Air Komuniti (Sumber Penyelidik)

#### **4.2.2.2 Pemerhatian Di Sungai Engkari**



**Gambar 4.10:** Aktiviti Komuniti Pedalaman (Sumber Penyelidik)

Merujuk kepada peta, Sungai Engkari ini mempunyai perairan sungai yang berliku liku. Berdasarkan kepada Gambar 4.10, penyelidik mendapati keadaan rupa bentuk tebing sungai di lokaliti pedalaman adalah landai. Komuniti yang tinggal di Sungai Engkari menjadikan sungai untuk melakukan aktiviti harian seperti mandi dan membasuh pakaian.



**Gambar 4.11:** Keadaan Tebing Sungai (Sumber Penyelidik)



**Gambar 4.12:** Perubahan Paras Air Sungai (Sumber Penyelidik)

Di sepanjang sungai lokaliti pedalaman ini, terdapat pokok bersaiz renek yang memenuhi tebing sungai yang landai. Pokok-pokok yang bersaiz sederhana juga didapati tumbuh di sepanjang sungai ini (Gambar 4.11). Keadaan semula jadi pohon yang rimbun telah menutup rupa bentuk tebing sungai. Manakala ketika hujan atau air pasang, penyelidik mendapati paras air sungai ini meningkat tinggi sehingga 2 meter dari kedudukan paras air semasa dan mempunyai halaju aliran air yang deras yang bergerak dari hulu ke hilir sungai (Gambar 4.12).



**Gambar 4.13:** Serpihan Bahan Semula Jadi (Sumber Penyelidik)



**Gambar 4.14:** Serpihan Bahan Semula Jadi (Sumber Penyelidik)

Pemerhatian penyelidik pada permukaan air Sungai Engkari, terdapat banyak daun daun kering yang kecil. Daun daun ini terdiri dari pokok ficus yang terdapat disepanjang tebing sungai. Terdapat juga ranting ranting kecil yang terapung di sekitar tebing sungai seperti pada Gambar 4.13. Manakala ketika penyelidik mudik ke arah hilir sungai terdapat pula serpihan bahan semula jadi yang bersaiz besar, kelihatan terapung di bahagian tengah permukaan sungai seperti di Gambar 4.14. Muka bumi sungai di hilir sungai lebih lebar dari hulu sungai. Aliran air di hilir sungai menjadi perlahan dan menyebabkan banyak serpihan serpihan semula jadi terkumpul di permukaan sungai.



**Gambar 4.15:** Keadaan di Sungai Engkari (Sumber Penyelidik)



**Gambar 4.16:** Keadaan di Sungai Engkari (Sumber Penyelidik)

Pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16, menunjukkan aktiviti rutin komuniti yang melalui sungai ini terpaksa memperlahankan kenderaan dan sentiasa berhati-hati semasa melintasi serpihan bahan semula jadi yang besar terapung di permukaan sungai..



**Gambar 4.17:** Perubahan Air di Hulu Sungai (Sumber Penyelidik)

Pada Gambar 4.17, menunjukkan pada waktu pagi, keadaan di hulu Sungai Engkari adalah surut. Cuaca pada masa itu adalah cerah dan panas terik. Di bahagian hulu sungai ini, didapati paras air sungai berada pada tahap yang rendah iaitu pada ketinggian 3 meter. Aliran air sungai yang mengalir dari hulu ke bahagian hilir sungai dalam keadaan yang deras dan beralun alun. Pada pemerhatian penyelidikan, keadaan struktur dasar sungai ini mempunyai jenis berbatu-batu yang pelbagai saiz dan berpasir halus. Walaupun keadaan paras air yang surut, sungai ini tetap mempunyai kadar air yang baik. Morfologi Sungai Engkari adalah berliku liku dan pada waktu ini arah aliran air bergerak dari hulu ke empangan Batang Ai. Situasi ini memberikan kemudahan kepada komuniti dengan menaiki perahu untuk keluar dari lokaliti ke pekan yang berhampiran. Pada waktu ini juga, lalu lintas di sungai menjadi sibuk dengan aktiviti rutin komuniti dari pedalaman untuk membawa anak-anak ke sekolah. Maklumat dari informan, pada sebelah petang, paras aliran air sungai ini akan kembali meningkat semula sehingga ke paras tebing iaitu bermula sekitar jam 3 petang. Pada lingkungan masa itu juga fenomena kepala air sering berlaku.

### **4.2.3 Sungai Niah di Miri**

#### **4.2.3.1 Demografik**

Kajian penyelidikan lapangan adalah di Sungai Niah yang terletak di daerah Miri, Sarawak, Malaysia. Sungai Niah terletak kira-kira 3 km dari bandar kecil Batu Niah. Sungai Niah yang panjangnya iaitu 105 km yang berada di dalam lembah Niah dengan jumlah luas 1,343 km persegi (Azrulhisham et al., 2018). Gambar 4.18 menunjukkan keratan rentas morfologi sungai Niah. Morfologi sungai Niah adalah lurus dan tidak mempunyai cabang sungai.



**Gambar 4.18:** Keratan Rentas Morfologi Sungai (Sumber Penyelidik)

#### 4.2.3.2 Pemerhatian Di Sungai Niah



**Gambar 4.19:** Keadaan Tebing Sungai (Sumber Penyelidik)

Merujuk kepada Gambar 4.19 di atas, pada pemerhatian penyelidik ketika mudik kira kira 500 meter di sepanjang sungai dan mendapati sungai Niah mempunyai struktur tebing yang rendah dan landai. Tanah di sekitar tebing ditumbuhi oleh pohan-pohon yang menjalar. Keadaan tebing tidak mempunyai pokok yang banyak kerana lokaliti sentiasa membersihkan pokok dan semak samun di pinggir sungai untuk tujuan keselamatan dan kemudahan untuk ke sungai. Pohon semula jadi yang tumbuh disekitar sungai juga tidak seperti lokaliti di Semulung Ulu dan Miri. Pohon yang memenuhi tebing sungai terdiri dari pohon kayu bersaiz sederhana dan pohon pohon ini pula tidak mempunyai akar yang besar. Manakala kelebaran sungai ini dianggarkan kira kira 50 meter.



**Gambar 4.20:** Perubahan Paras Air Sungai (Sumber Penyelidik)

Pada Gambar 4.20 pula, menunjukkan keadaan tebing setelah ditenggelami air ketika hujan atau air pasan. Pada ketika ini iaitu jam 3 petang, kadar aliran air didapati adalah perlahan. Perbezaan paras air ketika ini, meningkat hanya 1 meter sahaja. Pada permukaan sungai Niah ini terdapat banyak serpihan bahan semula jadi yang terapung seperti daun daun kecil, pelepah pokok, ranting ranting kecil sahaja (Gambar 4.21). Pada Gambar 4.22, kelihatan serpihan bahan semula jadi ini menjadi kering berkumpul di pinggir tebing sungai. Keadaan kadar air di sekitar pinggir sungai yang statik menyebabkan banyak serpihan semulajadi berkumpul di tebing sungai. Terdapat juga pemendapan serpihan semula jadi yang telah lama berada di dasar sungai berhampiran pinggir sungai.



**Gambar 4.21:** Keadaan di Sungai (Sumber Penyelidik)



**Gambar 4.22:** Keadaan di Pinggiran Sungai (Sumber Penyelidik)

### **4.3 Dapatan Pengukuran Arus Air Sungai**

#### **4.3.1 Penyelidikan Lapangan Di Sungai Engkari**

Pada waktu pagi, aliran air sungai didapati amat deras. Paras air sungai pula adalah tinggi sehingga melimpah ke daratan. Aliran air sungai ketika itu adalah sangat perlahan. Penyelidikan lapangan di Sungai Engkari telah dijalankan pada waktu tengahari dan paras air sungai ketika itu adalah rendah. Pengukuran kadar air dilakukan pada lokasi air yang mempunyai minima kedalaman iaitu satu meter kedalaman dari dasar sungai. Pada pemerhatian penyeildkik, mendapati halaju aliran air mengalir dengan baik. Keadaan permukaan air yang bersih dari serpihan semulajadi. Ketika itu terdapat aktiviti komuniti tempatan yang melalui sungai ini untuk ke bandar dan aktiviti menangkap ikan.

**Jadual 4.1:** Catatan Bacaan di Sungai Engkari

| Kedalaman Air (Meter) | Kadar aliran air m/s | Pengeluaran (Watts) |
|-----------------------|----------------------|---------------------|
| 0.6                   | 1.50                 | 200.00              |
| 0.7                   | 1.56                 | 225.89              |
| 0.8                   | 1.09                 | 77.05               |
| 0.9                   | 0.80                 | 30.46               |

Pada Jadual 4.1 Pada Jadual 4.1 menunjukkan hasil penyelidikan lapangan yang dijalankan di sungai Engkari. Pengambilan data halaju sungai ini di ambil pada jarak 2 meter dari tebing sungai dan kedalaman sungai adalah 1.5 meter. Hasil dari pengukuran kadar air yang diambil pada kedalaman 0.6 meter dari permukaan air adalah 1.50 m/s. Oleh itu, kebolehan tenaga elektrik yang dihasilkan pada kedalaman 0.6 meter adalah 200 watts. Manakala pada ketinggian paras air 0.7 meter pula, bacaan kadar air masih kekal julat kelajuannya iaitu 1.56 m/s. Pengeluaran tenaga elektrik yang dihasilkan adalah sebanyak 225.89 watts. Pada kedalaman air 0.8 meter, didapati kadar air mulai menunjukkan penurunan iaitu pada bacaan 1.09 m/s dan begitu juga pada paras kedalaman 0.9 meter, bacaan kadar air menjadi semakin berkurangan kepada 0.8 m/s. Kedua dua bacaan halaju ini pada bacaan untuk kedalaman air 0.8 meter dan 0.9 meter adalah 77.05 watts dan 30.46 watts. Hasil bacaan di sungai Engkari ini mencatat bahawa halaju aliran air semakin perlahan jika dibandingkan dengan halaju aliran air ketika berada di paras permukaan air sungai.

#### 4.3.2 Penyelidikan Lapangan Di Sungai Niah

**Jadual 4.2:** Catatan Bacaan di Sungai Niah

| Kedalaman Air (Meter) | Kadar aliran air (m/s) | Pengeluaran (Watts) |
|-----------------------|------------------------|---------------------|
| 0.4                   | 1.33                   | 186.18              |
| 1.5                   | 0.97                   | 54.30               |
| 3.0                   | 0.78                   | 28.24               |

Merujuk Merujuk kepada catatan bacaan di sungai Niah di Jadual 4.2, penyelidikan di lapangan ini dilakukan selepas waktu hujan dan paras air sungai pada ketika itu meningkat naik hingga ke paras tebing sungai. Pada lokasi lapangan penyelidikan di sungai Niah juga didapati hujan pada waktu pagi dan mendung sehingga ke waktu petang. Pada pemerhatian penyelidik, halaju aliran air menjadi perlahan. Walau bagaimanapun, hasil analisis penyelidikan lapangan di sungai Niah mendapati bacaan kadar air pada 0.4 meter kedalaman air adalah 1.33 m/s. Pengeluaran tenaga elektrik yang dihasilkan pada bacaan ini adalah 186.18 watts. Pada pengukuran pada kedalaman air 1.5 meter pula, mencatatkan bacaan kadar air sungai iaitu 0.97 m/s. Bacaan kadar air 0.97 m/s, berkebolehan untuk menghasilkan tenaga elektrik sebanyak 54.30 watts. Manakala pada paras kedalaman 3.0 meter dari permukaan air pula, bacaan kadar air semakin menurun kepada 0.78 m/s dan berkeupayaan menghasilkan tenaga elektrik iaitu 28.24 watts. Kesimpulan, kadar air adalah berbeza beza bergantung pada lokasi pengukuran kadar air dan keadaan cuaca serta hidrologi sungai. Sungai Niah ketika hujan kadar halaju air masih berada di atas paras 1 m/s dan bacaan di kedalaman air juga adalah seimbang. Bacaan sungai Niah adalah baik walaupun ketika itu

keadaan air nampak statik. Faktor catatan aliran air yang baik ini disebabkan oleh hidrologi sungai yang lebar, aliran air yang lancar dan rupa bentuk sungai yang dalam dan panjang.

#### **4.4 Analisis Prototaip Turbin Hidrokinetik Mudah Alih**

##### **4.4.1 Analisis Prototaip di Pusat Kajian Air**

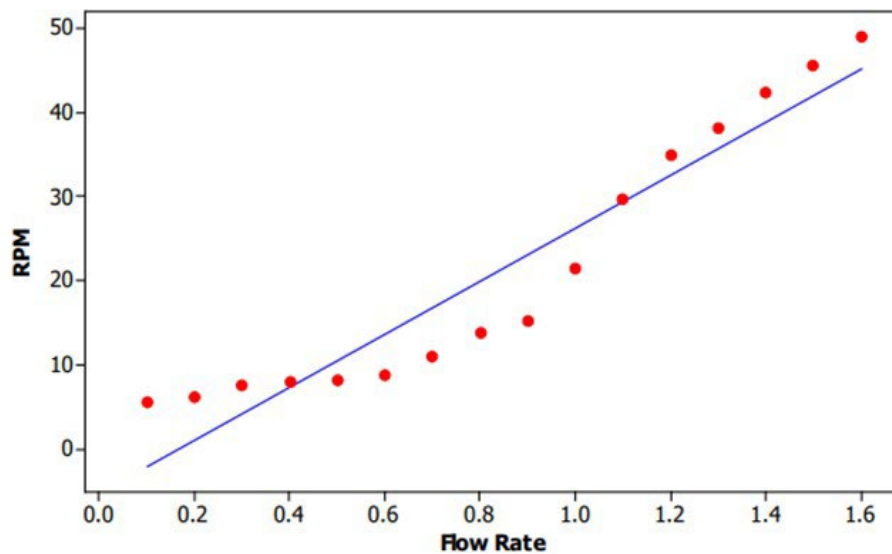
Pada peringkat ini, prototaip turbin hidrokinetik mudah alih yang telah dibina akan melalui fasa terakhir iaitu pengujian kebolehsanaannya di sungai pedalaman yang terpiih di lokaliti Sarawak. Pengujian prototaip secara fizikal ini dijalankan ujikaji di dalam sebuah tangki penarik air di Pusat Kajian Air di Institut Penyelidikan Hidraulik Kebangsaan Malaysia (NAHRIM). Penetapan pelarasan halaju air adalah berdasarkan dapatan data halaju air yang telah dijalankan di lapangan penyelidikan. Prototaip ini diuji dengan halaju yang paling rendah iaitu 0.1 m/s dan sehinggalah ke 1.6 m/s. Dapatan halaju air di Pusat Kajian Air ini diperolehi dalam bentuk putaran perminit (RPM).

Prototaip turbin ini melalui proses pengujian pada kadar air yang berbeza untuk mendapatkan keputusan bagi menguji keberkesanan prototaip reka bentuk hidrokinetik mudah alih ini. Pada Jadual 4.3 adalah catatan kadar air yang dihasilkan dari pengujian prototaip turbin hidrokinetik mudah alih ini di dalam Pusat Kajian Air.

**Jadual 4.3:** Catatan Ujikaji di Pusat Kajian Air

| <b>Kadar Aliran Air<br/>(m/s)</b> | <b>RPM</b> |
|-----------------------------------|------------|
| 0.1                               | 5.5        |
| 0.2                               | 6.1        |
| 0.3                               | 7.5        |
| 0.4                               | 8.0        |
| 0.5                               | 8.1        |
| 0.6                               | 8.7        |
| 0.7                               | 10.9       |
| 0.8                               | 13.8       |
| 0.9                               | 15.1       |
| 1.0                               | 21.4       |
| 1.1                               | 29,7       |
| 1.2                               | 34.8       |
| 1.3                               | 38.1       |
| 1.4                               | 42.4       |
| 1.5                               | 45.5       |
| 1.6                               | 48.9       |

**Rajah 4.3:** Scatterplot antara RPM dan Kadar Air



Manakala pada Rajah 4.3, menunjukkan graf analisis keputusan ujikaji yang dibina dalam bentuk scatterplot. Pada scatterplot menerangkan korelasi antara kadar air dan putaran perminit (RPM). Keseluruhan graf telah menunjukkan peningkatan linear. Andaian penting regresi linear ialah hubungan antara hasil dan pembolehubah adalah linear dan pertambahan (additive). Grafik Scatterplot menunjukkan bahawa data kadar air dan putaran perminit (RPM) memenuhi model taburan normal dan mempunyai korelasi untuk kedua-dua data.

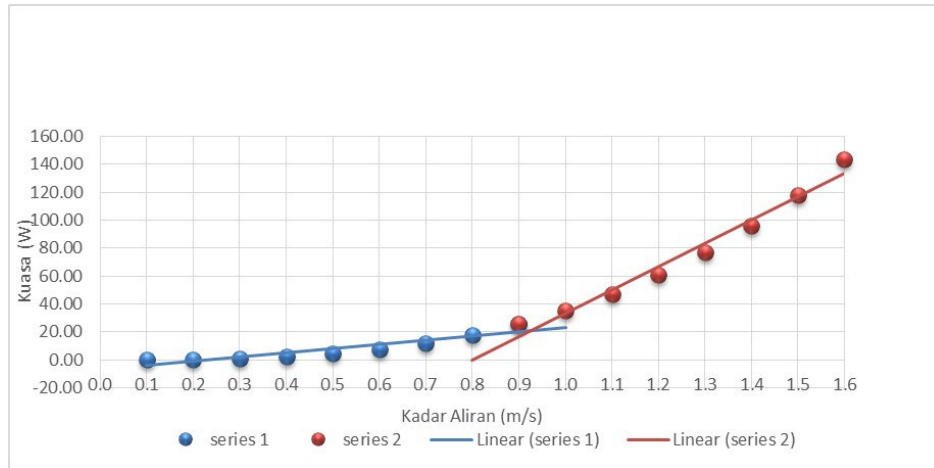
Pada graf telah menunjukkan bahawa pada kadar air dibawah 1.0 m/s menghasilkan catatan yang berbeza-beza. Pada kadar air ini, serangan air yang lemah pada bilah turbin telah menghasilkan daya angkat hidrofoil yang rendah dan tidak stabil. Oleh itu, karektor kadar air memainkan peranan yang penting sebagai pemangkin utama untuk menghasilkan putaran RPM yang maksimum. Merujuk kepada Rajah 4.3, turbin hidrokinetik mudah alih ini mula menunjukkan peningkatan pretasi yang stabil iaitu pada nilai bacaan kadar air 1.1 m/s. Faktor kelajuan kadar air yang semakin tinggi telah mengurangkan kewujudan puing

puing air yang merupakan punca tekanan pada setiap hujung bilah turbin. Pretasi putaran hidrofoil telah menunjukkan tindakbalas kepada peningkatan kadar RPM yang disebabkan oleh pengurangan daya seretan pada setiap hujung bilah dan menjadikan bilah turbin berputar dengan stabil dan seimbang. Peningkatan pretasi putaran hidrofoil meningkat melebihi regresi linear yang tinggi sehingga pada kadar air 1.6 m/s iaitu menghasilkan jumlah 48.9 RPM. Ketika ini juga serangan air pada bilah turbin telah meningkatkan pekali daya tekanan pada hujung keranjang NACA 0018 turbin dan mengurangkan daya peronggan untuk meningkatkan kelajuan daya angkat hidrofoil (A. Azrulhisham, 2019).

**Jadual 4.4:** Catatan Pengeluaran Tenaga Elektrik

| <b>Kadar Aliran Air (m/s)</b> | <b>RPM</b> | <b><u>Kuasa (watts)</u></b> |
|-------------------------------|------------|-----------------------------|
| 0.1                           | 5.5        | 0.035                       |
| 0.2                           | 6.1        | 0.28                        |
| 0.3                           | 7.5        | 0.945                       |
| 0.4                           | 8.0        | 2.24                        |
| 0.5                           | 8.1        | 4.375                       |
| 0.6                           | 8.7        | 7.56                        |
| 0.7                           | 10.9       | 12.005                      |
| 0.8                           | 13.8       | 17.92                       |
| 0.9                           | 15.1       | 25.515                      |
| 1.0                           | 21.4       | 35.0                        |
| 1.1                           | 29.7       | 46.585                      |
| 1.2                           | 34.8       | 60.48                       |
| 1.3                           | 38.1       | 76.895                      |
| 1.4                           | 42.4       | 96.04                       |
| 1.5                           | 45.5       | 118.125                     |
| 1.6                           | 48.9       | 143.36                      |

**Rajah 4.4:** Graf Tenaga Elektrik Yang Dihasilkan



Jadual 4.4 di atas, menunjukkan jumlah tenaga kuasa elektrik yang dihasilkan oleh prototaip turbin hidrokinetik mudah alih. Manakala Rajah 4.4, menunjukkan apabila kadar air meningkat, jumlah kuasa elektrik yang dihasilkan juga meningkat. Dalam linier siri 1, lereng linier rendah menunjukkan bahawa kadar air sungai mengalir selama satu saat, sekitar 0.1 m/s hingga 0.9 m/s yang hanya dapat menghasilkan daya di bawah 30 Watts. Sementara itu, lereng linier siri 2, arah garisan linier menjadi curam. Ini menunjukkan sudut serangan pada bilah hidrofoil (AoA) pada bilah turbin adalah sangat efisien. Oleh itu berupaya menjana kadar pengeluaran tenaga elektrik sekitar 40 watts sehingga 150 watts pada julat kadar air sungai semasa iaitu 1.0 ms/s hingga 1.6 ms/s.

Pada bacaan kadar air pada 1.6 m/s iaitu pengeluaran kuasa elektrik yang dihasilkan adalah 143.36 watts; mendapati kenaikan kadar pengeluaran kuasa elektrik iaitu sebanyak 20%. Justeru itu, reka bentuk hidrokinetik turbin mudah alih ini mempunyai kecekapan putaran bilah turbin efisien untuk mengoptimumkan serapan tenaga air oleh hidrofoil dan

mengubahnya menjadi tenaga mekanikal melalui hub turbin untuk melancarkan operasi di bahagian bahagian sokongan yang lain seperti rotor, penjana atau peralatan lain.

## **BAB 5**

### **PERBINCANGAN**

#### **5.1 Pengenalan**

Pada bahagian ini, penyelidik merumuskan dapatan penyelidikan yang telah dihasilkan dari analisis penyelidikan di lapangan. Rumusan penyelidikan ini akan diinterpretasi selari dengan persoalan-persoalan penyelidikan yang ada pada bab satu. Perbincangan lanjutan pada bab ini juga akan mengupas kenyataan dari penyelidikan terdahulu yang terdapat dalam kajian literatur. Secara keseluruhannya, perbincangan ini dapat menjawab kepada objektif yang telah ditetapkan untuk penyelidikan ini.

#### **5.2 Lokaliti dan Sungai di Pedalaman Sarawak**

Penempatan Penempatan komuniti pedalaman masih lagi mengekalkan amalan adat budaya tradisional. Keadaan ini berbeza dengan lokaliti di pedalaman Semulong Ulu, rumah panjang telah dijadikan tempat penyimpanan hasil pertanian. Punca pendapatan dan sara hidup komuniti di pedalaman Sarawak bergantung kepada tanaman dan sumber semula jadi. Tanaman pokok lada hitam di tanam secara kecil kecilan yang diusahakan di lereng lereng bukit yang berdekatan dengan sungai. Komuniti di Semulong Ulu membina rumah yang berasingan dengan lingkungan jarak kira-kira 20 meter antara setiap rumah. Kawasan kediaman komuniti ini dikelilingi oleh hutan belantara. Kajian ini selari dengan Anyi et al., (2010) iaitu penempatan komuniti di Semulong Ulu mempunyai kira-kira 20 hingga 40 buah

keluarga kecil dan terdiri dari kelompok etnik yang sama. Komuniti pedalaman di Semulong Ulu telah menikmati kemudahan elektrik dari mikro hidroelektrik. Penjanaan tenaga elektrik ini mendapat sumber dari pembinaan empangan kecil yang di bina di atas bukit yang dialiri sumber air dari air terjun yang berdekatan. Diskusi bersama penyelidik UNIMAS mendapati, di lokaliti semuluong ulu ini mempunyai kemudahan tenaga elektrik melebihi dari permintaan. Mikro hidroelektrik yang dibina ini berkebolehan untuk menghasilkan tenaga elektrik sehingga 100 kW. Oleh itu, nisbah penggunaan tenaga elektrik tidak setara jika dibandingkan dengan jumlah ahli komuniti yang tinggal di Semulong Ulu ini. Seperti yang dinyatakan oleh Mandelli et al., (2014), pada sebelah siang, komuniti lebih banyak menghabiskan masa dengan aktiviti rutin harian iaitu bertani, memburu binatang di hutan atau mencari hasil di dalam sungai. Komuniti di Semulong Ulu menggunakan kemudahan tenaga elektrik hanyalah di waktu malam. Pencerayaan digunakan semasa menyediakan makanan malam dan kipas ketika cuaca panas. Kadang kala, komuniti penggunaan radio untuk menikmati hiburan. Manakala televisyen tidak popular di Semulong Ulu memandangkan isyarat sistem telekomunikasi yang sangat lemah. Informan dari ketua penempatan Semulong Ulu, sumber tenaga elektrik yang menjadi pilihan sebelum terbinanya mikro hidroelektrik adalah penjana kuasa disil. Komuniti pada masa itu perlu berjimat cermat untuk menggunakan sumber penjana kuasa sumber disil. Jesteru itu, untuk mendapatkan bekalan minyak disil atau pun keperluan yang lain, komuniti mengambil masa kira-kira satu jam untuk mendapatkan bekalan di pekan yang berhampiran dengan menggunakan pengangkutan air. Menurut dari penyelidikan Chong et al., (2020), waktu puncak penggunaan elektrik untuk setiap hari adalah bermula pada sekitar pukul 6 petang. Penyelidik bersetuju dengan pernyataan ini bahawa Sarawak mengalami waktu malam yang lebih awal. Pada waktu malam pula, komuniti menggunakan tenaga elektrik sekitar 2 hingga

3 jam iaitu hanya untuk percahayaan pada waktu malam dan menikmati kemudahan hiburan. Komuniti perlu tidur lebih awal kerana perlu bangun awal pagi untuk melakukan kegiatan rutin harian.

Begitu juga di Rumah Panjang Ayai di Miri yang di diami oleh 25 buah keluarga dan sumber tenaga elektrik yang digunakan oleh lokaliti pedalaman adalah penjana kuasa disil. Penjana kuasa hanya boleh bertahan hanya kira kira dua hingga 3 jam elektrik pada setiap hari. Sumber bekalan minyak disil hanya boleh diperolehi di bandar yang berdekatan dengan menggunakan pengangkutan air. Seperti Lokaliti Semulong Ulu, rutin komuniti di Rumah Panjang Ayai pada waktu siang adalah menumpu pada aktiviti luar dan menghabiskan masa mereka di tapak pertanian serta mencari sumber makanan di dalam hutan dan sungai. Selari dengan penyelidikan dari Tan et al., (2021), komuniti pedalaman Sarawak membina penempatan di kawasan yang berhampiran di hulu sungai atau di sungai-sungai kecil. Lokasi sebegini menyediakan sumber air minum yang lebih bersih dan keselamatan lebih terjamin dari binatang buas seperti buaya. Kawasan lokaliti ini tidak mempunyai sumber air terjun seperti di lokaliti di Semulong Ulu namun aliran air sungainya mengalir dengan baik.. Komuniti rumah panjang membina penempatan kira kira 30 hingga 100 meter dari tebing sungai. Sungai juga merupakan nadi perhubungan kepada komuniti untuk ke bandar atau ke lokaliti pedalaman yang lain. Medium pengangkutan bot panjang yang berenjinkan petrol menjadi pilihan utama. Aktiviti harian komuniti boleh dilihat ketika mudik di sepanjang perjalanan ke hulu sungai. Selain dari medium pengangkutan, sungai juga digunakan untuk memenuhi keperluan harian dan aktiviti seperti riadah, menjala dan memancing ikan. Kegiatan komuniti yang turut kelihatan pada sebelah pagi dan petang di sepanjang sungai. Seperti yang digambarkan oleh Radan et al., (2020), setiap aktiviti komuniti yang berlaku di pinggir sungai yang dihubungkan dengan titi kecil untuk kemudahan komuniti setempat.

Sepanjang perjalanan mudik ke hulu sungai Sarawak, penyelidik mendapati banyak komuniti mendirikan Rumah Panjang berhampiran dengan sungai di sepanjang sungai. Begitu juga di sungai, komuniti menggunakan bot berenjin menggunakan sungai untuk perhubungan ke kawasan lain. Komuniti juga dilihat sedang memancing dan menjala ikan di atas bot tradisional. Sungai merupakan sumber alam yang penting dalam kehidupan harian.

Alternatif air sebagai sumber tenaga boleh diperbaharui amat popular. Pelbagai metod boleh diaplikasikan dari sumber air untuk menjana tenaga elektrik seperti ombak, arus, empangan dan lain lain. Pemilihan metod penting dalam menjana kuasa tenaga elektrik seiring dengan keadaan persekitaran adalah penting dlm melaksanakan operasi penghasilan tenaga elektrik yang berterusan dan menjaga kelestarian alam semula jadi.

Menurut Kementerian Utiliti Sarawak, hanya 5% penduduk tidak menerima kemudahan bekalan elektrifikasi terutama kawasan yang di luar grid elektrik nasional dan memerlukan pembaharuan untuk mencapai grid elektrik tempatan. Cabaran kebolehcapaian tenaga elektrik boleh dianggap sebagai faktor utama dalam meningkatkan status sosio ekonomi masyarakat. Selari dengan saranan kementerian, lokaliti pendalaman perlu berkebolehan mendirikan kemudahan sumber tenaga elektrik setempat. Pelaksanaan tenaga mikro hidro konvensional memerlukan topografi yang sesuai. Kenyataan ini disokong oleh Deemer et al. (2016) dan Jamaluddin et al. (2018) di mana jika kadar air yang tidak tersedia dengan cukup dari aliran semula jadi maka takungan atau empangan air perlu dibina untuk melaksanakan mikro hidro. Pembinaan mikro hidro memerlukan perancangan yang lama dan teliti. Perubahan ekosistem sungai akan berlaku perubahan dan mengganggu sumber tenaga lestari kepada komuniti dan alam sekitar. Alternatif sumber tenaga elektrik yang lebih praktikal perlu diberikan penekanan. Di mana kesan pencemaran dan perubahan alam

sekitar juga boleh dikurangkan (Belouda et al., 2018). Jesteru itu, Jasrotia et al. (2018) dan Longo et al. (2019) juga berpendapat, sistem di luar grid elektrik nasional, perlu menawarkan penyelesaian dengan kos awal yang lebih rendah. Keperluan untuk mencari alternatif tenaga elektrik yang lebih efisien dan harga berpatutan untuk kemudahan komuniti pedalaman. Di lokaliti pedalaman di Semulong Ulu, sistem solar yang telah lama tidak berfungsi dan ditinggalkan tanpa penyelenggaraan. Sistem solar tidak memberikan kemudahan efektif yang berpanjangan kepada komuniti. Persekitaran lokaliti pedalaman dikelilingi oleh pokok-pokok hutan yang tinggi dan rimbun. Data menunjukkan bahawa Sarawak menerima purata hujan tahunan sekitar 3850 mm, iaitu lima kali lebih tinggi daripada purata dunia (Salleh et al., 2018) dan kerap mengalami cuaca mendung, telah menghalang untuk mendapatkan sumber cahaya matahari secara langsung. Menara panel solar juga menarik serangan kilat yang boleh memusnahkan panel kawalan elektronik. Pada jangka masa yang panjang, panel solar telah ditumbuhi kulat (Tan et al., 2021). Penyelenggaraan berkala tidak dilakukan menyebabkan panel solar menjadi rosak.

Tenaga boleh diperbaharui iaitu Solar telah melalui fasa yang tidak relevan untuk dijadikan sumber alternatif tenaga elektrik untuk lokaliti pedalaman di negeri Sarawak. Data dari pemerhatian lapangan di lokaliti Semulong Ulu telah membuktikan bahawa solar tidak relevan untuk dibangunkan di lokasi komuniti pedalaman Sarawak. Keadaan sekeliling yang diliputi oleh pokok-pokok yang besar dan tinggi menghalang panel solar untuk menerima sinaran cahaya matahari bagi menjana tenaga elektrik. Selain itu, panel solar sering menjadi sasaran kilat ketika hujan. Ini boleh mendatangkan risiko pada rumah panjang yang dibina dari bahan semulajadi yang mudah terbakar seperti buluh, rumbia dan kayu. Disamping itu, sistem solar panel ini memerlukan pengawasan dan penyelenggaraan berkala yang sistematik. Oleh itu, sukar bagi komuniti yang tiada pengalaman dan kemahiran teknikal

untuk melakukan penyelenggaraan dengan baik. Di Semulong Ulu, panel solar telah didirikan di tepi rumah panjang dengan menggunakan tiang yang diperbuat daripada besi iaitu setinggi 10 meter dan jarak setiap solar panel adalah 2 meter. Kedudukan yang tinggi ini adalah bertujuan untuk mengoptimumkan pendedahan cahaya matahari. Faktor kedudukan panel solar ini menyukar komuniti untuk melakukan pembersihan pada panel solar dan akhirnya solar panel telah diliputi kulat dan akhirnya terbiar dan rosak tanpa pengelolaan dengan baik.

Kawasan di Batang Ai diliputi oleh hutan primer dan sekunder yang lebat serta topografi yang berbukit bukau, mempunyai banyak sungai dan anak sungai yang cetek. Pada pemetaan GPS di Gambar 4.2, morfologi sungai di pedalaman Sarawak adalah berliku liku. Sungai-sungai di Sarawak di kelilingi oleh bukit bukau. Di samping itu, aliran air yang mengalir dari dataran tinggi ke sungai-sungai pada pemerhatian penyelidik adalah sesuai untuk proses penjana kuasa elektrik. Data penyelidikan di lapangan mendapati setiap lokasi mempunyai potensi kadar air yang berbeza. Potensi kadar air ini berlaku disebabkan oleh morfologi keadaan sungai yang mempunyai kecondongan atau head yang berbeza. Proses penyelidikan pengukuran kadar air adalah tertumpu di lokasi pinggir sungai sahaja. Pengukuran ini selari dengan kriteria reka bentuk hidrokinetik mudah alih. Selain itu, pada masa yang sama sungai di pedalaman ini telah menjadi trafik yang sibuk sebagai pengangkutan untuk bergerak ke kawasan lain. Lokaliti juga melakukan aktiviti rutin untuk sumber sara hidup dengan aktiviti menangkap ikan dan hasil sungai yang lain dengan menggunakan bot-bot kecil. Di tebing sungai pula, terdapat banyak titi kecil yang dibina untuk kemudahan lokaliti. Dengan keadaan sungai yang sibuk dengan aktiviti seharian, strategik perletakan turbin perlu diambil perhatian. Kesan dari situasi ini boleh mengurangkan kecekapan dan keberkesanan operasi turbin yang diletakkan di sekitar

pinggir sungai. Keadaan persekitaran lokaliti yang mempunyai pokok dan akar yang kuat, boleh menjadikan lokasi yang strategik untuk lokasi perletakan turbin yang bersaiz kecil. Selain itu, keselamatan peranti dan lokaliti juga perlu diambil perhatian.

Di hulu Sungai Engkari, penyelidik mendapati sungai mempunyai air yang mengalir dengan deras pada sebelah pagi. Pada kajian analisis yang telah dijalankan di Sungai Engkari mendapati, dapatan kadar air adalah tinggi yang dicatatkan iaitu 1.5 m/s. Pemerhatian mendapati terdapat halaju air yang lebih deras di bahagian pinggir sungai. Penyelidikan ini selari dengan Narendran et al., (2016) di mana tenaga kinetik yang terkandung dalam arus air menjadi penting untuk menjana elektrik ketika kadar air boleh mencapai melebihi dari 1.5 m/s. Manakala julat dapatan kadar air di Sungai Engkari juga kekal pada 1.57 m/s pada kedalaman air 0.7 meter dari paras air. Catatan kadar air masih lagi baik pada kedalaman air 0.8 meter iaitu 1.09 m/s. Penyelidik Holand et al., (2017) juga bersetuju dengan kelajuan kadar air melebihi pada 1.5 m/s sudah dianggap berada dalam lingkungan halaju air yang ideal untuk (Yoa et al., 2019) dipertimbangkan kegunaan pada peranti hidrokinetik di Sungai Engkari. Begitu juga analisis di Sungai Niah, catatan dapatan kadar air adalah 1.33 m/s, 0.97 dan 0.78. Pencapaian kadar air ini masih berada pada parameter yang baik walaupun pada ketika itu, hujan dan paras air sedang meningkat naik. Walau bagaimanapun, untuk kadar air yang tidak melebihi 1m/s masih berkebolehan untuk menghasilkan tenaga elektrik (Kirke, 2020) dan pemilihan kesesuaian turbin diperlukan untuk menghasilkan fungsi dengan baik. Parameter dapatan di lapangan pedalaman Sarawak, selari dengan Jamlay et al., (2016) bahawa pada kedalaman air 40 mm boleh menghasilkan kadar air yang optimum jika dibandingkan dengan kedalaman air pada paras 20 mm, 60 mm, dan 80 mm dari permukaan air sungai. Penyelidik juga sependapat dengan Kirke (2020), kadar air yang dihasilkan dari kedalaman yang berbeza, belum tentu menunjukkan keberkesanan pada sebuah turbin

melainkan dari ujian kebolehsanaan pada fizikal turbin. Oleh itu setiap penyelidikan pengukuran di lapangan perlu melakukan pengujian kebolehsanaan pada reka bentuk turbin hidrokinetik. Setiap kriteria reka bentuk dan struktur peranti yang berbeza menghasilkan dapatan analisis yang berbeza yang boleh dijadikan rujukan untuk kepentingan penyelidikan selanjutnya.

Di sepanjang Sungai Niah, terdapat serpihan bahan semula jadi seperti daun-daun yang kecil banyak terapung di pinggir sungai. Ini berpunca dari pokok-pokok hutan berdaun kecil seperti pokok ficus dan pokok renek. Serpihan bahan semula jadi bersaiz besar yang terapung di permukaan sungai adalah amat sedikit. Begitu juga di Semulong Ulu, permukaan air di sungai hampir tidak mempunyai serpihan bahan semula jadi. Hal ini disebabkan pengaliran air yang laju pada waktu pagi telah membawa serpihan bahan semula jadi ini ke hilir sungai. Walaupun begitu, di hilir sungai kelihatan daun-daun, ranting-ranting dan serpihan kayu balak yang terapung di permukaan sungai. Keadaan ini mengundang risiko kepada pengangkutan air yang menggunakan sungai ini. Situasi yang sama direkodkan oleh Sarawak Energy (2021) iaitu pada sebelah pagi hampir tiada pengumpulan serpihan bahan semula jadi yang terapung di permukaan air. Pengumpulan serpihan bahan semula jadi banyak terdapat di sekitar sungai-sungai yang lebih besar yang mempunyai air yang tenang. Situasi ini perlu dititikberatkan dalam reka bentuk turbin supaya tidak mengalami kerosakan yang besar pada peranti turbin yang diletakan di dalam sungai.

Keseluruhan dapatan dan analisis ini mendapati bahawa sungai-sungai di lokaliti pedalaman Sarawak ini mempunyai nilai tenaga kinetik yang baik dan berpotensi untuk menghasilkan alternatif tenaga elektrik yang lebih efisien dan berpatutan untuk kemudahan komuniti pedalaman. Pendekatan hidrokinetik adalah dari pengaliran aliran air yang berterusan secara aliran semula jadi dan kelebihan kecerunan sungai untuk menghasilkan

tenaga kinetik. Ciri-ciri geografi kawasan sungai di pedalaman Sarawak mempunyai potensi untuk menghasilkan tenaga kinetik. Oleh itu, kriteria turbin hidrokinetik yang efektif perlu diteliti dan dikaji untuk mengadaptasi tenaga kinetik dalam air yang mengalir dengan keberadaan paras air di sungai.

### **5.3 Prototaip Turbin Hidrokinetik Mudah Alih**

Rentetan dari penyelidikan di lapangan yang terpilih di pedalaman Sarawak, penyelidik menyokong pendapat Warjito et al., (2018) bahawa pembangunan piko hidro boleh dijadikan satu mekanisma untuk tenaga boleh diperbaharui dan kelestarian. Turbin hidrokinetik mudah alih ini dibangunkan dengan bentuk geometri yang ringkas. Bilah turbin yang panjang dan lurus telah mewujudkan ruang yang luas antara bilah turbin. Elemen ini menjadikan pengaliran air boleh bergerak melalui peranti tanpa memberikan tekanan kepada bilah turbin. Situasi ini juga dapat meminimalkan kehilangan tenaga melalui geseran dan daya seretan pada setiap hujung putaran hidrofoil. Oleh itu, ruang ini mampu mengurangkan serpihan serpihan semulajadi seperti daun ranting melekat pada bilah turbin. Manakala tekstur permukaan bilah turbin memainkan peranan penting untuk mengelakkan bendasing dari melekat pada bilah turbin.

Reka bentuk turbin mudah alih yang ringkas dapat menghasilkan kos kitaran penyelenggaraan berkala yang rendah dan pembuatan yang lebih mudah. Reka bentuk turbin yang praktikal, dengan binaan bahagian yang ringkas dan mudah ditukar alat ganti. Malahan risiko pada bahagian mekanikal untuk berkarat dan mengalami kerosakan adalah rendah. Komponen pembinaan peranti ini boleh didapati di kedai logam. Komponen sokongan juga menggunakan komponen yang universal. Komponen yang terdapat pada turbin hidrokinetik mudah alih ini adalah keluli tiub, skru, gear dan besi. Oleh itu komponen sokongan tidak perlu diubahsuai untuk melengkapi fizikal turbin hidrokinetik mudah alih ini.

Kriteria pada prototaip turbin hidro kinetik mudah alih ini amat bersesuaian untuk dilaksanakan di sungai di lokaliti pedalaman yang terpilih. Turbin Hidrokinetik Darrieus jenis H menggunakan NACA 0018 sebagai bilah turbin. Sifat NACA 0018 adalah berbentuk simetri. Kelebihan ini mudah untuk dibentuk jika dibandingkan dengan jenis NACA yang lain yang tidak simetri dan berbentuk nipis. Sifat NACA 0018 yang cembung ini juga menjadikan struktur bilah turbin menjadi kuat dan tahan lama. NACA 0018 dipilih sebagai profil hidrofoil asas untuk pembangunan prototaip kerana ciri-ciri kelajuan rendah dan sederhana yang baik. Bilah turbin dibentuk untuk mengoptimumkan sifat aerodinamikanya dan meminimakan seretan, membolehkan turbin mengeluarkan jumlah tenaga maksimum dari aliran air. Selanjutnya, profil bilah turbin ini juga mampu menghasilkan keluk kuasa yang lebih baik dalam julat halaju aliran rendah dan sederhana.

Reka bentuk hidrokinetik turbin mudah alih Darrieus jenis H adalah serupa dengan konsep turbin angin iaitu hidrokinetik menukar tenaga kinetik dalam cecair yang bergerak ke tenaga poros mekanikal. Ditambah pula, kelebihan ketumpatan tenaga kinetik air lebih berganda dari tenaga angin walaupun metod klasifikasi turbin adalah sama. Dengan berorientasikan klasifikasi paksi menegak, reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih ini mempunyai beberapa kelebihan berbanding konfigurasi lain terutamanya pada sokongan struktur apungan untuk meletakkan peranti ini di lokasi yang telah dikenal pasti potensi halaju air. Turbin hidrokinetik mudah alih ini terdiri dari 3 bilah yang seimbang untuk mengelakkan dari getaran dan memastikan operasi bergerak dengan lancar. Kriteria reka bentuk bilah turbin yang lurus menjadikan hidrofoil berputar dengan lebih cekap apabila berlaku tekanan dari aliran air (Nish et al., 2014) dan menghasilkan persamaan daya awal yang cekap (Rinaldi et al., 2015). Reka bentuk turbin ini mempunyai pemboleh ubah yang tinggi pada setiap aliran air yang datang dalam pelbagai arah dimana kecekapan bilah turbin masih berfungsi

dengan baik (Riglin et al., 2016). Oleh itu, karekteristik prototaip iaitu Darrieus jenis H ini amat bersesuaian dengan hidrologi sungai yang dapat di pedalaman Sarawak. Konfigurasi Darrieus jenis H ini berkebolehan untuk berfungsi ketika aliran air sungai tidak stabil iaitu air mengalir dalam pelbagai arah. Begitu juga, bentuk turbin yang mempunyai ruang dibahagian tengah berfungsi untuk mengelak dari menerima beban perbagai serpihan semulajadi yang terapung di permukaan air.

Keseluruhan reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih adalah berdiameter 0.8 meter kelebaran dan tinggi turbin adalah 0.7 meter (Rajah 4.3). Konfigurasi perintis penyelidikan adalah pada kadar air 1.5 m/s. Selain itu, karekteristik peranti ini berkebolehan untuk berfungsi pada kadar air dibawah 1 m/s. Konfigurasi ini membantu untuk pemilihan mekanisma tambahan yang sesuai dengan prototaip hidrokinetik yang berskala kecil ini. Selain itu, saiz turbin yang sederhana ini direka bentuk untuk kesesuaian dengan keadaan air sungai di lokasi sungai yang terpilih di pedalaman Sarawak. Turbin paksi menegak ini berkebolehan untuk dilaraskan kedalaman dan sudut posisi mengikut situasi tertentu. Pembangunan reka bentuk turbin adalah bertujuan untuk memaksimumkan kecekapan airfoil dan meminimakan seretan untuk menafaat sepenuhnya ke tenaga yang dituai. Reka bentuk turbin ini telah difomulakan untuk halaju air sehingga 3.0 m/s. Walau bagaimanapun system turbin ini boleh dipindahkan ke lokasi yang lebih selamt jika berlaku kepala air dan kenaikan paras air atau terdapat banyak serpihan semulajadi yang boleh mendatangkan malapetaka.

Klasifikasi turbin paksi menegak mempunyai kelebihan dari turbin paksi melintang di mana bahagian seperti rotor dan komponen elektrik akan berada di dalam air. Keadaan ini memerlukan pembinaan penebat yang tahan lasak untuk menghalang dari berlakunya kebocoran yang boleh mengakibatkan kerosakan pada sistem turbin hidrokinetik mudah alih.

Manakala, kos penyelenggaraan berkala akan meningkat untuk menampung kos pembaikan dan penggantian komponen yang telah rosak dan karat. Metod turbin paksi melintang juga akan mengundang beban kepada komuniti untuk proses penyelenggaraan berkala dan pembaikan sistem turbin.

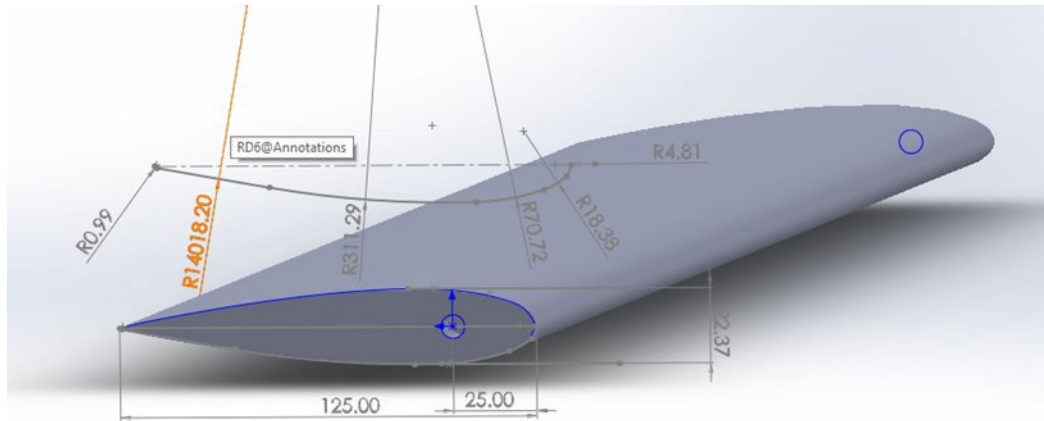


**Rajah 5.1:** Reka Bentuk Hidrofoil (Sumber Penyelidk)



**Rajah 5.2:** Reka Bentuk Turbin (Sumber Penyelidik)

Berbeza dengan reka bentuk turbin Hidrokonetik mudah alih yang menggunakan metod turbin paksi menegak yang berkebolehan dikendalikan pada situasi air sungai yang cetek dan sesuai dengan pinggiran sungai di Sarawak. Selain itu, struktur turbin dibina dengan tiga bilah yang lurus dengan menggunakan profil NACA 0018. Turbin ini mempunyai bilah di bahagian atas, bawah dan tengah yang bercantum sebagai lengan radial. Bilah-bilah ini dicantumkan pada aci di bahagian tengah untuk membentuk hidrofoil yang ideal (Rajah 4.4). Penggunaan konsep tiga bilah ini mewujudkan daya emparan yang seimbang (Li et al., (2016). Pada aci inilah yang disambungkan dengan mekanisma yang lain seperti rotor, gear, motor dan sebagainya. Kriteria reka bentuk turbin mempunyai struktur asas yang ringkas memberi kemudahan dari segi pemasangan dan penyelenggaraan turbin.



**Rajah 5.3:** NACA 0018 (Sumber Penyelidik)

Pada Rajah 4.5, hidrofoil NACA 0018 mempunyai ciri ciri aerodinamik yang berbentuk simetri dan mempunyai chamber yang sentiasa bernilai sifar. Halaju aliran air yang melalui di sepanjang permukaan hidrofoil adalah untuk menghasilkan putaran. Menurut Azrulhisham et al., (2019), prestasi turbin sangat bergantung pada profil hidrofoil. Kepentingan reka bentuk bilah dalam turbin hidrokinetik adalah untuk meningkatkan pekali angkat dan mengurangkan pekali daya seretan dan tork.

Pada umumnya, NACA 0018 diaplikasi kepada turbin Darrieus adalah kerana hidrofoil ini memiliki relatif yang tinggi pada nisbah ketebalan chord, sehingga memiliki kekuatan yang baik untuk menahan tekanan aliran air dari membengkok dan rosak (Hantoro, 2011). Oleh yang demikian, hidrofoil NACA 0018, memiliki karakteristik terbaik untuk turbin hidrokinetik mudah alih ini. NACA 0018 merupakan reka bentuk yang paling ringkas di dalam klasifikasi dan mengurangkan risiko untuk pembinaan hidrofoil. Kelebihan yang ada pada NACA 0018 ini mengurangkan risiko untuk memperolehi gantian bilah yang baru.

Pemilihan NACA 0018 untuk pembangunan prototaip turbin hidrokinetik mudah alih ini adalah tepat. Karakteristik yang ada pada chord NACA 0018 dapat mengurangkan risiko untuk patah apabila mendapat tekanan dari air dan perlanggaran dengan serpihan serpihan semulajadi yang berada di sekeliling peranti ini. Setiap putaran hidrofoil menghasilkan konsistensi dan pengeluaran tenaga elektrik yang berterusan.

#### **5.4 Penyelenggaraan Turbin Hidrokinetik Mudah Alih**

Komponen hidrofoil iaitu turbin ini direka bentuk sebagai medium untuk menukarkan pengaliran air semula jadi di sungai kepada tenaga kinetik air. Komponen hidrofoil merupakan salah satu bahagian utama yang terletak di bawah permukaan air. Manakala komponen turbin hidrokinetik yang lain berada selari dengan hub utama dan berada di atas permukaan air. Komponen yang berada di atas permukaan air adalah rotor, generator dan komponen sokongan yang lain. Posisi komponen ini hanya memerlukan penebat kalis air yang minima untuk mengelakan dari cuaca hujan atau percikan air. Saiz turbin hidrokinetik mudah alih yang kecil memudahkan komuniti mengangkat peranti ini ke darat untuk menghindar kerosakan dari bahan bahan semulajadi dan arus air yang deras terutama ketika hujan.

Pemilihan untuk lokasi yang strategik untuk perletakan turbin yang diklafikasikan sebagai piko hidro ini adalah di kawasan pinggir sungai. Kedudukan perletakan peranti yang dekat dengan tebing sungai menjadi kelebihan untuk meletakkan komponen komponen tambahan seperti bank kuasa tanpa membebankan turbin hidrokinetik mudah alih yang berada dipermukaa air. Komponen untuk membina bilah turbin ini di bina dengan menggunakan kepingan material aluminium. Pemilihan material ini adalah yang paling sesuai untuk berada di dalam air. Ciri ciri aluminium ini tahan karat dan ringan jika dibandingkan denga kepingan logam yang lain. Kos material yang berpatutan dan komponen

asas ini mudah didapati di pasaran. Bilah turbin yang menggunakan jenis NACA 0018 merupakan reka bentuk yang ringkas dapat mengimbangi reka bentuk bilah turbin piko hidro. Sifat NACA 0018 adalah berbentuk simetri dan cembung. Kelebihan ini mudah untuk dikimpalkan jika dibandingkan dengan jenis NACA yang lain yang tidak simetri dan berbentuk nipis. Pengikat antara komponen pula menggunakan skru tahan karat atau kunci Allen untuk memudahkan penukaran alt ganti komponen yang rosak. Begitu juga, komponen utama yang lain, hub juga menggunakan material aluminium untuk menjadi bahagian utama yang menyokong kepada hidrofoil dan komponen asas yang lain. Manakala untuk komponen yang lain boleh di beli di dalam talian dan mempunyai pelbagai jenama serta harga yang berpatutan.

## **5.5 Pelarasan Turbin Hidrokinetik Mudah Alih**

Pada pemerhatian di lapangan penyelidikan, serpihan bahan semulajadi yang terdapat di permukaan sungai boleh mengurangkan kecekapan bilah turbin. Pemerhatian di lapangan penyelidikan, data yang dikumpul menunjukkan serpihan bahan semulajadi di hulu sungai adalah bersaiz yang kecil seperti daun daun dan ranting ranting pokok. Manakala serpihan kayu balak yang besar hanya terdapat di sungai sungai yang besar iaitu di kawasan hilir sungai. Reka bentuk turbin hidrokinetik ini dibina untuk memudahkan pengguna mengubah lokasi perletakan untuk menghidari dari serpihan bahan semulajadi yang terapung di permukaan air. Selain itu, pemilihan lokasi perletakan turbin di kadar air yang baik dapat meningkatkan pekali daya tekanan untuk menambahkan kecekapan pada bilah turbin. Komponen sokongan iaitu ponton yang di pasang dapat mengimbangi kedudukan komponen komponen turbin hidrokinetik ketika air pasang atau surut. Pelarasan kedudukan turbin di dalam air boleh diubahsuai mengikut keadaan air sungai. Turbin jenis paksi menegak ini juga berkebolehan untuk berfungsi dengan baik ketika hanya 30 peratus bahagian turbin ditenggelami air. Manakala tambahan tali dan sauh kecil boleh digunakan

untuk mengekalkan posisi haluan turbin hidrokinetik mudah alih ini.

## **5.6 Kebolehsanaan Turbin Hidrokinetik Mudah Alih**

Pelbagai konfigurasi aliran hidrokinetik paksi menegak yang sesuai untuk sistem sungai telah dikaji oleh pelbagai penyelidik dan terdapat juga dapatan penyelidikan yang berbeza dari pelbagai sudut aspek dalam sorotan kesusasteraan. Pada penyelidikan ini, kajian menyeluruh mengenai reka bentuk turbin hidrokinetik aliran paksi menegak telah dilakukan. Konfigurasi berdasarkan daya angkat mempunyai kelebihan setiap penampilan antara kemungkinan konfigurasi lain untuk turbin hidrokinetik paksi menegak. Pada reka bentuk peranti ini, bilah telah yang diselaraskan untuk mengurangkan daya seretan ke belakang dan meningkatkan penjanaan daya angkat dengan sudut bilah yang telah ditetapkan iaitu 30 darjah pada sudut pesongan. Dengan yang demikian, pemilihan penyelidik untuk reka bentuk turbin mudah alih dengan jenis bilah yang tepat telah bersesuaian untuk situasi kadar air dan sudut perletakan peranti.

Konfigurasi berasaskan pada dapatan analisis dibawah 1m/s ini mendapati turbin hidrokinetik mudah alih ini telah menunjukkan keupayaan untuk bertindak balas walaupun pada halaju aliran air yang rendah. Prestasi hidrofoil telah ditunjukkan pada scatterplot di Rajah 4.3 dan Rajah 4.4 melalui ujian fizial di Pusat Kajian Air. Penyesuaian turbin Darrieus jenis H adalah pada bilah turbin yang lurus dan direka bentuk untuk putaran pada kelajuan kadar air yang rendah. Ditambahkan pula penetapan sudut pesongan 30 darjah pada bilah turbin memberikan keupayaan kepada pekali daya angkat untuk putaran hidrofoil (Jeeva et al., 2021). Hal ini disokong oleh Saini et al., (2016) tetapi kecekapan dan prestasi rotor banyak bergantung pada pemilihan reka bentuk bilah turbin untuk menghasilkan daya angkat yang baik.

Apabila hidrokinetik mudah alih diletakkan di atas arus aliran air, hidrofoil menghasilkan vektor pengangkut yang di orientasi ke hadapan dan kemudian memutarakan aci. Hidrofoil bergerak masuk dan keluar dari orientasi diperlukan untuk menghasilkan daya angkat. Oleh yang demikian, tok yang terhasil adalah dua kali setiap revolusi berlaku. Menurut Intizar Ali et al., (2021), turbin yang berputar pada kelajuan yang sangat rendah, mempunyai evolusi antara 2 hingga 2.5 kali pada kelajuan halaju air. Pada posisi turbin berada di bawah permukaan air telah meminimakan risiko kerosakan akibat serpihan bahan semulajadi yang terapung. Manakala, keberadaan sistem generator adalah di atas paras permukaan air untuk mengurangkan risiko berlaku hakisan dan karat. Penyelidik bersetuju dengan pendapat dari Khaled et al. (2019) bahawa kadar air di bahagian atas sungai lebih berpotensi dan mempengaruhi kecekapan daya angkat turbin untuk lebih stabil. Untuk pelaksanaan dalam sistem sungai di lokaliti pedalaman ini, turbin hidrokinetik mudah alih adalah alternatif yang baik untuk pengaliran tenaga air berskala kecil di sungai kerana kemampuan peranti ini untuk dipindahkan ke lokasi perletakan lain, untuk mengimbangi potensi variasi aliran air di permukaan sungai. Malahan rupa bentuk tebing sungai di lokaliti menjadi kelebihan untuk menjadi lokasi strategik untuk perletakan peranti turbin hidrokinetik mudah alih. Tambahan pula, saiz turbin hidrokinetik yang kecil dan ringan ini berkebolehan untuk dikendalikan oleh lokaliti pedalaman walaupun pada air sungai yang cetek.

Reka bentuk struktur bilah turbin yang menegak dan bersemetri ini, berkemampuan untuk mengelak bebanan serpihan bahan semula jadi yang kecil seperti daun-daun dan ranting kecil dari berpaut pada hidrofoil. Keadaan fizikal turbin yang kecil dan ringan memberikan kemudahan kepada komuniti untuk mengurangkan risiko rosakan untuk mengangkat peranti keluar dari sungai. Proses untuk penyelenggaraan berkala juga menjadi mudah dan cepat.

Pada kadar air di bawah 1.0 m/s, peranti ini masih boleh berfungsi tetapi dengan kadar putaran per minit yang rendah. Penyelidik juga menyokong pendapat dari Intizar Ali et al. 2021 iaitu pada kadar air ini, putaran bilah turbin mengalami penguapan disebabkan keadaan kadar air yang perlahan. Oleh itu, bilah turbin telah menghasilkan daya angkat hidrofoil yang rendah dan tidak stabil. Selanjutnya, pada kadar air melebihi 1.0 m/s, peranti telah mula melihatkan peningkatan linear dari pekali daya angkat yang lebih tinggi dan konsisten dengan sudut serangan dari halaju aliran air yang semakin meningkat. Pada kadar air 1.1 m/s, graf telah menunjukkan pencapaian lingkungan ideal kadar air telah mencecah ke regresi linear. Dapatan analisi ini adalah berbeza dengan dapatan dari penyelidik Holand et al. (2017) dan Riglin et al. (2016) yang memperolehi keputusan lingkungan ideal kadar air pada 1.3m/s dan 1.5 m/s. Selain itu, penyelidik bersetuju dengan pernyataan dari Riglin et al. (2016), bahawa pencapaian pretasi pada turbin adalah bergantung kepada pemilihan aplikasi peranti dan bilah hidrofoil serta kesesuaian pilihan reka bentuk turbin.

Turbin hidrokinetik ini telah dibina dengan struktur yang ringkas dan kecil. Oleh yang demikian, turbin hidrokinetik mudah alih ini boleh disasarkan ke lokasi perletakan yang bersesuaian dengan penggunaannya. Selain itu, pemerhatian penyelidik ketika berada di kawasan penyelidikan lapangan juga mendapati pelbagai kemungkinan berikutan cuaca hujan yang boleh membawa kepada halaju aliran air yang amat deras atau kepala air yang boleh mengakibatkan kerosakan pada profil turbin. Dengan keunikan saiz turbin dan kriteria reka bentuk hidrokinetik mudah alih ini, turbin ini berkebolehan untuk dikendalikan di lokasi perletakan air sungai yang cetek.

## **5.7 Validasi**

Reka bentuk perindustrian yang berkualiti melibatkan pelbagai faktor yang perlu dipertimbangkan bagi memastikan produk atau sistem yang dihasilkan memenuhi standard

prestasi dan kebolegunaan. Berikut adalah beberapa aspek kualitatif yang perlu dipertimbangkan dalam reka bentuk perindustrian:

#### **5.7.1 Fungsi dan Pretasi**

Turbin hidrokinetik mudah alih ini dibangunkan dengan menggunakan aplikasi turbin paksi menegak iaitu turbin Darrieus jenis H. Pada sistem ini dilengkapi dengan hidrofoil yang terdiri daripada 3 lengan bilah turbin. Setiap reka bentuk bilah turbin ini mempunyai ciri ciri keranjang udara NACA 0018 dan digabungkan ke hub sebagai penyokong utama.

Aplikasi paksi menegak menegak Darrieus jenis H telah menghasilkan pretasi ukuran putaran perminit (RPM) yang baik. Dimana bilah turbin dikonfigurasi untuk menghasilkan tok maksimum dengan berorientasikan pada sudut serangan tertentu (AoA) yang selari ke setiap bilah turbin untuk menjana tok yang diinginkan. Method yang ada pada peranti ini mampu untuk turbin berfungsi dengan baik pada tekanan daripada air yang mengalir dari pelbagai sudut. Pada penetapan sudut pesongan iaitu 30 darjah NACA pada setiap bilah turbin menghasilkan pekali daya angkat yang baik untuk mengoptimumkan kelajuan putaran hidrofoil. Ini terbukti dari ujian yang telah dijalankan telah berlaku peningkatan linear dari pekali angkat dengan sudut serangan yang semakin meningkat sehinggalah optimum tercapai.

#### **5.7.2 Keselamatan**

Turbin hidrokinetik yang direka bentuk dengan konsep mudah alih dan saiz binaan yang kecil. Struktur binaan yang kecil mudah untuk diletakkan di pinggir sungai yang cetek dan memberikan kemudahan untuk mengalihkan perletakan peranti di kawasan aliran air sungai yang lebih berpotensi untuk penghasilan putaran hidrofoil yang maksima dan selamat. Manakala posisi peranti yang diletakkan di kedudukan pada paras permukaan air dapat mengelak dari bebanan serpihan bahan semula jadi yang berada di dalam air. Di

samping itu, criteria turbin hidrokinetik mudah alih yang unik ini, memudahkan untuk komuniti mengalihkan kedudukan peranti ke lokasi yang selamat supaya dapat menghindari kemudaratan kepada komuniti pedalaman yang berada dipersekitaran sungai berkenaan.

### **5.7.3 Kebolegunaan**

Berdasarkan kepada konfigurasi pada dapatan analisis yang dijalankan, halaju air dibawah 1m/s ini mendapati turbin hidrokinetik mudah alih ini telah menunjukkan keupayaan untuk bertindak balas walaupun pada halaju air yang rendah. Pretasi putaran hydrofoil peranti ini mula menunjukkan pretasi yang lebih lancar ketika halaju air berada pada 0.9 m/s iaitu pada 15.1 RPM yang berkebolehan menghasilkan pengeluaran elektrik sebanyak 25.5watts. Ketika halaju semakin tinggi, pretasi putaran hydrofoil lebih seimbang dengan kehadiran daya angkat yang baik dan pengurangan daya seretan pada setiap hujung bilah turbin.

Struktur binaan reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih, berdiameter 0.8 meter kelebaran dan tinggi turbin adalah 0.7 meter mampu untuk diletakkan di kawasan pinggiran sungai yang strategik bagi mendapatkan aliran sungai yang berpotensi untuk memaksimumkan putaran hydrofoil. Selain itu, peranti ini selamat untuk diletakkan di pinggiran sungai dan memberikan kemudahan untuk perletakan peranti yang strategi bagi mendapatkan aliran air sungai yang baik dan berpotensi untuk menghasilkan memaksimumkan putaran hydrofoil.

### **5.7.4 Fleksibiliti dan Adaptabiliti**

Reka bentuk turbin mudah alih ini adalah ringan dan sesuai digunakan dipelbagai keadaan sungai terutama sungai yang cetek. Saiz peranti yang kecil dan mudah alih ini

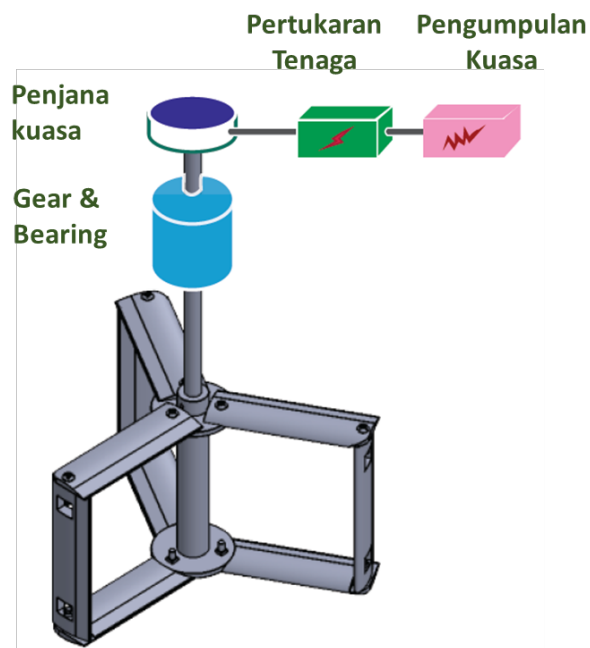
memudahkan komuniti untuk melakukan penyelenggaraan berkala serta melakukan pertukaran lokasi peletakan. Pembangunan reka bentuk turbin mudah alih ini boleh digunakan untuk sungai sungai yang lain yang mempunyai ekosistem, rupa bentuk sungai dan halaju air yang sama.

#### **5.7.5 Kepentingan Alam Sekitar**

Penggunaan tenaga elektrik yang bersumberkan peranti turbin hidrokinetik mudah alih ini tidak menghasilkan pencemaran alam semula jadi di pedalaman Sarawak berbanding dengan penggunaan penjana kuasa yang menggunakan medium disil dan petrol. Metod penghasilan tenaga elektrik merupakan dari sumber tenaga kinetik dari aliran semulajadi air sungai. Oleh itu peranti ini boleh mengekalkan kelastarian alam sekitar.

#### **5.7.6 Pengurusan Projek**

Peranti turbin hidrokinetik mudah alih ini direkabentuk menggunakan struktur yang ringkas. Komponen yang terlibat adalah bilah turbin dan hub sahaja. Manakala komponen lain yang melibatkan bahagian mekanikal seperti gear, penjana kuasa, pemutar dan lain lain merupakan komponen yang tidak berada di dalam air. Komponen mekanikal ini mudah untuk diperolehi di pasaran dengan pelbagai jenis jenama dan saiz. Penggunaan komponen mekanikal ini bergantung kepada kehendak pengguna dan bajet untuk menghasilkan tenaga elektrik. Pada rajah 4.8, menunjukkan ilustrasi struktur komponen asas pada keseluruhan peranti turbin hidrokinetik mudah alih yang diperlukan untuk menjana tenaga elektrik.



**Rajah 4.8:** Sistem Asas Turbin Hidrokinetik Mudah Alih

## 5.8 Ringkasan

Kesimpulannya, penyelidik mendapati bahawa setiap objektif yang ditetapkan dalam kajian ini telah dapat dirungkai dengan sebaiknya. Prototaip turbin hidrokinetik mudah alih ini telah dijalankan dalam ujian yang teratur dan segala malumat yang diperolehi sejajar dengan penyelidikan kebolehlaksanaan tenaga hidro piko untuk kepentingan lokaliti pendalaman Sarawak.

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN DAN CADANGAN**

#### **6.1 Pengenalan**

Di dalam bab ini, penyelidik akan membuat rumusan mengenai kajian kebolehsanaan hidrokinetik mudah alih untuk kegunaan komuniti pedalaman di Sarawak. Penyelidik juga memberikan beberapa cadangan reka bentuk yang berkaitan untuk diberikan perhatian oleh penyelidik masa depan yang bakal menjalankan penyelidikan reka bentuk hidrokinetik di sungai-sungai pedalaman Sarawak.

#### **6.2 Rumusan**

Keseluruhan penyelidikan yang dijalankan di lokaliti pedalaman Sarawak, penyelidik mendapati keadaan semula jadi flora dan fauna di sekitar sepanjang sungai masih lagi terpelihara. Komuniti pelbagai etnik di kawasan pedalaman ini masih mengekalkan kehidupan mengikut adat resam dan kebudayaan. Namun begitu, gaya kehidupan lokaliti tetap seiring dengan arus pemodenan negara. Gaya hidup komuniti ini telah mengekalkan kelastarian alam sekitar dan kualiti sungai yang bersih. Sungai di pedalaman Sarawak mempunyai potensi kadar air yang baik. Oleh itu, kepelbagaian reka bentuk peranti perlu diekplotastikan berlandaskan kepada dapatan data yang diperolehi untuk realisasikan pembangunan dan potensi kemudahan tenaga elektrik untuk lokaliti di luar grid elektrik nasional.

Tambahan pula, bentuk muka bumi Sarawak yang berbukit bukau merupakan faktor pemangkin pengaliran air ke sungai-sungai. Malahan, struktur sungai yang low-head tetapi masih mempunyai kadar air yang konsisten. Sungai di lokaliti pedalaman dikenal pasti amat berpotensi sebagai sumber penjanaan tenaga elektrik. Kebolehcapaian tenaga elektrik

dianggap sebagai faktor utama dalam meningkatkan status sosio-ekonomi komuniti di pedalaman Sarawak. Pelaksanaan hidrokinetik turbin di kalangan lokaliti pedalaman penting untuk meningkatkan kualiti kehidupan komuniti yang lebih baik dan menggalakkan pembangunan setempat.

Penemuan hasil penyelidikan telah membantu dalam memahami tingkah laku struktur turbin paksi menegak iaitu Darrieus jenis H, pada nilai kadar air yang berbeza. Penyataan dari ulasan sorotan kesusasteraan dan hasil dapatan penyelidikan di lapangan telah menjadi panduan untuk mereka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih. Pembangunan reka bentuk dengan kriteria yang ditetapkan telah mencapai sasaran kebolehsanaan peranti turbin untuk dilaksanakan di sungai sekitar lokaliti pedalaman yang terpilih. Beberapa teknikal asas juga telah dipertimbangkan dalam mereka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih ini. Peranti hidrokinetik mudah alih Darrieus jenis H, dibangunkan dengan memiliki ciri pengeluaran tenaga elektrik yang berkonsepkan Piko hidro. Turbin hidrokinetik mudah alih yang telah direka bentuk adalah bersesuaian untuk sungai yang terletak di lokaliti terpilih di pedalaman Sarawak.

Turbin hidrokinetik mudah alih ini adalah alternatif sistem tenaga elektrik untuk komuniti pedalaman yang menetap di dataran rendah dan di kawasan sepanjang tebing sungai utama. Perubahan aliran air di sekitar turbin meningkatkan prestasi untuk semua konfigurasi yang direka bentuk, dan bergantung kepada tindak balas medan aliran air sekitar bilah hidrofoil turbin. Pada hasil dapatan akhir penyelidikan mendapati turbin hidrokinetik mudah alih Darrieus jenis H ini berkemampuan untuk berfungsi dengan baik pada kadar air di bawah 1 m/s. Pengubahsuaian sudut bilah hidrofoil mampu memberi impak kepada keupayaan putaran pada pemutar. Oleh yang demikian, reka bentuk, struktur turbin dan pemilihan lokasi perletakan peranti adalah penting untuk mengaktifkan hidrofoil.

### **6.3 Implikasi**

Hasil penyelidikan hidrokinetik ini dapat menyumbangkan data dan maklumat tentang perihal sungai di pedalaman Sarawak. Dana penyelidikan ini adalah dari sumbangan Kementerian Tenaga Teknologi Hijau dan Air (KeTTHA), untuk menjalankan penyelidikan ke arah tenaga boleh diperbaharui untuk membangunkan pasaran tenaga elektrik di komuniti pedalaman di Sarawak. Penyelidikan ini juga memberikan manfaat kepada kerajaan Sarawak untuk mencapai sasaran penggunaan tenaga elektrik untuk penduduk di dalam negeri dan menuju penggunaan tenaga elektrik sepenuhnya menjelang tahun 2025 melalui pelbagai kaedah termasuk Skim Pembekalan Elektrik Alternatif Luar Bandar Sarawak (SARES). Diharapkan dengan penemuan dari analisis dan dapatan penyelidikan serta penghasilan konsep reka bentuk turbin hidrokinetik mudah alih ini, dapat mencetuskan idea untuk menggalakkan pembangunan teknologi tenaga boleh diperbaharui.

### **6.4 Cadangan**

#### **6.4.1 Sistem Penyaringan Serpihan Bahan Semula Jadi**

Pada dapatan penyelidikan ada menyatakan terdapat serpihan bahan semula jadi yang terapung di permukaan sungai. Serpihan ini boleh menyebabkan mengganggu sistem hidrokinetik untuk berfungsi dengan baik dan kemungkinan akan merosakkan bilah turbin jika serpihan bahan semula jadi yang bersaiz besar. Selain itu, aliran air juga membawa bersama objek dari kawasan banjir ke sungai, yang berpotensi untuk bertembung dengan turbin. Tanpa perlindungan yang betul, turbin boleh mengalami penguapan atau tersumbat dan pengeluaran kuasa turbin menjadi berkurangan. Oleh itu, satu sistem penyaringan serpihan bahan semula jadi ini perlu direka bentuk untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pembangunan reka bentuk perlu menitikberatkan ke arah pengurangan kemasukan serpihan bahan semula jadi yang bersaiz besar yang juga mengikuti aliran air yang sama ke dalam

bilah hidrofoil. Penyelesaian ini menjadi impak yang penting dalam pembangunan ke arah tenaga yang boleh diperbaharui terutama pada elemen air. Namun begitu, kewujudan sistem ini tidak boleh mengganggu kadar aliran air semula jadi dimana boleh mengurangkan kecekapan dan berlaku penurunan jangka hayat turbin. Kelebihan pada peralatan sonar boleh membantu untuk menentukan jumlah dan kekerapan objek-objek yang berada di dalam sungai. Perolehan data, dapatan dan dianalisis ini akan dapat membantu untuk pembangunan reka bentuk penyaringan yang lebih berkesan.

#### **6.4.2 Perletakan Turbin Hidrokinetik Mudah Alih**

Sungai di pedalaman Sarawak menjadi popular dengan pelbagai kegunaan untuk lokaliti. Penjanaan tenaga elektrik dari hidrokinetik mudah alih ini memerlukan lokasi perletakan turbin yang strategik. Pada kajian sorotan kesusteraan, turbin hidrokinetik yang sedia ada di pasaran antarabangsa telah menunjukkan pelbagai metod untuk perletakan peranti di dalam sungai. Pada pemerhatian penyeldik, metod yang telah digunakan pada peranti yang sedia ada dipasaran boleh diterapkan di sungai sungai yang terpilih di pedalaman Sarawak. Perbezaannya, sungai di pedalaman Sarawak tidak mempunyai keratan rentas yang lebar untuk dipelbagaikan metod perletakan. Malah sungai pedalaman Sarawak juga adalah punca lalu lintas oleh komuniti. Oleh itu, perletakan peranti turbin mudah alih ini memerlukan metod yang baik tanpa mengganggu ekosistem dan komuniti setempat.

Terdapat beberapa cadangan untuk perletakan peranti ini yang berpotensi untuk dilakukan penyelidikan selanjutnya. Salah satu cadangan adalah sistem turbin hidrokinetik mudah alih boleh diapungkan di dalam air dengan menggunakan pontun. Material pontoon yang dicadangkan adalah jenis foam polyurethane. Sifat material foam polyurethane adalah bersifat keras dan mudah dibentuk. Material ini popular digunakan untuk pengangkutan air dan dek di sungai dan laut. Sifat material yang terapung dan ringan memudahkan lokaliti

untuk mengalihkan sistem turbin hidrokinetik mudah alih ke lokasi yang lebih strategik atau mengangkat untuk mengelak dari bahaya seperti kepala air dan banjir.

Selain itu sungai di lokaliti terdapat jambatatan atau titi yang telah sedia ada dibina oleh komuniti di tebing sungai. Oleh itu, pemasangan turbin pada struktur jambatan juga berpotensi, tanpa mengganggu persekitaran flora dan fauna semula jadi di sungai. Cadangan perletakan ini menjadi tumpuan lokaliti dan peranti terjamin keselamatan. Method ini tidak memerlukan kos yang tinggi tetapi memerlukan pemantauan dari segi aliran air sungai kerana pengaliran kadar air yang cekap boleh memaksimakan penghasilan tenaga elektrik.

#### **6.4.3 Penutup**

Malaysia mempunyai kira-kira 150 sungai di bahagian Semenanjung Malaysia dan 50 sungai di Sabah dan Sarawak. Taburan jumlah hujan yang tinggi pada setiap tahun menjadikan Malaysia mempunyai potensi yang besar untuk menghasilkan tenaga hidrokinetik berskala kecil, piko hidro. Walaupun begitu, di sebalik manfaatnya, usaha penyelidikan yang berkala masih diperlukan untuk meningkatkan keupayaan teknologi hidrokinetik, terutama untuk aplikasi penukaran tenaga elektrik. Bidang penyelidikan ini memerlukan perhatian yang lebih mendalam yang tidak terbatas pada pemilihan dan peningkatan turbin, kajian penilaian, kecekapan penukaran tenaga dan impak persekitaran. Sistem hidrokinetik terus mendapat perhatian yang signifikan dari para penyelidik untuk meningkatkan teknologi, mengurangkan halangan dalam pelaksanaan, memperolehi wawasan lebih lanjut dan memahami batasan teknologi.

## RUJUKAN

- Abdullah, S., Basri, M. J. M., Jamaluddin, Z. Z., Azrulhisham, E. A., & Othman, J. (2016). Parametric distribution approach for flow availability in small hydro potential analysis. *The 4th International Conference on Quantitative Sciences and Its Applications, AIP Conference Proceedings*, 1782.
- Abdullah, W. S. W., Osman, M., Ab Kadir, M. Z. A., & Verayiah R. (2019). The Potential and Status of Renewable Energy Development in Malaysia. *Energies*, 12(12) 2437.
- Adanta, D, Budiarto, & Prakoso A. P. (2018). The effect of bucket number on breastshot waterwheel performance, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105(1) 12031.
- Anyi, M., Kirke, B., & Ali, S. (2010). Remote community electrification in Sarawak, Malaysia. *Renewable Energy*, 35(7), 1609-1613.
- Aziz, A. S., Tajuddin, M. F. N., Adzman, M. R., Ramli, M. A., & Mekhilef, S. (2019). Energy management and optimization of a PV/diesel/battery hybrid energy system using a combined dispatch strategy. *Sustainability*, 11(3), 683.
- Azrulhisham, E. A., Jamaluddin, Z. Z., Azri, M. A., & Yusoff, S. M. (2018). Potential Evaluation of Vertical Axis Hydrokinetic Turbine Implementation in Equatorial River. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1072(1), 012002. IOP Publishing.
- Bagher, A. M., Vahid, M., Mohsen, M., & Parvin, D. (2015). Hydroelectric energy advantages and disadvantages. *American Journal of Energy Science*, 2(2), 17-20
- Bashir, N., & Modu, B. (2018). Techno-economic analysis of off-grid renewable energy systems for rural electrification in northeastern Nigeria. *International Journal of Renewable Energy Research*, 8(3), 1217-1228.

- Belouda, M., Hajjaji, M., Sliti, H., & Mami, A. (2018). Bi-objective optimization of a standalone hybrid PV-Wind-battery system generation in a remote area in Tunisia. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 16, 315-326.
- Budiarso, D., & Prakoso, A. (2018). The effect of bucketnumber on breastshot water wheel performance. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105(1), 12031.
- Cader, C., Blechinger, Bertheau, P. (2016). Electrification planning with focus on hybrid mini-grids - a comprehensive modelling approach for the global south. *Energy Procedia*, 99, 269-276.
- Chong, S., Chin, K., Swin, A. Y., Ajan, C. W., Bea, J. (2020). Electricity consumption of remote villages in Sarawak powered by off-grid solar system. *International Conference on Smart Grids and Energy System*, 1(1).
- Deemer, B. R., Harrison, J. A., Li, S., Beaulieu, J. J., DellSontro, T., Barros, N., Bezerra- Neto, J. F., Power, S. M., Santos, M. A. D., & Vonk, J. A. (2016). Greenhouse gas emissions from reservoir water surfaces: a new global synthesis. *BioScience*, 66(11), 949-964.
- Delafin, P.L., Nishino, T., Wang, L., Kolios, A. (2016). Effect of number of blades on aerodynamic forces on a straight-bladed vertical axis wind turbine energy. *Journal of Physics: Conference Series*, 753, 022033.
- Eren, A. (2018). Transformation of the water-energy nexus in turkey: re-imagining hydroelectricity infrastructure. *Energy Research & Social Science*, 41, 22-31.
- Hamid, H. H. B. A., Zakaria, I. B., & Othman, M. S. B. (2019). Tenaga Boleh Diperbaharui Bagi Penjanaan Tenaga Elektrik di Malaysia: Satu Kajian Literatur. *Journal on Technical and Vocational Education*, 4(3), 129-142.
- Hammoudi, Z., El Abbassi, I., Absi, R., & Darcherif, A. M. (2020). CFD based analysis of flow-driven vertical axis hydrokinetic turbines: blade hydrofoil and interactions effects. In *E3S Web of Conferences*, 170, 01016. EDP Sciences.

- Hantoro, R., Erwandi, E, & Sulisetyono, A. (2011). An experimental investigation of passive variable pitch vertical-axis ocean current turbine. *ITB Journal of Engineering and Technological Science*, 43(1), 27-40.
- Holand, P., Blanco C. J. C., Mesquita A. L. A., Brasil Junior A. C. P, de Figueiredo N. M., Macêdo E.N. (2017). Assessment of hydrokinetic energy resources downstream of hydropower plants. *Renew Energy*, 101, 1203–14.
- Ibrahim, W .I. I., Mohamed, M. R., Ismail, R. M. T. R., Leung, P. K, Xing W. W., Shah A. (2021). Hydrokinetic Energy harnessing technologies: A review. *Energy Reports*, 7, 2021-2042.
- Intizar, A., Baloch, S. K., Saifullah, S., Hussain, T. (2021). Stress and fatigue life prediction of the H-type darrieus vertical axis turbine for micro-hydropower applications. *Journal of Mechanics of Continua & Mathematical Science*, 16(6), 28-38.
- Jamaluddin, Z.Z, Azrulhisham, E.A, Azri, M. A., Zain, N., Yusoff, S. B., Anyi, M., Peter, C. (2018). Potential of portable hydrokinetic energy turbine design for remote communities in Sarawak. *Journal of Advanced Research in Dynamical & Control Systems*, 10(9).
- Jamlay, K., Sule, L., Hasan, D. (2016). Flow behavior analysis on downstream water wheel performance for a pico hydro scale power plant. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1) 51–59.
- Kirke, B. K. (2019). Hydrokinetic and ultra-low head turbines in rivers: A reality check. *Energy for Sustain*, 52, 1-10.
- Kirke, B. K. (2011). Tests on ducted and bare helical and straight blade darrieus hydrokinetic turbines. *Renewable Energy*, 36(11) 3013-3022.
- Kirke, B. (2020). Hydrokinetic turbines for moderate sized rivers. *Energy for Sustainable Development*, 58, 182-195.

- Khaled, F., Guillou, S., Hadri, F., Mear, Y. (2019). Numerical modelling of the effect of the hydro-kinetic turbines on the transport of sediments-application to the rhone site. *MATEC Web of Conferences*, 261, 05003.
- Longo, M., Yaïci, W., & Foiadelli, F. (2019). Hybrid renewable energy system with storage for electrification - case study of remote northern community in Canada. *International Journal of Smart Grid*, 3(2).
- Maeda, T., Kamada, Y., Murata, J., Yamamoto, M., Ogasawara, T., Shimizu, K., & Kogaki, T. (2016). Study on power performance for straight-bladed vertical axis wind turbine by field and wind tunnel test. *Renewable Energy*, 90, 291-300.
- Mandelli, S., Barbieri, J., & Mattarolo, L. (2014). Sustainable energy in Africa: A comprehensive data and policies review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 656-686.
- Mohd Saupi, A. F., Mailah, N. F., Mohd Radzi, M. A., Mohamad, K. B., Ahmad, S. Z., & Che Soh, A. (2018). An Illustrated guide to estimation of water velocity in unregulated river for hydrokinetic performance analysis studies in East Malaysia, *Water*, 10(10), 1330.
- Nag, A., & Sarkar, S. (2021). Techno-economic analysis of a micro-hydropower plant consists of hydrokinetic turbines arranged on different array formations for rural power supply. *Renewable Energy*, 179, 475-487.
- Narendran, K., Murali, K., & Sundar V. ( 2016). Investigations into efficiency of vortex induced vibration hydro-kinetic energy device. *Energy*, 109, 224-235.
- Niebuhr, C.M., Van Dijk, M., Neary, V.S., Bhagwan, J.N. (2019). A review of hydrokinetic turbines and enhancement techniques for canal installations: Technology, applicability and potential. *Renew Sustain Energy*, 113, 109240.

- Nishi, Y., Inagaki, T., Li, Y., Omiya, R., & Fukutomi, J. (2014). Study on an undershot cross-flow water turbine. *Journal of Thermal Science*, 23, 239-245.
- Permatasari, R. (2021). Performance testing of Darrieus turbine in hydrokinetic power plant model. *IOP Conference Series: Earth Environmental Science*. 737, 012009.
- Ramadan, A., Mohamed Nawar, A.A., Mohamed, M.H. (2020). Performance evaluation of a drag hydro kinetic turbine for rivers current energy extraction-a case study. *Ocean Engineering*, 195, 106699.
- Riglin, J., Daskiran, C., Jonas, J., Schleicher, W.C., & Oztekin, A. (2016). Hydrokinetic turbine array characteristics for river applications and spatially restricted flows. *Renewable Energy*, 97, 274-283.
- Rostami, A. B., Fernandes, A. C. (2015). The effect of inertia and flap on autorotation applied for hydrokinetic energy harvesting. *Applied Energy*, 143, 312-323.
- Sahim, K., Santoso, D., & Puspitasari, D. (2018). Investigations on the effect of radius rotor in combined Darrieus-Savonius wind turbine. *International Journal of Rotating Machinery*, 2018, 1-7.
- Saini, G., Sani R. P. (2018). Numerical investigation of the effect of blade profile of a darrieus hydrokinetic turbine. *Ocean Engineering*, 1(12).
- Saini, G., Saini, R. P. (2019). A review on technology, configurations, and performance of cross-flow hydrokinetic turbines. *International Journal of Energy Research*, 43, 6639-6679.
- Saini, G., & Saini, R. P. (2020). Study of installations of hydrokinetic turbines and sornes their environmental effects. *AIP Conference Proceedings*, 2273, 050029.

- Salleh, M. B., Kamaruddin, N. M., & Mohamed-Kasim, Z. (2018). Micro-hydrokinetic turbine potential for sustainable power generation in Malaysia. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 370(1), 012053. IOP Publishing.
- Sangi, M. J., Samo, S., Shaikh, S. A., Intizar, A., Hussain, T. (2021). One way fluid-structure interaction analysis of vertical axis hydrokinetic turbine. *International Journal on Emerging Technologies*, 12(1) 19-24.
- Sarawak Energy. (2021). *Sarawak energy joins clean up exercise upstream bakun to clear floating debris for Lg Kebuho lakeside community*. Sarawak Energy Berhad Annual Report.
- Tan, K., Anyi, M., & Kirke, B. (2021). Small-scale hydrokinetic turbines for remote community electrification. *Energy for Sustainable Development*, 63, 41-50.
- Tanaka, K., Hirowatari, K., Shimokawa, K., Watanabe, S., Matsushita, D., & Furukawa, A. (2013). A Study on Darrieus-type Hydroturbine toward Utilization of Extra-Low Head Natural Flow Streams. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, 6(3), 152-159.
- Vermaak, H., Kusakana, K., & Koko, S. (2014). Status of micro-hydrokinetic river technology in rural applications: A review of literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 625-633.
- Vougioukli, A. Z., Didaskalou, E., & Georgakellos, D. (2017). Financial appraisal of small hydro-power considering the cradle-to-grave environmental cost: A case from Greece. *Energies*, 10(4), 430.
- Warjito, D., Budiarso, & Prakoso, A. (2018). The effect of bucket number on reastshot waterwheel performance. *IOP Conference Series: Earth Environmental Science*, 431, 105(1), 12031.

Yeo, J. K, Chen, S., Shen, W.X., & Chua, H.S. (2014, May). Energy evaluation and smart microgrid for rural Sarawak. In *2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT ASIA)*, 459-464. IEEE.

## APENDIKS

### Penerbitan Jurnal

1. **Jamaluddin, Z.Z.**, Azrulhisham, E. A., Azri, M. A., Zain, N., Yusoff, S. B., Anyi, M., & Peter, C. (2018). Potential of Portable Hydrokinetic Energy Turbine Design for Remote Communities in Sarawak. *Journal of Advanced Research in Dynamical & Control Systems*, (10) 09.
2. Azrulhisham, E.A., **Jamaluddin, Z. Z.**, Azri, M. A., & Yusof, S. M. (2018, August). Potential Evaluation of Vertical Axis Hydrokinetic Turbine Implementation in Equatorial River. In *Journal of Physics: Conference Series*, (Vol. 1072, No. 1, p. 012002).IOP Publishing.
3. Abdullah, S., Basri, M. J. M., **Jamaluddin, Z. Z.**, Azrulhisham, E. A. & Othman, J., (2016). Parametric distribution approach for flow availability in small hydro potential analysis. The *4th International Conference on Quantitative Sciences and Its Applications, AIP Conference Proceedings*. 1782,

### Penerbitan Buku

1. Characterisation of Malaysian Shallow River for Site Selection, Deployment and Operation of Hydrokinetic Device. Engku Ahmad Azrulhisham, **Zahrul Zamri Jamaluddin**, Muhammad Arif Azri Mohd Hata, Noor Azme Omar, Safari Mat Desa Universiti Kuala Lumpur (UniKL) & National Hydraulics Research Institute Malaysia (NAHRIM).