

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia memiliki keanekaragaman geologi, geomorfologi, dan geografi. Letaknya di garis khatulistiwa menyebabkan Indonesia beriklim tropis dengan perubahan suhu sepanjang tahunnya relatif kecil. Iklim yang stabil ini mendukung proses berkembang biaknya berbagai organisme, tidak bergantung pada perubahan cuaca maupun musim. Struktur geologi Indonesia dibentuk oleh barisan gunung di sepanjang dan antar pulau, dari Sumatra, Jawa, Bali, hingga Sulawesi. Sebagian besar gunungnya bersifat aktif dan kesuburan tanahnya tinggi. Indonesia juga memiliki struktur laut dalam dan dangkal, juga terdapat pertemuan arus laut panas dan dingin. Keanekaragaman geologi dapat membentuk keanekaragaman ekosistem kemudian menghasilkan biodiversitas organisme.

Ekosistem dibagi menjadi dua jenis, yaitu: terestrial (daratan) dan akuatik (perairan). Ekosistem terestrial memiliki keberadaan air yang rendah, sebaliknya ekosistem akuatik adalah yang berbasis air. Ekosistem akuatik kemudian dibagi menjadi dua jenis, yaitu air tawar (*freshwater*) dan air laut (*marine*). Ekosistem air tawar memiliki karakter yang berbeda dengan ekosistem air laut, karena komposisi kimia dan fisiknya berbeda, meskipun jenis organisme yang terkandung di dalamnya sama. Di samping itu, berdasarkan komponen penyusunnya, ekosistem terdiri dari faktor biotik (hidup) dan abiotik (tidak hidup). Faktor biotik mencakup predasi, kompetisi, herbivori, simbiosis, dan berbagai interaksi antara komponen biotik maupun abiotik. Sementara, faktor abiotik mencakup air, suhu, salinitas (kadar garam), sinar matahari, batuan dan tanah, dan iklim. Ekosistem air laut memiliki salinitas lebih tinggi. Salinitas menentukan tingkat osmolaritas yang mempengaruhi osmoregulasi pada suatu organisme, yang membantu organisme dalam menyeimbangkan zat terlarut dan air yang hilang dalam proses ekskresi. Faktor biotik

dan abiotik memiliki pengaruh terhadap distribusi organisme dalam lingkungan berair tersebut (bentos). Lebih lanjut, komunitas bentos dipengaruhi oleh kedalaman, kadar nutrisi, arus air, oksigen terlarut, suhu, pH, keberadaan bahan beracun, dan kesadahan air (Hawk, 1979; Fachrul, 2007).

Ekosistem perairan tawar mencakup air permukaan (sungai dan danau) dan air tanah. Berdasarkan siklus hidrologi, air tanah terjadi sebagai hasil dari proses infiltrasi air permukaan. Air permukaan bersumber dari air hujan atau mata air yang menggenang di permukaan. Pada daerah karst, kondisi ini tidak terjadi karena air langsung meresap ke dalam tanah. Oleh sebab itu, kajian ekosistem air permukaan di daerah karst terbatas.

Ekosistem karst menarik untuk dikaji, karena secara visual memiliki kenampakan gersang dengan geomorfologi kawasan yang berbeda dari ekosistem akuatik lainnya. Perbedaan geomorfologi ini disebabkan oleh penyusunnya; ekosistem Karst berkarakter solusional akibat dari adanya pelarutan karbonat.

Di Indonesia terdapat beberapa kawasan karst, mulai dari bukit barisan (Sumatera), gunung Sewu (Jawa), Maros (Sulawesi), dan Lorentz (Papua). Fenomena karst gunung Sewu di selatan Jawa banyak menarik perhatian peneliti internasional karena ciri perbukitan di sebagian besar daerahnya yang cekung-cembung. Daerah karst ini telah sejak lama menjadi obyek penelitian ilmiah dan memainkan peranan penting dalam pengembangan konsep geomorfologi karst (Suratman (ed.), 2013).

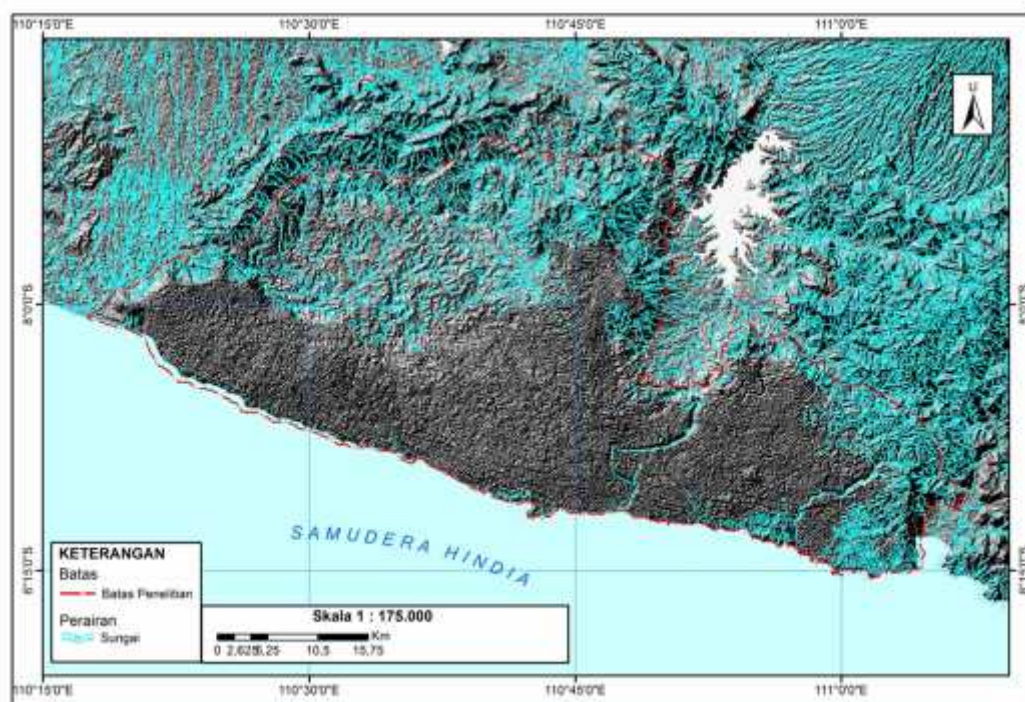
Ekosistem karst juga rentan terhadap perubahan topografi yang disebabkan aktivitas manusia maupun kekuatan alam, yang selanjutnya berdampak pada kondisi air, daya serap energi matahari, dan daya serap  $\text{CO}_2$  (IBSAP, 2015). Perubahan topografi sebagai akibat aktivitas manusia adalah penambangan kapur yang dapat memicu erosi dan mengakibatkan meningkatnya kadar karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dalam air. Perubahan tersebut terjadi karena terlarutnya sisa tambang ke dalam air. Peningkatan

kadar karbonat berdampak baik atau buruk. Misalnya bagi moluska, peningkatan ini berdampak baik karena tersedianya lebih banyak kalsium untuk memperkuat cangkang. Sebaliknya, bagi ikan berdampak buruk karena menyebabkan terjadinya hiperosmolaritas, atau pengaruh lain terhadap osmoregulasi. Selain itu, terganggunya daya serap energi matahari dan  $\text{CO}_2$  berpengaruh pada proses respirasi dan metabolisme seluler pada organisme.

Air di kawasan karst merupakan air kapur dengan kandungan unsur utama kimia Ca/Mg dan senyawa  $\text{CO}_3$  atau yang biasa disebut air sadah. Penyelidikan kesadahan air di gua Tabunan menunjukkan tingkat karbonat 70 mg/L, sedangkan di mata air Songkuren 131 mg/L, dan telaga Dukur 149 mg/L (Suratman (ed.), 2013). Berdasarkan klasifikasi menurut Sawyer dan Mc Peavy nilai-nilai tersebut masuk dalam kategori menengah (50-150 mg/L) (Effendi, 2003). Jadi, penyelidikan di daerah dengan tingkat kesadahan air tinggi belum pernah dilaporkan.

Kawasan karst di Selatan Jawa terletak pada tiga kabupaten di tiga provinsi, yaitu: Pacitan (Jawa Timur), Wonogiri (Jawa Tengah), dan Gunung Kidul (Daerah Istimewa Yogyakarta, DIY). Berdasarkan orientasi lapangan, analisis, dan interpretasi citra (Gambar 1), tidak banyak sumber air permukaan yang nampak jelas khususnya aliran sungai, namun terdapat telaga-telaga kecil yang berasal dari dolin. Aliran air permukaan (dalam hal ini sungai) yang terlihat hanya berada di kawasan yang menjadi tempat wisata, yaitu Sungai Maron. Kawasan ini berada pada zona yang hampir mendekati pesisir. Aliran Sungai Maron melewati Desa Dersono, Kecamatan Pringkuku, Kabupaten Pacitan, dan menuju hilir di Pantai Ngibroboyo. Sungai Maron dimanfaatkan oleh pemerintah Kabupaten Pacitan bersama dengan masyarakat setempat dijadikan sebagai kawasan wisata eksploratif yang menawarkan penyusuran sungai beserta keunikan di dalamnya. Sungai Maron memiliki fisiologi sungai yang lebar: menurut konsep Kottelat & Whitten (1996), semakin panjang dan lebar suatu sungai maka semakin banyak pula organisme yang menempatnya. Aktivitas

pariwisata dan dampaknya terhadap biodiversitas dan fisiologi organisme dalam air Sungai Maron menarik untuk diteliti, terutama terkait dengan limbah yang dibuang ke dalamnya. Limbahnya mencakup limbah rumah tangga karena memang kawasan ini berdekatan dengan perkampungan dan dari aktivitas daerah wisata dan wisatawan. Limbah tersebut dapat berupa limbah hidrokarbon yang berasal dari sampah atau lingkungan.



Gambar 1.1 Digital Elevation Model (DEM) Pegunungan Sewu

Skripsi ini mengkaji ekosistem di Sungai Maron yang aliran airnya melalui daerah karst, untuk mengetahui interaksi antara kadar faktor abiotik (kesadahan) dengan faktor biotik. Kadar kesadahan diketahui melalui pengujian pembentukan senyawa kompleks, sedangkan faktor biotik dipelajari dengan menggunakan makrozoobentos sebagai bioindikator. Makrozoobentos dipilih, karena mampu mengindikasikan kualitas lingkungan perairan yang memenuhi persyaratan sebagai bioindikator, yaitu sensitif terhadap perubahan lingkungan baik biotik maupun abiotik

dan responnya dapat diprediksi, sehingga dapat dimungkinkan untuk menarik kesimpulan secara kausal (Reid et al., 1995; Soeprbowati, 2010). Bioindikator yang digunakan untuk menandakan adanya kondisi kualitas lingkungan haruslah organisme yang tidak begitu dinamis dalam aktivitasnya. Kajian dalam skripsi ini juga menggunakan pendekatan ekologi dalam konteks ruang ekosistem mikro. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai hubungan antara lingkungan dan fitur fisik pada alam (*physico natural features (performances)- environment*) di Sungai Maron (Yunus, 2012).

### **1.2. Rumusan Masalah**

Permasalahan yang diangkat adalah kualitas perairan kast di daerah yang dekat dengan aktivitas pariwisata dan pemukiman masyarakat. Dalam hal ini diwakili oleh Sungai Maron, dengan mengamati biodiversitas ekosistem akuatik. Penelitian ini unik karena dilakukan pada daerah dengan asumsi tingkat kesadahan tinggi, yang jarang dilaporkan dan informasi yang tersedia masih terbatas.

Atas dasar permasalahan tersebut, maka diajukan tiga rumusan masalah yaitu:

1. Berapa tingkat kesadahan di Sungai Maron kabupaten Pacitan?
2. Bagaimana profil makrozoobentos di Sungai Maron kabupaten Pacitan?
3. Apa pengaruh kesadahan terhadap biodiversitas makrozoobentos?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. menganalisis tingkat kesadahan sementara dengan metode pengukuran yaitu kesadahan total, kesadahan kalsium, dan kesadahan magnesium,
2. menganalisis distribusi profil makrozoobentos di Sungai Maron Kabupaten Pacitan,
3. menganalisis hubungan kesadahan terhadap makrozoobentos di Sungai Maron Kabupaten Pacitan.

#### 1.4. Kegunaan Penelitian

Kegunaan penelitian dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Kegunaan Teoritis

Sebagai langkah awal dalam mengetahui profil makrozoobentos di sungai karst, sebagai rujukan untuk digunakan sebagai bioindikator dalam penelitian selanjutnya.

2. Kegunaan Praktis

Menjadi informasi bagi masyarakat setempat dan pengunjung wisata agar dapat mendukung pelestarian dan kelangsungan hidup organisme di sungai karst, serta dapat tetap menjaga keutuhan alam.

#### 1.5. Telaah Pustaka dan Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan kesadahan terhadap biodiversitas makrozoobentos di Sungai Maron, kabupaten Pacitan. Makrozoobentos digunakan sebagai bioindikator kualitas air karena sensitif terhadap perubahan lingkungan. Dalam hal ini profil makrozoobentos dianggap dapat memberikan gambaran kualitas lingkungan perairan di daerah karst, terutama di daerah dengan kesadahan tinggi yang belum pernah dilaporkan sebelumnya.

Kajian pustaka ini dibagi ke dalam 3 bagian yaitu **ekosistem perairan karst, uji kesadahan menggunakan senyawa kompleks, dan makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas perairan**. Secara umum, kajian penelitian ini merupakan pendalaman materi terkait biogeografi (persebaran organisme) dan kualitas air pada zonasi daerah karst.

### **1.5.1. Telaah Pustaka**

#### **1.5.1.1. Ekosistem Perairan Karst**

Karst merupakan salah satu keanekaragaman lahan yang terbentuk dari batuan gamping oleh air. Sebab itu karst adalah bentuk lahan dengan karakter solusional. Dalam hal ini batu gamping secara alami mengalami pelarutan (karstifikasi) (Samodra, 2006). Karstifikasi terjadi pada dua zona: proses dan bentukan yang dihasilkan ada di atas permukaan (eksokarst) atau di bawah permukaan (endokarst). Endokarst dapat dibagi lagi menjadi dua zona: minor dan mayor (Samodra, 2006). Karstifikasi melibatkan faktor fisika, kimia, dan biologi yang mempengaruhi pelarutan batuan gamping yang menyebabkan batuan tersebut lapuk. Profil pelarutan dan pelapukan batuan gamping menjadi ciri khas dari kawasan karst itu sendiri (Samodra, 2006). Ciri dari suatu kawasan karst adalah kenampakannya yang gersang karena air langsung terserap ke dalam tanah, jenis batumannya adalah gamping, flora yang ditemukan umumnya adalah vegetasi tahan kandungan air rendah. Batuan gamping dapat membentuk morfologi karst apabila beberapa kondisi berikut tercapai (Samodra, 2006):

- mempunyai ketebalan yang cukup,
- wilayahnya mempunyai curah hujan tinggi,
- batuan terkekarkan atau banyak mengandung celah dan rongga,
- letaknya lebih tinggi dibanding daerah sekitarnya dan mempunyai sungai permukaan yang berfungsi sebagai muka dasar air setempat,
- ditutupi oleh vegetasi yang rapat.

Ciri kawasan karst lebih terlihat pada daerah dengan kandungan batu gamping yang terkekarkan. Celah-celah dalam kekar berfungsi sebagai media gerak air di dalam batuan, sehingga proses pelarutan terjadi lebih cepat. Proses pelarutan juga lebih cepat pada daerah dengan letak yang tinggi, sehingga dapat melebarkan rongga dalam zona endokarst. Sungai yang berada di permukaan karst dapat menjadi muka air tanah setempat.

Kuat tidaknya proses pelarutan gamping salah satunya dipengaruhi oleh kadar kalsium oksida (CaO) yang mempengaruhi struktur bangun endo- dan eksokarst. Batu gamping dengan kadar CaO rata-rata 42,56% membentuk bukit kerucut, sedangkan kadar 33,38% membentuk plato (Samodra, 2006).

Vegetasi yang rapat mempengaruhi proses pelarutan terutama ditinjau dari adanya proses biofisik oleh mikroorganisme, evaporasi oleh akar tanaman, dan dekomposisi bahan organik menghasilkan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang bereaksi dengan air hujan membentuk asam karbonat (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Asam karbonat mampu melarutkan kalsium atau magnesium dalam batu gamping. Maka proses karstifikasi juga dipengaruhi oleh ekosistem yang ada.

Ekosistem karst termasuk ke dalam perairan tawar yang terbagi atas perairan lentik dan perairan lotik (Odum, 1971). Perairan lentik adalah perairan diam, seperti danau dan waduk, sementara perairan lotik adalah perairan mengalir, seperti sungai. Odum (1971) menyebutkan bahwa biodiversitas pada perairan tersebut dibatasi oleh temperatur, kecerahan, arus, kadar gas, dan kadar garam. Sebagai ilustrasi, suhu dan kadar gas yang lebih tinggi meningkatkan proses metabolisme, sehingga pertumbuhan organisme meningkat. Sementara, kecerahan dan arus mempengaruhi ketersediaan dan penangkapan nutrisi oleh organisme. Garam berpengaruh pada proses osmoregulasi. Konsekuensi dari kombinasi faktor-faktor tersebut, jenis dan jumlah organisme pada perairan lentik dan lotik berbeda. Lebih lanjut berdasarkan rantai makanan, letak hidup, dan zonanya, Odum (1971) membagi ekosistem perairan tawar ke dalam beberapa kelompok. Rantai makanan pada ekosistem terdiri dari produsen primer, dekomposer, detritivor, kumpulan bahan organik yang mati, herbivora, karnivora, parasit, dan lingkungan fisik-kimiawi yang menyediakan tempat hidup dan bertindak sebagai sumber energi dan materi (Begon *et al.*, 2006). Unsur produsen primer merupakan trofik yang paling penting karena menjadi bahan makanan untuk

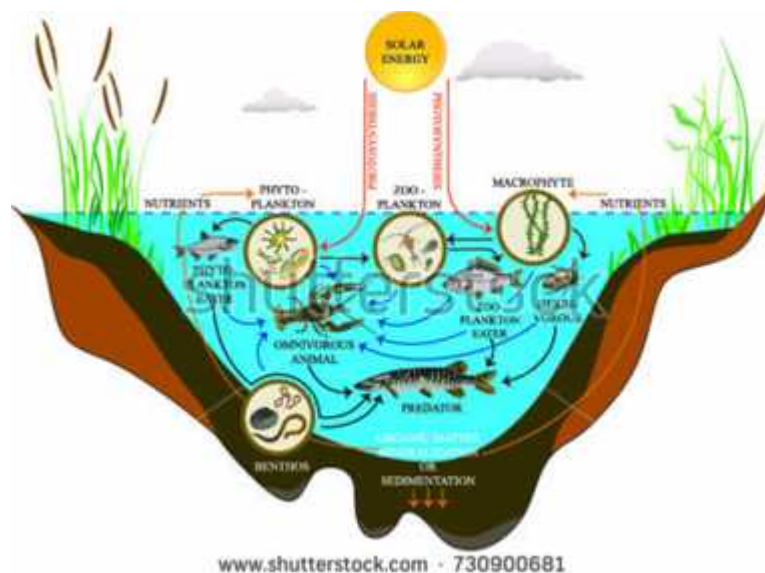


konsumen pertama (herbivora), yang kemudian menjadi makanan konsumen kedua (karnivora), dan konsumen ketiga (omnivora).

Tabel 1.1 Ekosistem Perairan Tawar

| Rantai Makanan   | Letak Hidupnya | Zona      |
|------------------|----------------|-----------|
| <b>Autotrof</b>  | Plankton       |           |
| <b>Fagotrof</b>  | Neuston        | Litoral   |
|                  | Nekton         | Limnetik  |
|                  | Perifiton      | Profundal |
| <b>Saprotrof</b> | Bentos         |           |

Sumber: Odum, 1971, dengan modifikasi



Gambar 1.2 Ekosistem Perairan Tawar

Pada ekosistem karst, yang umum ditemukan adalah perairan lotik, karena air permukaan biasanya langsung terserap menjadi air tanah. Ekosistem sungai (lotik), umumnya dibagi menjadi dua zona yaitu: cepat dan kolam. Zona cepat ada di permukaan yang arus sungainya cukup besar untuk mengangkat substrat

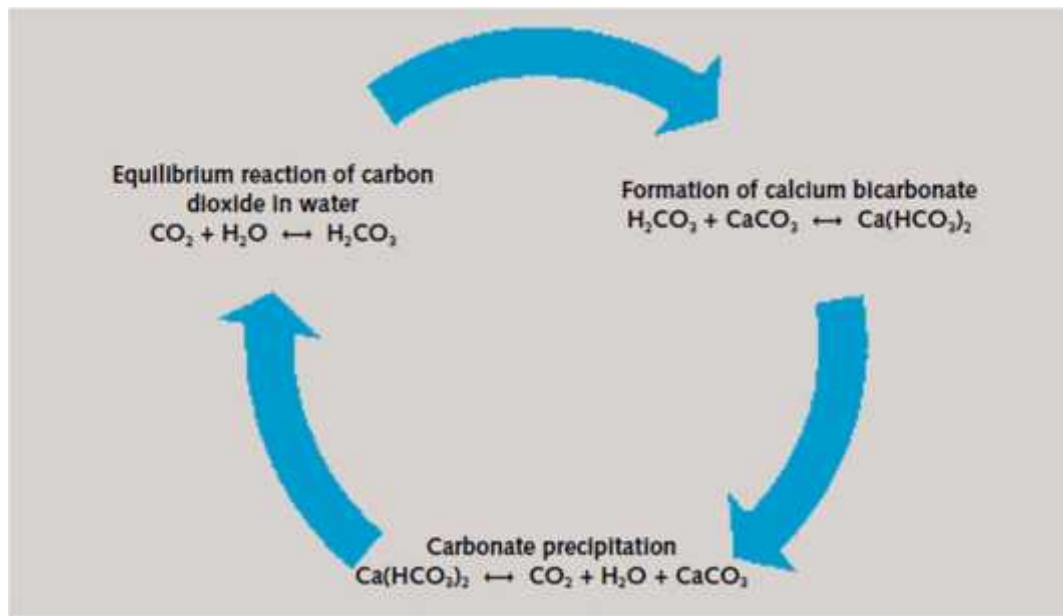
sedangkan zona kolam berada di dasar perairan yang arusnya lambat. Sementara, Campbell *et al.* (2012) membagi zona perairan berdasarkan penerimaan cahaya, yaitu zona fotik yang masih dapat dicapai cahaya dan zona afotik, yaitu daerah yang tidak mendapat cahaya.

Salah satu permasalahan umum sungai adalah terjadinya eutrofikasi, yaitu pengayaan nutrisi yang menyebabkan meledaknya populasi alga sehingga mengganggu kelangsungan hidup organisme air yang lain. Pengayaan ini umumnya disebabkan oleh hasil dari aktivitas manusia. Kajian eutrofikasi pada pesisir menunjukkan bahwa faktor pembatas nutrisi pada pertumbuhan alga adalah nitrogen dan fosfat (Rhyter dan Dunstan, 1971; Campbell *et al.*, 2012). Sementara itu, pada kajian air tawar ditemukan bahwa unsur fosfat menjadi patokan utama untuk pembatasan produktivitas primer, karena unsur fosfor yang ikut tersedimentasi membatasi ketersediaan nutrisi yang menjadi masalah utama dalam ekosistem akuatik (Krebs, 2009).

Pengujian kualitas air didasarkan pada tiga parameter, yaitu: fisika, kimia, dan biologi. Parameter fisika mencakup sifat organoleptis (warna, bau, dan rasa) dan suhu. Parameter kimia mencakup kandungan unsur atau senyawa yang berada dalam air misalkan golongan Nitrogen ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ , dan  $\text{NH}_3$ ),  $\text{SO}_4$ , Hg, konduktivitas, dan salinitas. Pengujian biologi selama ini hanya menggunakan parameter mikrobiologi yang biasa digunakan secara umum untuk air bersih, air konsumsi, dan air budidaya. Makroorganisme juga dapat digunakan sebagai bioindikator, contohnya invertebrata sungai yang hidupnya menetap selama mingguan sampai tahunan, sehingga dapat menggambarkan kualitas air dan kesehatan ekosistem (Rosenburg & Resh, 1993; Connolly *et al.*, 2008). Berikut dijabarkan pengujian kimia, fisika, dan biologi untuk mengetahui pengaruh kesadahan terhadap biodiversitas makrozoobentos yang akan digunakan sebagai bioindikator dalam mengetahui kualitas air di kawasan karst.

### 1.5.1.2. Uji Kesadahan dalam Senyawa Kompleks

Air dikatakan sadah apabila kandungan logam mineralnya tinggi. Kesadahan menggambarkan ion logam divalen yang bereaksi dengan sabun membentuk endapan atau anion dalam air yang mampu membentuk karat pada peralatan logam (Effendi, 2003). Unsur paling melimpah dalam air sadah adalah kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dan magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Air dan  $\text{CO}_2$  mampu membentuk asam karbonat yang jika bertemu dengan ion kalsium atau magnesium membentuk garam bikarbonat. Garam ini dapat bertransformasi kembali menjadi asam karbonat melalui siklus kesadahan.



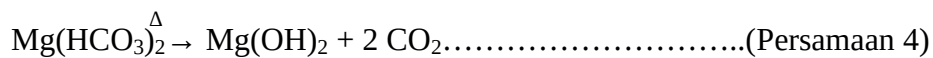
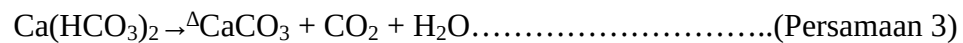
Gambar 1.3 Siklus Kesadahan

Effendi (2003) membagi jenis kesadahan menjadi kesadahan kalsium-magnesium (Ca/Mg) dan kesadahan karbonat-non karbonat. Kesadahan Ca/Mg digunakan sebagai acuan dalam pelunakan kesadahan menggunakan perhitungan berdasarkan nilai ion kalsium dan magnesium yaitu (Cole, 1988; Effendi, 2003):

$$\text{Kadar } \text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = 0,4 \times \text{kesadahan kalsium} \dots\dots\dots (\text{Persamaan 1})$$

$$\text{Kadar } \text{Mg}^{2+} \text{ (mg/l)} = 0,243 \times \text{kesadahan magnesium} \dots\dots (\text{Persamaan 2})$$

Faktor pengali pada penghitungan nilai kesadahan timbul, karena kesadahan tidak murni disebabkan oleh kedua kation tersebut saja, melainkan juga ion lain seperti besi dan mangan. Kasus menyebabkan diperlukannya *masking* dengan menghitung kesadahan karbonat-non karbonat. Pada suhu tinggi, karbonat menyebabkan pengendapan Ca/Mg (Effendi, 2003), ditunjukkan oleh persamaan reaksi sebagai berikut:



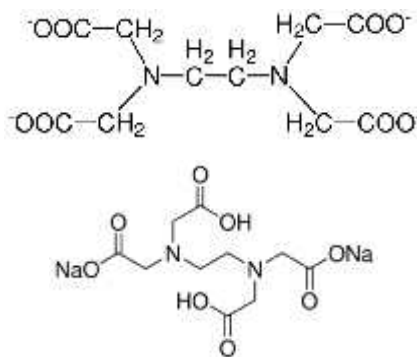
Pengujian kualitas air biasanya dilakukan dalam tiga cara, yaitu analisis gravimetri, volumetri (titrimetri), atau kolorimetri. Analisis gravimetri dilakukan dengan menentukan berat zat, sedangkan analisis volumetri (titrimetri) dilakukan dengan menentukan volume suatu larutan. Kolorimetri dilakukan dengan mengamati warna larutan. Analisis yang berbasis larutan dibagi menjadi berikut berdasarkan jenis reaksinya (Soediromargoso dan Rohman, 2006):

- reaksi asam-basa,
- reaksi redoks (reduksi-oksidasi),
- reaksi presipitasi (argentometri),
- reaksi pembentukan kompleks (kompleksometri).

Kompleksometri adalah analisis yang paling umum dipakai dengan EDTA sebagai ligannya (Sudjadi, 2006). Reaksi pembentukan kompleks harus memiliki nilai kesetimbangan yang besar; semakin besar nilai kesetimbangan maka semakin nyata pula titik ekuivalen titrasi. Ligan EDTA bersifat polidentat, sehingga nilai ekuivalennya nampak jelas. Pada pengujian kesadahan, diperlukan indikator untuk menandai adanya ion bebas. Warna indikator dipengaruhi oleh pH dan sifat pengikatan indikator terhadap ion. Indikator yang umum digunakan dalam pengujian kesadahan adalah *Eriochrome Black T* (EBT) dan *Murexide*.

Pengikatan ion kesadahan harus berada pada  $\text{pH} = 10$ , sebelum dilakukan penambahan indikator. Pengikatan pada  $\text{pH}$  rendah memberikan warna EBT merah, sementara pada  $\text{pH}$  tinggi memberikan warna ungu.

EDTA (*Ethylenediaminetetraacetic Acid*) merupakan senyawa pengompleks dengan rumus  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$ . EDTA juga digunakan dalam bentuk garam natriumnya.  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  merupakan kompleks yang merupakan hasil interaksi antara  $\text{NaOH}$  dan EDTA. Garam ini dibuat karena sifat EDTA yang tidak mudah larut dalam air. EDTA merupakan asam lemah yang jika digabungkan dengan basa kuat ( $\text{NaOH}$ ) akan menjadi garam basa yang dapat larut



Gambar 1.4 Struktur EDTA (atas) dan  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  (bawah)

#### 1.5.1.3. Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air

Kelimpahan makroorganisme menjadi indikator yang mencerminkan kualitas lingkungan. Bioindikator ini dapat digunakan pada tingkat individu, jenis, populasi, dan komunitas (Jamil, 2001; Soeprbowati, 2010). Makroorganisme yang dapat digunakan adalah makrozoobentos karena mobilitasnya yang rendah. Salah satu organisme yang merupakan makrozoobentos adalah invertebrata, yang merupakan komponen penting dalam biota perairan sungai. Kebanyakan diantaranya merupakan spesies pada tahap larva dari serangga akuatik dan terrestrial, namun ada juga invertebrata lain yang

berasal dari takson clitellata, moluska, krustasea, calcarea, dan cnidaria (Connolly *et al.*, 2008). Invertebrata memainkan peranan bagi proses transfer energi dalam jaring makanan (Connolly *et al.*, 2008).

Zonasi perairan umumnya mempengaruhi anatomi dan kondisi fisiologi hewan maupun tumbuhan. Faktor yang mempengaruhi biasanya adalah cahaya, suhu, dan kandungan unsur kimia. Cahaya mempengaruhi pola penglihatan hewan akuatik, pigmen kulit atau cangkang (bagi hewan bercangkang), atau faktor fisiologis hewan. Kandungan unsur kimia mempengaruhi proses osmoregulasi, bioakumulasi, respirasi, dan dehidrasi. Sebagai contoh, penelitian moluska di karst Gunung Kidul oleh Isnaningsih dan Listiawan (2010) menemukan bahwa konsentrasi  $O_2$  dan  $CO_2$  dapat mempengaruhi hidup keong dan kerang terkait dengan sirkulasi dan respirasi. Oleh sebab itu keduanya tidak pernah dijumpai pada aliran air dalam gua (zona afotik). Menurut Beesley (Isnaningsih & Listiawan, 2010),  $CaCO_3$  merupakan bahan penyusun utama cangkang moluska. Oleh sebab itu, kawasan perairan permukaan karst merupakan habitat yang mendukung pembentukan cangkang keong dan kerang yang tebal dan kuat.

Penelitian terkait biota perairan karst di Indonesia masih terbatas pada ikan. Kajian makrozoobentos sebagai makhluk invertebrata belum banyak dilaporkan.

Bentos adalah semua organisme yang hidup pada lumpur, pasir, batu, kerikil, maupun sampah organik baik di dasar laut, danau, kolam, atau sungai. Mereka adalah hewan melata, menetap, menempel, merendah, dan meliang di dasar perairan tersebut (Lind, 1979; Fachrul, 2007). Hutchinson (Fachrul, 2007) menggolongkan bentos berdasarkan ukurannya, yaitu: bentos mikroskopis (mikrobentos) dan makrobentos. Vernberg (Fachrul, 2007) menggolongkan bentos berdasarkan ukuran ke dalam 3 jenis yaitu makrobentos, mesobentos, dan mikrobentos. Makrobentos memiliki ukuran  $>3$  mm, Mesobentos berukuran 1-3 mm, sementara Mikrobentos memiliki ukuran  $<1$  mm. Lee *et al.* (Fachrul, 2007)

membagi bentos berdasarkan toleransinya terhadap pencemar menjadi intoleran (tidak mampu hidup pada kondisi ekstrim), toleran (mampu hidup pada kondisi ekstrim), dan fakultatif (fleksibel).

Rossenberg dan Resh (Rahayu, dkk. 2015) menyebutkan beberapa keuntungan menggunakan makrozoobentos, diantaranya:

- 1) terdapat dimana-mana,
- 2) dipengaruhi berbagai gangguan di semua tipe perairan dan habitat,
- 3) menunjukkan respon terhadap gangguan,
- 4) bersifat menetap, sehingga dapat menilai efek gangguan,
- 5) siklus hidupnya panjang, sehingga mampu mengikuti efek gangguan yang regular maupun *intermitten*,
- 6) kadar yang beragam,
- 7) *sampling* kualitatif dan analisis berkembang dengan baik dan dapat dilakukan secara sederhana serta peralatannya tidak mahal,
- 8) taksonomi sebagian besar kelompok telah diketahui,
- 9) kunci identifikasi telah tersedia,
- 10) metode analisis telah banyak dikembangkan,
- 11) respon spesies terhadap tipe polusi yang berbeda telah diketahui,
- 12) penilaian secara biokimia dan psikologi respon individu terhadap gangguan telah dikembangkan.

Habitat makrozoobentos umumnya di dasar perairan, karena ketersediaan substrat (Veanny, 2015; Pamuji, dkk., 2015). Kandungan bahan organik dalam substrat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kehidupan makrozoobentos. Oleh sebab itu, karakteristik dasar suatu perairan sungai menentukan keberadaan makrozoobentos (Odum, 2013; Pamuji, dkk., 2015). Lebih lanjut Pamuji, dkk (2015) menyebutkan bahwa tekstur substrat yang halus memiliki persentase karbon (C)-Organik lebih tinggi dibandingkan dengan yang kasar. C-Organik berasal dari hasil dekomposisi makhluk hidup baik tumbuhan

maupun hewan yang mati. Kelimpahan C-Organik pada substrat halus dikarenakan homogenisasi dari substrat-substrat sebelumnya.

Pada kasus sungai, kadar bahan organik berasal dari sedimentasi yang terbawa dari hulu ke hilir, maka dari itu, sumber terbesar nutrien yang ada terdapat pada dataran rendah atau muara. Sementara pada substrat yang kasar (misal, daerah hulu dan karst) sedikit sekali bahan organik yang terkandung karena bahan hasil dekomposisi tidak mengendap di sana. Pada kasus sungai karst, Vuckovic *et al.* (2009) menyatakan bahwa faktor fisik (berupa substrat, suhu, cahaya, kecepatan aliran, dan kedalaman) & faktor kimia (berupa alkalinitas, oksigen terlarut, dan pH) di air permukaan mempengaruhi komposisi dan struktur komunitas invertebrata seperti makrozoobentos.

Data hasil sampel makrozoobentos, biasanya dianalisis menggunakan rumus-rumus, umumnya menggunakan indeks keanekaragaman, indeks keseragaman, dan indeks dominasi (Fachrul, 2007). Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (1949; Fachrul, 2007) adalah sebagai berikut:

$$H = -\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i \dots\dots\dots \text{(Persamaan 5)}$$

Keterangan:

$$P_i = \sum n_i / N$$

H = Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener

$P_i$  = Jumlah individu suatu spesies/jumlah total seluruh spesies

$n_i$  = Jumlah individu spesies ke-i

N = Jumlah total individu

Kisaran indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (1949; Fachrul, 2007)

$H < 2,3026$  = Keanekaragaman kecil dan kestabilan komunitas rendah

$2,3026 < H < 6,9078$  = Keanekaragaman sedang dan kestabilan sedang

$H > 6,9078$  = Keanekaragaman tinggi dan kestabilan tinggi



Indeks Keseragaman Shannon-Wiener (Brower *et al.*, 1989):

$$E = \frac{H}{H_m} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 6)}$$

Keterangan:

H= Indeks Keanekaragaman

$H_{maks} = \ln S$

S = Jumlah spesies

E = 0 -1, mendekati 0 = ada dominasi, mendekati 1 = merata

Indeks Dominansi (Odum, 1971; Fachrul, 2007)

$$C = \sum \left( \frac{n_i}{N} \right)^2 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 7)}$$

Keterangan:

C = Indeks Dominansi

$n_i$  = Jumlah individu tiap jenis

N = Jumlah individu seluruh jenis

$C < 0,5$  = tidak ada dominansi

$C > 0,8$  = ada dominansi

### 1.5.2. Penelitian Sebelumnya

Penelitian terkait biodiversitas makrozoobentos kawasan karst di Indonesia masih belum banyak dilaporkan. Penelitian ini lebih banyak dilakukan di luar Indonesia, antara lain oleh: Rada & Puljas (2010), Chesmedjiev *et al.* (2016), Pesic *et al.* (2017), Reid *et al.* (2012), Vuckovic *et al.* (2009), dan Rada & Saintic (2014). Hasil penelitian di ekosistem sungai karst umumnya menemukan komunitas ordo yang sama yaitu *Ostracoda*, *Acarina*, *Moluska*, *Oligochaeta*, *Amphipoda*, *Coleoptera*, *Diptera*, *Trichoptera*, *Plecoptera*, dan *Ephemeroptera*. Semua ordo itu masuk dalam golongan serangga (larvanya), cacing, dan gastropoda. Reid *et al.* (2012) yang mengkaji keberadaan *Odonata* sebagai penentu kualitas air pada mata air karst, sementara Spoljar *et al.* (2012) mengkaji pengaruh keberadaan seston dan briofita

terhadap makrozoobentos. Kajian mereka mencakup interaksi antar organisme dalam sebuah ekosistem melalui jaring makanan. Hasil kajian tersebut mungkin tidak dapat menggambarkan biodiversitas kawasan karst di Indonesia. Indonesia adalah negara tropis yang tentunya kelimpahan organismenya lebih banyak. Oleh sebab itu kajian biodiversitas ekosistem karst untuk negara tropis perlu dilakukan. Kajian makrozoobentos di Indonesia sudah banyak dilakukan pada ekosistem perairan tawar non-karst dan daerah pesisir di mana kandungan bahan organik substratnya lebih banyak.

Penelitian terkait biodiversitas karst Indonesia dilakukan oleh Isnaningsih & Listiawan (2010) dan Marwoto (2007) dari Pusat Penelitian Biologi LIPI sejak tahun 2003, namun hanya mencakup moluska. Penelitian mereka berfokus pada pengkajian moluska di Gunung Kidul. Kajiannya terletak pada variasi kedalaman sungai, jumlah identifikasi, dan lokasi penelitian.

Tabel 1.2 Ringkasan Penelitian Sebelumnya

| <b>Nama Peneliti</b> | <b>Judul</b>                                                                                             | <b>Tujuan</b>                                                                                                                                  | <b>Metode</b>                                                                                                  | <b>Hasil</b>                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rada & Puljas (2010) | <i>Do Karst Rivers “deserve” their own biotic index? A ten years study on macrozoobenthos in Croatia</i> | <i>Menyajikan data mengenai komposisi komunitas dan keanekaragaman makroinvertebrata serta perbedaannya dari tiap titik sungai</i>             | <i>Metode penelitian yang digunakan adalah Eksploratif, sementara metode sampling yaitu purposive sampling</i> | <i>Indeks baru yaitu Illiric Biotic Index</i>                                                                                                                                                                                                                                           |
| Rada & Santic (2014) | <i>Community Structure of Aquatic Insects in The Karstic Jadro River in Croatia</i>                      | <i>Menentukan distribusi, kelimpahan, dan kekayaan spesies dalam komunitas serangga karst</i><br><br><i>Investigasi biodiversitas serangga</i> | <i>Metode penelitian yang digunakan adalah Eksploratif dan sampling penelitian adalah purposive sampling</i>   | <i>Ditemukan famili: Ephemeroptera, Plecoptera, Odonata, Trichoptera, Coleoptera, dan Diptera. Diptera merupakan famili dominan yang tahan terhadap limbah aktivitas manusia, terdapat di hilir</i><br><br><i>Faktor fisiko-kimia mempengaruhi komunitas serangga, pada daerah hulu</i> |

|                          |                                                                                                |                                                                                                                                                                                                |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |                                                                                                |                                                                                                                                                                                                |                                                 | faktor yang paling mempengaruhi adalah suhu dan oksigen terlarut, sementara hilir dipengaruhi oleh kadar klorida                                                                                                                                                |
| Chesmedjiev et al.(2016) | <i>Ecological Characteristics of The Main River Catchments in Vrachanska Planina Mountains</i> | Menghadirkan data aktual tentang kondisi ekologi dalam ekosistem sungai yang dinilai menggunakan indikator biologi dan kimia<br><br>Mengidentifikasi kondisi biologis di sungai yang berkapur. | Penelitian Deskriptif dengan Purposive sampling | Secara kimiawi hasil pencemaran berasal dari limbah organik manusia<br><br>Fitobentos didominasi oleh Polysprobes, $\beta$ -Mesosaprobes, dan Oligosaprobes. Makrozoobentos didominasi oleh kelompok Amfipoda. Sungai masih dalam kondisi baik secara ekologis. |
| Pesic et al. (2017)      | <i>Ecological Patterns of Odonata Assemblages in Karst Springs in Central Montenegro</i>       | Menentukan lokasi berkumpulnya Odonata di habitat mata air Montenegro<br><br>Mengevaluasi pola                                                                                                 | Penelitian Deskriptif dengan Purposive Sampling | Pola persebaran Odonata adalah mengelompok (cluster)<br><br>Secara umum faktor yang mempengaruhi persebaran Odonata adalah aktivitas                                                                                                                            |

|                    |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                         |                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    |                                                                                                                                                                                          | <i>yang mempengaruhi persebaran Odonata</i>                                                             |                                                        | <i>manusia, dan ketinggian landscape serta jenis air juga mempengaruhi pola persebaran</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Reid et al. (2012) | <i>Water Quality and Benthic Macroinvertebrate Communities in Karst Landscape of North Island, New Zealand: Influences of Water Sources, Habitat Type and Anthropogenic Disturbances</i> | <i>Menkaji pengaruh sumber air, tipe habitat, penggunaan lahan, dan biodiversitas makroinvertebrata</i> | <i>Penelitian Deskriptif dengan Purposive Sampling</i> | <p><i>Konduktivitas, alkalinitas, dan pH berbeda pada tiap habitat, juga memiliki pengaruh terhadap sebaran makrozoobentos</i></p> <p><i>Amfipoda, Ostracoda, Moluska, Diptera, dan Ephemeroptera merupakan komunitas paling dominan</i></p> <p><i>Dominansi Moluska disebabkan oleh banyak kandungan NO<sub>x</sub></i></p> <p><i>Land use tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap komunitas invertebrata</i></p> <p><i>Ekosistem gua tidak nampak pengaruh yang signifikan</i></p> |

|                                |                                                                                                                                                            |                                                                                                            |                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |                                                                                                                                                            |                                                                                                            |                                                       | <i>daripada ekosistem atas</i>                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Vuckovic et al. (2009)         | <i>Composition and Structure of Benthic Macroinvertebrate Communitites in The Mediterranean Karst River The Cetina and Its Tributary The Ruda, Croatia</i> | <i>Menginvestigasi komposisi dan struktur komunitas makroinvertebrata sepanjang sungai Cetina dan Ruda</i> | <i>Penelitian Deskrptif dengan Purposive Sampling</i> | <p><i>Kadar oksigen terlarut tidak memiliki perbedaan yang signifikan antara lokasi hulu dan hilir</i></p> <p><i>Komunitias makroinvertebrata yang paling dominan adalah dari Amfipoda dan Gastropoda</i></p>                                                                                    |
| Isnaningsih & Listiawan (2010) | <i>Keong &amp; Kerang dari Sungai-sungai di Kawasan Karst Gunung Kidul</i>                                                                                 | <i>Mengungkap keragaman jenis keong &amp; kerang</i>                                                       | <i>Survey; Purposive</i>                              | <p><i>Moluska memiliki daya tahan hidup tinggi pada berbagai ekosistem. Kawasan karst merupakan habitat yang cocok untuk keong dan kerang</i></p> <p><i>Terdapat hubungan linier antara konsentrasi kalsium dengan besar cangkang</i></p> <p><i>Bivalvia jarang dijumpai di Gunung Kidul</i></p> |

|                              |                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                               |                          |                                                                  |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Marwoto (2007)               | <i>A Note On The Distribution and Habitat Preference of Cyclotus longipilus Von Martens 1865 from The Maros Karst Area of South Sulawesi (Gastropoda: Cyclophoridae)</i> | <i>Mengkaji habitat yang disukai oleh Cyclotus longipilus</i>                                                                                                                                                 | <i>Survey; Purposive</i> | <i>Habitat yang sukai adalah hutan sekunder pada tanah kapur</i> |
| Ilyas Ayub<br>Ariseno (2018) | <i>Pengaruh Kesadahan Terhadap Biodiversitas Makrozoobentos di Sungai Maron Kabupaten Pacitan</i>                                                                        | <i>Menganalisis sebaran nilai kesadahan total, kalsium, dan magnesium</i><br><br><i>Mengetahui sebaran indeks makrozoobentos</i><br><br><i>Menganalisis hubungan kesadahan terhadap indeks makrozoobentos</i> | <i>Survey; Purposive</i> |                                                                  |

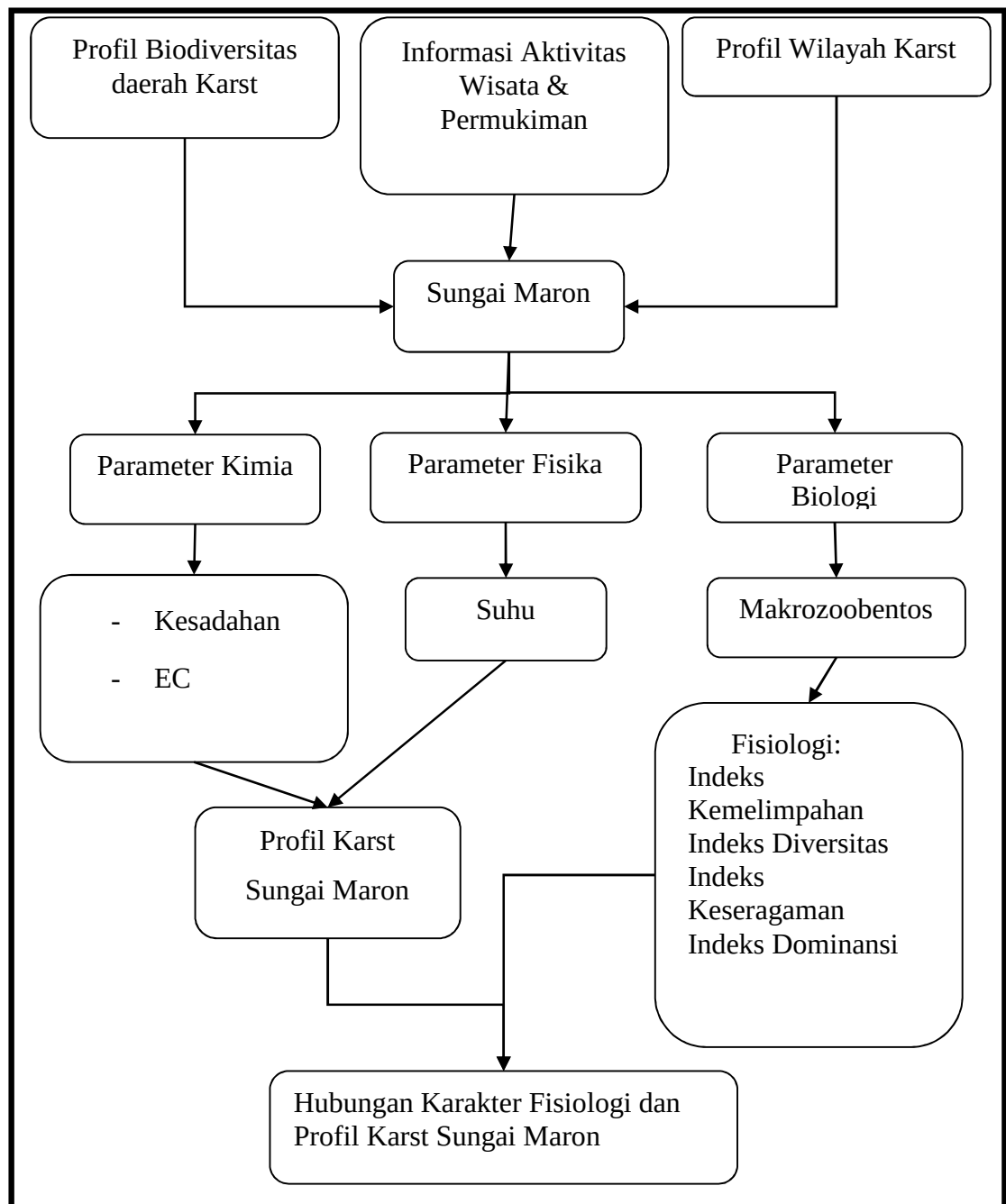
### 1.6. Kerangka Pemikiran

Aliran air di karst umumnya terdapat 2 jenis berdasarkan letak alirannya yaitu, dolin (cekungan) dan bawah tanah. Aliran permukaan biasanya mengalir ke bawah tanah melalui rekahan. Oleh sebab itu, jarang ditemui aliran permukaan atau sungai di atas lahan karst. Aliran yang masuk ke sistem bawah tanah akan terakumulasi menjadi aliran besar atau sungai bawah tanah. Sungai ini akan menjadi sumber air bersih bagi masyarakat sekitar.

Salah satu sungai yang alirannya ada di permukaan adalah Sungai Maron. Sungai Maron merupakan kawasan wisata susur sungai yang dikelola oleh pemerintah Kabupaten Pacitan. Kawasan ini ramai pengunjung dan aktivitas sehari-hari masyarakat. Aktivitas pariwisata dan permukiman dapat menimbulkan pencemaran sungai. Guna mengetahui kualitas lingkungan perairan salah satunya menggunakan indikator makrozoobentos. Penelitian juga menggunakan parameter fisik dan kimia guna memberikan gambaran kondisi kualitas air secara umum.

Kajian perairan karst secara kimiawi identik dengan kesadahan dan EC (Elektrokonduktivitas) karena parameter ini biasanya menunjukkan kadar logam (terutama Ca (Kalsium) dan Mg (Magnesium)). Secara fisik air umumnya digambarkan dalam suhu dan warna sebagai indikator awal kualitas perairan. Secara biologi umumnya diindikasikan dari mikroorganisme dan atau makroorganisme, dalam penelitian ini digunakan makroorganisme bentik (makrozoobentos) sebagai indikator untuk menentukan kondisi perairan. Makrozoobentos yang ditemukan di daerah karst tentu sedikit berbeda daripada daerah non-karst, terutama pada kemampuannya untuk bertahan di kondisi air yang berkesadahan tinggi. Oleh sebab itu, diperlukan kajian pengaruh kesadahan terhadap makrozoobentos.





Gambar 1.5 Diagram Alir Kerangka Pemikiran

## 1.7. Batasan Operasional

### Ekosistem Perairan Tawar

Ekosistem perairan tawar dibagi ke dalam beberapa bidang, berdasarkan rantai makanannya, berdasarkan letak hidupnya, dan berdasarkan zonanya (Odum, 1971).

### Indeks Biotik

Indeks biotik merupakan suatu perhitungan untuk mengetahui kondisi suatu komunitas organisme. Indeks biotik umumnya terdiri dari Indeks Biodiversitas Shannon-Wiener ( $H'$ ), Indeks *Evenness* (Kemerataan), dan Indeks Dominansi (D).

### Indeks Dominansi (D)

Indeks D digunakan untuk mengetahui organisme yang paling dominan dalam suatu ekosistem.

### Indeks *Evenness* (Kemerataan (E))

Indeks E digunakan untuk mengetahui pola komunitas organisme, ditinjau dari merata tidaknya suatu komunitas organisme.

### Indeks Biodiversitas ( $H'$ )

Indeks  $H'$  digunakan untuk mengetahui kestabilan organisme. Indeks ini biasanya juga dapat digunakan untuk mengetahui kualitas lingkungan perairan.

### Ion $\text{Ca}^{2+}$ (Kalsium Divalen)

Ion  $\text{Ca}^{2+}$  merupakan metode untuk mengetahui kadar murni ion kalsium divalent. Ion  $\text{Ca}^{2+}$  didapatkan dari hasil kali Kesadahan Ca dengan 0.40 sma (massa atom).

### Ion $\text{Mg}^{2+}$ (Magnesium Divalen)

Ion  $\text{Mg}^{2+}$  merupakan metode untuk mengetahui kadar murni ion kalsium divalent. Ion  $\text{Mg}^{2+}$  didapatkan dari hasil kali Kesadahan Mg dengan 0.243 sma (massa atom).

## **Karst**

Suatu bentukan lahan solusional, terbentuk dari pelarutan bahan kapur yang berasal pengendapan organisme karang yang terangkat akibat gaya endogen.

## **Kesadahan**

Kesadahan merupakan gambaran kation logam divalen, kation-kation ini bereaksi dengan sabun membentuk endapan maupun anion-anion yang terdapat air dan membentuk karat pada peralatan logam (Effendi, 2003).

### **Kesadahan Ca (Kalsium)**

Kesadahan Ca merupakan salah satu metode pengukuran kesadahan yang berfokus unsur Ca (Kalsium)

### **Kesadahan Mg (Kalsium)**

Kesadahan Mg merupakan salah satu metode pengukuran kesadahan yang berfokus unsur Mg (Kalsium)

### **Kesadahan Sementara**

Kesadahan sementara yaitu kesadahan yang disebabkan adanya ion bikarbonat seperti:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  dan  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ .

### **Kesadahan Total**

Kesadahan total adalah metode pengukuran dalam kesadahan yang mencakup Ca (Kalsium) dan Mg (Magnesium)

## **Kualitas Air**

Sifat air dan kandungan makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain di dalam air. Kualitas air dinyatakan dalam 3 parameter yaitu fisik, kimia, dan biologi (PP RI No.20 Tahun 1990; Effendi, 2003).

## **Makrozoobentos**

Makrozoobentos merupakan organisme berukuran makro yang menghuni dasar perairan.

## **Sungai**

Sungai merupakan suatu aliran air yang besar, dibatasi oleh morfologi, dan mengalir dari hulu ke hilir.