

4. PEMBAHASAN

4.1. Pencemaran ASGM dan Kontaminasi Ikan

ASGM (*Artisanal and Small-scale Gold Mining*) adalah kegiatan penambangan emas yang dilakukan oleh penambang perorangan atau usaha kecil dengan penanaman modal produksi yang terbatas (WHO, 2016). ASGM banyak tersebar di wilayah Asia, Afrika, dan Amerika Selatan (Esdaile, 2018). Pada umumnya, situs ASGM bersifat illegal, berlokasi di wilayah pedesaan, dan melibatkan ratusan hingga ribuan penambang di tiap daerah (Reichert-brushett et al., 2016). Aktivitas ASGM sudah ada sejak ratusan tahun yang lalu dan berkembang hingga saat ini. Bukan hanya situs lama yang berkembang, tetapi muncul beberapa situs baru yang belum lama beroperasi. Hal ini menunjukkan adanya perkembangan ASGM di Indonesia maupun dunia. Bahkan di beberapa tempat, ASGM menjadi aktivitas ekonomi utama dan sumber pendapatan primer.

Ditemukan bahwa semua situs ASGM pada *review* ini bersifat illegal sehingga tidak ada regulasi, pengawasan, dan kontrol terhadap penggunaan merkuri dari segi jumlah merkuri dan metode yang digunakan. Hal ini berakibat pada penggunaan merkuri yang tidak terkontrol dan penggunaan metode yang membahayakan lingkungan. Sumber kontaminasi utama ASGM berasal dari pembuangan *tailing* dan emisi gas merkuri pada saat pembakaran amalgam (Chen, 2012). Oleh karena itu, jenis metode yang diterapkan pada 2 sumber kontaminasi tersebut akan berpengaruh besar terhadap pencemaran lingkungan.

Hasil menunjukkan bahwa dalam proses *amalgamation*, metode yang umum digunakan adalah WOA (*Whole Ore Amalgamation*), dimana Hg elemental ditambahkan dalam *steel mill grinder* atau penggiling yang disebut dengan *trommels* (Reichert-Brushett et al., 2016; Kambey et al., 2001). Dalam metode ini, merkuri dicampurkan dengan bijih tanpa dikonsentrasikan terlebih dahulu. Metode CA (*concentrate amalgamation*) jarang ditemukan dan hanya dilaporkan pada situs di Galangan, Kalimantan Tengah (Castillhos et al., 2006) dan Suriname (Mol, 2001). Berbeda dengan metode WOA, metode CA mengonsentrasikan bijih emas terlebih dahulu. Metode *amalgamation* berpengaruh pada konsentrasi merkuri di

dalam *tailing*. Metode WOA yang umum digunakan mengakibatkan kontaminasi yang lebih besar terhadap lingkungan karena tidak melalui tahap mengonsentrasikan bijih, sehingga jumlah merkuri yang digunakan lebih besar (IGF, 2018). Menurut Patricio, (2010) metode WOA menyisakan 29,5% dari total merkuri di dalam *tailing*, sedangkan metode CA hanya menyisakan 1,4%

Di samping penggunaan metode WOA, beberapa situs ditemukan menerapkan metode sianidasi (*cyanide leaching*) pada *tailing* sisa *amalgamation* yang menandung merkuri (Castillhos *et al.*, 2016). Metode sianidasi apabila digunakan sebagai pengganti metode *amalgamation* terbukti lebih efektif dalam mengekstraksi emas. Drace *et al.*, (2016) menemukan bahwa metode *amalgamation* menggunakan merkuri dan hanya mengekstraksi emas sebanyak 30%, sedangkan metode sianidasi bisa mengekstraksi emas hingga 90% (Drace *et al.*, 2016). Akan tetapi, beberapa situs yang menggunakan teknik sianidasi, menggunakannya pada *tailing* sisa *amalgamation*. Praktik ini lebih membahayakan lingkungan. Penggunaan sianidasi pada *tailing* berkontribusi dalam peningkatan *bioavailability* merkuri dalam lingkungan akuatik (Castillhos *et al.*, 2006). Menurut Drace *et al.*, (2016), peningkatan bahaya dari penggunaan kedua metode disebabkan oleh meningkatkan potensi mobilisasi merkuri dalam *tailing* serta meningkatkan kemungkinan terbentuknya kompleks merkuri sianida.

Pada tahap pembakaran amalgam, situs ASGM menggunakan metode pembakaran dengan *open burning* pada panci/wajan terbuka dan tidak menggunakan *retort* (Mol, 2001; Reichelt-Brushett *et al.*, 2016). Metode *open burning* mengakibatkan paparan merkuri yang lebih tinggi terhadap penambang dan lingkungan sekitar karena dilakukan langsung di lingkungan terbuka (Morin *et al.*, 2014).

Pembuangan *tailing* juga menjadi kunci dalam pencemaran ASGM. Setelah proses ekstraksi emas, ditemukan bahwa *tailing amalgamation* dan atau sianidasi di semua situs dibuang langsung ke lingkungan (sungai) tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu. *Tailing* tersebut mengandung *droplet* merkuri yang terdispersi dan ketika masuk dalam lingkungan akuatik dapat terbawa mengalir ke lautan hingga jarak

ratusan kilometer dari situs ASGM, mengalami transformasi, hingga terakumulasi dalam rantai makanan, termasuk dalam ikan air laut (Esdaile, 2018).

Merkuri dapat berpindah melalui media di lingkungan, termasuk dalam sedimen dan air dan mengalami berbagai transformasi yang kompleks. Kontaminasi merkuri pada sedimen dan kolom air mengindikasikan tingkat kontaminasi dari lingkungan akuatik (UNEP, 2008). Hal ini terlihat dalam data berbagai penelitian yang menunjukkan konsentrasi merkuri dalam lingkungan akuatik yang terpengaruh ASGM, baik dalam sedimen (Tabel 4.) dan kolom air (Tabel 5.).

Mayoritas penelitian terhadap konsentrasi merkuri di lingkungan akuatik menunjukkan angka yang memprihatinkan. Dalam sedimen (Tabel 4.) dapat dilihat bahwa konsentrasi merkuri (THg) di mayoritas situs berada jauh di atas batas aman yang ditetapkan oleh NOAA, baik di lingkungan air tawar maupun laut. Konsentrasi tertinggi di Estuari Sungai Wamsait, Pulau Buru mencapai lebih dari 100 kali lipat di atas batas aman, yaitu $24,7 \mu\text{g/g dw}$. Sedimen merepresentasikan komponen yang penting dari ekosistem akuatik karena merupakan sumber makanan bagi organisme akuatik *benthic* (Nartey *et al.*, 2011). Dalam lingkungan akuatik, merkuri dapat teradsorpsi dalam partikel sedimen dan mengalami akumulasi. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen di perairan terdampak ASGM memiliki kemungkinan toksisitas dan potensi yang tinggi dalam mengakibatkan bahaya pengaruh biologis terhadap organisme akuatik, terutama terhadap organisme *benthic*.

Hal yang sama ditemukan dalam sampel kolom air, penelitian Mallongi *et al.*, (2015) di sekitar ASGM desa Buladu, Gorontalo Utara berada jauh di atas batas aman US EPA yaitu $2 \mu\text{g/L}$. Ditemukan konsentrasi yang sangat tinggi mencapai lebih dari 50 kali lipat batas aman di Sungai Buladu ($116,25 \mu\text{g/L}$). Bahkan cemaran tersebut masih terlihat di dalam kolom air Laut Sulawesi ($9,28 \mu\text{g/L}$). Meskipun lebih rendah dibandingkan dengan air tawar, angka tersebut melebihi batas aman US EPA, sehingga berpotensi untuk membahayakan organisme lautan yang ada di dalamnya. Dengan adanya keberadaan aktivitas antropogenik ASGM, tingkat

cemaran pada lingkungan akuatik menjadi lebih tinggi (Gworek *et al.*, 2016). Hal ini didemonstrasikan oleh Mallongi *et al.*, (2015) yang menemukan konsentrasi merkuri lebih tinggi pada sedimen dan air yang berada di jalur sungai yang terpengaruh ASGM, dibandingkan dengan yang tidak.

Konsentrasi THg dalam sedimen yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kolom air dapat disebabkan oleh aliran lambat partikel sedimen yang mengandung Hg sehingga Hg cenderung tetap mengendap dan terakumulasi dalam jumlah yang besar di bagian dasar sedimen. Sehingga, Hg dalam sedimen tidak mudah untuk berpindah kembali dalam air karena terakumulasinya tekstur tanah liat yang lebih berat (Mallongi *et al.*, 2015)

Konsentrasi merkuri dalam sedimen dapat dipengaruhi kondisi geografis. Limbong *et al.*, (2005) menemukan konsentrasi merkuri dalam sedimen yang cukup tinggi di mulut sungai Totok ($40,64 \mu\text{g/g dw}$) yang dipengaruhi topografi area Ratotok yang berupa bukit curam sehingga arus sungai menjadi deras. Hal ini menyebabkan sedimen yang terkontaminasi merkuri terdorong dan terkonsentrasi di bagian mulut sungai. Arifin *et al.*, (2015) juga menemukan bahwa konsentrasi merkuri dalam sedimen dapat dipengaruhi oleh adanya percabangan sungai. Masuknya air dan sedimen dari cabang sungai lain yang tidak terkontaminasi dapat mengakibatkan pengenceran dan pencampuran sehingga konsentrasi merkuri dalam sedimen menjadi lebih rendah. Sedimen yang terakumulasi dalam mulut sungai akan teragitasi oleh ombak laut dan arus dari sungai sehingga mengalami dispersi secara horizontal dan vertical ke bagian bawah sedimen (Limbong *et al.*, 2005).

Selain kondisi geografis, beberapa penelitian juga menemukan pengaruh jarak dengan situs ASGM terhadap konsentrasi merkuri dalam sedimen, dimana konsentrasi THg dalam sedimen semakin rendah seiring dengan bertambahnya jarak dari lokasi ASGM (Arifin *et al.*, 2015; Cabuga *et al.*, 2020; Niane *et al.*, 2019). Hal yang sama ditemukan pada sampel kolom air, semakin dekat dengan lokasi ASGM maka konsentrasi pada sampel kolom air akan semakin tinggi (Mallongi *et al.*, 2015; Limbong *et al.*, 2005).

Musim juga menjadi faktor yang dapat mempengaruhi konsentrasi merkuri dalam sedimen dan juga air. Mallongi *et al.*, (2015) menemukan bahwa konsentrasi merkuri dalam sedimen dan air pada musim kemarau lebih tinggi dibandingkan dengan musim hujan, hal ini disebabkan adanya penguapan air lingkungan akuatik pada musim kemarau yang menyebabkan merkuri lebih terkonsentrasi. Hasil ini sesuai dengan penelitian Nartey *et al.*, (2011) pada sedimen di Ghana. Menurut Nartey *et al.*, (2011), menguapnya air permukaan (*surface water*) pada musim kemarau dapat mengakibatkan peningkatan konsentrasi merkuri pada sedimen dan kolom air. Selain itu, selama musim panas, pencampuran sungai sangat jarang terjadi. Hal ini mencegah merkuri pada lapisan bawah dari sedimen untuk naik ke permukaan dan teruapkan.

Selain THg, studi menemukan bahwa ditemukan konsentrasi merkuri organik MeHg dalam sedimen yang terpengaruh ASGM (Reichelt-Brushett *et al.*, 2015; Lasut *et al.*, 2009). Merkuri organik dalam sedimen merupakan hasil metilasi oleh bakteri pereduksi sulfat, dimana dalam kondisi yang tepat, bakteri tersebut dapat mengubah bentuk merkuri elemental menjadi bentuk organik metil merkuri yang bersifat sangat toksik. Adanya aktivitas ASGM tentu akan meningkatkan laju metilasi terutama karena keberadaan merkuri anorganik yang lebih tinggi (Rodrigues *et al.*, 2019). Beberapa faktor yang ditemukan dapat meningkatkan laju metilasi merkuri adalah suhu air yang tinggi, pH rendah, kondisi anaerobik, dan konsentrasi karbon organik terlarut (MacFarlane, 2004)

Niane *et al.*, (2019) menemukan bahwa konsentrasi MeHg justru semakin tinggi pada sedimen di bagian hilir. Hal tersebut mengindikasikan produksi MeHg yang lebih besar di bagian hilir. Di sekitar situs ASGM kondisi geokimia dari tanah dan sedimen serta *availability* dari Hg kurang optimal untuk organisme metilasi. Sedangkan di daerah hilir, partikel-partikel yang mengandung Hg kemungkinan mengendap di area aliran non-turbulen dan bergabung dalam sedimen bertingkat, di mana kondisi kimia ideal untuk metilasi dengan bantuan mikroorganisme.

Metilmerkuri yang terbetuk dalam sedimen dapat terdifusi ke dalam air, kemudian masuk ke dalam ikan dan organisme akuatik lainnya (dengan terserap secara langsung dari air maupun melalui rantai makanan), serta terakumulasi di dalam jaringan. Berbagai penelitian yang dilakukan untuk mengukur konsentrasi MeHg mendapatkan hampir seluruh konsentrasi merkuri (82-96%) dalam sampel ikan berada dalam bentuk MeHg (Lasut *et al.*, 2008; Frías-Espericueta *et al.*, 2019; Ruelas-Inzunza *et al.*, 2017). Metilmerkuri mudah sekali diserap dalam saluran gastrointestinal dengan perkiraan absorpsi 90-100%. Metilmerkuri bersifat agak lipofilik sehingga dapat menembus membran sel lipid dan memfasilitasi distribusinya ke berbagai jaringan, dan dapat diikat oleh protein. Dalam jaringan otot ikan, metilmerkuri akan mengikat asam amino (Gad, 2005). Karena sifat metilmerkuri yang mudah diserap atau dicerna oleh organisme dan mengalami bioakumulasi, maka kadar merkuri dalam jaringan ikan umumnya lebih tinggi dari konsentrasi merkuri yang ditemukan di lingkungan akuatik (MacFarlane, 2004).

Semakin besar tingkat kontaminasi merkuri terhadap lingkungan akuatik, maka keterpaparan biota laut terhadap merkuri akan semakin tinggi. Tingkat kontaminasi merkuri pada ikan akan konsisten dengan konsentrasi merkuri dari lingkungan akuatik yang menjadi habitatnya. Hal ini ditunjukkan oleh penelitian Mallongi *et al.*, (2015) yang mengukur konsentrasi merkuri dalam ikan air laut dan kolom air dari berbagai 3 stasiun pengambilan sampel di Laut Sulawesi (Gambar 8).

Data konsentrasi merkuri dalam ikan air laut yang terdampak ASGM di berbagai wilayah dan negara (Tabel 8 dan 9) menunjukkan kisaran konsentrasi yang cukup luas (0,005 – 8,25 $\mu\text{g/g ww}$). Konsentrasi dalam ikan air laut yang melebihi batas aman WHO ditemukan di semua wilayah dan di mayoritas negara. Hanya data di Filipina dan Senegal yang menunjukkan konsentrasi merkuri dengan kisaran di bawah batas aman. Beberapa konsentrasi merkuri tertinggi ditemukan di spesies ikan hiu (*Sphyrna zygaena*) (8,25 $\mu\text{g/g ww}$), *Crevalle Jack* (*Caranx hippos*) (2,43 $\mu\text{g/g ww}$), Tuna (*Thunnus sp.*) (1,9 $\mu\text{g/g ww}$). Di Indonesia, konsentrasi merkuri pada ikan air laut sangat bervariasi, berkisar dari 0,0006-1,9 $\mu\text{g/g ww}$. Akan tetapi, hampir semua provinsi mendapatkan konsentrasi merkuri dalam ikan yang jauh

melebihi batas aman menunjukkan masalah keamanan pangan yang timbul dari cemaran merkuri ASGM di ikan air laut.

Konsentrasi merkuri dalam ikan air laut adalah proses yang kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Selain tingkat kontaminasi merkuri dari lingkungan akuatik sekitar, Beberapa penelitian dalam *review* ini membahas berbagai faktor internal yang berasal dari ikan itu sendiri. Menurut Moiseenko & Gashinka *et al.*, (2020) akumulasi merkuri dalam ikan bersifat *fish-species specific* sehingga konsentrasi merkuri dalam ikan sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Beberapa faktor yang dibahas dalam berbagai penelitian yang di-*review* meliputi jaringan, ukuran, umur, berat, *feeding habits*/jenis makanan, dan tingkat trofik.

Beberapa penelitian menemukan konsentrasi Hg yang lebih tinggi pada jaringan hati dibandingkan dengan otot (Ruelas-Inzunza *et al.*, 2017; Diop & Amara, 2016). Hal ini sesuai dengan penelitian oleh Moiseenko & Gashinka *et al.*, (2020) yang mengukur konsentrasi Hg pada berbagai jaringan ikan dan secara keseluruhan menemukan kemampuan akumulasi Hg berdasarkan jaringan sebagai berikut: hati>otot>ginjal>insang dengan akumulasi Hg yang secara signifikan lebih tinggi terdapat pada organ hati ikan predator. Menurut Ruelas Inzunza *et al.*, (2017), tingginya konsentrasi Hg di dalam hati dapat disebabkan oleh peran dan fungsi organ tersebut. Hati mengandung protein Metallothionein yang berperan dalam penyimpanan, detoksifikasi, dan transformasi elemen polutan, sehingga menjadi organ target dari Hg. Metallothionein mengandung gugus amino, nitrogen, dan sulfur dan berperan penting dalam regulasi serta detoksifikasi Hg. Fungsi detoksifikasi dari organ hati dapat mengindikasikan kontaminasi yang baru saja terjadi, sedangkan akumulasi dalam otot lebih menunjukkan adanya akumulasi jangka Panjang (Rodrigues *et al.*, 2019).

Feeding habits/jenis makanan dan tingkat trofik dari ikan juga ditemukan berpengaruh terhadap konsentrasi merkuri dalam ikan. Menurut Hosseini *et al.*, (2013) *feeding habits* memiliki peran yang signifikan terhadap akumulasi polutan

dalam jaringan organisme (Hosseini *et al.*, 2013). Olivero Verbel *et al.*, (2009) dan Hacon *et al.*, (2020) menemukan konsentrasi merkuri tertinggi ke rendah dalam ikan air laut berdasarkan *feeding habits* sebagai berikut: karnivora, omnivora, herbivora, dan detritivor. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Gworek *et al.*, (2016) bahwa merkuri, terutama metilmerkuri cenderung lebih tinggi pada organisme yang berada pada tingkat trofik yang lebih tinggi. Chen *et al.*, (2012) juga mengemukakan bahwa semakin tinggi tingkat trofik organisme dalam rantai makanan, semakin tinggi tingkat kontaminasi metil-merkuri (MeHg). Pada ikan pemangsa (predator) seperti Tuna, kandungan metil-merkuri dapat mencapai 10-100 juta kali lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi metilmerkuri pada permukaan air laut yang mengelilinginya (Hosseini *et al.*, 2013).

Tingginya konsentrasi merkuri pada ikan predator dapat dilihat pada Tabel 10. Konsentrasi maksimum yang sangat tinggi (mencapai 8,25 $\mu\text{g/g ww}$) ditemukan pada ikan Hiu (*Sphyrna zygaena*) di Teluk Kalifornia, Meksiko (Garcia-Hernandez *et al.*, 2007). Spesies ikan hiu lainnya di Meksiko juga ditemukan memiliki konsentrasi merkuri di atas batas aman WHO. Menurut Garcia Hernandez *et al.*, (2007), Ikan yang berada di puncak rantai makanan mengalami bioakumulasi dan biomagnifikasi merkuri yang lebih tinggi dibandingkan ikan-ikan non-predator. Hiu termasuk dalam ikan predator yang ganas, diet mereka terutama berasal dari ikan hiu lainnya, ikan pari, cumi-cumi, bivalvia, burung-burung, kura-kura, mamalia laut, dan berbagai bangkai binatang. Kedua karakteristik tersebut dapat berkontribusi dalam konsentrasi Hg yang jauh lebih tinggi pada ikan predator hiu, dibandingkan dengan predator lainnya.

Sudah dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa jaringan yang memiliki tingkat konsentrasi paling tinggi ditemukan dalam jaringan hati ikan. Selain itu, ditemukan juga bahwa akumulasi merkuri tertinggi ditemukan pada spesies ikan predator. Meskipun ikan predator cenderung mengakumulasi merkuri dalam konsentrasi yang tinggi, umumnya ikan predator seperti hiu, tuna, dan makarel dimanfaatkan untuk konsumsi manusia pada bagian daging ikan (jaringan otot), dengan membuang bagian hati. Sehingga sangat rendah potensi paparan merkuri yang

tinggi dari jaringan hati. Di sisi lain, ikan berukuran kecil yang biasanya dikonsumsi jaringan hatinya memang mengakumulasi merkuri lebih tinggi dibandingkan dengan jaringan otot, akan tetapi tidak mencapai konsentrasi merkuri yang melebihi batas aman WHO. Hal ini dapat pada Tabel 11. bahwa konsentrasi merkuri dalam hati spesies ikan ukuran kecil (seperti *Round Sardinella*, *Mullet*, *Tilapia*, dan *Sole*) masih berada jauh dibawah ambang batas aman (0,023-0,08 $\mu\text{g/g ww}$) sehingga berdasarkan data yang didapatkan konsumsi hati pada spesies ikan yang berukuran kecil juga memiliki potensi yang kecil dalam menimbulkan masalah kesehatan jangka panjang dari keracunan merkuri.

Umur dan kandungan lemak juga ditemukan dapat mempengaruhi tingkat cemaran merkuri dalam ikan. Dalam penelitian Rios *et al.*, (2018) ditemukan bahwa konsentrasi tertinggi ada pada jenis ikan air laut *Crevalle Jack* (*Caranx hippos*) sebesar 2,43 $\mu\text{g/g ww}$ dan *Atlantic Tarpon* (*Megalops atlanticus*) sebesar 0,93 $\mu\text{g/g ww}$. Menurut Rios *et al.*, (2018) Tingginya Hg pada kedua spesies dapat disebabkan oleh jangka waktu akumulasi merkuri yang lebih lama dan tingginya lemak intramuskular, yang cenderung lebih banyak mengakumulasi Hg. Selain itu, kedua spesies tersebut memiliki ciri-ciri ukuran yang besar, berumur panjang, cenderung bermigrasi, dan memiliki distribusi yang luas di Teluk Uraba yang memungkinkan paparan Hg yang lebih luas dan bioakumulasi dan biomagnifikasi yang lebih besar (Rios *et al.*, 2018).

Di sisi lain, Reichelt-Brushett *et al.*, (2017) menemukan bahwa pada ikan dengan ukuran paling besar, yaitu *Blacktip Grouper* (*Epinephelus fasciatus*) memiliki konsentrasi THg yang lebih rendah dibandingkan beberapa spesies ikan lain yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan pada serapan THg dari ikan dengan golongan spesies dan umur yang berbeda, yang kemungkinan disebabkan oleh perbedaan diet, perilaku, dan metabolisme serta menunjukkan bahwa konsentrasi merkuri tidak bisa diindikasikan dengan mempertimbangkan hanya satu faktor yang mempengaruhi potensi kontaminasi THg dalam ikan. Variabilitas dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berhubungan dengan metabolisme dan lingkungan ikan (Ruelas Inzunza *et al.*, 2017).

Data dari beberapa penelitian melakukan pengukuran merkuri terhadap ikan yang bernilai tinggi secara komersial (Tabel 12.). Ikan yang bernilai tinggi secara komersial memiliki hasil tangkapan dan nilai ekonomi yang tinggi, bahkan menjadi komoditas perdagangan internasional yang ekstensif (FAO, 2020). Data hasil penelitian menunjukkan bahwa semua sampel memiliki konsentrasi merkuri yang terukur dan jenis ikan *Mackerel* dan Tuna yang terdampak ASGM memiliki rata-rata konsentrasi diatas batas rekomendasi WHO sehingga tidak aman untuk dikonsumsi. Hal ini sesuai dengan data dari FDA, (2012) dimana spesies ikan yang berukuran panjang dan berada pada tingkatan atas dalam jarring makanan seperti Tuna dan Mackerel akan memiliki konsentrasi merkuri yang lebih tinggi dari ikan lain. Hal ini memprihatinkan mengingat bahwa jenis-jenis ikan tersebut memiliki tingkat konsumsi yang tinggi dibandingkan dengan jenis ikan lainnya sehingga kemungkinan keterpaparan terhadap merkuri juga menjadi lebih tinggi.

4.2. Risiko Konsumsi

Konsentrasi merkuri dalam ikan air laut berdasarkan negara dan wilayah dapat dilihat pada Tabel 8. Data merupakan nilai rata-rata, nilai minimum dan maksimum dari berbagai penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 9. Nilai maksimum konsentrasi merkuri tertinggi terdapat di wilayah Amerika Selatan, yaitu di Meksiko yang mencapai 8,25 $\mu\text{g/g}$ ww yang ditemukan oleh penelitian Garcia-Hernandez *et al.*, (2007). Di Asia, konsentrasi tertinggi mencapai 1,94 $\mu\text{g/g}$ ww yang ditemukan di Indonesia yang sudah dibahas pada bagian sebelumnya. Di Afrika Barat, konsentrasi merkuri mencapai 0,9 $\mu\text{g/g}$ ww dan ditemukan di perairan pesisir Ghana oleh penelitian Gbogbo *et al.*, (2018). Hampir semua negara memiliki konsentrasi maksimum yang melebihi standar WHO. Hanya nilai maksimum dari penelitian di Senegal dan Filipina yang masih berada di bawah batas aman WHO.

Risiko konsumsi dari merkuri dalam ikan air laut yang terdampak ASGM dilakukan dengan perhitungan nilai HQ (*Hazard Quotient*). HQ digunakan sebagai indikator risiko dalam menentukan adanya ancaman bahaya kesehatan non-karsinogenik dari paparan substansi tertentu, dan merupakan rasio antara tingkat paparan (EDI)

dengan dosis referensi (RfD). nilai HQ melebihi 1 mengindikasikan adanya potensi kesehatan non-karsinogenik pada suatu populasi tertentu, sedangkan nilai yang kurang dari sama dengan 1 menunjukkan tidak adanya potensi bahaya kesehatan non-karsinogenik yang signifikan (Gutiarezz-Mosquera *et al.*, 2020). *Hazard Quotient* dari tiap wilayah dan negara dikalkulasikan untuk menentukan apakah terdapat ancaman bahaya kesehatan paparan merkuri yang didapatkan dari konsumsi ikan air laut terdampak ASGM.

Untuk mendapatkan nilai HQ, Nilai EDI dari tiap wilayah dan negara perlu dihitung terlebih dahulu. Berdasarkan wilayah, EDI di Amerika Selatan berada dalam kisaran 0,007-3,85 $\mu\text{g}/\text{kg}$ BB/hari, diikuti oleh Asia (0,002-3,14 $\mu\text{g}/\text{kg}$ BB/hari), dan Afrika Barat (0,003-0,77 $\mu\text{g}/\text{kg}$ BB/hari). EDI yang mencapai nilai maksimum sangat tinggi di Amerika Selatan disebabkan oleh cemaran yang cukup tinggi dari ikan yang terkontaminasi merkuri ASGM. Di Asia, nilai EDI maksimum tergolong cukup tinggi (3,14 $\mu\text{g}/\text{kg}$ BB/hari) dan didorong oleh tingginya tingkat konsumsi ikan air laut di wilayah Asia dibandingkan dengan wilayah lainnya.

Berdasarkan negara, estimasi EDI (*Estimated Daily Intake*) maksimum merkuri tertinggi ada di Meksiko yang mencapai 4,64 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hari, diikuti oleh Indonesia yang mencapai 4,14 $\mu\text{g}/\text{kg}$ bb/hari. Di Meksiko paparan yang tinggi didorong oleh tingginya konsentrasi merkuri dalam ikan air laut yang sangat tinggi. Sedangkan di Indonesia tingkat paparan juga didorong oleh konsumsi harian di Indonesia yang secara signifikan lebih tinggi, mencapai 54,5 kg/kapita/tahun atau 149,3 gram ww/hari. Tingkat konsumsi tersebut jauh lebih tinggi apabila dibandingkan dengan negara lain. Menurut Dey *et al.*, (2005), di Asia, kontributor utama konsumsi ikan per kapita pada negara yang memiliki daerah perbatasan pantai yang lebih luas (seperti Indonesia, Filipina, dan Thailand) berasal dari ikan air laut. Di negara-negara tersebut, ikan air laut menjadi sumber protein utama, terutama bagi penduduk yang bertempat tinggal di daerah pesisir (Dey *et al.*, 2005).

Hazard Quotient maksimum tertinggi ditemukan di Amerika Selatan (38,5), diikuti oleh Asia (31,4), dan paling rendah di Afrika Barat (7,7). Ketiga wilayah memiliki

HQ maksimum yang melebihi nilai 1. Hal ini dapat diartikan bahwa konsumsi ikan air laut yang berasal dari perairan tercemar merkuri ASGM di Amerika Selatan, Asia, dan Afrika Barat berpotensi mengakibatkan bahaya kesehatan non-karsinogenik, terutama pada spesies ikan tertentu.

Berdasarkan negara, *Hazard Quotient* maksimum yang lebih dari sama dengan 1 ditemukan di semua negara, kecuali di Filipina dan Senegal. Hal ini berarti bahwa paparan merkuri dari konsumsi ikan air laut dari perairan yang terpengaruh ASGM di Indonesia, Brazil, Meksiko, Kolombia, Suriname, dan Ghana berpotensi menimbulkan bahaya kesehatan non-karsinogenik. Nilai *Hazard Quotient* merupakan rasio antara tingkat paparan merkuri (EDI) dengan dosis referensi. HQ di Meksiko dan Indonesia yang sangat tinggi menunjukkan bahwa tingkat paparan merkuri dari ikan tercemar ASGM di kedua negara tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan *Reference Dose* (batas paparan oral harian yang yang tidak menimbulkan risiko efek kesehatan/*adverse effects*). HQ yang semakin tinggi menunjukkan seberapa besar tingkat paparan melebihi batas yang tidak menimbulkan risiko. Nilai HQ di Meksiko dan Indonesia yang secara signifikan lebih tinggi berarti bahwa potensi untuk mengakibatkan bahaya kesehatan non-karsinogenik lebih besar dibandingkan dengan negara lainnya.

Data yang menunjukkan bahwa semua wilayah dan hampir semua negara menunjukkan adanya kemungkinan pengaruh kesehatan non-karsinogenik yang dapat ditimbulkan dari konsumsi ikan air laut yang terpengaruh cemaran merkuri ASGM. Oleh karena itu, konsumsi dari ikan yang didapatkan dari perairan tercemar ASGM perlu diperhatikan. Perhitungan *Maximum Allowable Consumption Rate* (CR_{lim}) ikan air laut dikalkulasikan untuk mengetahui batas konsumsi harian ikan yang diperbolehkan berdasarkan pengaruh kesehatan nonkarsinogenik dari merkuri. CR_{lim} merepresentasikan laju konsumsi ikan yang aman dan tidak diekspektasikan untuk memberi pengaruh kesehatan non-karsinogenik apabila dikonsumsi setiap hari (US EPA, 2000).

Secara keseluruhan, CR_{lim} global berkisar antara 0,001-4,67 kg ikan air laut/hari. *Maximum Allowable Consumption Rate* (CR_{lim}). CR_{lim} berbanding terbalik dengan konsentrasi merkuri dalam ikan. Merkuri dalam ikan air laut yang tinggi dapat mengakibatkan keterpaparan yang tinggi sehingga CR_{lim} memberikan batasan laju konsumsi yang lebih rendah, begitu juga sebaliknya. Konsentrasi merkuri maksimum yang sangat tinggi di Amerika Selatan, mencapai 8,25 $\mu\text{g/g}$ ww mengakibatkan *range* CR_{lim} yang lebih rendah di Amerika Selatan (0,001 – 0,47 kg ikan air laut/hari). Oleh karena itu, beberapa negara dengan *range* CR_{lim} yang lebih rendah perlu lebih berhati-hati dalam memperhatikan laju konsumsi ikan air laut agar tidak melebihi laju yang aman, seperti di Meksiko Kolombia, Brazil, dan Indonesia.

Ikan air laut memiliki peran penting terutama bagi komunitas/penduduk asli daerah pesisir, diestimasikan bahwa konsumsi ikan air laut per kapita ikan dari penduduk pesisir 15 kali lipat lebih tinggi dibandingkan dengan populasi penduduk non-pesisir (Montemayor- Cinsmeros *et al.*, 2016). Hal ini berarti penduduk di daerah pesisir perairan laut yang terpengaruh ASGM lebih rentan terhadap paparan merkuri. Oleh karena itu, masalah keamanan pangan merkuri dalam ikan air laut terutama perlu diperhatikan oleh masyarakat sekitar daerah pesisir yang terdampak situs ASGM.

Berdasarkan *review* yang dilakukan, data konsentrasi merkuri dalam ikan air laut yang terdampak ASGM cukup terbatas sehingga kalkulasi risiko konsumsi kurang bisa merepresentasikan masing-masing wilayah, terutama di wilayah Asia. Melihat pentingnya ikan air laut sebagai sumber pangan dan *demand* yang terus meningkat terutama di wilayah Asia, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap konsentrasi merkuri yang bersifat spesifik pada ikan air laut terutama di negara yang dikenal memiliki aktivitas ASGM yang tinggi seperti China dan Thailand. Selain itu, penelitian lebih lanjut perlu dilakukan pada ikan air laut yang bernilai tinggi secara komersial pada perairan laut yang terdampak ASGM, contohnya pada *Anchovy* (ikan teri), *Sardine* (ikan sarden), *Scad* (ikan layang), *Tuna* (ikan tuna), dan *Mackerel* (Ikan makarel) atau ikan yang paling banyak dikonsumsi dari tiap

negara/wilayah sehingga data yang diperoleh bersifat lebih relevan dalam penilaian terhadap bahaya keamanan pangan yang ditimbulkan oleh pencemaran ASGM.

