

#### 4. PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian - penelitian yang ada, diketahui akumulasi Hg pada sereal. Penelitian ini memberikan informasi terbaru mengenai paparan logam berat Hg pada tanaman sereal dan evaluasi risiko konsumsinya berdasarkan tingkat konsumsi di masing-masing wilayah/negara. Penelitian review sebelumnya oleh Basu *et al.* (2015) yang dilakukan di Ghana, hanya mengungkap akumulasi Hg pada para pekerja dan pencemarannya terhadap tanah dan air. Penelitian ini menemukan adanya akumulasi Hg pada bulir jagung yang mencapai 8,8  $\mu\text{g/g}$  DW di Ghana (Amoakwah *et al.*, 2020). Nilai tersebut sangat melebihi batas maksimum yang telah ditetapkan oleh FAO/WHO. Hal ini membuktikan bahwa ASGM di Ghana sudah cukup serius berdampak pada lingkungan hingga terakumulasi kedalam bulir sereal yang ditanam disekitar area ASGM.

Penelitian review Liu *et al.* (2021) mengungkapkan adanya cemaran Hg pada tanah akibat ASGM di Cina. Pada penelitian ini, memberikan informasi mengenai cemaran Hg pada tanaman gandum di Tongguan, Cina yang ditemukan dengan nilai akumulasi diatas batas maksimum sebesar 0,137 (0,083-0,18)  $\mu\text{g/g}$  DW (Feng *et al.*, 2006). Tidak hanya gandum, Xiao *et al.* (2017) juga melaporkan akumulasi Hg pada tanaman jagung. Meskipun masih dibawah ambang batas, namun tetap membuktikan bahwa kegiatan ASGM di Tongguan, Shaanxi Timur menyebabkan tanaman gandum dan jagung terkontaminasi Hg. Penelitian Zhao *et al.* (2020) sudah cukup membahas mengenai kontaminasi Hg pada tanaman padi akibat ASGM. Namun, penelitian tersebut merangkum semua sumber kontaminasi Hg secara global yang dihasilkan dari pertambangan Hg maupun emas. Sedangkan penelitian ini difokuskan untuk kontaminasi Hg pada sereal yang diakibatkan oleh pertambangan emas (ASGM).

Seperti yang sudah dijelaskan pada Tabel 1 dan Tabel 2, akumulasi Hg ditemukan pada tiga jenis sereal dari lima jenis sereal yang ditemukan (beras, jagung, dan gandum). Penyebaran Hg dari ASGM sudah sampai pada komoditas pangan yang ada di ekosistem terestrial dan ditemukan di sepuluh negara yang berada di benua Asia dan Afrika. Tentu saja hal ini menjadi perhatian khusus terutama di Indonesia. Ditemukan empat Provinsi dimana hasil komoditas berasnya mengandung Hg dengan nilai yang

cukup tinggi. ASGM tersebar luas di benua Asia, Afrika, dan Amerika Selatan (Seccatore, J. *et al.*, 2014). Namun pada penelitian ini, negara yang dilaporkan hasil panennya mengakumulasi Hg hanya di benua Asia dan Afrika. Belum ada penelitian yang melaporkan mengenai kontaminasi Hg pada sereal akibat ASGM di benua Amerika Selatan.

#### **4.1. Kontaminasi Hg pada Sereal akibat ASGM di Sembilan Negara**

##### **4.1.1. Kontaminasi Hg pada Jagung**

Kontaminasi Hg pada sereal akibat ASGM tersebar di sembilan negara. Jagung merupakan sereal dengan tingkat akumulasi Hg tertinggi yaitu mencapai 8,8  $\mu\text{g/g}$  DW pada bagian bulirnya di Ghana (Amoakwah *et al.*, 2020). Hal ini dapat disebabkan karena tanaman jagung termasuk dalam tanaman hiperakumulator yaitu memiliki kemampuan dalam mengakumulasi logam berat (Hg) dengan konsentrasi yang tinggi pada setiap bagian tanamannya (Triadriani *et al.*, 2017). Sehingga tanaman jagung dapat tetap tumbuh dengan kondisi tanah yang tercemar Hg. Ghana bagian selatan merupakan negara yang telah melakukan kegiatan ASGM lebih dari 1000 tahun (Hilson, 2002).

Proporsi emas dari ASGM di Ghana meningkat pada tahun 2000-2010 dari 6% mencapai 23% (Basu *et al.*, 2015). Hal ini dapat berbanding lurus dengan penyerapan Hg pada tanaman jagung di Ghana, di mana ASGM yang dilakukan secara menerus dapat menyebabkan terakumulasinya Hg dalam tanah dan atmosfer yang kemudian dapat terserap oleh tanaman jagung. Hg pada jagung di Tanzania dan Nigeria masih dibawah ambang batas. Hal ini disebabkan karena bulir merupakan bagian tanaman dengan akumulasi Hg terendah setelah daun. Hal tersebut dibuktikan dengan penelitian dari Triadriani *et al.*, (2017) yang menyatakan bahwa akumulasi logam berat pada tanaman akan semakin berkurang seiring dengan bagian tanaman (akar, batang, daun, biji/bulir).

##### **4.1.2. Kontaminasi Hg pada Beras**

Pada beras, akumulasi Hg tertinggi dilaporkan oleh Pataranawat (2007) di Thailand dengan nilai 0,235  $\mu\text{g/g}$  DW yang telah melebihi batas maksimum. Sumber utama kontaminasi Hg tersebut yaitu melewati deposisi Hg dari atmosfer melewati curah hujan

yang kemudian terserap melalui stomata daun tanaman padi. Pataranawat (2007) juga menyebutkan sumber lain yang memungkinkan terjadi yaitu metil merkuri (MeHg) di tanah sawah. Lahan pertanian dengan kondisi tereduksi (tergenang oleh air) sangat cocok untuk terjadinya reaksi metilasi, dimana ini dapat berpengaruh terhadap nilai THg yang lebih tinggi.

Penelitian Kinimo *et al.* (2021) di Côte d'Ivoire juga menunjukkan nilai akumulasi Hg pada bulir beras yang telah melebihi ambang batas. Hal tersebut didukung dengan penelitian dari Mason *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa kandungan Hg pada sedimen berkisar 0,14-0,2  $\mu\text{g/g}$  yang tergolong cukup tinggi di area ASGM Côte d'Ivoire. Selain itu, penyerapan Hg langsung dan tidak langsung melalui deposisi dari atmosfer juga mendukung kontaminasi sereal dengan tingkat yang lebih tinggi (UNEP, 2018). Penelitian Taylor *et al.* (2005) dan Appleton *et al.* (2006) juga melaporkan akumulasi Hg pada beras di Filipina dan Tanzania telah mencapai batas maksimum. Hal ini harus menjadi perhatian khusus karena lahan pertanian di Naboc, Babag, Mamonga, Tubo-Tubo Filipina dialiri oleh air sungai yang tercemar Hg sebagai irigasi. Sedangkan di Tanzania, sampel diambil dari jarak 480 m - 850 m dari pasar Rwamagasa.

#### **4.1.3. Kontaminasi Hg pada Gandum**

Penelitian Riaz *et al.* (2018) melaporkan akumulasi Hg pada bulir gandum yang dua kali lebih tinggi dari batas maksimal 0,0491  $\mu\text{g/g DW}$ . Hal ini dapat disebabkan karena sampel diambil dari lahan pertanian yang berada disepanjang sungai Hunza dan Gilgit, Pakistan dimana hulunya adalah ASGM. Air sungai yang tercemar Hg dapat mencemari tanah pada lahan pertanian.

Penelitian lainnya juga ditemukan di Cina yaitu sampel tanaman gandum yang diambil dari lahan pertanian di sekitar area ASGM dekat dengan Sungai kuning menunjukkan nilai akumulasi Hg sebesar 0,137 (0,083-0,18)  $\mu\text{g/g DW}$  (Feng *et al.*, 2006). Penelitian terbaru oleh Xiao *et al.* (2017), mengumpulkan sampel tanaman gandum dari lahan pertanian pada enam desa di sekitar ASGM dan menunjukkan nilai akumulasi Hg 0,042  $\mu\text{g/g DW}$ . Sumber Hg yang terakumulasi pada kedua penelitian tersebut berasal dari

lokasi ASGM yang sama yaitu di Tongguan, Shaanxi timur. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ASGM di Tongguan, Shaanxi timur telah cukup serius mengkontaminasi gandum yang ditanam di sekitarnya terutama di lahan pertanian sekitar sungai kuning dan enam desa di sekitarnya.

#### **4.2. Kontaminasi Hg pada Serealia di Indonesia**

Kontaminasi Hg pada bulir serealia akibat ASGM ditemukan pada empat Provinsi di Indonesia (Banten, Jawa Barat, Nusa Tenggara barat, Maluku) (Tabel 2). Satu Provinsi (Sulawesi Tengah) juga ditemukan melaporkan kontaminasi Hg akibat ASGM pada tanaman serealia di Poboya, Kota Palu (Santoso & Wahyudi, 2014). Penelitian Rothenberg *et al.* (2017) menggunakan 2 sampel yang berbeda di dua lokasi (Desa Bombana dan Cisitu, Banten) Indonesia. Sampel beras dikumpulkan dari rumah tangga yang berjarak 5-7 km dari ASGM dan dari sawah yang berada di sebelah ASGM. Kegiatan ASGM terletak di Desa Pangkal Jaya.

Hasil membuktikan bahwa sampel beras yang diambil dari lahan pertanian dekat dengan area ASGM mengakumulasi Hg yang lebih tinggi, dibandingkan sampel beras yang diambil dari rumah tangga yang berjarak 5-7 km dari ASGM (Tabel 2). Meskipun akumulasi Hg masih dibawah ambang batas, namun hal itu dapat memberikan gambaran bahwa kontaminasi Hg dari ASGM mampu mengontaminasi komoditas beras dengan jarak sampai 5-7 km.

Jarak terjauh yang ditemukan dalam penelitian ini yaitu 10 km dari kegiatan ASGM di Cisitu, Indonesia (Bose O'Reilly *et al.*, 2016). Dengan jarak tersebut beras didapati mengakumulasi Hg jauh diatas batas maksimum. Sejak tahun 2012, sebuah lembaga Swadaya masyarakat BaliFokus bekerja sama dengan Aliansi Masyarakat Adat Nusantara (AMAN) untuk memantau kontaminasi Hg dari ASGM pada lingkungan di Cisitu. Dilaporkan nilai rata-rata akumulasi Hg di udara Cisitu mencapai  $9,91 \text{ mg/m}^3$  dengan nilai maksimum sebesar  $55,8 \text{ mg/m}^3$ . Batas Hg di udara yang ditetapkan oleh WHO adalah  $1 \text{ mg/m}^3$ . Nilai tersebut sangat melampaui batas maksimal yang sudah ditetapkan. Dapat diasumsikan bahwa kontaminasi Hg pada beras yang berjarak 10 km dari ASGM disebabkan oleh terpaparnya Hg dari udara yang sangat tinggi. Berbagai

jenis beras yang dijadikan sebagai sampel penelitian di Desa Cisitubak yang dipanen dalam jangka waktu 2 - 11 tahun mengakumulasi Hg diatas ambang batas. Jika dibandingkan dengan penelitian Pamungkas *et al.* (2015) di Desa Cisungsang, Banten, akumulasi Hg pada beras masih dibawah ambang batas maksimum. Padahal sampel beras diambil dari lahan pertanian dekat dengan ASGM. Desa Cisungsang merupakan desa sebagai lumbung padi yang berarti komoditas hasil panenanya harus terjaga kualitasnya dan aman untuk dikonsumsi. Meskipun akumulasi beras masih dibawah ambang batas, ASGM yang dilakukan secara terus-menerus dan tanpa pengawasan dapat mengganggu produktivitas hasil pertanian. Penelitian Novirsa *et al.* (2020) di Lebaksitu, Banten, menunjukkan nilai akumulasi Hg pada beras melebihi batas maksimum yaitu 0,032  $\mu\text{g/g}$  DW. Sampel beras tersebut diambil dengan jarak lebih dari 500 m dari area ASGM.

Penelitian ini belum dapat menyimpulkan bahwa jarak ASGM berpengaruh secara signifikan dengan akumulasi Hg pada beras. Tentu saja terdapat faktor-faktor lain yang harus dipertimbangkan terlebih dahulu seperti produktivitas ASGM pada masing - masing daerah, banyaknya penggunaan Hg pada masing - masing daerah, seberapa lama ASGM telah beroperasi di daerah tersebut, dan lamanya tanaman pangan terpapar oleh Hg di udara yang belum bisa peneliti temukan dan menjadi keterbatasan peneliti. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai faktor-faktor penyebab tingginya akumulasi Hg pada sereal akibat ASGM dengan lebih terperinci. Salah satu faktor yang dapat dipastikan yaitu tingginya penggunaan Hg pada ekstraksi emas akan menyebabkan tingginya Hg dalam tailing. Semakin tinggi kandungan Hg dalam tailing maka, semakin tinggi akumulasi Hg di lingkungan (air, tanah, udara). Hg di lingkungan akan mempengaruhi akumulasi Hg pada sereal. Semakin tinggi Hg di lingkungan semakin tinggi pula kandungan Hg pada tanaman sereal.

Dua penelitian yang ditemukan Tasikmalaya, Jawa Barat juga tidak dapat membuktikan bahwa jarak berpengaruh signifikan terhadap tingginya akumulasi Hg pada sereal. Sampel beras yang diambil dengan jarak 0,5 - 4 km dari ASGM (Sudja, 2012) memiliki nilai akumulasi Hg yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel beras yang diambil dari jarak 0,5 - 2 km dari ASGM (Purnawan & Niken, 2020).

Hg dapat terakumulasi pada seluruh bagian tanaman sereal. Akar menempati posisi pertama akumulasi Hg dibandingkan dengan bagian lain (Riaz *et al.*, 2018). Penelitian Saragih *et al.* (2021) juga membuktikan bahwa bagian akar mengakumulasi Hg tertinggi. Hal ini dapat disebabkan karena akar memiliki kemampuan dalam mencegah dan menahan penyerapan Hg dari tanah. Tanaman secara tidak langsung mengubah polutan ke dalam bentuk yang tidak tersedia (Zornoza, 2010). Pada bagian bulir, akumulasi Hg seharusnya masih dibawah akar dan daun. Penelitian Rodriguez *et al.* (2007) juga menunjukkan bahwa daun memiliki akumulasi yang lebih tinggi daripada bagian bulir. Namun, tetap saja Hg akan ditranslokasikan sampai ke bagian bulir. Berdasarkan sampel tanah yang dilaporkan (Tabel 2) di Indonesia presentase serapan merkuri dari tanah ke tanaman sereal berkisar antara 6,3 - 11,02%. Kemudian dari tanah ke akar 13,88% dan dari tanah ke bulir sereal sekitar 0,01 - 15,74%.

#### **4.3. Rute Paparan Hg pada Sereal**

Terdapat dua rute paparan Hg pada tanaman sereal, yaitu penyerapan melewati akar tanaman dari dalam tanah dan penyerapan oleh daun dari Hg di atmosfer. Penelitian Appleton, (2006) dan Cheng *et al.* (2013) menggunakan sampel beras yang diambil dari lahan pertanian yang dialiri air sungai tercemar Hg untuk sistem irigasi. Limbah yang dibuang langsung ke saluran air lokal atau langsung ke sungai menyebabkan Hg terakumulasi pada sedimen. Hg pada sedimen dapat mengalami difusi yang kemudian akan terbawa oleh arus sungai ke arah hilir (Kitong *et al.*, 2012). Mengingat bahwa Hg memiliki sifat tidak larut dalam air. Sehingga, Hg akan terbawa hingga sampai ke lahan pertanian yang digunakan untuk membudidayakan berbagai macam jenis sereal.

Rute paparan kedua disebabkan oleh uap merkuri dari proses *burning* yang terlepas ke atmosfer. Proses *burning* sendiri dilakukan untuk memisahkan emas dari Hg. Mengingat bahwa tekanan uap Hg rendah, maka merkuri dapat teruapkan dan meninggalkan sisa emas. Para penambang ASGM sering kali menggunakan metode terbuka dalam proses tersebut, sehingga uap merkuri langsung terlepas ke atmosfer. Penelitian Kessey (2013) membuktikan bahwa masih banyak pekerja ASGM menggunakan metode terbuka yaitu 68% dari 77 penambang di Ghana. Hal ini disebabkan karena para penambang mengeluhkan proses pembakaran dengan retort

yang membutuhkan waktu lebih lama dan tidak dapat melihat emas (UNEP, 2002; Hilson, 2006). Seperti yang sudah dijelaskan oleh UNEP (2018) Sektor ASGM merupakan sumber utama terlepasnya merkuri ke atmosfer terhitung 37% (727 ton) dari semua emisi global. Penelitian Pataranawat *et al.* (2007) di Thailand mengungkap bahwa sumber utama paparan Hg pada beras yaitu dari Hg yang ada di atmosfer. Uap merkuri dari proses burning akan menguap ke atmosfer dalam bentuk Hg unsur dan menyebar pada skala lokal atau sekitar area ASGM. Diudara, Hg unsur ( $\text{Hg}^0$ ) akan mengalami reaksi oksidasi menjadi ( $\text{Hg}^{2+}$ ) dan memasuki wilayah atmosfer yang akan di sebarakan pada jarak yang jauh sebelum nantinya akan diendapkan kembali (deposisi) ke sistem terestrial maupun perairan lokal menjadi Hg anorganik (UNEP, 2002).

Indonesia merupakan negara yang menjadi produsen beras ketiga terbesar di dunia setelah Cina dan India dengan rata-rata produksi 45 metrik ton pada tahun 2015-2018 (FAO dan OECD, 2018). Sebagian besar beras yang diproduksi dikonsumsi oleh masyarakat lokal. Berdasarkan Gambar 12. nilai rata-rata akumulasi Hg pada empat Provinsi di Indonesia menunjukkan nilai diatas batas maksimum yaitu 0,0672  $\mu\text{g/g}$  DW. Hal ini dapat memberikan pengaruh terhadap budidaya beras di Indonesia dalam jangka panjang jika tidak dilakukan penangan terhadap kegiatan ASGM di Indonesia. Hasil panen beras yang mengandung Hg diatas batas maksimum tidak dapat dipasarkan karena tidak aman untuk dikonsumsi oleh manusia. Sehingga, kegiatan ASGM dapat mengancam kualitas komoditas pertanian dan berpengaruh pada budidaya beras. Beras yang mengandung Hg diatas nilai 0,1  $\mu\text{g/g}$  juga dilarang diberikan untuk pakan ternak (European Commission Directive, 2002). Sehingga beras atau serealia lainnya yang mengandung merkuri kemungkinan harus dibuang dan menjadi *food loss*. Menurut Zornoza, (2010) akumulasi Hg pada tanaman dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat. Hg dapat memberikan stress ke akar yang merupakan gejala awal dari penghambatan pertumbuhan akar.

#### **4.4. Hasil Evaluasi Risiko**

Serealia (beras, jagung, gandum) yang terkontaminasi oleh Hg tidak aman di konsumsi oleh manusia. Untuk mengetahui tingkat risiko konsumsi serealia, perhitungan nilai HQ dilakukan berdasarkan data konsentrasi terendah (min.) dan tertinggi (max.) dan tingkat

konsumsi di masing-masing negara (Tabel 3). Batasan asupan mingguan (*Provisional Tolerable Weekly Intake*) Hg sementara yang dapat ditoleransi yaitu sebesar 4g/kg berat badan (EFSA, 2012). Sama halnya dengan rekomendasi dari Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JEFCA) yaitu PTWI sebesar 4g/kg berat badan. Dengan begitu maka asupan harian (DI) yang dapat ditoleransi adalah sebesar 0,57g/kg berat badan.

HQ pada beras dihitung berdasarkan enam negara yang dilaporkan menggunakan data konsentrasi terendah (min.) dan tertinggi (max.). Nilai EDI berbanding lurus dengan nilai HQ. Semakin tinggi nilai EDI maka nilai HQ juga akan semakin tinggi. Nilai EDI yang melampaui batas toleransi akan menghasilkan nilai HQ diatas ambang batas. Pada beras dengan konsentrasi terendah (min.), Thailand menunjukkan nilai EDI diatas batas ditoleransi yaitu 0,6429. Sehingga HQ yang dihasilkan melebihi ambang batas ( $HQ=1$ ). Nilai tersebut enam kali lebih tinggi dari ambang batas yang telah ditetapkan. Dapat disimpulkan bahwa konsumsi beras di Thailand khususnya Provinsi Phichit menyebabkan risiko kesehatan hingga pada efek kesehatan yang kronis seperti meningkatkan risiko kanker dan penyakit kronis lainnya.

Pada konsentrasi tertinggi (max.), Indonesia merupakan negara dengan nilai HQ beras tertinggi yaitu sebesar 50,34 diikuti oleh Thailand, Côte d'Ivoire, Filipina. Tanzania menunjukkan nilai EDI dibawah ambang batas, sehingga nilai HQ yang dihasilkan masih dibawah ambang batas. Nilai HQ lebih dari 1 menunjukkan bahwa konsumsi beras yang mengakumulasi Hg di negara tersebut menyebabkan terjadinya risiko kesehatan yang kronis seperti meningkatkan risiko kanker, gagal ginjal dan lainnya. Sebaliknya, jika nilai HQ kurang dari 1 maka konsumsi beras yang mengakumulasi Hg tidak menyebabkan terjadinya risiko kesehatan yang kronis. Kamboja menunjukkan kalkulasi EDI di atas 0,57 g/kg berat badan. Namun, nilai HQ yang dihasilkan masih dibawah batas toleransi ( $HQ < 1$ ). Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi beras di salah satu desa di Kamboja belum dapat dikatakan berisiko kronis (kanker, gagal ginjal). Akan tetapi sudah memberikan gejala-gejala seperti gangguan kesehatan tremor, berkurangnya daya ingat, dan gangguan penglihatan (Habibia *et al.*, 2021).



HQ pada jagung dihitung berdasarkan tiga negara yang dilaporkan. Pada konsentrasi Hg (min.) menunjukkan bahwa nilai EDI maupun HQ dibawah ambang batas. Nilai EDI dan HQ (min.) di Ghana dan Tanzania tidak tersedia dalam penelitian yang ditemukan. Ghana Selatan merupakan negara dengan nilai EDI (max.) mencapai 10,367 ( $>0,57$  g/kg bb) sehingga nilai HQ lebih dari seratus kali ambang batas (HQ=1) yaitu 103,671. Nilai HQ (max.) gandum juga melebihi ambang batas (HQ=1) sebesar 1,945 di Pakistan. Dapat diartikan bahwa konsumsi jagung di Ghana Selatan dan gandum di Pakistan khususnya di daerah Gilgit-Baltistan menyebabkan gangguan kesehatan hingga mencapai tahap kronis. Dua penelitian lainnya pada jagung di Pakistan dan Tanzania didapati nilai EDI dibawah batas toleransi ( $<0,57$  g/kg bb). Sehingga konsumsi jagung pada dua negara tersebut masih dalam batas toleransi dan tidak menimbulkan risiko kesehatan yang serius.

Untuk mengetahui risiko konsumsi beras di Indonesia lebih lanjut, dilakukan perhitungan HQ pada masing-masing Provinsi yang dilaporkan. Nilai EDI (min.) yang diperoleh dari ke-empat Provinsi tersebut menunjukkan masih dibawah batas toleransi. Namun nilai EDI (max.) menunjukkan nilai lebih dari 0,57 g/kg berat badan rekomendasi dari Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JEFCA). Sehingga, nilai HQ yang dihasilkan melebihi ambang batas (HQ=1) (Gambar 15.). Dapat diartikan bahwa beras yang dihasilkan dari lahan pertanian di empat provinsi tersebut tidak aman untuk dikonsumsi dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan bahkan risiko kesehatan yang serius (kronis).

Kalkulasi HQ pada serealia yang mengandung Hg dalam bentuk MeHg juga dilakukan. Meskipun, MeHg sebenarnya sudah termasuk ke dalam THg sebagai konsentrasi terbanyak yang ditemukan dalam penelitian ini. Penelitian Krisnayanti *et al.* (2012) hanya melaporkan akumulasi Hg pada bulir beras dalam konsentrasi MeHg dan dua penelitian lainnya melaporkan akumulasi Hg pada bulir beras dalam konsentrasi THg maupun MeHg (Rothenberg *et al.*, 2017; Riaz *et al.*, 2018). Konsentrasi THg pada penelitian tersebut tetap diikut sertakan dalam akumulasi rata-rata THg di Indonesia. Sedangkan konsentrasi MeHg digabungkan dengan penelitian Krisnayanti *et al.* (2012) untuk memberikan gambaran mengenai risiko konsumsinya.

Penelitian Cheng *et al.* (2013) di Kamboja juga melaporkan akumulasi Hg dalam konsentrasi THg dan MeHg. Konsentrasi THg tetap diikuti sertakan dalam perhitungan HQ THg dan konsentrasi MeHg digunakan untuk perhitungan HQ MeHg. Nilai EDI dan HQ MeHg (min.) di Indonesia dan Kamboja masih dibawah ambang batas. Sedangkan nilai EDI dan HQ MeHg (max.) di Indonesia melebihi ambang batas (HQ=1) dan Kamboja masih dibawah ambang batas. Hal ini menunjukkan bahwa baik dalam konsentrasi THg maupun MeHg konsumsi beras di Indonesia dapat menyebabkan risiko kesehatan yang serius. Di Kamboja konsentrasi THg maupun MeHg tidak menyebabkan risiko kesehatan yang serius.

Nilai *Maximum allowable consumption rate* dapat digunakan untuk mengetahui batasan asupan sereal yang tercemar Hg berdasarkan tingkat risikonya. Sereal yang mengakumulasi Hg dengan jumlah sama dengan ambang batas oleh FAO/WHO (0,02) hanya dapat dikonsumsi sebanyak 350 g/hari. Nilai tersebut adalah nilai yang masih aman untuk mengonsumsi sereal yang mengakumulasi Hg.

Belum ada penelitian review sebelumnya yang membahas mengenai risiko konsumsi sereal yang terkontaminasi oleh Hg. Sehingga, dengan adanya penelitian ini dapat melengkapi dan mengisi kekosongan (GAP) terkait informasi risiko kesehatan pada manusia yang disebabkan oleh konsumsi sereal yang terkontaminasi Hg di delapan negara. Dengan adanya penelitian ini dapat memberikan informasi terbaru sejauh mana kontaminasi Hg pada sereal di sepuluh negara berdasarkan jenis sereal. Penelitian ini juga penting dilakukan yaitu untuk mengetahui risiko konsumsi sereal yang mengakumulasi Hg sesuai dengan tujuan dari penelitian ini. Evaluasi risiko konsumsi (HQ) dapat memberikan gambaran bahwa, kontaminasi Hg dari ASGM telah cukup serius dan harus dilakukan penanganan dan pengawasan terkait dengan daerah-daerah yang sudah disebutkan di atas. Sehingga dengan adanya penanganan atau pengawasan baik terhadap ASGM ataupun mutu bahan pangan (sereal), dapat menekan risiko yang mungkin akan terjadi.

#### 4.5.Dampak Konsumsi Serealia yang Terakumulasi Hg

Kesadaran masyarakat terkait dengan adanya efek kesehatan yang dapat terjadi dari masuknya Hg dalam tubuh adalah pada saat terjadi keracunan di teluk Jepang “*minamata disease*” pada tahun 1950-an (UNEP, 2013). Kejadian tersebut menyadarkan masyarakat dan mulai adanya kekhawatiran dalam aspek pencemaran Hg di lingkungan yang dapat menyebabkan risiko tidak aman bagi manusia. United Nations Environment Programme (UNEP) melakukan upaya dalam menangani masalah tersebut. Dimana dibentuklah sebuah konvensi yaitu Konvensi Minamata. Konvensi ini bergerak untuk mengendalikan serta mengurangi risiko kesehatan manusia dan lingkungan terkait dengan pelepasan Hg di lingkungan. Sebuah perjanjian internasional (Konvensi Minamata) tersebut ditandatangani pada Oktober 2013 untuk mengontrol pelepasan Hg secara global ke lingkungan (UNEP, 2013).

Paparan utama Hg dalam tubuh manusia yaitu melewati saluran pernapasan karena terhirupnya uap Hg yang dihasilkan dari proses *burning*. Uap Hg diserap oleh paru - paru kemudian di translokasikan lebih lanjut pada organ - organ lain. Hal tersebut diiringi dengan konsumsi bahan pangan yang terkontaminasi oleh Hg. Sehingga Hg dapat terakumulasi dalam tubuh yang dalam konteks ini berasal dari konsumsi serealia yang mengandung Hg. Terakumulasinya Hg dalam tubuh dapat menyebabkan toksisitas dan menyebabkan timbulnya gangguan kesehatan langsung maupun jangka panjang. Penyakit yang dapat terjadi jika Hg sudah terakumulasi pada tubuh dalam jumlah yang besar yaitu gangguan penglihatan, tremor, masalah memori, dan antaksia (Habibia *et al.*, 2021). Bahkan dapat terjadi efek kronis lainnya seperti meningkatkan risiko kanker, gangguan ginjal, hati dan gangguan syaraf otak (Risher & Rosa, 2007; Susanti, 2015). Meskipun telah dilakukan pengawasan dan pengendalian risiko kesehatan baik pada manusia dan lingkungan, penelitian ini membuktikan bahwa masih ada beberapa wilayah di enam negara menghasilkan bulir serealia yang mengakumulasi Hg dengan jumlah yang tinggi dan menunjukkan terjadinya risiko kesehatan yang serius (kronis). Sedangkan di dua negara yang ditemukan juga bulir serealia yang mengakumulasi Hg dengan jumlah yang masih belum melebihi batas maksimal. Namun, nilai EDI menunjukkan lebih dari batas yang telah ditetapkan. Sehingga masih memungkinkan terjadinya risiko kesehatan yang serius.

Berdasarkan hasil penelitian ini, penggunaan yang Hg dalam ASGM menyebabkan pencemaran lingkungan baik tanah, air dan udara bahkan sampai ke tanaman pangan. Sehingga implikasi yang didapatkan dalam penelitian ini yaitu Hg di udara akibat proses pembakaran (*burning*) dapat terdeposisi di tanah dan air (sungai) sekitar area ASGM. Sehingga menyebabkan terakumulasinya Hg di tanah dan terserap oleh tanaman pangan. Tidak hanya Hg yang terkandung dalam air sungai yang dapat mengkontaminasi sereal, namun Hg di udara juga sangat berkontribusi dalam akumulasi Hg pada sereal. Sehingga sereal yang dihasilkan di sekitar area ASGM mengakumulasi Hg. Semakin tinggi akumulasi Hg di udara, maka akan semakin tinggi akumulasi Hg pada sereal.

Oleh karena itu perlu dilakukan pengawasan yang lebih ketat pada kegiatan ASGM terutama di Indonesia atau dilakukan edukasi-edukasi terkait bahaya Hg kepada para penambang supaya dapat lebih *aware* lagi. Perlu juga dilakukan pengecekan secara berkala terkait kandungan logam berat pada sereal yang dihasilkan dari lahan pertanian di sekitar area ASGM. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa sereal yang beredar dimasyarakat memiliki kualitas yang baik dan aman untuk di konsumsi.

Dampak akibat dari kegiatan ASGM tidak hanya kepada para penambang saja, tetapi juga dapat merugikan produktivitas hasil panen sereal di sekitarnya dan membahayakan nyawa masyarakat sekitar. Penelitian ini telah membuktikan bahwa konsumsi sereal yang ditemukan di empat negara termasuk Indonesia dapat menyebabkan risiko kesehatan kronis (kanker, gagal ginjal, dan penyakit kronis lainnya). Di Indonesia sendiri diketahui hasil komposisi pangan beras dari empat provinsi di beberapa daerahnya sudah tidak aman untuk dikonsumsi dan menyebabkan risiko kesehatan kronis. Meskipun hingga saat ini belum ada kasus keracunan Hg pada wilayah tersebut, namun harus tetap dilakukan penanganan khusus untuk menekan terjadi risiko keamanan pangan yang akan terjadi.