

3. HASIL

3.1. Akumulasi merkuri pada Serealia di Sembilan Negara

Tabel 1. Menyajikan hasil - hasil penelitian mengenai akumulasi merkuri (THg dan MeHg) pada serealia dari sembilan negara yaitu Cina, Ghana, Filipina, Kamboja, Pakistan, Thailand, Nigeria, Tanzania dan Côte d'Ivoire. Sampel serealia dalam penelitian - penelitian tersebut sebagian besar diambil dari lahan pertanian/lahan basah yang berada di sekitar area ASGM, baik lahan pertanian yang dekat dengan waduk maupun sungai. Terdapat juga sampel serealia yang diambil dari pasar pada salah satu wilayah ASGM. Sebanyak sepuluh penelitian ditemukan melaporkan akumulasi merkuri pada lima jenis serealia. Beras dan jagung merupakan serealia yang paling banyak diteliti, diikuti berturut - turut oleh gandum, sorgum, dan millet. Akumulasi merkuri ditemukan pada semua bagian dari tanaman serealia meliputi akar, daun, batang, dan bulir. Namun, tidak semua penelitian melaporkan masing - masing bagian dari tanaman serealia. Konsentrasi merkuri disajikan sebagai konsentrasi THg dan MeHg.

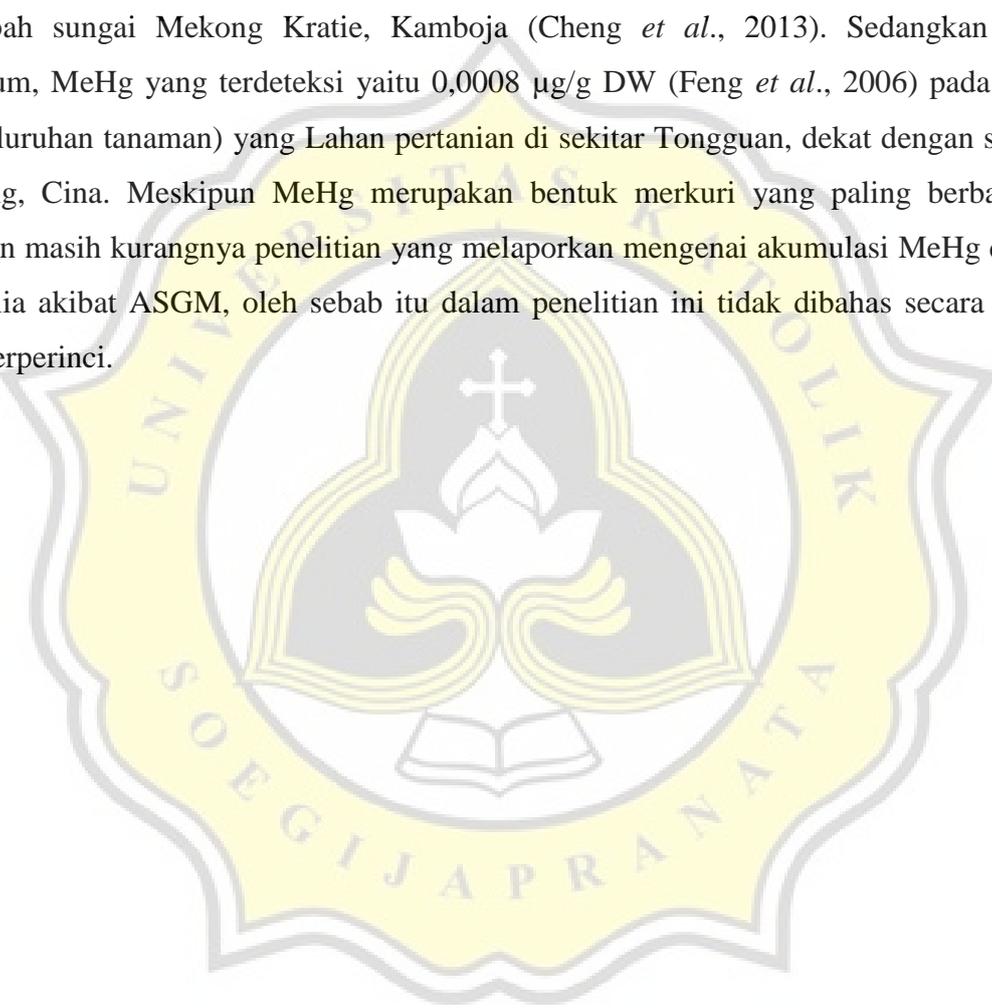
Serealia beras ditemukan di lima negara yang ada wilayah Asia dan Afrika yaitu Filipina, Kamboja, Thailand, dan Tanzania. Ke-lima negara tersebut melaporkan akumulasi Hg pada bulir beras. Bulir beras dengan akumulasi Hg tertinggi yaitu pada negara Thailand sebesar 0,235 $\mu\text{g/g DW}$ yang diambil dari lahan pertanian di depan waduk Khao chet luk dan sekitarnya. Sedangkan beras dengan akumulasi terendah yaitu di negara Kamboja yaitu 0,012 (0,009 -0,014) $\mu\text{g/g DW}$. Alur paparan merkuri dari ASGM dari kedua negara tersebut berbeda. Di Thailand, sumber kontaminasi utamanya adalah dari merkuri yang ada di atmosfer yang dihasilkan dari proses pembakaran amalgam di Bukit Phanom Pha (Pataranawat, 2007). Sedangkan di Kamboja, sumber kontaminasi utamanya adalah dari air sungai yang terkontaminasi merkuri mengalir ke bagian hilir sungai Mekong (Cheng *et al.*, 2013). Kontaminasi Hg baik dari atmosfer maupun air sungai akan mengendap ke tanah dan terakumulasi. Penelitian Kinimo *et al.* (2021) di Côte d'Ivoire juga melaporkan bulir beras yang diambil dari lahan basah berjarak kurang dari 3 km dari ASGM sudah mengakumulasi Hg melebihi batas maksimum yaitu 0,03 $\mu\text{g/g DW}$.

Jagung juga ditemukan di lima negara baik wilayah Asia maupun Afrika (Pakistan, Cina, Tanzania, Ghana, dan Nigeria). Tiga dari lima penelitian tersebut melaporkan akumulasi Hg pada bulir jagung. Ghana merupakan negara dengan akumulasi Hg tertinggi yaitu mencapai 8,8 $\mu\text{g/g}$ DW. Sedangkan di Tanzania memiliki akumulasi Hg terendah yaitu $<0,004$ $\mu\text{g/g}$ DW. Penelitian Sani *et al.* (2020) di Nigeria menemukan bahwa tanaman jagung yang ditanam di sekitar area ASGM tidak mengandung merkuri. Berdasarkan bagian tanaman yang diteliti, Riaz *et al.* (2018) di Pakistan melaporkan akumulasi Hg pada masing - masing bagian tanaman jagung yaitu akar, batang, daun, dan bulir. Akumulasi Hg tertinggi ditemukan pada bagian akar tanaman jagung yaitu 0,633 $\mu\text{g/g}$ DW. Sedangkan akumulasi Hg terendah ditemukan pada bagian bulir tanaman jagung yaitu 0,0096 $\mu\text{g/g}$ DW. Sehingga urutan tingkat akumulasi Hg pada tanaman jagung adalah akar, daun, batang, kemudian bulir.

Akumulasi Hg pada gandum ditemukan di dua negara yaitu Cina dan Pakistan dari tiga penelitian yang ditemukan. Hanya satu penelitian yang melaporkan akumulasi Hg pada bulir gandum dengan nilai 0,0491 $\mu\text{g/g}$ DW di Pakistan (Riaz *et al.*, 2018). Dua penelitian lainnya melaporkan akumulasi Hg pada tanaman gandum di Cina. Akumulasi tertinggi ditemukan pada penelitian Feng *et al.* (2006) di Cina sebesar 0,137 $\mu\text{g/g}$ DW. Penelitian terbaru yaitu Xiao *et al.* (2017) juga menunjukkan akumulasi Hg yang relatif tinggi yaitu 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 hanya berbeda lokasi pengambilan sampel.

Penelitian Riaz *et al.* (2018) di Pakistan melaporkan akumulasi Hg pada masing - masing bagian tanaman gandum yaitu akar, batang, daun, dan bulir. Akumulasi Hg tertinggi ditemukan pada bagian akar tanaman gandum yaitu 0,0642 $\mu\text{g/g}$ DW. Sedangkan akumulasi Hg terendah ditemukan pada bagian batang tanaman gandum yaitu 0,0083 $\mu\text{g/g}$ DW. Sehingga urutan tingkat akumulasi Hg pada tanaman gandum adalah akar, daun, bulir, kemudian batang. Pada sereal lain sorgum dan millet yang diambil dari lahan pertanian di sekitar area ASGM (Kuchiko-Hausa) di Nigeria dilaporkan tidak mengandung Hg pada keseluruhan bagian tanamannya (Sani *et al.*, 2020).

Tabel 1 juga menunjukkan akumulasi Hg dalam tanah, namun hanya tujuh penelitian yang melaporkan. Dapat kita lihat bahwa nilai Hg terendah dalam tanah yaitu 0,0019 $\mu\text{g/g}$ DW pada penelitian Riaz *et al.*, (2018) dan tertinggi mencapai 24,3 (Appleton *et al.*, 2006). Sedikit penelitian yang melaporkan akumulasi merkuri dalam konsentrasi MeHg (metil merkuri). Akumulasi MeHg pada sereal dilaporan oleh Cheng *et al.* (2013) dan Feng *et al.* (2006) pada beras dan gandum. Pada beras, rata - rata akumulasi MeHg yang terdeteksi yaitu 0,002 $\mu\text{g/g}$ DW dari tiga lokasi pengambilan sampel di Lembah sungai Mekong Kratie, Kamboja (Cheng *et al.*, 2013). Sedangkan pada gandum, MeHg yang terdeteksi yaitu 0,0008 $\mu\text{g/g}$ DW (Feng *et al.*, 2006) pada *plant* (keseluruhan tanaman) yang Lahan pertanian di sekitar Tongguan, dekat dengan sungai kuning, Cina. Meskipun MeHg merupakan bentuk merkuri yang paling berbahaya, namun masih kurangnya penelitian yang melaporkan mengenai akumulasi MeHg dalam sereal akibat ASGM, oleh sebab itu dalam penelitian ini tidak dibahas secara detail dan terperinci.





Tabel 1. Konsentrasi Merkuri (THg dan MeHg) pada Serealia di Sembilan Negara

No	Serealia	Negara	Lokasi ASGM	Lokasi Pengambilan Sampel	Bagian Tumbuhan	Konsentrasi ($\mu\text{g/g DW} \pm \text{SD}$)			Referensi
						Tanah	THg	MeHg	
1	Beras	Filipina	Diwalwal, Pegunungan Timur Mindanao Ridge	Lahan sawah di Naboc, Babag, Mamonga, Tubo-Tubo dialiri air sungai yang tercemar Hg	Bulir	24,3 (0,05-96)	0,021 (0,009-0,058)	NA	Appleton <i>et al.</i> , 2006
2	Beras	Côte d'Ivoire	Agbaou and Bonikro	Lahan basah yang ditanami dan berjarak < 3 km dari lokasi penambangan	Bulir	NA	0,03 \pm 0,03 (0,006-0,164)	NA	Kinimo <i>et al.</i> , 2021
3	Beras	Kamboja	Kratie	Kampong cham (Area lembah sungai Mekong) Kratie (Area lembah sungai Mekong) Kandal (antara lembah sungai Mekong dan Bassac)	Bulir	NA	0,00946 0,01476 0,01187	0,00167 0,00179 0,00272	Cheng <i>et al.</i> , 2013
4	Beras	Thailand	Bukit Phanom Pha	Lahan pertanian di depan waduk Khao chet luk dan sekitarnya	Bulir	0,117 (0,016-0,181)	0,235 (0,191-0,298)	NA	Pataranaw <i>at et al.</i> , 2007
5	Beras	Tanzania	Rwamagasa	590 m dari pasar Rwamagasa, Tembomine (kolam amalgamasi) 480 m dari pasar Rwamagasa, Kebun sayur dekat dengan Isingilr R, 850 m dari pasar Rwamagasa, Pasar Rwamagasa	Bulir	0,12	0,02 (0,011-0,031)	NA	Taylor <i>et al.</i> , 2005

No	Serealia	Negara	Lokasi ASGM	Lokasi Pengambilan Sampel	Bagian Tumbuhan	Konsentrasi ($\mu\text{g/g DW} \pm \text{SD}$)			Referensi
						<i>(Range)</i>			
						Tanah	THg	MeHg	
6	Jagung	Nigeria	Kuchiko-Hausa	Lahan pertanian di sekitar Kuchiko-Hausa	Plant	NA	ND	NA	Sani <i>et al.</i> , 2020
7	Jagung	Ghana	Ghana Selatan	Lahan pertanian yang berada di sekitar pertambangan	Bulir	$8,6 \pm 5,3$	$8,80 \pm 0,64$	NA	Amoakwah <i>et al.</i> , 2020
8	Jagung	Tanzania	Rwamagasa	590 m dari pasar Rwamagasa, Dekat Tembomine kolam amalgamasi 480 m dari pasar Rwamagasa, Kebun sayur dekat dengan Isingilr R, 850 m dari pasar Rwamagasa, Pasar Rwamagasa	Bulir	$0,357$ (0,055-0,66)	<0,004	NA	Taylor <i>et al.</i> , 2005
9	Jagung	Pakistan	Gilgit-Baltistan	Lahan pertanian di sepanjang sungai Hunza dan Gilgit	Plant		0,0144	NA	Riaz <i>et al.</i> , 2018
					Bulir		$0,0096 \pm 0,0023$	NA	
					Akar	$0,0019$	$0,0633 \pm 0,0215$	NA	
					Daun		$0,0377 \pm 0,0101$	NA	
					Batang		$0,0236 \pm 0,0101$	NA	
10	Jagung	Cina	Tongguan, Shaanxi timur	Lahan pertanian pada 6 (enam) desa dengan sejarah ASGM yang luas	Plant	$2,91$ (0,69 -23,7)	0,024	NA	Xiao <i>et al.</i> , 2017

No	Serealia	Negara	Lokasi ASGM	Lokasi Pengambilan Sampel	Bagian Tumbuhan	Konsentrasi ($\mu\text{g/g DW} \pm \text{SD}$) (Range)			Referensi
						Tanah	THg	MeHg	
11	Gandum	Cina	Tongguan, Shaanxi timur	Lahan pertanian di sekitar Tongguan, dekat dengan sungai kuning	Plant	8,8 (2,3-18)	0,137 (0,083-0,18)	0,0008 (0,0002-0,0001)	Feng <i>et al.</i> , 2006
12	Gandum	Pakistan	Gilgit-Baltistan	Lahan pertanian di sepanjang sungai Hunza dan Gilgit	Plant		0,0122	NA	Riaz <i>et al.</i> , 2018
					Bulir		$0,0491 \pm 0,014$	NA	
					Akar	0,0019	$0,0642 \pm 0,0342$	NA	
					Daun		$0,0377 \pm 0,014$	NA	
			Batang			$0,0083 \pm 0,0124$	NA		
13	Gandum	Cina	Tongguan, Shaanxi timur	Lahan pertanian pada 6 (enam) desa dengan sejarah ASGM yang luas	Plant	2,91 (0,69 -23,7)	0,042	NA	Xiao <i>et al.</i> , 2017
14	Sorgum	Nigeria	Kuchiko-Hausa	Lahan pertanian di sekitar Kuchiko-Hausa	Plant	NA	ND	NA	Sani <i>et al.</i> , 2020
15	Milet	Nigeria	Kuchiko-Hausa	Lahan pertanian di sekitar Kuchiko-Hausa	Plant	NA	ND	NA	Sani <i>et al.</i> , 2020

Keterangan :

NA: *Not Available* (tidak tersedia)

ND: *Not Detected* (tidak terdeteksi)

3.2. Akumulasi merkuri pada Serealialia di Indonesia

Tabel 2. Menyajikan hasil - hasil penelitian mengenai akumulasi merkuri pada serealialia di Indonesia. Sebanyak empat belas penelitian ditemukan melaporkan akumulasi merkuri pada dua jenis serealialia yaitu beras dan jagung. Sesuai dengan tabel 1. Sebagian besar serealialia yang diteliti yaitu beras, akumulasi merkuri (Hg) juga ditemukan pada seluruh bagian tanaman, dan konsentrasi merkuri disajikan sebagai konsentrasi THg dan MeHg. Terdapat lima provinsi di Indonesia yang dilaporkan melakukan kegiatan ASGM dan dampaknya terhadap akumulasi merkuri (Hg) pada serealialia yaitu Banten, Jawa Barat, Nusa Tenggara Barat, Maluku dan Sulawesi tengah. Sampel serealialia pada penelitian - penelitian yang ditemukan sebagian besar diambil dari lahan pertanian yang jaraknya tidak jauh dari kegiatan ASGM dan menggunakan air sungai maupun waduk sebagai irigasi. Beberapa sampel serealialia juga diambil dari lahan kebun, telaga, dan beras hasil panen petani lokal yang berada di sekitar area ASGM.

Penelitian - penelitian yang ditemukan sebagian besar melaporkan akumulasi serealialia pada bulir dilanjutkan dengan *plant* (keseluruhan bagian tanaman), akar, daun, dan batang. Penelitian Bose O'Reilly *et al.* (2016) melaporkan nilai akumulasi Hg tertinggi sebesar 1,186 $\mu\text{g/g}$ DW pada bulir padi yang diambil dari 10 km dari pusat ASGM yaitu di desa Cisit, Banten. Sedangkan nilai terendah dilaporkan oleh Astiti dan Sugianti, (2014) di Kabupaten Lombok (Barat dan Tengah) yaitu 0,0002 (0,0001-0,0003) $\mu\text{g/g}$ DW. Penelitian Rothenberg *et al.* (2017), Sudja (2012), Novirsa *et al.* (2020), Saragih *et al.* (2021), Krisnayanti *et al.* (2012), dan Istikasari *et al.* (2017) juga menunjukkan akumulasi Hg diatas batas maksimum yang telah ditetapkan oleh FAO/WHO.

Berdasarkan bagian tanaman yang diteliti, akumulasi Hg tertinggi dilaporkan dalam penelitian Suci *et al.* (2020) sebesar 10,813 $\mu\text{g/g}$ DW pada bagian akar yang diambil dari sawah yang menggunakan air waduk yang tercemar merkuri yaitu Waduk Pamali yang berada di Pulau Buru Maluku. Penelitian dari Saragih *et al.* (2021) di Sukabumi juga membuktikan bahwa dari tiga lokasi pengambilan sampel (10 m dari area ASGM) akumulasi Hg tertinggi yaitu pada bagian akar tanaman dibandingkan dengan bagian tanaman lainnya. Nilai akumulasi tersebut juga cukup tinggi dengan nilai rata-rata 0,69 (0,41-1,22) $\mu\text{g/g}$ DW. Dalam penelitian Saragih *et al.* (2021) juga melaporkan

akumulasi Hg pada bagian tanaman lainnya seperti daun, batang, dan bulir. Berdasarkan nilai akumulasi Hg pada masing-masing bagian tanaman tersebut, dapat disimpulkan urutan tingkat akumulasi Hg setelah akar dilanjutkan oleh daun, batang, kemudian bulir dengan nilai rata-rata 0,261, 0,068, 0,009 $\mu\text{g/g DW}$.

Pada *plant* (keseluruhan tanaman) yang diambil dari lahan pertanian di sekitar Telaga lebur, Lendang Re 1, Tembowong 1, dan Tembowong 2 di Lombok Barat, dilaporkan mengakumulasi Hg sebesar 1,23 $\mu\text{g/g DW}$ (Suhadi *et al.*, 2021). Penelitian yang melaporkan nilai akumulasi merkuri pada tanaman jagung hanya penelitian yang dilakukan oleh Santoso & Wahyudi (2014) yang diambil dari lahan kebun campuran yang berjarak 2 Km dari ASGM yang ada di Kota Palu dengan nilai akumulasi merkuri (THg) sebesar 0,234 $\mu\text{g/g DW}$. penelitian-penelitian tersebut membuktikan bahwa akumulasi Hg pada tanaman hingga bulir sereal sudah melebihi batas maksimum yang ditetapkan oleh FAO/WHO (2002) yaitu 0,02 $\mu\text{g/g}$.

Bose O'Reilly *et al.* (2016) melaporkan akumulasi merkuri (THg) pada beberapa sampel beras yaitu *brown rice*, *white rice*, dan *sirih kuning* berdasarkan jenis beras (dengan sekam dan tanpa sekam) dengan waktu panen tanaman beras (4, 5, 10, 11 tahun). Beras tanpa sekam memiliki akumulasi merkuri (THg) lebih rendah dibandingkan beras dengan sekam pada semua sampel beras. Berdasarkan waktu panen, beras yang dipanen pada umur 11 tahun memiliki akumulasi merkuri (THg) tertinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa adanya sekam pada sampel beras dan umur panen tanaman beras dapat mempengaruhi akumulasi Hg pada beras.

Pada Tabel 2. juga menunjukkan data akumulasi Hg dalam tanah, namun hanya terdapat 6 penelitian yang melaporkan. Nilai akumulasi Hg dalam tanah tertinggi yaitu mencapai 77,897 $\mu\text{g/g DW}$ (Suci *et al.*, 2020) sedangkan nilai terendah yaitu 0,0127 $\mu\text{g/g DW}$ (Pamungkas *et al.*, 2015). Akumulasi merkuri dalam bentuk MeHg pada sereal dilaporkan dari 3 penelitian yang ditemukan yaitu Rothenberg *et al.* (2017), Novirsa *et al.* (2020) dan Krisnayanti *et al.* (2012) pada beras. Hanya dua bagian tanaman yang dilaporkan mengakumulasi merkuri (MeHg) yaitu bulir dan daun. Nilai akumulasi merkuri (MeHg) tertinggi yaitu pada salah satu sampel bulir beras yang diambil dari

lahan pertanian dekat ASGM di desa Sekotong, Pulau Lombok yaitu $0,0577 \mu\text{g/g DW}$ dengan nilai rata - rata $0,0431 \mu\text{g/g DW}$. Sedangkan nilai akumulasi merkuri (MeHg) terendah yaitu $0,011$ pada sampel bulir beras yang diambil dari 5-7 km dari ASGM dan Lahan pertanian di sebelah ASGM, Banten. Pada daun dilaporkan mengakumulasi merkuri (MeHg) sebesar $0,036 \mu\text{g/g DW}$ yang diambil dari lahan pertanian dekat ASGM di desa Sekotong, Pulau Lombok.



Tabel 2. Konsentrasi Merkuri (THg dan MeHg) pada Serealia di Indonesia

No	Serealia	Negara	Lokasi ASGM	Lokasi Pengambilan Sampel	Bagian Tumbuhan	Konsentrasi ($\mu\text{g/g DW} \pm \text{SD}$)			Referensi
						Soil	THg	MeHg	
1	Beras	Indonesia	Desa Pangkal Jaya	5-7 km dari ASGM	Bulir	NA	0,015 \pm 0,0056 (0,0089-0,026)	0,004 \pm 0,003 (0,001-0,012)	Rothenberg <i>et al.</i> , 2017
				Lahan pertanian di sebelah ASGM			0,14 \pm 0,044	0,011 \pm 0,0052 (0,0057-0,018)	
2	Beras	Indonesia	Desa Cisungsang, Kecamatan Cibeer, Kabupaten Lebak, Banten	Lahan pertanian di sekitar desa cisungsang	Bulir	0,0127	0,002	NA	Pamungkas <i>et al.</i> , 2015
3	Beras	Indonesia	Kecamatan Cineam Kabupaten Tasikmalaya	Lahan pertanian yang berjarak 0,5-4 km dari lokasi ASGM	Bulir	NA	0,0379 \pm 0,0058 (0,317-0,043)	NA	Sudja, 2012
4	Beras	Indonesia	Poboaya Kota Palu	Lahan kebun campuran yang berjarak 2 Km dari ASGM	Plant	2,122 (0,85-2,71)	0,138 (0,03-0,19)	NA	Santoso & Wahyudi, 2014
5	Beras	Indonesia	Kecamatan Cineam Kabupaten Tasikmalaya	Lahan pertanian berjarak 0,5 km, antara 0,5 – <1 km dan antara 1-2 km dari ASGM	Bulir	NA	0,0039 \pm 0,0005	NA	Purnawan & Niken, 2020

No	Serealia	Negara	Lokasi ASGM	Lokasi Pengambilan Sampel	Bagian Tumbuhan	Konsentrasi ($\mu\text{g/g DW} \pm \text{SD}$)			Referensi
						<i>(Range)</i>			
						Tanah	THg	MeHg	
6	Beras	Indonesia	Kabupaten Lombok Barat dan Kabupaten Lombok Tengah	Lahan pertanian 0-10 meter dari ASGM	Bulir	1,85 (0,2-3,5)	0,0001-0,0003	NA	*Astiti dan Sugianti, 2014
7	Beras	Indonesia	Kecamatan Sekotong, Lombok Barat	Lahan pertanian di sekitar Telaga lebur, Lendang Re 1, Tembowong 1, Tembowong 2	Plant	19,252 (2,9-53,86)	$1,23 \pm 0,00$	NA	**Suhadi <i>et al.</i> , 2021
8	Beras	Indonesia	Gunung Nona, Kecamatan Waepo dan Waelata, Kabupaten Buru	Beras hasil panen petani lokal di Desa Parbulu, Debowae, dan Waenetat	Bulir	NA	0,0193 (0,007-0,027)	NA	*Mariwy, 2021
9	Beras	Indonesia	Area ASGM di Lebaksitu	≥ 500 m dari area ASGM	Bulir	NA	0,0322 (0,0091-0,115)	0,0119 (0,0049-0,0207)	**Novirsa <i>et al.</i> , 2020
10	Beras	Indonesia	Gunung Nona, Desa Grandeng, Kecamatan Lolong Guba Pulau Buru	Area persawahan Desa Grandeng yang menggunakan air Waduk Pamali yang tercemar merkuri	Akar	77,897 (15,02-192,78)	10,813 (4,22-14,58)	NA	*Suci <i>et al.</i> , 2020

No	Serealia	Negara	Lokasi ASGM	Lokasi Pengambilan Sampel	Bagian Tumbuhan	Konsentrasi ($\mu\text{g/g DW} \pm \text{SD}$)			Referensi	
						Tanah	THg	MeHg		
11	Beras	Indonesia	Sukabumi	Padi yang ditanam 10 m dari area ASGM di kabupaten Waluran, Mangun Jaya	Akar		1,22		NA	Saragih <i>et al.</i> , 2021
					Daun		0,46			
					Batang		0,03			
				Padi yang ditanam 10 m dari area ASGM di kabupaten Waluran, Lengkap Jaya	Akar		0,41			
					Daun	13,75 (1,6-88)	0,25			
					Bulir		0,09			
					Batang		0,14			
				Padi yang ditanam di area yang tidak ada ASGM (kontrol)	Akar		0,44			
					Daun		0,074			
					Batang		0,036			
12	Beras	Indonesia	Pulau Lombok	Lahan pertanian dekat ASGM di desa Sekotong	Bulir		NA	0,0577 \pm 0,0429 (0,0106 - 0,115)	**Krisnayanti <i>et al.</i> , 2012	
					Bulir (hull)	NA	NA	0,0286 \pm 0,0253 (0,0433 - 0,0649)		
					Daun		NA	0,036 \pm 0,0249 (0,00063-0,103)		

No	Serealia	Negara	Lokasi ASGM	Lokasi Pengambilan Sampel	Bagian Tumbuhan	Konsentrasi ($\mu\text{g/g DW} \pm \text{SD}$)			Referensi
						Tanah	THg	MeHg	
13	Beras	Indonesia	Desa Cisitu	10 km dari pusat desa Cisitu	White rice (2 tahun)	NA	1,186	NA	Bose O'Reilly <i>et al.</i> , 2016
					brown rice + Husk (4 tahun)	NA	0,585	NA	
					Brown rice (4 tahun)	NA	0,22	NA	
					brown rice + Husk (5 tahun)	NA	0,208	NA	
					Brown rice (5 tahun)	NA	0,1	NA	
					white rice + Husk (5 tahun)	NA	0,13	NA	
					white rice (5 tahun)	NA	0,089	NA	
					brown rice + Husk (10 tahun)	NA	0,149	NA	
					Brown rice (10 tahun)	NA	0,068	NA	
					Sirih kuning rice + Husk (11 tahun)	NA	0,412	NA	
Sirih kuning rice (11 tahun)	NA	0,174	NA						

No	Serealia	Negara	Lokasi ASGM	Lokasi Pengambilan Sampel	Bagian Tumbuhan	Konsentrasi ($\mu\text{g/g DW} \pm \text{SD}$)			Referensi
						Tanah	THg	MeHg	
14	Beras	Indonesia	Gunung Pongkor, Kecamatan Nanggung	Lahan pertanian dekat dengan ASGM yang dialiri air sungai yang tercemar limbah ASGM	Bulir	NA	0,1118 (0,01593-0,2922)	NA	Istikasari <i>et al.</i> , 2017
15	Jagung	Indonesia	Poboya Kota Palu	Lahan kebun campuran yang berjarak 2 Km dari ASGM	Plant	2,122 (0,85-2,71)	0,234 (0,07-0,43)	NA	Santoso & Wahyudi, 2014

Keterangan :

NA : *Not Available* (tidak tersedia)

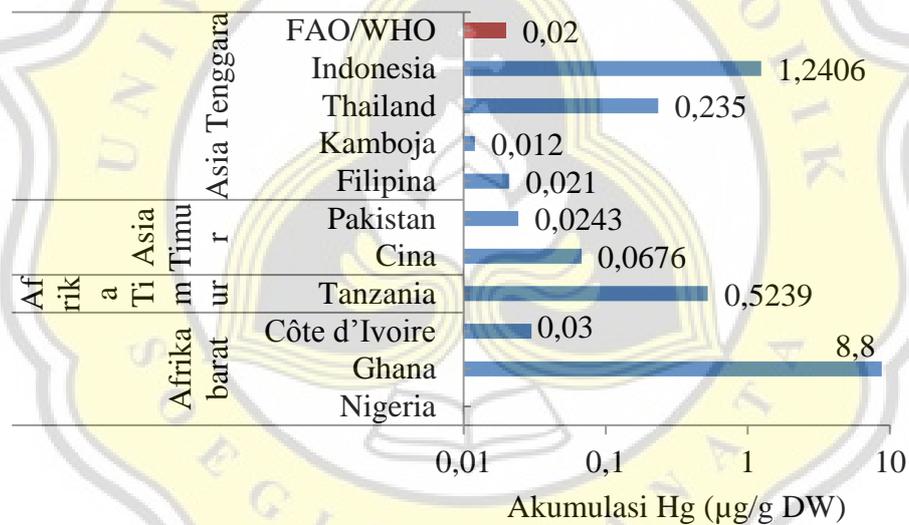
ND : *Not Detected* (tidak terdeteksi)

* : *Ranking Jurnal > S4*

** : *Unranked Journal*

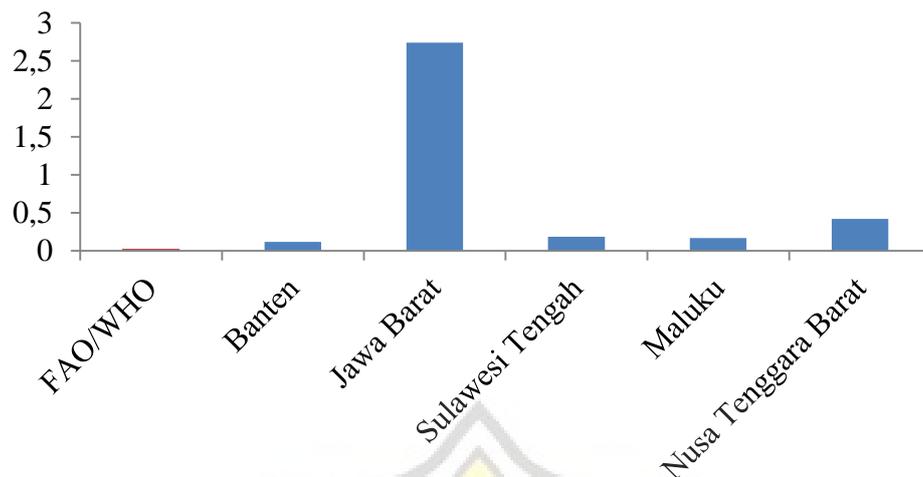
3.3. Akumulasi Merkuri (Hg) pada Serealia di Sepuluh Negara

Sebanyak sepuluh negara didapati melaporkan akumulasi merkuri pada serealia. Meskipun penelitian - penelitian mengenai akumulasi merkuri pada serealia cukup terbatas, dapat dihitung nilai rata - rata akumulasi merkuri pada tanaman serealia berdasarkan negara (Gambar.7). Ghana merupakan negara dengan nilai akumulasi merkuri tertinggi yaitu 8,8 $\mu\text{g/g DW}$, namun hanya ditemukan satu penelitian saja. Selanjutnya Indonesia merupakan negara ke-dua tertinggi dengan akumulasi merkuri 1,2406 $\mu\text{g/g DW}$ dari empat belas penelitian yang ditemukan. Di Tanzania dan Thailand juga menunjukkan nilai akumulasi merkuri yang cukup tinggi yaitu 0,5239 dan 0,235 $\mu\text{g/g DW}$. China merupakan negara terakhir yang menunjukkan nilai rata - rata akumulasi merkuri yang relatif tinggi pada tanaman serealia yaitu 0,0676 $\mu\text{g/g DW}$ diikuti Côte d'Ivoire, Pakistan, Filipina, dan Kamboja.



Gambar 7. Nilai rata - rata Akumulasi Merkuri (Hg) pada Tanaman Serealia di Sepuluh Negara

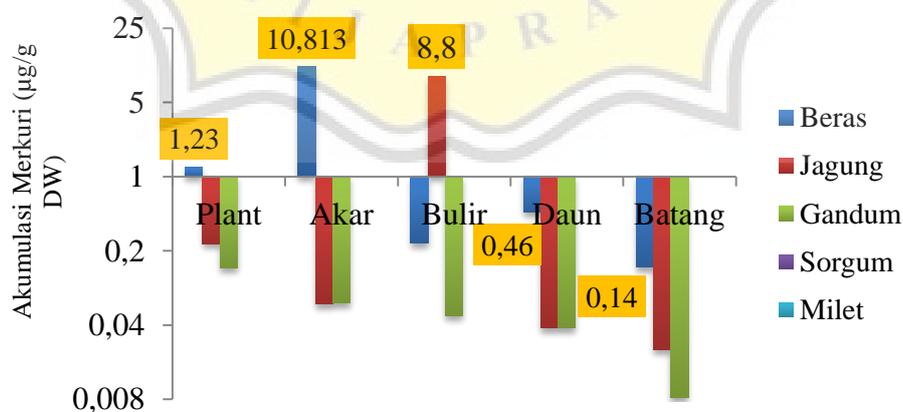
Berdasarkan penelitian - penelitian yang ditemukan, sebanyak lima provinsi di Indonesia didapati melakukan kegiatan ASGM dan berdampak bagi lahan pertanian di sekitarnya khususnya serealia (Gambar 8.). Nilai rata - rata pada kelima provinsi relatif tinggi. Nilai rata - rata tertinggi akumulasi merkuri pada tanaman serealia didapati pada wilayah Jawa Barat dengan nilai 2,7416 $\mu\text{g/g DW}$ diikuti dengan Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, Maluku, dan yang terakhir Banten.



Gambar 8. Nilai rata - rata Akumulasi Merkuri (Hg) pada Tanaman Serealia Berdasarkan Wilayah di Indonesia

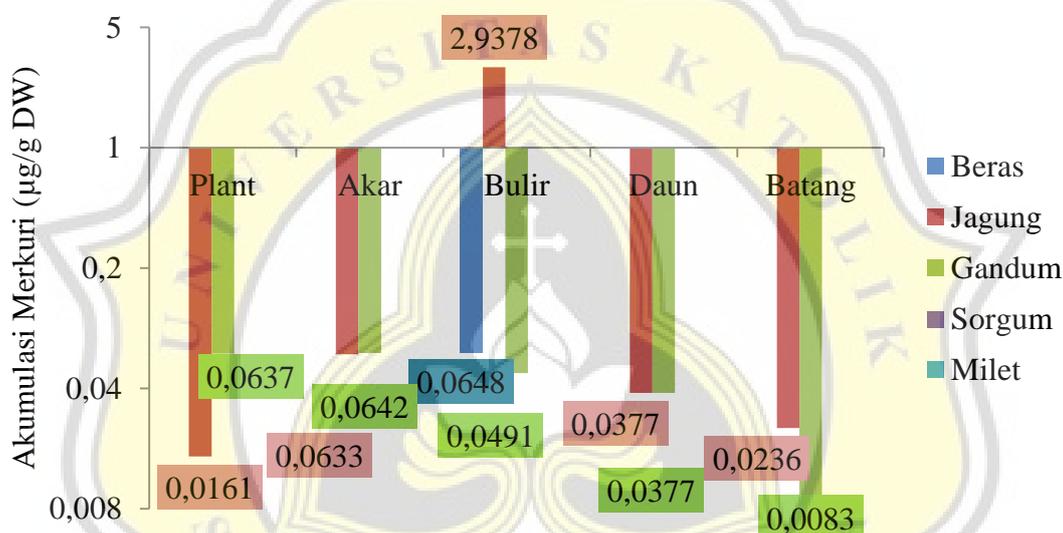
3.4. Akumulasi merkuri pada Serealia berdasarkan Bagian Tanaman Serealia

Gambar 9. Menunjukkan data akumulasi merkuri tertinggi pada masing - masing jenis serealia berdasarkan bagian tanaman pada sepuluh negara termasuk Indonesia. Pada seluruh bagian tanaman yang teliti, akar pada tanaman beras/padi menempati posisi tertinggi diikuti dengan bulir jagung, seluruh bagian tanaman (*Plant*) beras, bagian daun pada tanaman beras, dan batang dari tanaman beras. Pada bagian yang dapat dimakan yaitu bulir, jagung memiliki nilai tertinggi yaitu 8,8 µg/g DW dilanjutkan dengan beras 0,235 µg/g DW dan gandum 0,0491 µg/g DW. Sorgum dan millet dilaporkan tidak terdeteksi merkuri pada seluruh bagian tanaman yang diteliti.



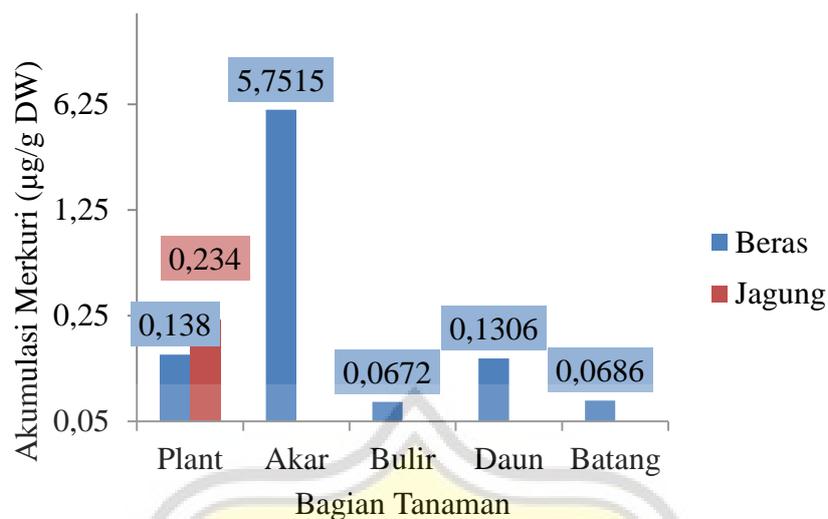
Gambar 9. Akumulasi Merkuri (Hg) Tertinggi Pada Serealia Berdasarkan Bagian Tanaman Serealia pada sepuluh negara

Berdasarkan penelitian yang ditemukan pada sembilan negara yang ada di Asia, Afrika timur dan Afrika barat, jagung dan gandum dilaporkan mengandung merkuri pada seluruh bagian tanaman, sedangkan beras hanya ditemukan pada bagian bulir (Gambar 10.). Pada sereal jagung, nilai rata - rata akumulasi merkuri tertinggi yaitu 2,9378 $\mu\text{g/g}$ DW pada bulir dilanjutkan dengan akar, daun, batang, dan *plant* (keseluruhan tanaman). Sedangkan pada gandum, nilai rata - rata akumulasi merkuri tertinggi ditemukan pada akar yaitu 0,0642 $\mu\text{g/g}$ DW dilanjutkan dengan *plant* (keseluruhan tanaman), bulir, daun, dan batang. Nilai rata - rata akumulasi merkuri pada beras juga relatif tinggi yaitu 0,0648 $\mu\text{g/g}$ DW.



Gambar 10. Rata - rata Akumulasi Merkuri (Hg) pada Sereal Berdasar Bagian Tanaman di Sembilan Negara

Di Indonesia, Terdapat 2 jenis sereal yang ditemukan yaitu beras dan jagung. Rata - rata akumulasi merkuri pada beras ditemukan pada seluruh bagian tanaman, sedangkan jagung hanya ditemukan pada bagian *plant* (keseluruhan tanaman) (Gambar 11.). Akar tanaman beras menunjukkan nilai rata - rata tertinggi yaitu 5,7515 $\mu\text{g/g}$ DW diikuti berturut - turut *plant* (keseluruhan tanaman), daun, batang, dan bulir. Penelitian yang melaporkan akumulasi merkuri pada jagung hanya penelitian dari Santoso & Wahyudi, (2014) dengan nilai akumulasi merkuri yang cukup tinggi yaitu 0,234 $\mu\text{g/g}$ DW pada *plant* (keseluruhan tanaman).

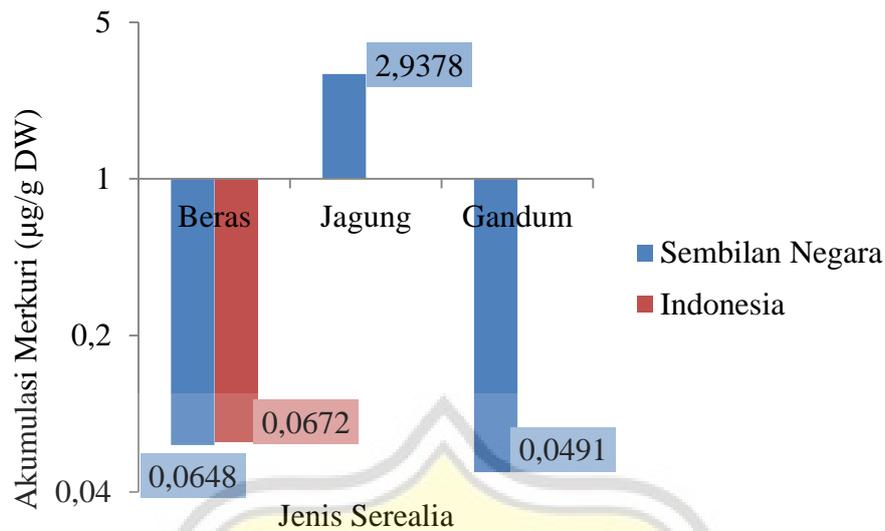


Gambar 11. Rata - rata Akumulasi Merkuri (Hg) Pada Serealia Berdasarkan Bagian Tanaman di Indonesia

3.5. Akumulasi Merkuri (THg dan MeHg) Pada Bulir Serealia

3.5.1. Akumulasi Merkuri (THg) pada Bulir Serealia

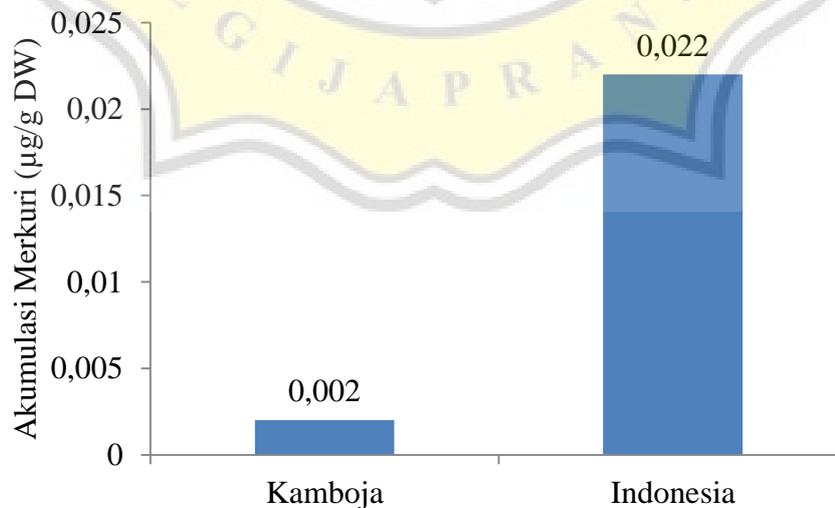
Bagian yang dapat dimakan dari tanaman serealia yaitu bulirnya. Pada penelitian yang ditemukan, hanya terdapat tiga jenis serealia yang dilaporkan mengandung merkuri pada bagian bulirnya yaitu beras, jagung, dan gandum. Indonesia hanya melaporkan satu jenis serealia yaitu beras yang ditemukan pada empat Provinsi yaitu Banten, Jawa Barat, Nusa Tenggara Barat, dan Maluku. Pada sembilan negara, sebanyak lima negara melaporkan akumulasi merkuri pada bulir beras (Filipina, Kamboja, Thailand, Côte d'Ivoire, Tanzania), tiga negara melaporkan akumulasi pada bulir jagung (Ghana, Tanzania, dan Pakistan) dan hanya satu negara yang melaporkan akumulasi merkuri pada bulir gandum yaitu di Pakistan. Rata - rata akumulasi merkuri pada bulir serealia di sembilan negara dan Indonesia dapat dilihat pada Gambar 10. Jagung menunjukkan nilai rata - rata akumulasi merkuri tertinggi jika dibandingkan dengan jenis serealia lainnya yaitu mencapai 2,9378 µg/g DW. Nilai rata - rata akumulasi merkuri pada beras dari lima negara dan di Indonesia tidak jauh berbeda hanya selisih 0,0061 µg/g DW. Nilai rata-rata terendah ditemukan pada jenis serealia gandum yaitu 0,0491 µg/g DW.



Gambar 12. Rata - rata Akumulasi Merkuri (Hg) Pada Bulir Serealia

3.5.2. Akumulasi Merkuri (MeHg) pada Bulir Serealia

Berdasarkan penelitian yang sudah ditemukan, tidak semua melaporkan akumulasi merkuri dalam bentuk MeHg pada serealia (Tabel 1 dan Tabel 2). Pada Sembilan negara yang ditemukan, hanya satu negara yang dilaporkan mengandung merkuri (MeHg) pada bulir beras yaitu Kamboja. Sedangkan di Indonesia, terdapat tiga penelitian yang melaporkan akumulasi merkuri (MeHg) pada bulir beras di Provinsi banten dan Pulau Lombok. Kalkulasi nilai rata - rata merkuri (MeHg) pada bulir beras di Kamboja dan Indonesia dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Rata - rata Akumulasi Merkuri (MeHg) pada Bulir Beras

3.6. Nilai HQ (*Hazard Quotient*)

3.6.1. Nilai HQ pada Serealia di Delapan negara termasuk Indonesia

Tabel 3. menyajikan tingkat konsumsi beras, jagung, dan gandum berdasarkan delapan negara yang ditemukan. Tingkat konsumsi serealia yang ditemukan dalam bentuk Kg/kapita/tahun, sehingga perlu diseragamkan menjadi g/hari. Tingkat konsumsi serealia diperoleh dalam konsentrasi WW (*Wet weight*). Oleh karena itu, konsentrasi Hg yang digunakan diubah kedalam konsentrasi WW. Konsentrasi Hg yang digunakan merupakan konsentrasi Hg dari nilai terendah (min.) dan tertinggi (max.).

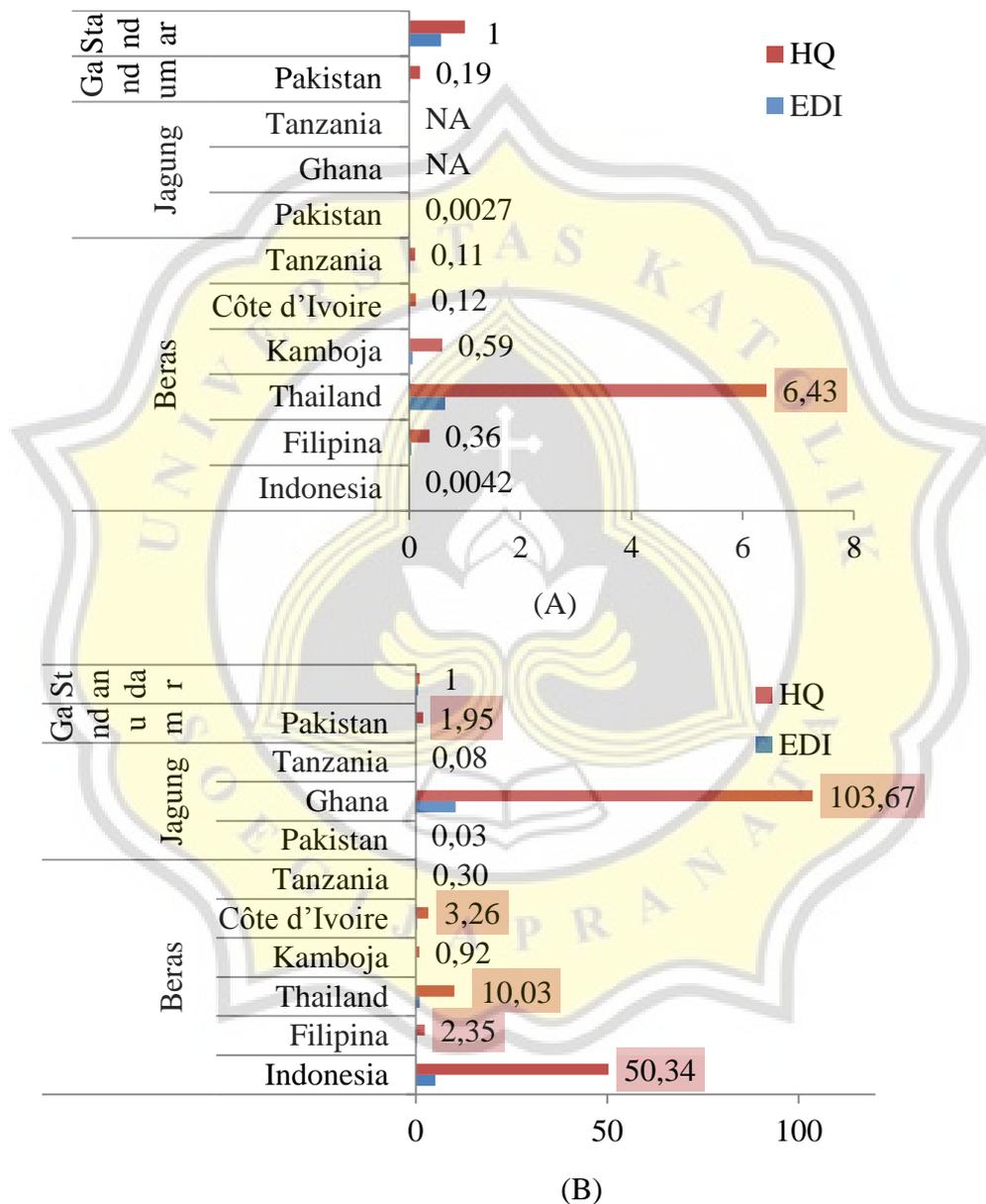
Tabel 3. Konsentrasi Hg (min. & max.) dan Tingkat Konsumsi Serealia berdasarkan Negara

Jenis Serealia	Wilayah	Negara	Konsentrasi Hg ($\mu\text{g/g WW}$)		Tingkat Konsumsi (Kg/kapita/tahun)	Konsumsi Harian (g WW/hari)
			min.	max.		
Beras	Asia	Indonesia	0,0001	1,0200	126,1 ^a	345,479
		Filipina	0,0077	0,0499	120,3 ^a	329,589
		Thailand	0,1643	0,2563	100 ^a	273,973
		Kamboja	0,0081	0,0127	186 ^b	509,589
	Afrika	Côte d'Ivoire	0,0052	0,1410	59 ^c	161,644
		Tanzania	0,0095	0,0267	28,5 ^d	78,082
Jagung	Asia	Pakistan	0,0009	0,0083	7,9 ^a	21,644
	Afrika	Ghana	NA	7,5680	35 ^c	95,890
		Tanzania	NA	0,0034	58,47 ^e	160,192
Gandum	Asia	Pakistan	0,0042	0,0422	117,7 ^a	322,466

Sumber: (a) OECD-FAO, (2021); (b) *Secretariat, C.G.I.A.R. & CGIAR Technical Advisory Committee*. (1998); (c) FAO, (2012); (d) FAO, (2015); (e) FAO, (2018).

Pada Gambar 14.A Dapat dilihat nilai EDI dan HQ yang dihasilkan dari perhitungan konsentrasi Hg terendah sedangkan Gambar 14.B berdasarkan konsentrasi Hg tertinggi. Pada Gambar 14.A, beras di Thailand menunjukkan nilai HQ diatas ambang batas (HQ=1) yaitu mencapai 6,43. Sedangkan negara lainnya menunjukkan nilai HQ dibawah ambang batas. Jagung dan gandum di masing-masing negara juga menunjukkan nilai HQ

dibawah ambang batas. Pada Gambar 14.B, nilai HQ tertinggi ditunjukkan oleh jagung yang ada di Ghana yaitu 103,67. Beras di Indonesia, Filipina, Thailand, Côte d'Ivoire, dan gandum di Pakistan juga menunjukkan nilai HQ diatas ambang batas. Sedangkan nilai HQ beras di Kamboja dan Tanzania masih dibawah ambang batas, begitu juga dengan jagung di Pakistan dan Tanzania.



Gambar 14. Nilai EDI dan HQ ((A) min. & (B) max.) berdasarkan Negara

3.6.2. Nilai HQ pada Beras di Indonesia

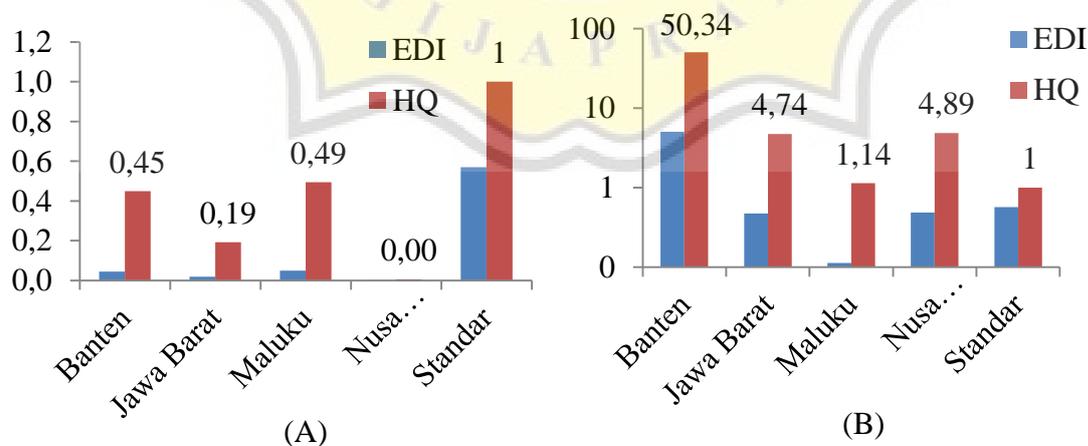
Pada Tabel 4. dapat dilihat akumulasi Hg pada beras juga ditemukan di empat Provinsi yang ada di Indonesia yaitu Banten, Jawa Barat, Maluku, dan Nusa Tenggara Barat. Data konsentrasi Hg yang digunakan merupakan konsentrasi dengan nilai terendah dan tertinggi. Data tingkat konsumsi yang digunakan diperoleh dari OECD-FAO (2021) yaitu sebesar 345,479 g/hari. Data - data tersebut yang digunakan dalam perhitungan nilai EDI dan HQ di empat Provinsi di Indonesia.

Tabel 4. Konsentrasi Hg (min. & max.) dan Tingkat Konsumsi Beras di Indonesia

Provinsi	Konsentrasi Hg ($\mu\text{g/g}$)		Konsumsi Serealisa (Kg/kapita/tahun)	Konsumsi Harian (g/hari)
	min.	max.		
Banten	0,002	1,02	126,1	345,479
Jawa Barat	0,003	0,096		
Maluku	0,006	0,023		
Nusa Tenggara Barat	0,0001	0,099		

Sumber tingkat konsumsi: OECD-FAO, (2021)

Pada Gambar 15.A dapat dilihat nilai EDI dan HQ berdasarkan data konsentrasi Hg terendah setelah dilakukanya perhitungan. Nilai HQ yang dihasilkan masih dibawah ambang batas. Sedangkan pada Gambar 15.B merupakan nilai EDI dan HQ yang dihasilkan dari perhitungan konsentrasi Hg tertinggi. Nilai HQ yang dihasilkan pada masing - masing Provinsi telah melebihi ambang batas (HQ=1). Bahkan, di Provinsi Banten, nilai HQ lima puluh kali lebih tinggi dari ambang batas.



Gambar 15. Nilai EDI dan HQ ((A) min. & (B) max.) pada Beras di Indonesia

3.6.3. Nilai HQ pada Serealisa di Kamboja dan Indonesia (MeHg)

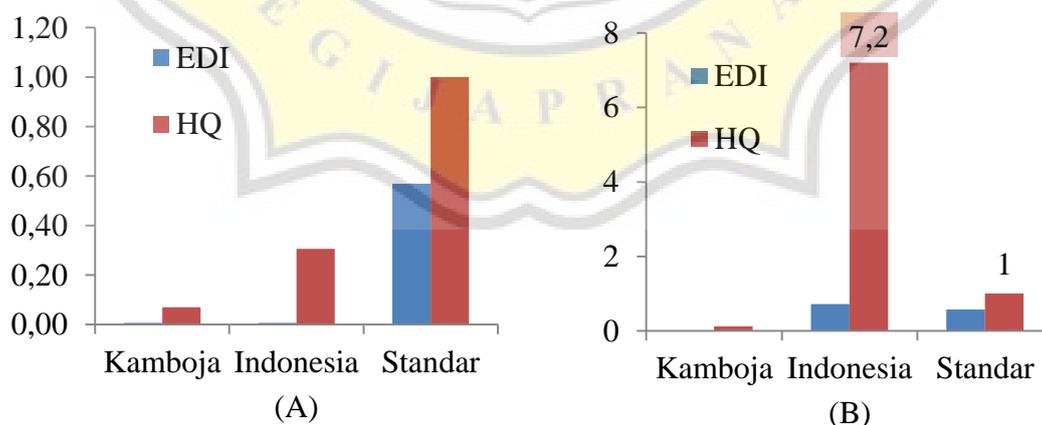
Pada tabel 5. Dapat dilihat bahwa terdapat dua negara yang dilaporkan mengandung MeHg pada bulir beras. Data konsentrasi Hg pada beras diubah menjadi bentuk WW. Konsentrasi MeHg dan tingkat konsumsi beras pada masing - masing negara dapat digunakan untuk menghitung nilai HQ.

Tabel 5. Konsentrasi MeHg pada Beras (min. & max.) dan Tingkat Konsumsi Beras di Kamboja dan Indonesia

Negara	Konsentrasi Hg ($\mu\text{g/g}$)		Tingkat Konsumsi (Kg/kapita/tahun)	Konsumsi Harian (g WW/hari)
	min.	max.		
Kamboja	0,0014	0,0023	126,1 ^a	345,479
Indonesia	0,0042	0,0989	186 ^b	509,589

Sumber: (a) OECD-FAO, (2021), (b) Secretariat, C.G.I.A.R. & CGIAR Technical Advisory Committee. (1998)

Pada Gambar 16. Menunjukkan nilai EDI dan HQ (MeHg) untuk dua negara yaitu Indonesia dan Kamboja menggunakan data konsentrasi Hg terendah (min.) dan tertinggi (max.). Nilai HQ dengan konsentrasi Hg terendah (min.) pada beras ditunjukkan pada Gambar 16.A. Kamboja dan Indonesia menunjukkan nilai HQ dibawah ambang batas (HQ=1). Gambar 16.B menunjukkan nilai HQ menggunakan konsentrasi Hg tertinggi (max.) yang telah ditemukan. Kamboja menunjukkan nilai HQ dibawah ambang batas. Sebaliknya, Indonesia menunjukkan nilai HQ lebih dari 1 yang mencapai 7,2.



Gambar 16. Nilai EDI dan HQ ((A) min. & (B) max.) pada Beras di Kamboja dan Indonesia

3.6.4. Maximum Allowable Consumption rate berdasarkan Negara

Berdasarkan data konsentrasi Hg dalam sereal yang ditemukan dalam penelitian ini, dapat dihitung batas maksimal konsumsi sereal tersebut. Batas maksimal konsumsi sereal berdasarkan konsentrasi terendah (min.) dan tertinggi (max.) dapat dilihat pada tabel 6. Jagung di Ghana Selatan menunjukkan batas maksimal konsumsinya yaitu kurang dari 1 g/hari.

Tabel 6. Nilai *Maximum Allowable Consumption rate* di Delapan Negara termasuk Indonesia

Jenis Sereal	Wilayah	Negara	Konsentrasi Hg ($\mu\text{g/g}$)		<i>Maximum Allowable Consumption Rate</i> (g/hari)	
			min.	max.	min.	max.
Beras	Asia	Indonesia	0,0001	1,0200	81395,35	6,86
		Filipina	0,0077	0,0499	904,39	140,34
		Thailand	0,1643	0,2563	42,62	27,31
		Kamboja	0,0081	0,0127	860,42	551,46
	Afrika	Côte d'Ivoire	0,0052	0,1410	1356,59	49,63
		Tanzania	0,0095	0,0267	739,96	262,57
Jagung	Asia	Pakistan	0,0009	0,0083	8139,53	847,87
	Afrika	Ghana	NA	7,5680	NA	0,92
		Tanzania	NA	0,0034	NA	2034,88
Gandum	Asia	Pakistan	0,0042	0,0422	1661,13	165,77

Pada Tabel 7. Menunjukkan batas asupan beras yang mengakumulasi Hg berdasarkan penelitian-penelitian yang telah ditemukan di Indonesia. Seperti Tabel 3. Batas maksimal konsumsi sereal berdasarkan data konsentrasi Hg terendah (min.) dan tertinggi (max.). Provinsi Banten menunjukkan batas konsumsi beras harian yang terakumulasi oleh Hg kurang dari 6 g/hari.

Tabel 7. Nilai *Maximum Allowable Consumption rate* di Indonesia

Provinsi	Konsentrasi Hg ($\mu\text{g/g}$)		<i>Maximum Allowable Consumption Rate</i> (g/hari)	
	min.	max.	min.	max.
Banten	0,002	1,02	3500,00	6,86
Jawa Barat	0,003	0,096	2333,33	72,92
Maluku	0,006	0,023	1166,67	304,35
Nusa Tenggara Barat	0,0001	0,099	70000,00	70,71