

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

4.1. Gambaran Umum Area Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 10 sampai 12 Juni 2017 di area pesawahan Desa Kedungrandu Kecamatan Patikraja Kabupaten Banyumas Provinsi Jawa Tengah. Pesawahan tersebut memiliki luas area $\pm 319 \text{ m}^2$. Adapun jenis padi yang dibudidayakan yaitu jenis IR 64, Cisadane, Ciherang, Cigendit, dan Pertiwi dengan masa tanam 2 kali setiap tahunnya.



Gambar 4.1. Kondisi Pesawahan disekitar TPA Gunung Tugel
(Sumber : Dokumentasi , 2017)

Sungai Logawa yang berada $\pm 3\text{km}$ dari area pesawahan menjadi satu-satunya sumber irigasi. Akan tetapi, setelah adanya TPA Gunung Tugel irigasi tersebut mengalami kerusakan akibat dari longsoran sampah TPA. Hal ini sangat merugikan para petani yang area pesawahannya berada tepat dibawah longsoran dan setelahnya. Meskipun area pesawahan yang terkena longsoran mendapatkan ganti rugi dari pihak TPA, namun tidak ada bantuan sama sekali untuk perbaikan

irigasi. Oleh karena itu petani mengandalkan aliran dari irigasi yang terkena longsoran sampah sebagai sumber irigasi .



Gambar 4.2. Air lindi masuk ke irigasi di sekitar TPA Gunung Tugel

(Sumber : Dokumentasi, 2017)

Sampel gabah diambil dari 6 titik yang mewakili area yang telah dibagi berdasarkan area sebelum longsoran dan area setelah longsoran. setelah itu, kedua zona tersebut dibagi menjadi 3 area sesuai dengan topografi dari sawah tersebut. Data sampel yang telah diambil dari setiap area tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Berat Sampel Beras dari setiap Titik Pengambilan

No	Sampel	Berat Gabah (gram)	Berat Beras (gram)
1	Area 1	330	220
2	Area 2	600	410
3	Area 3	390	290
4	Area 4	390	260
5	Area 5	380	250
6	Area 6	290	125

Berdasarkan tabel 4.1 dapat diketahui bahwa beras yang dihasilkan dari setiap area lebih sedikit dibandingkan dengan gabahnya, dikarenakan gabah tersebut banyak yang gabug (bijinya kosong). Hal inilah yang juga dikeluhkan oleh para petani. Terdapat beberapa kemungkinan yang bisa menyebabkan gabugnya padi, diantaranya adanya gangguan hama (wereng, tikus, walangsangit), penggunaan pupuk yang berlebihan, atau adanya kontaminasi dari TPA. Untuk mengatasi hama tersebut, petani menggunakan obat pembasmi hama (pestisida).

Pupuk yang biasa digunakan oleh para petani yaitu pupuk jenis TSP, Urea, dan sedikit pupuk organik. Pupuk TSP merupakan pupuk posfat yang biasanya terkontaminasi oleh logam berat Pb, Mn, dan Cr (USEPA, 1999). Sedangkan pupuk urea mengandung 0,05 - 8,5 mg/kg Cd (Gimeno - Garcia et al, 1996).

4.2. Konsentrasi Logam Berat dalam Beras

Parameter logam berat yang diuji pada penelitian ini adalah Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn dan Pb. Sampel beras didestuksi dengan HNO_{3(p)}, kemudian dibaca konsentrasi logam beratnya menggunakan AAS-Flame. konsentrasi logam berat yang di dapatkan dari pengujian tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2. Konsentrasi logam berat (mg/kg) dalam sampel beras

No	Area	Cr	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb
1	Area 1	0,000	0,050	1,373	21,061	45,657	273,222	0,126*
2	Area 2	0,876	0,125	2,546	18,994	50,563	115,207	0,126*
3	Area 3	1,697	0,037	10,425	26,802	49,734	149,822	0,126*
4	Area 4	0,755	0,000	2,046	20,123	39,156	88,060	0,126*
5	Area 5	1,321	0,037	1,060	61,462	21,101	87,270	0,126*
6	Area 6	0,569	0,262	0,786	13,877	18,728	87,426	0,126*
Min		0,000	0,000	0,786	13,877	18,728	87,270	0,126
Max		1,697	0,262	10,425	61,462	50,563	273,222	0,126
Mean		0,870	0,085	3,039	27,053	37,490	133,501	0,126
SD		0,591	0,096	3,676	17,358	14,219	72,730	0,126*

*Konsentrasi Pb diasumsikan setengah dari nilai LOD yaitu 0,251 mg/kg

Hasil uji logam berat pada beras ini akan dibandingkan dengan hasil uji logam berat pada air irigasi, air lindi dan tanah sawah. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui tingkat konsentrasi logam berat pada beras ini disebabkan oleh logam berat dalam tanah atau air irigasi yang terkontaminasi air lindi, atau logam berat dalam air irigasi atau tanah yang terkontaminasi dari penggunaan pupuk/pestisida. Berikut adalah hasil uji logam berat pada air lindi air irigasi, dan tanah sawah di lokasi penelitian.

Tabel 4.3 Hasil Penelitian Logam Berat Pada Air Lindi

	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)
Mean	0,004	0,041	0,012	3,770	0,903	0,789	0,126
Max	0,006	0,090	0,021	12,925	2,399	2,343	0,126*
Min	0,004*	0,026*	0,005*	0,522	0,072	0,186	0,126*

*Konsentrasi Cu ; Cr ; dan Pb diasumsikan setengah dari nilai LOD yaitu 0,051mg/L ; 0,009 mg/L ; dan 0,251 mg/L

Tabel 4.4 Hasil Penelitian Logam Berat Pada Air Irigasi

	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)
Mean	0,004	0,026	0,008	0,992	0,066	0,099	0,139
Max	0,004*	0,026	0,023	1,580	0,295	0,215	0,161
Min	0,004*	0,026*	0,005*	0,378	0,014	0,060	0,126*

*Konsentrasi Cd ;Cu ; dan Cr diasumsikan setengah dari nilai LOD yaitu 0,007mg/L ; 0,051 mg/L ; dan 0,009 mg/L

Tabel 4.5 Hasil Penelitian Logam Berat (mg/kg) Pada Tanah

No	Area	X	Y	Cr	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb
1	Area 1	305656	9173709	34,714	0,373	40,547	18997,264	342,736	163,756	0,126*
2	Area 2	305815	9173781	18,612	0,422	39,474	19217,726	636,197	136,097	0,126*
3	Area 3	305777	9173934	16,409	0,373	48,693	32572,295	709,778	170,724	0,126*
4	Area 4	306066	9173941	6,266	0,248	28,291	31151,744	629,690	190,193	0,126*
5	Area 5	306180	9173746	14,529	0,347	24,029	19564,742	552,368	188,912	0,126*
6	Area 6	305973	9173620	9,708	0,173	37,121	19639,769	834,488	290,141	0,126*
Min				6,266	0,173	24,029	18997,264	342,736	136,097	0,126*
Max				34,714	0,422	48,693	32572,295	834,488	290,141	0,126*
Mean				16,706	0,323	36,359	23523,923	617,543	189,971	0,126
SD				9,907	0,093	8,911	6478,463	164,824	52,906	0,126

*Konsentrasi Pb diasumsikan setengah dari nilai LOD yaitu 0,251 mg/kg

Selain itu data juga akan dibandingkan dengan hasil penelitian di negara lain. Berikut adalah data yang telah dikumpulkan (Shraim,2014) :

Tabel 4.6 Konsentrasi logam berat (mg/kg) dalam sampel beras diambil dari Brisbane, Australia

No	Negara	Cr	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb
1	Australia	0,063	0,034	2,550	3,680	11,900	10,200	0,055
2	China	0,075	0,002	2,300	4,270	8,360	10,900	0,296
3	USA	0,041	0,008	6,230	3,670	13,100	13,500	0,019
	Min	0,041	0,002	2,300	3,670	8,360	10,200	0,019
	Max	0,075	0,034	6,230	4,270	13,100	13,500	0,296
	Mean	0,060	0,015	3,693	3,873	11,120	11,533	0,123
	SD	0,017	0,017	2,200	0,344	2,464	1,739	0,151

4.2.1 Konsentrasi Kromium dalam Beras

Kromium adalah unsur alami yang ditemukan di bebatuan, hewan, tumbuhan, dan tanah, di mana ia berada dalam kombinasi dengan unsur lain untuk membentuk berbagai senyawa. Bentuk utama kromium adalah: kromium (0), kromium (III), dan kromium (VI). Kromium adalah unsur alami dalam batuan dan tanah. Tanah alami biasanya mengandung antara 10 dan 50 mg kromium untuk setiap kg tanah. Kromium sangat beracun apabila dalam jumlah tinggi bagi tanaman dan manusia namun toksisitasnya bergantung pada valensi; Kromium VI secara substansial lebih beracun. Kromium mempengaruhi perkembangan biji, pertumbuhan tanaman, fotosintesis dan serapan berbagai nutrisi (Arun, 2005).

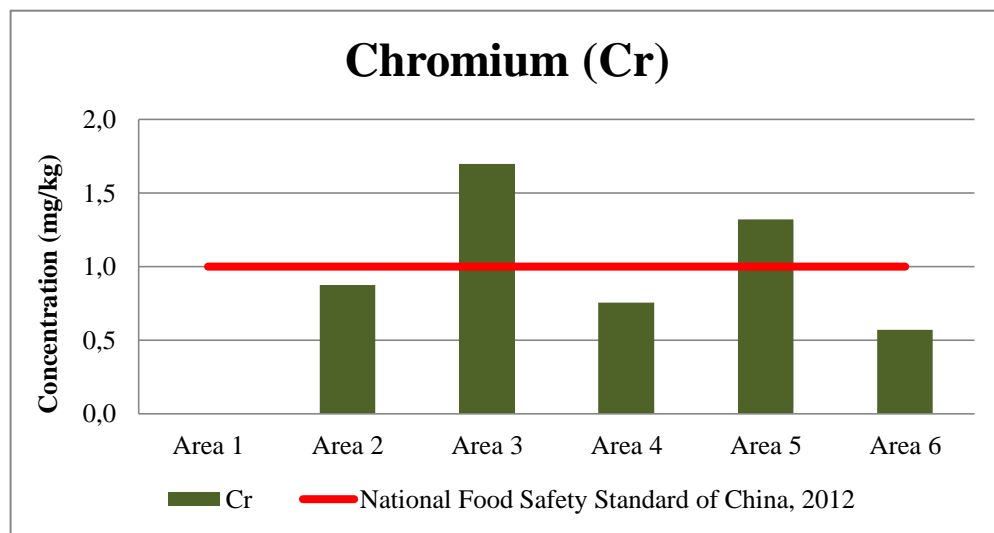
Pelepasan produk komersil yang mengandung kromium terbesar, menyumbang 51% dari total kromium yang dilepaskan ke tanah. Sumber lain pelepasan kromium yang signifikan ke dalam tanah meliputi pembuangan dari utilitas listrik dan industri lainnya (33,1%), limbah pertanian dan makanan (5,3%), dan limbah hewan (3,9%) (Nriagu dan Pacyna 1988).

Sumber logam berat kromium yang berasal dari alam jumlahnya 30–40 % (seperti dari pelapukan batuan, air hujan dan dari atmosfer) dan dari limbah antropogenik jumlahnya 60–70 % (seperti limbah rumah tangga dan industri). di kerak bumi, biasanya dalam bentuk trivalent (Cr^{3+}) dan hexavalent (Cr^{6+}). Sumber Cr^{6+} berasal dari industri pelapisan logam dan produksi pigmen, sedangkan Cr^{3+} banyak terdapat dalam limbah industri tekstil, penyamakan kulit, dan gelas keramik (Bielicka et al. 2005).

Berikut adalah tabel dan grafik yang menunjukkan kandungan Cr didalam beras dari tanaman padi di sekitar TPA Gunung tugel :

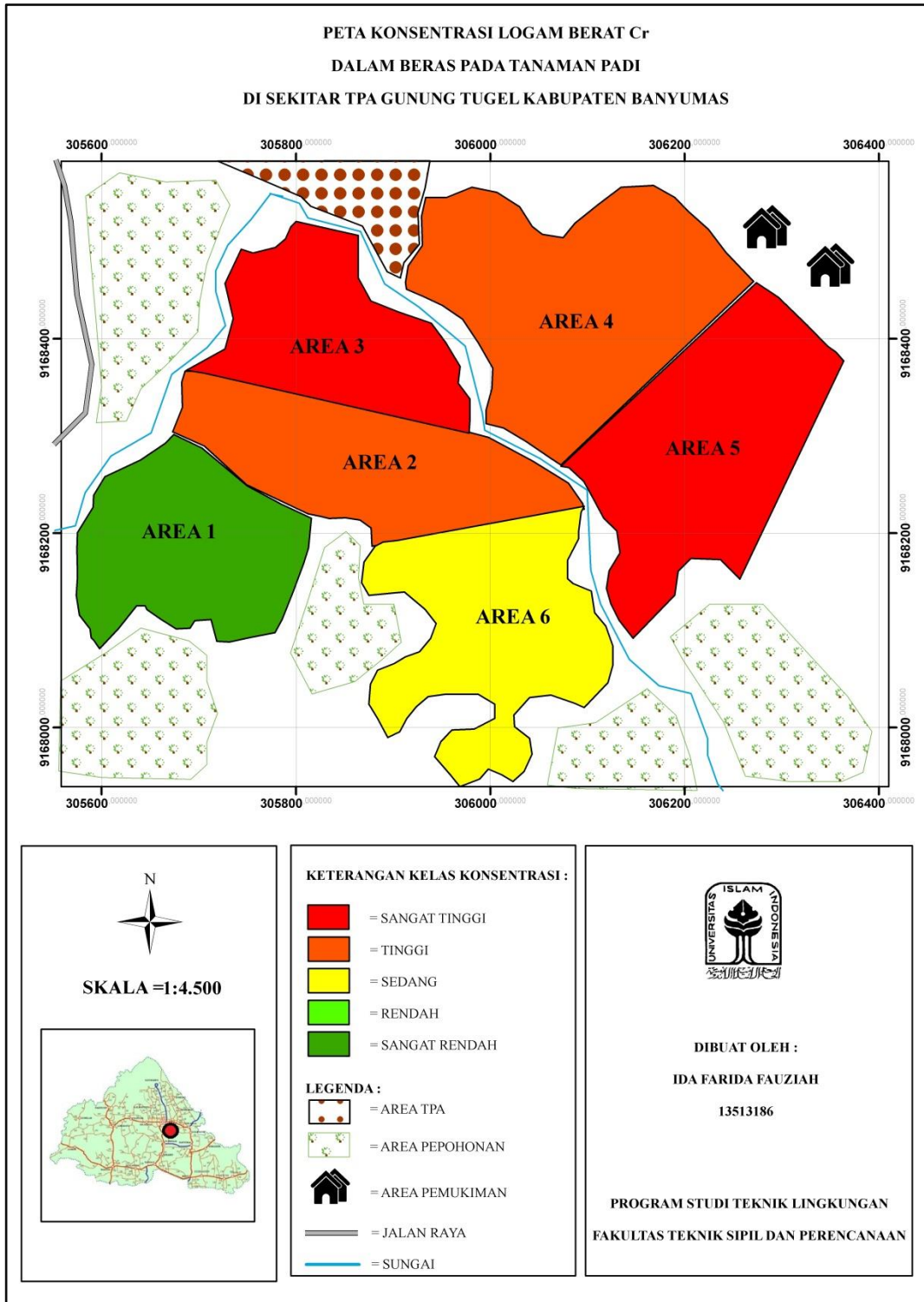
Tabel 4.7 Konsentrasi Cr dalam beras

No	Area	Cr (mg/kg)	Baku Mutu (China,2012) (mg/kg)
1	Area 1	0,000	1,000
2	Area 2	0,876	1,000
3	Area 3	1,697	1,000
4	Area 4	0,755	1,000
5	Area 5	1,321	1,000
6	Area 6	0,569	1,000
Rata – rata		0,870	1,000



Gambar 4.3. Grafik Konsentrasi Cr dalam Beras

Konsentrasi logam berat Cr dalam beras berdasarkan hasil analisis laboratorium yang ditunjukkan Tabel 4.7 yaitu antara 0,000-1,697 mg/kg dengan rata-rata konsentrasinya yaitu sebesar 0,870 mg/kg. Jika dibandingkan dengan China's National Food Safety Standard of Maximum Levels of Contaminants in Foods (GB2762) Tahun 2012, konsentrasi logam berat Cr dalam beras yaitu tidak boleh melebihi 1 mg/kg. Oleh karena itu, berdasarkan grafik pada Gambar 4.3 terdapat 2 area yang memiliki konsentrasi Cr yang melebihi standar yaitu area 3 dengan konsentrasi Cr sebesar 1,697 mg/kg dan area 5 dengan konsentrasi Cr sebesar 1,321 mg/kg. Sedangkan untuk area 1, 2, 4, dan 6 memiliki konsentrasi dibawah standar.



Gambar 4.4. Peta konsentrasi Cr dalam beras

Peta pada Gambar 4.4 merupakan tingkat bahaya konsentrasi Cr dalam beras di area penelitian. Tingkat bahaya ini ditunjukkan dengan gradasi warna dan dibagi berdasarkan baku mutu China's National Food Safety Standard of Maximum Levels of Contaminants in Foods (GB2762) Tahun 2012. Untuk konsentrasi sangat tinggi yaitu >1 mg/kg ditandai dengan warna merah, konsentrasi tinggi yaitu $0,75 - 1$ mg/kg ditandai dengan warna jingga, konsentrasi sedang yaitu $0,50 - 0,75$ mg/kg ditandai dengan warna kuning, konsentrasi rendah yaitu $0,25 - 0,50$ mg/kg dengan warna hijau muda, dan konsentrasi sangat rendah yaitu $0 - 0,25$ mg/kg ditandai dengan warna hijau tua. Area yang memiliki warna merah menunjukkan tingkat bahaya yang sangat tinggi karena konsentrasi Cr di area tersebut sudah melebihi standar.

Berdasarkan Gambar 4.4 logam berat Cr dalam beras terakumulasi di area 3 dan area 5. Logam berat Cr ternyata ditemukan juga pada tanah di area 3 yaitu sebesar $16,409$ mg/kg dan area 5 yaitu sebesar $14,529$ mg/kg (Tabel 4.5). akan tetapi, konsentrasi tersebut masih dalam kategori aman untuk tanah. Hal ini karena menurut Balentine (1995), kisaran konsentrasi logam berat Cr pada tanah sekitar $1 - 1000$ mg/kg, sehingga konsentrasi logam berat Cr pada area persawahan masih berada pada kisaran konsentrasi logam berat Cr pada tanah.

Konsentrasi logam berat Cr yang ditemukan dalam air lindi yaitu sebesar $0,005 - 0,021$ mg/L (Tabel 4.3) dan air irigasi yaitu sebesar $0,005 - 0,023$ mg/L (Tabel 4.4) memiliki konsentrasi sangat kecil jika dibandingkan dengan yang ditemukan di dalam beras dan dalam tanah.

Besarnya konsentrasi Cr dalam tanah dikarenakan Cr^{6+} merupakan bentuk kromium paling mudah larut dalam air, sedangkan Cr^{3+} kelarutannya rendah dan cenderung teradsorpsi pada partikel padat dengan kisaran pH yang sesuai (Bielicka et al. 2005). Oleh karena itu ada kemungkinan adanya kontaminasi Cr dari air lindi dan air irigasi yang terakumulasi dalam tanah.

Konsentrasi Cr dalam tanah juga dipengaruhi oleh penggunaan pupuk. Pemberian pupuk anorganik Phonska 100% yang mengandung N 12,37 %, P_2O_5 6,45 %, K_2O 4,41 % dan S 2,19 %, berpengaruh terhadap meningkatnya bahan organik tanah sebesar 77%. (Sri Hartati dkk., 2014) Peningkatan kadar bahan organik ini akan berpengaruh terhadap konsentrasi logam berat Cr karena

senyawa humat akan membentuk senyawa kompleks yang kuat dengan logam berat membentuk khelat (Carolyn, 2015), sehingga akan meningkatkan konsentrasi Cr total dalam tanah karena logam berat Cr yang mengalami pencucian (leaching) semakin berkurang (Palar, 1994).

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian di negara lainnya (Tabel 4.6) konsentrasi Cr dalam beras di Australia memiliki konsentrasi sebesar 0,063 mg/kg, China dengan konsentrasi sebesar 0,075, dan USA dengan konsentrasi Cr sebesar 0,041 mg/kg memiliki konsentrasi yang lebih kecil dari pada konsentrasi Cr dalam penelitian ini.

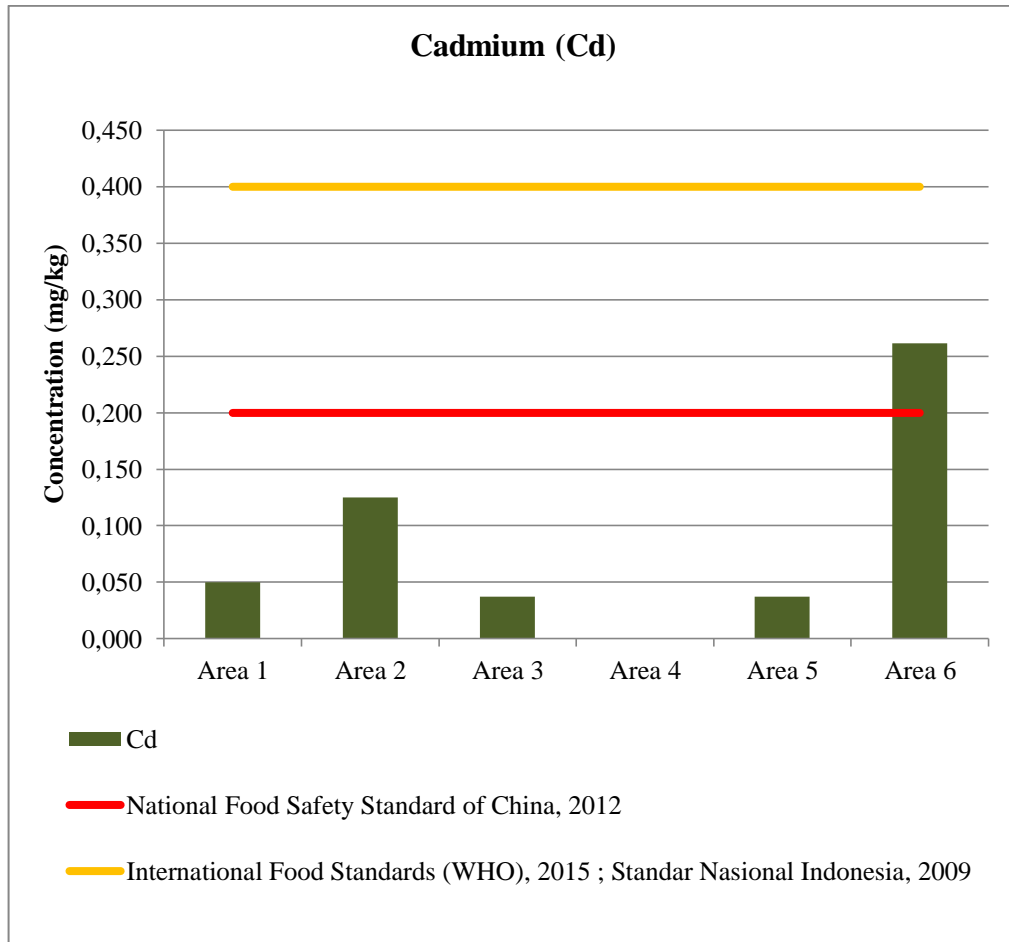
4.2.2 Konsentrasi Kadmium dalam Beras

Cd adalah salah satu logam yang termasuk logam berat non esensial. Sebagai unsur alami dalam tanah merupakan logam lunak yang berwarna keperakan yang bersifat tidak pecah atau terurai menjadi bagian-bagian yang kurang beracun (Sunu, 2001)

Berikut adalah tabel dan grafik yang menunjukkan kandungan Cd didalam beras dari tanaman padi di sekitar TPA Gunung tugel :

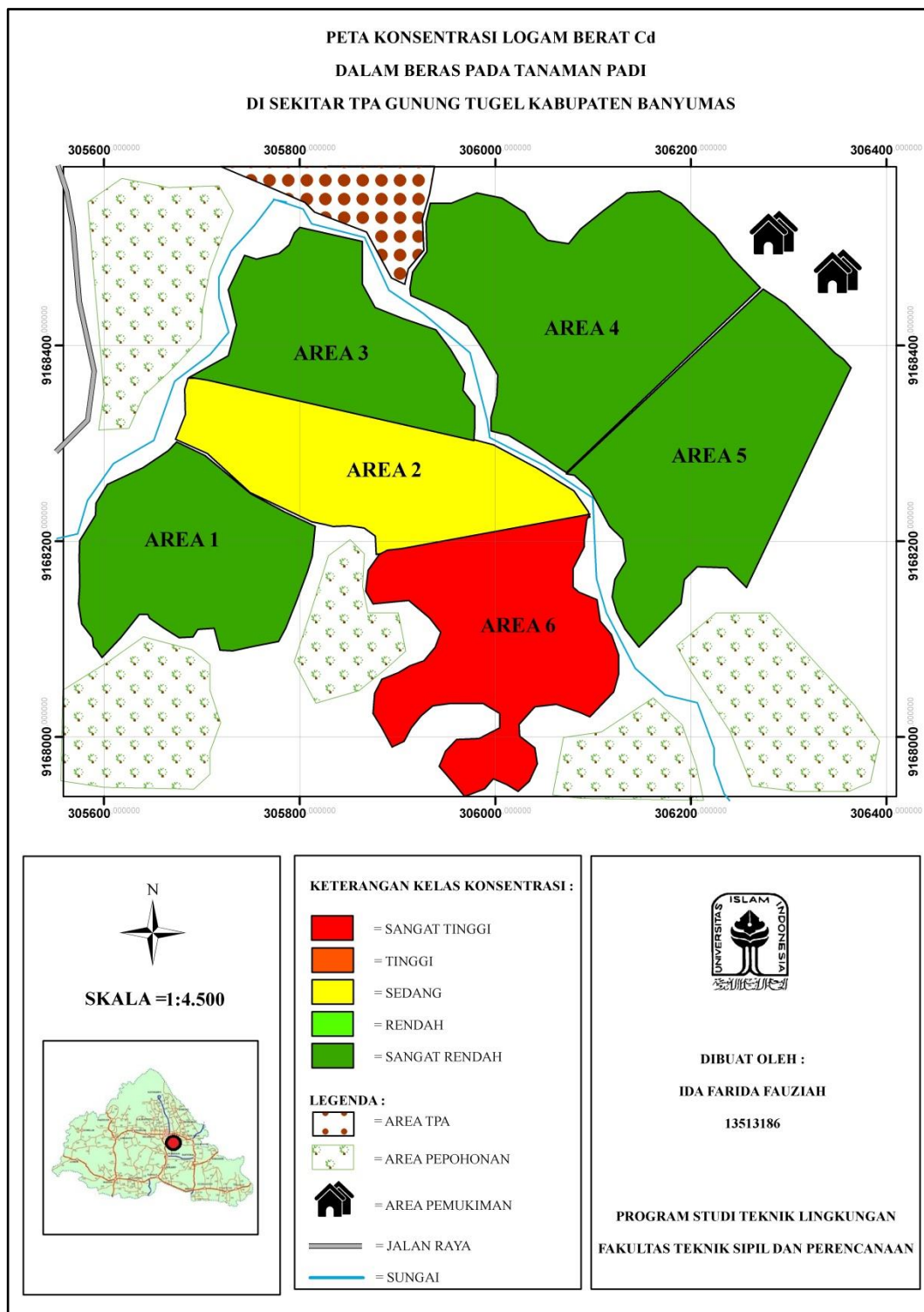
Tabel 4.8 Konsentrasi Cd dalam beras

No	Area	Cd (mg/kg)	Baku Mutu China, 2012 (mg/kg)	Baku Mutu WHO, 2015 ; SNI, 2009 (mg/kg)
1	Area 1	0,050	0,200	0,400
2	Area 2	0,125	0,200	0,400
3	Area 3	0,037	0,200	0,400
4	Area 4	0,000	0,200	0,400
5	Area 5	0,037	0,200	0,400
6	Area 6	0,262	0,200	0,400
Rata – rata		0,085	0,200	0,400



Gambar 4.5. Grafik Konsentrasi Cd dalam Beras

Konsentrasi logam berat Cd dalam beras berdasarkan hasil analisis laboratorium yang ditunjukkan Tabel 4.8 yaitu antara 0,000 – 0,262 mg/kg dengan rata-rata konsentrasinya yaitu sebesar 0,085 mg/kg. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.5 diketahui bahwa hanya area 6 dengan memiliki konsentrasi Cd sebesar 0,262 mg/kg yang melebihi standar China's National Food Safety Standard of Maximum Levels of Contaminants in Foods (GB2762) Tahun 2012 yaitu 0,2 mg/kg akan tetapi masih dibawah standar International Food Standards CODEX STAN (193-1995) dan Standar Nasional Indonesia (7387 : 2009) yang menetapkan standar Cd dalam beras yaitu sebesar 0,4 mg/kg. Untuk area 1, 2,3 4,dan 5 memiliki konsentrasi dibawah semua standar .



Gambar 4.6. Peta konsentrasi Cd dalam beras

Peta pada Gambar 4.6 merupakan tingkat bahaya konsentrasi Cd dalam beras di area penelitian. Tingkat bahaya ini ditunjukkan dengan gradasi warna dan dibagi berdasarkan baku mutu China's National Food Safety Standard of Maximum Levels of Contaminants in Foods (GB2762) Tahun 2012. Untuk konsentrasi sangat tinggi yaitu $> 0,2$ mg/kg ditandai dengan warna merah, konsentrasi tinggi yaitu $0,15 - 0,2$ mg/kg dengan warna jingga, konsentrasi sedang yaitu $0,10 - 0,15$ mg/kg dengan warna kuning, konsentrasi rendah yaitu $0,05 - 0,10$ mg/kg dengan warna hijau muda, dan konsentrasi sangat rendah yaitu $0 - 0,05$ mg/kg dengan warna hijau tua. Area yang memiliki warna merah menunjukkan tingkat bahaya yang sangat tinggi karena konsentrasi Cd di area tersebut sudah melebihi standar.

Berdasarkan Gambar 4.6 logam berat Cd dalam beras terakumulasi di area 6. Logam berat Cd ternyata ditemukan juga pada tanah di area 6 namun dalam jumlah kecil yaitu sebesar $0,173$ mg/kg (Tabel 4.5). konsentrasi tersebut masih dalam kategori aman untuk tanah. Hal ini karena Menurut Balentine (1995), kisaran logam berat Cd dalam tanah sekitar $0,01 - 0,7$ mg/kg.

Konsentrasi logam berat Cd yang ditemukan dalam air lindi yaitu sebesar $0,004 - 0,006$ mg/L (Tabel 4.3) sedangkan dalam air irigasi Cd diasumsikan setengah dari LOD yaitu $0,004$ mg/L (Tabel 4.4). Konsentrasi tersebut sangat kecil jika dibandingkan dengan yang ditemukan di dalam beras dan dalam tanah.

Faktor utama yang mempengaruhi kandungan Cd dalam tanaman adalah total unsur di dalam larutan tanah dan masuknya Cd ke tanaman melalui serapan hara (Alloway, 1990). Semakin tinggi konsentrasi Cd di dalam tanah sebanding dengan meningkatnya jumlah Cd yang diserap tanaman (Lepp, 1981).

Pupuk fosfat merupakan sumber utama masukan kadmium ke tanah pertanian. Cd juga digunakan sebagai bahan paduan (alloy) dalam baterai, sebagai zat warna plastik, cat dan tinta. Cd dapat terdapat dalam air lindi, sehingga dapat masuk kedalam tanah dan terakumulasi didalam tanah (Chen 2016). Oleh karena itu, besarnya konsentrasi Cd yang ditemukan diduga merupakan kontaminasi dari pupuk yang digunakan secara berlebihan.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian di negara lainnya (Tabel 4.6) konsentrasi Cd dalam beras di negara Australia yang memiliki konsentrasi

sebesar 0,034 mg/kg, China dengan konsentrasi sebesar 0,002, dan USA dengan konsentrasi Cd sebesar 0,008 mg/kg, konsentrasi Cd dalam beras pada penelitian ini menunjukkan angka konsentrasi yang lebih tinggi.

4.2.3 Konsentrasi Tembaga dalam Beras

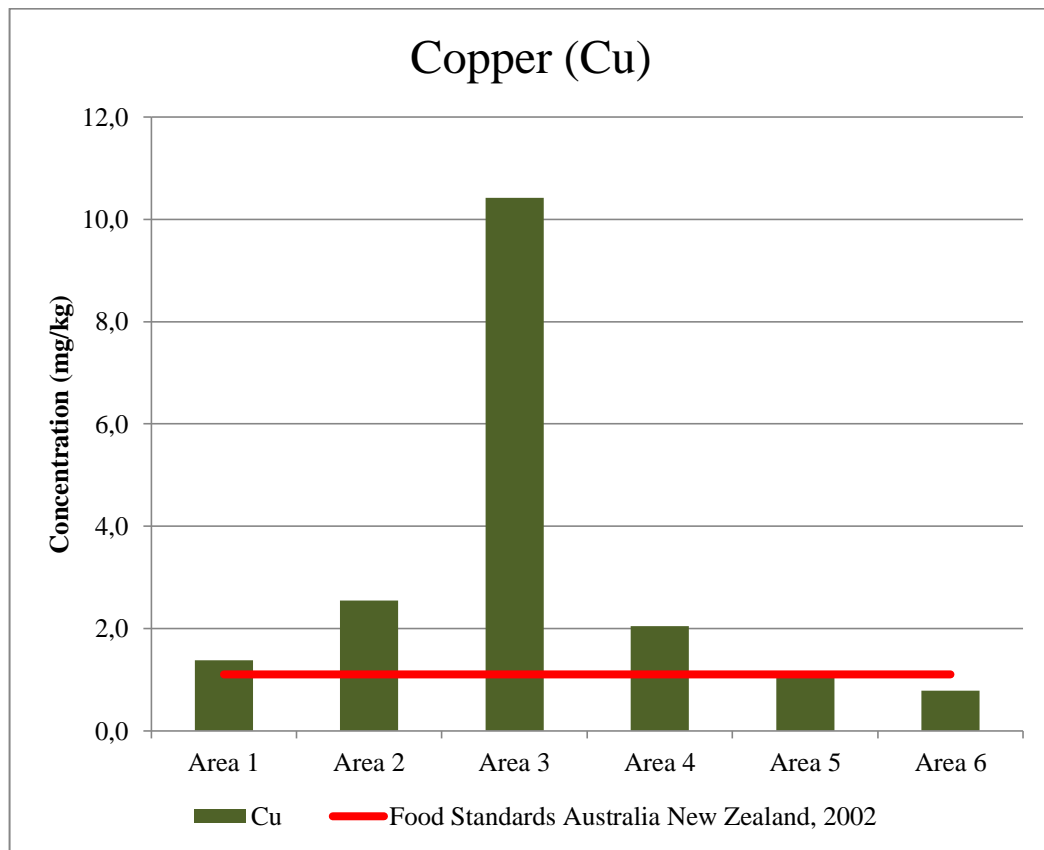
Tembaga adalah logam yang terjadi secara alami di seluruh lingkungan, di bebatuan, tanah, air, dan udara. Tembaga merupakan unsur penting pada tanaman dan hewan (termasuk manusia), yang berarti sangat penting bagi kita untuk hidup. Karena itu, tanaman dan hewan harus menyerap beberapa tembaga dari makan, minum, dan bernafas. Akan tetapi kadar Cu yang tinggi bisa menyebabkan efek berbahaya seperti iritasi pada hidung, mulut dan mata, muntah, diare, kram perut, mual, bahkan kematian.

Tembaga dilepaskan ke lingkungan oleh operasi pertambangan, pertanian, manufaktur dan melalui pelepasan air limbah ke sungai dan danau. Tembaga juga dilepaskan dari sumber alam, seperti gunung berapi, debu yang tertiuip angin, vegetasi yang membusuk, dan kebakaran hutan. Tembaga yang dilepaskan ke lingkungan biasanya menempel pada partikel yang terbuat dari bahan organik, tanah liat, tanah, atau pasir. Tembaga juga tidak rusak di lingkungan. Senyawa tembaga dapat melepaskan diri bebas ke udara, air, dan terakumulasi di makanan.

Berikut adalah tabel dan grafik yang menunjukkan kandungan Cu didalam beras dari tanaman padi di sekitar TPA Gunung tugel :

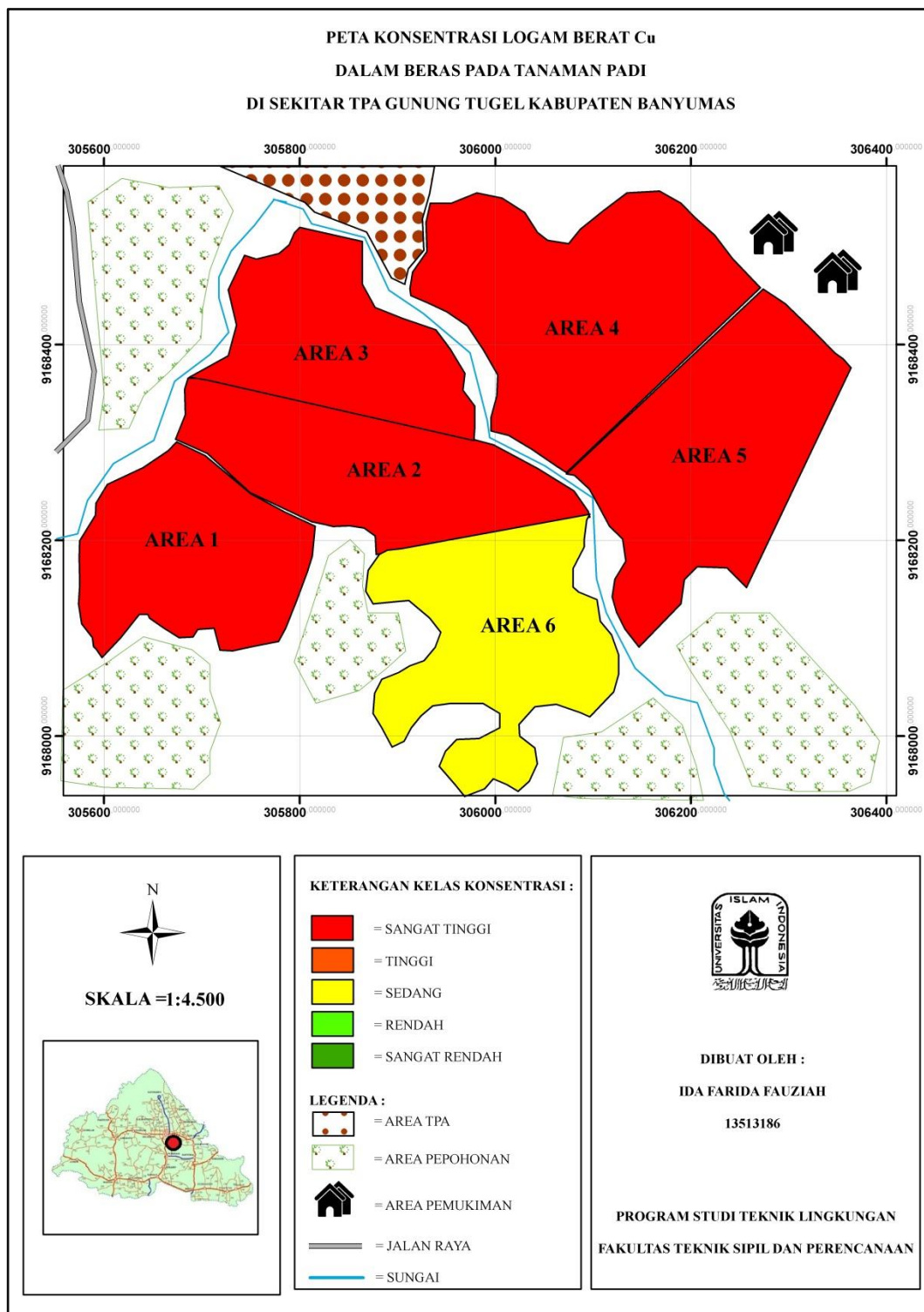
Tabel 4.9 Konsentrasi Cu dalam beras

No	Area	Cu (mg/kg)	Baku Mutu Australia NewZealand, 2002 (mg/kg)
1	Area 1	1,373	1,100
2	Area 2	2,546	1,100
3	Area 3	10,425	1,100
4	Area 4	2,046	1,100
5	Area 5	1,060	1,100
6	Area 6	0,786	1,100
Rata - rata		3,039	1,100



Gambar 4.7. Grafik Konsentrasi Cu dalam Beras

Konsentrasi logam berat Cu dalam beras berdasarkan hasil analisis laboratorium yang ditunjukkan Tabel 4.9 yaitu antara 0,786 – 10,425 mg/kg dengan rata-rata konsentrasinya yaitu sebesar 3,039 mg/kg. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.7 diketahui bahwa hanya area 6 dengan memiliki konsentrasi Cu sebesar 0,786 mg/kg yang tidak melebihi *Food Standards Australia New Zealand 2002* yaitu 1,1 mg/kg. Sedangkan untuk area 1, 2, 3, 4, dan 5 memiliki konsentrasi melebihi standar.



Gambar 4.8. Peta konsentrasi Cu dalam beras

Peta pada Gambar 4.8 menunjukkan tingkat bahaya konsentrasi Cu dalam beras di area penelitian. Tingkat bahaya ini ditandai dengan gradasi warna dan dibagi berdasarkan baku mutu *Food Standards Australia New Zealand 2002*. Untuk konsentrasi sangat tinggi yaitu $>1,1$ mg/kg ditandai dengan warna merah, konsentrasi tinggi yaitu $0,825 - 1,1$ mg/kg ditandai dengan warna jingga, konsentrasi sedang yaitu $0,55 - 0,825$ mg/kg ditandai dengan warna kuning, konsentrasi rendah yaitu $0,275 - 0,55$ mg/kg dengan warna hijau muda, dan konsentrasi sangat rendah yaitu $0 - 0,275$ mg/kg ditandai dengan warna hijau tua. Area yang memiliki warna merah menunjukkan tingkat bahaya yang sangat tinggi karena konsentrasi Cu di area tersebut sudah melebihi standar.

Berdasarkan grafik Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 logam berat Cu dalam beras terakumulasi di semua area terutama di area 3. Logam berat Cu ternyata ditemukan juga pada tanah di semua area sebesar $24,029 - 48,693$ mg/kg (Tabel 4.5). Konsentrasi tersebut masih dalam kategori aman untuk tanah. Hal ini karena Menurut Balentine (1995), kisaran konsentrasi logam berat Cu pada tanah sekitar $2-100$ mg/kg,.

Konsentrasi logam berat Cu yang ditemukan dalam air lindi yaitu sebesar $0,026 - 0,090$ mg/L (Tabel 4.3) sedangkan dalam air irigasi Cu yang terdeteksi yaitu sebesar $0,026$ mg/L (Tabel 4.4). Konsentrasi tersebut sangat kecil jika dibandingkan dengan yang ditemukan di dalam beras dan dalam tanah. Oleh karena itu, besarnya konsentrasi Cu dalam sampel kemungkinan besar kontaminasi dari penggunaan pupuk secara berlebihan dan Cu dari air lindi yang terakumulasi dalam air irigasi.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian di negara lainnya (Tabel 4.6) konsentrasi Cu dalam beras di negara Australia yang memiliki konsentrasi sebesar $2,550$ mg/kg, China dengan konsentrasi sebesar $2,300$ mg/kg, dan USA dengan konsentrasi Cu sebesar $6,230$ mg/kg, terdapat nilai konsentrasi Cu dalam beras pada penelitian ini menunjukkan angka konsentrasi yang lebih tinggi.

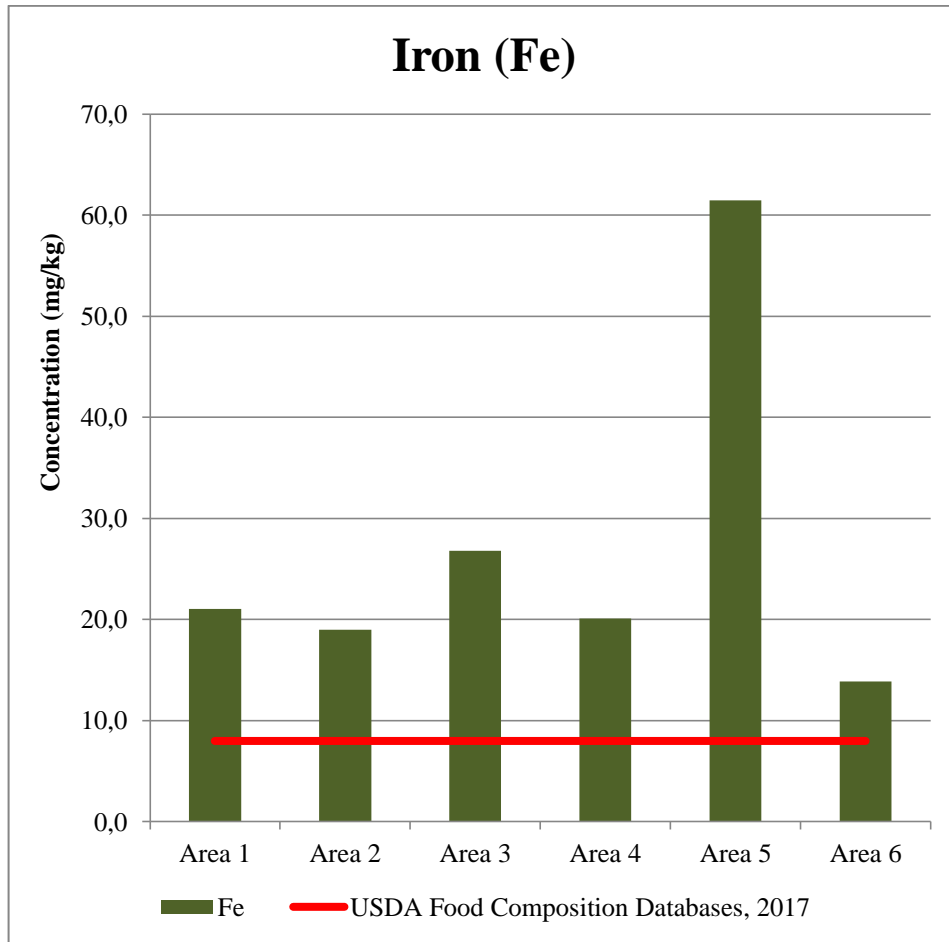
4.2.4 Konsentrasi Besi dalam Beras

Besi (Fe) merupakan salah satu logam esensial yang dibutuhkan manusia dalam jumlah kecil yaitu kurang dari 100 mg/hari, yang sangat berperan penting bagi metabolisme tubuh. Sumber Fe berasal antara lain hematin dan magnetit. Diperkirakan kandungan Fe dalam kerak bumi adalah sebesar 5.6×10^{-4} mg/kg, sedangkan kandungan didalam laut adalah sebesar 2×10^{-3} mg/L. Mineral yang sering berada dalam air tanah semakin meningkat. Fe juga merupakan unsur hara yang diperlukan tanaman. Fe ada secara alami di sungai, danau, dan air bawah tanah. Ini juga dapat dilepaskan ke air dari deposit alami, limbah industri, pemurnian bijih besi, dan korosi logam yang mengandung besi.

Berikut adalah tabel dan grafik yang menunjukkan kandungan Fe didalam beras dari tanaman padi di sekitar TPA Gunung tugel :

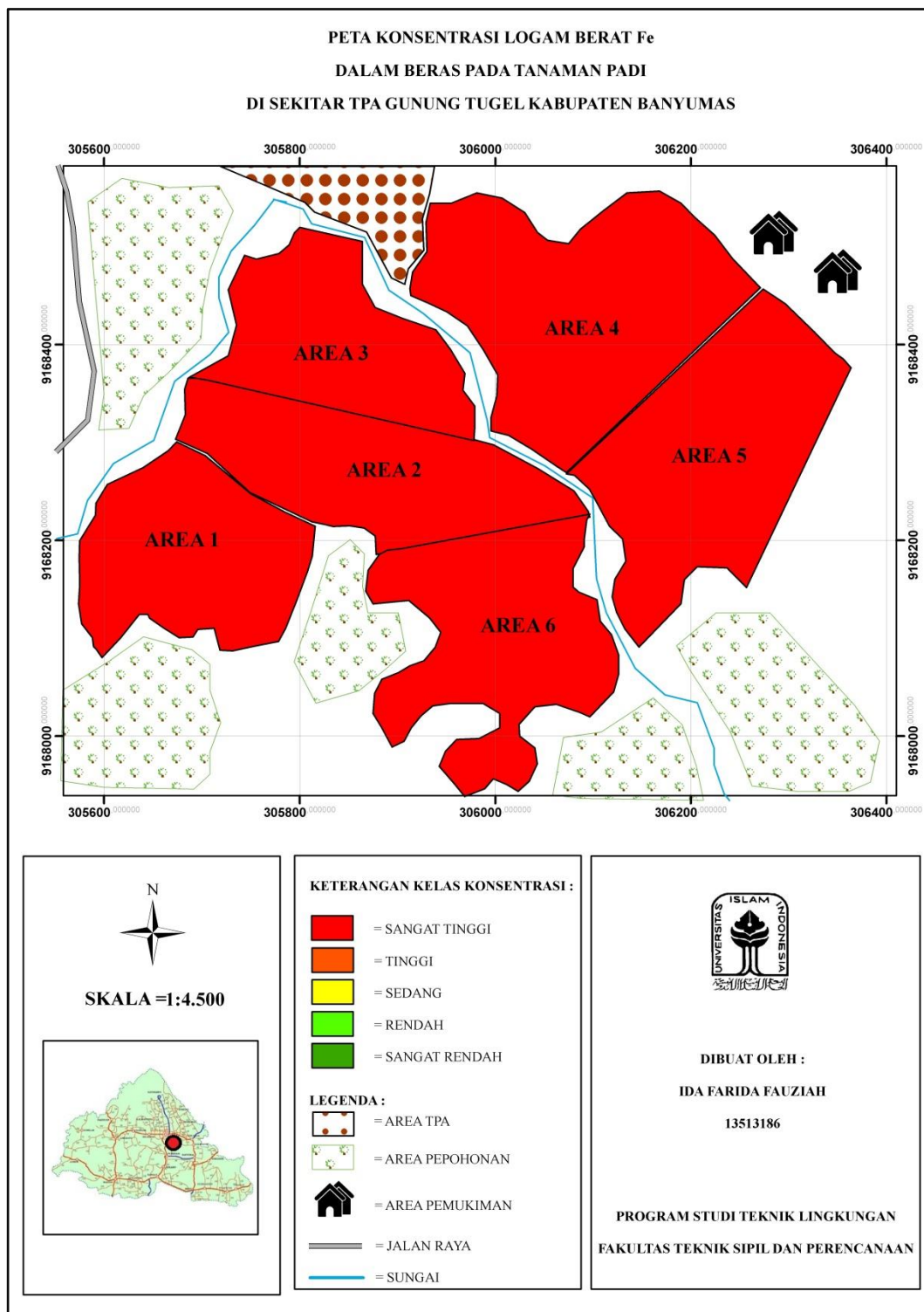
Tabel 4.10 Konsentrasi Fe dalam beras

No	Area	Fe (mg/kg)	Baku Mutu USDA, 2017 (mg/kg)
1	Area 1	21,061	8,000
2	Area 2	18,994	8,000
3	Area 3	26,802	8,000
4	Area 4	20,123	8,000
5	Area 5	61,462	8,000
6	Area 6	13,877	8,000
Rata – rata		27,053	8,000



Gambar 4.9. Grafik Konsentrasi Fe dalam Beras

Konsentrasi logam berat Fe dalam beras berdasarkan hasil analisis laboratorium yang ditunjukkan Tabel 4.10 yaitu antara 13,877 – 61,462 mg/kg dengan rata-rata konsentrasinya yaitu sebesar 27,053 mg/kg. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.8 diketahui bahwa semua area memiliki konsentrasi Fe melebihi *USDA Food Composition Databases, 2017* yaitu 8,0 mg/kg, terutama untuk area 5 dengan memiliki konsentrasi Fe sebesar 61,462 mg/kg.



Gambar 4.10. Peta konsentrasi Fe dalam beras

Peta pada Gambar 4.10 menunjukkan tingkat bahaya konsentrasi Fe dalam beras di area penelitian. Tingkat bahaya ini ditandai dengan gradasi warna dan dibagi berdasarkan baku mutu *USDA Food Composition Databases, 2017*. Untuk konsentrasi sangat tinggi yaitu $> 8,0$ mg/kg ditandai warna merah, konsentrasi tinggi yaitu $6,0 - 8,0$ mg/kg ditandai warna jingga, konsentrasi sedang yaitu $4,0 - 6,0$ mg/kg ditandai dengan warna kuning, konsentrasi rendah yaitu $2,0 - 4,0$ mg/kg dengan warna dengan warna hijau muda, dan konsentrasi sangat rendah yaitu $0 - 2,0$ mg/kg ditandai dengan warna hijau tua. Area yang memiliki warna merah menunjukkan tingkat bahaya yang sangat tinggi karena konsenrasi Fe di area tersebut sudah melebihi standar.

Berdasarkan grafik Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 logam berat Fe dalam beras terakumulasi di semua area terutama di area 5. Logam berat Fe ditemukan juga pada tanah disemua area dengan konsentrasi tinggi yaitu sebesar $18997,264 - 32572,295$ mg/kg (Tabel 4.5). Konsentrasi tersebut masih dalam kategori aman untuk tanah. Hal ini karena Menurut Balentine (1995) konsentrasi Fe umum yang terdapat dalam tanah berkisar antara 7000 mg/kg sampai 55000 mg/kg.

Konsentrasi logam berat Fe yang ditemukan dalam air lindi yaitu sebesar $0,522 - 12,925$ mg/L (Tabel 4.3) sedangkan dalam air irigasi Fe yang terdeteksi yaitu sebesar $0,378 - 1,58$ mg/L (Tabel 4.4). Konsentrasi tersebut sangat kecil jika dibandingkan dengan yang ditemukan di dalam beras dan dalam tanah. Oleh karena itu, kemungkinan besar konsentrasi Fe yang tinggi dalam sampel akibat dari penggunaan pupuk yang berlebihan serta kontaminasi air lindi yang masuk ke dalam irigasi. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian di negara lainnya (Tabel 4.6) konsentrasi Fe dalam beras di negara Australia yang memiliki konsentrasi sebesar $3,680$ mg/kg, China dengan konsentrasi sebesar $4,270$ mg/kg, dan USA dengan konsentrasi Fe sebesar $3,670$ mg/kg, terdapat nilai konsentrasi Fe dalam beras pada penelitian ini menunjukkan angka konsentrasi yang lebih tinggi.

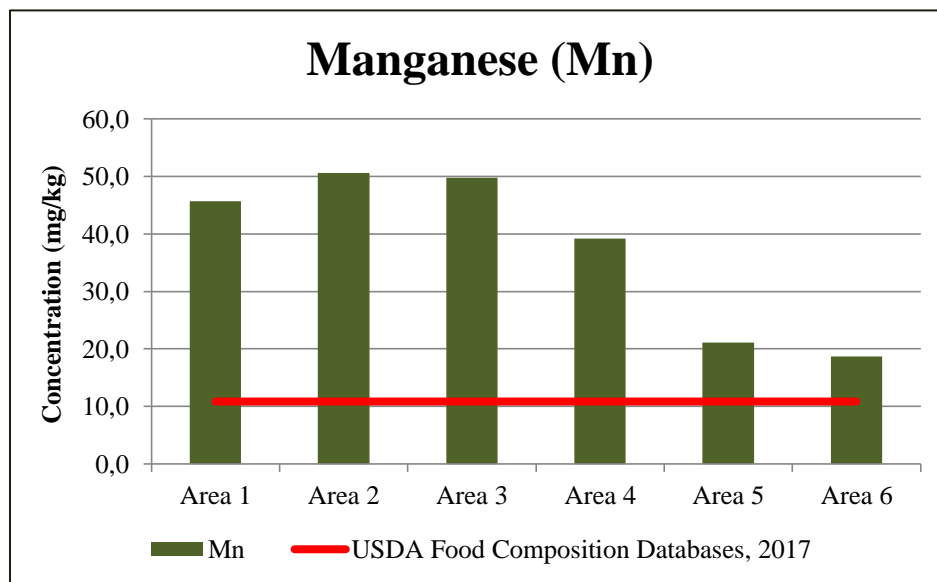
4.2.5 Konsentrasi Mangan dalam Beras

Mangan (Mn) adalah unsur yang tersebar luas di kerak bumi. Mineral mangan yang paling umum adalah *pyrolusite* (MnO_2), Mangan terutama digunakan dalam proses metalurgi, sebagai deoksidasi dan desulfurisasi Aditif dan

sebagai penyusun paduan. Hal ini juga digunakan dalam produksi baterai sel kering, di bidang manufaktur kimia, dalam pembuatan kaca, di industri kulit dan tekstil, dan sebagai pupuk. Berikut adalah tabel dan grafik yang menunjukkan kandungan Mn didalam beras dari tanaman padi di sekitar TPA Gunung tugel :

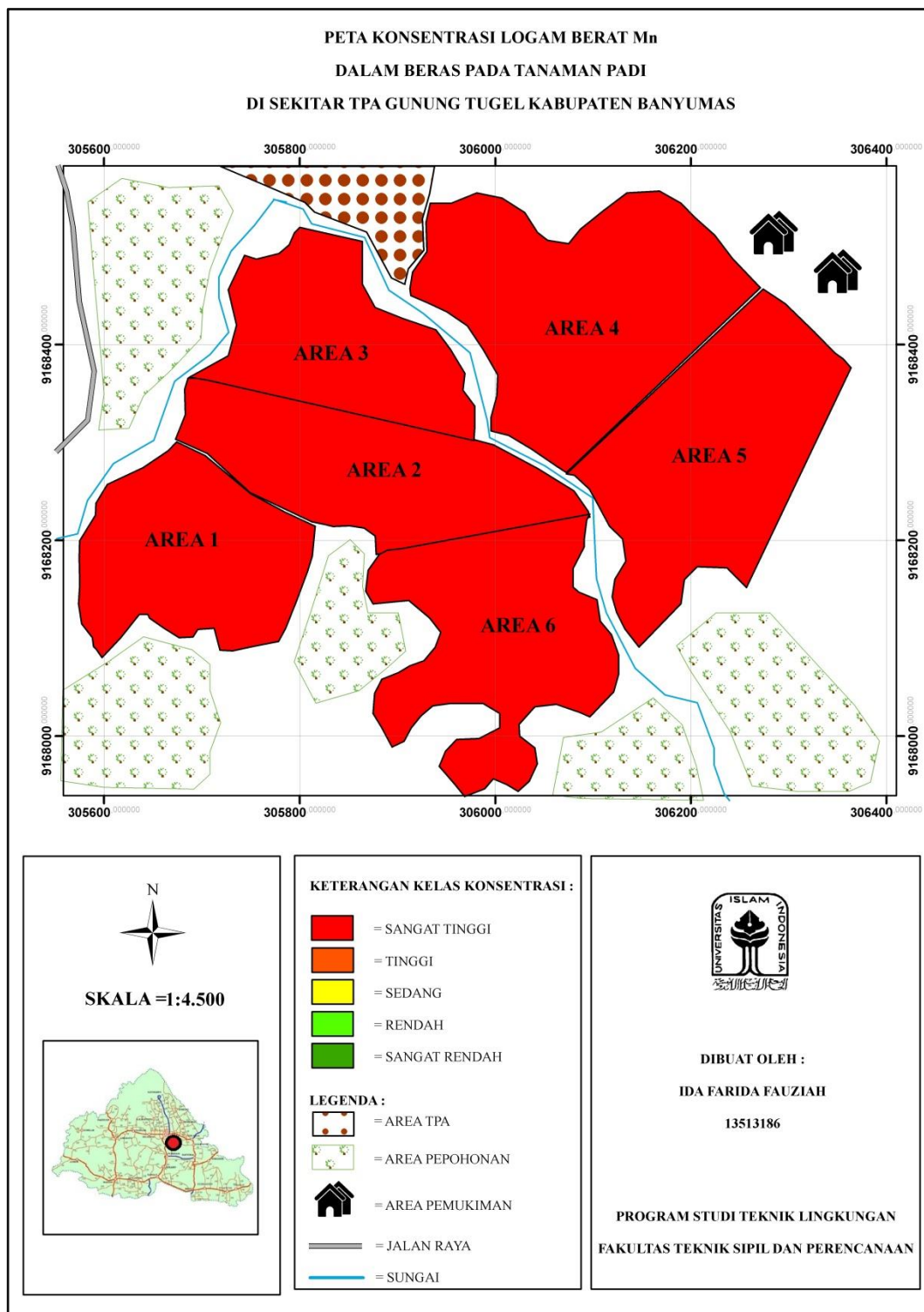
Tabel 4.11 Konsentrasi Mn dalam beras

No	Area	Mn (mg/kg)	Baku mutu USDA, 2017 (mg/kg)
1	Area 1	45,657	10,900
2	Area 2	50,563	10,900
3	Area 3	49,734	10,900
4	Area 4	39,156	10,900
5	Area 5	21,101	10,900
6	Area 6	18,728	10,900
Rata - rata		37,490	10,900



Gambar 4.11. Grafik Konsentrasi Mn dalam Beras

Konsentrasi logam berat Mn dalam beras berdasarkan hasil analisis laboratorium yang ditunjukkan Tabel 4.11 yaitu antara 18,728 – 50,563 mg/kg dengan rata-rata konsentrasinya yaitu sebesar 37,490 mg/kg. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.11 diketahui bahwa semua area memiliki konsentrasi Mn melebihi *USDA Food Composition Databases, 2017* yaitu 10,900 mg/kg.



Gambar 4.12. Peta konsentrasi Mn dalam beras

Peta pada Gambar 4.12 menunjukkan tingkat bahaya konsentrasi Mn dalam beras di area penelitian. Tingkat bahaya ini ditandai dengan gradasi warna dan dibagi berdasarkan baku mutu *USDA Food Composition Databases, 2017*. Untuk konsentrasi sangat tinggi yaitu $> 10,9$ mg/kg ditandai dengan warna merah, konsentrasi tinggi yaitu $8,175 - 10,9$ mg/kg ditandai dengan warna jingga, konsentrasi sedang yaitu $5,45 - 8,175$ mg/kg ditandai dengan warna kuning, konsentrasi rendah yaitu $2,725 - 5,45$ mg/kg dengan warna hijau muda, dan konsentrasi sangat rendah yaitu $0 - 2,725$ mg/kg ditandai dengan warna hijau tua. Area yang memiliki warna merah menunjukkan tingkat bahaya yang sangat tinggi karena konsentrasi Mn di area tersebut sudah melebihi standar.

Berdasarkan grafik Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 logam berat Mn dalam beras terakumulasi di semua area terutama di area 2. Logam berat Mn ditemukan juga pada tanah di semua area dengan konsentrasi tinggi yaitu sebesar $342,736 - 834,488$ mg/kg (Tabel 4.5). Konsentrasi tersebut masih dalam kategori aman untuk tanah. Hal ini karena Menurut Balentine (1995) konsentrasi Mn umum yang terdapat dalam tanah berkisar antara 20 mg/kg sampai 3000 mg/kg.

Konsentrasi logam berat Mn yang ditemukan dalam air lindi yaitu sebesar $0,072 - 2,399$ mg/L (Tabel 4.3) sedangkan dalam air irigasi Mn yang terdeteksi yaitu sebesar $0,014 - 0,295$ mg/L (Tabel 4.4). konsentrasi tersebut sangat kecil jika dibandingkan dengan yang ditemukan di dalam beras dan dalam tanah.

Seperti ditunjukkan dalam beberapa publikasi (Diliunas et al.2006, 2007), tingginya konsentrasi logam berat besi dan mangan yang melebihi batas normal diakibatkan oleh bakteri pengoksidasi oksida dan mangan yang aktif. Namun, Fe dan Mn yang terkandung dalam lindi dan penggunaan pupuk yang berlebihan berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi logam - logam lain di tanah dan air permukaan.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian di negara lainnya (Tabel 4.6) konsentrasi Mn dalam beras di Australia memiliki konsentrasi sebesar $11,9$ mg/kg, China dengan konsentrasi sebesar $8,360$ mg/kg, dan USA dengan konsentrasi Mn sebesar $13,1$ mg/kg, nilai konsentrasi Mn dalam beras pada penelitian ini menunjukkan angka konsentrasi yang lebih tinggi.

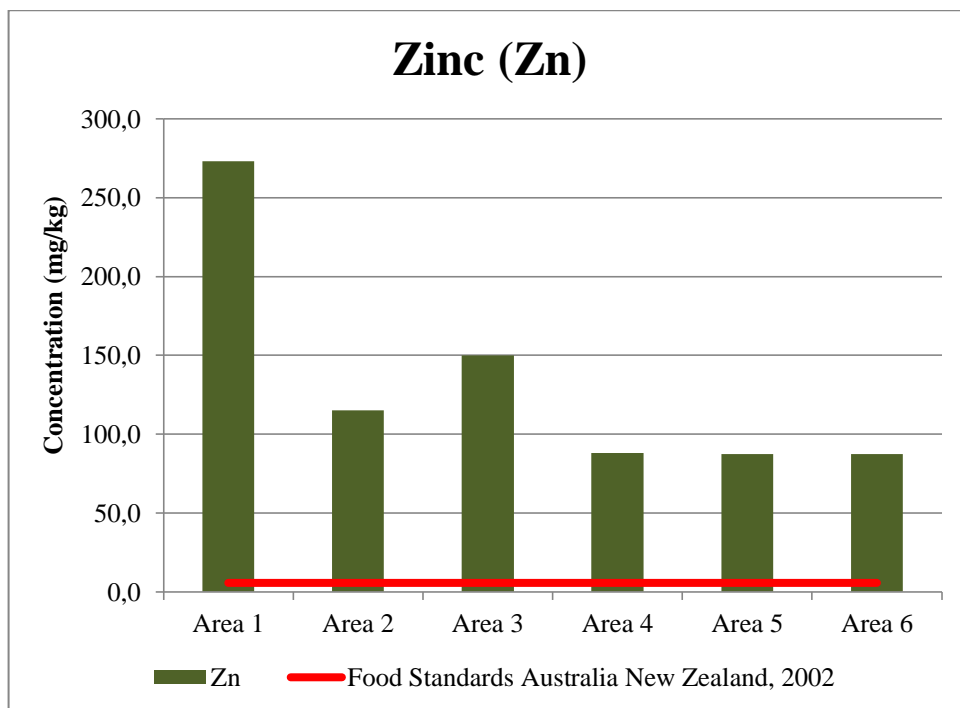
4.2.6 Konsentrasi Seng dalam Beras

Seng merupakan unsur hara esensial (diperlukan) untuk tanaman, Zn bersifat racun apabila kadarnya tinggi dalam tanah. Kadar Zn dalam tanah normal antara 10 - 300 mg/kg berat kering, pada tanah sawah kadar Zn antara 10 - 100 (mg/kg). Seperti halnya logam berat lain Zn berasal dari sampah batu baterai, dan barang-barang elektronik, serta penggunaan pupuk dari petani. (ASTDR, 2006).

Berikut adalah tabel dan grafik yang menunjukkan kandungan Zn didalam beras dari tanaman padi di sekitar TPA Gunung tugel :

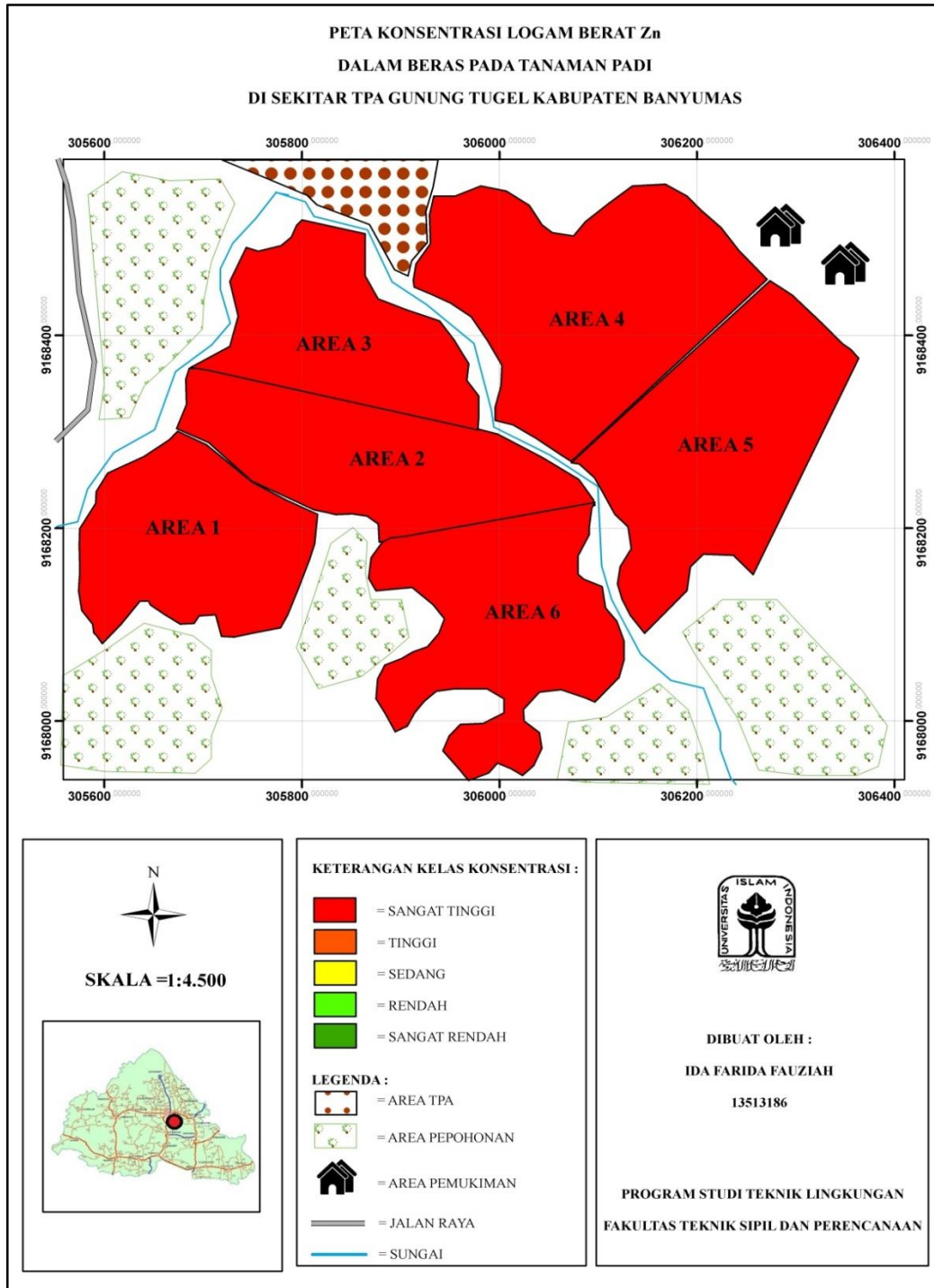
Tabel 4.12 Konsentrasi Zn dalam beras

No	Area	Zn (mg/kg)	Baku Mutu Australia NewZealand, 2002 (mg/kg)
1	Area 1	273,222	5,600
2	Area 2	115,207	5,600
3	Area 3	149,822	5,600
4	Area 4	88,060	5,600
5	Area 5	87,270	5,600
6	Area 6	87,426	5,600
Rata – rata		133,501	5,600



Gambar 4.13. Grafik Konsentrasi Zn dalam Beras

Konsentrasi logam berat Zn dalam beras berdasarkan hasil analisis laboratorium yang ditunjukkan Tabel 4.12 yaitu antara 87,270 – 273,222 mg/kg dengan rata-rata konsentrasinya sebesar 133,501 mg/kg. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.13 semua area memiliki konsentrasi Zn melebihi *Food Standards Australia New Zealand 2002* yaitu 10,900 mg/kg.



Gambar 4.14. Peta konsentrasi Zn dalam beras

Peta pada Gambar 4.14 menunjukkan tingkat bahaya konsentrasi Zn dalam beras di area penelitian. Tingkat bahaya ini ditandai dengan gradasi warna dan dibagi berdasarkan baku mutu *Food Standards Australia New Zealand 2002*. Untuk konsentrasi sangat tinggi yaitu $> 5,6$ mg/kg ditandai dengan warna merah, konsentrasi tinggi yaitu $4,2 - 5,6$ mg/kg ditandai warna jingga, konsentrasi sedang yaitu $2,8 - 4,2$ mg/kg ditandai warna kuning, konsentrasi rendah yaitu $1,4 - 2,8$ mg/kg dengan warna hijau muda, dan konsentrasi sangat rendah yaitu $0 - 1,4$ mg/kg ditandai dengan warna hijau tua. Area yang memiliki warna merah menunjukkan tingkat bahaya yang sangat tinggi karena konsentrasi Zn di area tersebut sudah melebihi standar.

Berdasarkan grafik Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 logam berat Zn dalam beras terakumulasi di semua area terutama di area 1. Logam berat Zn ditemukan juga pada tanah di semua area dengan konsentrasi tinggi yaitu sebesar $136,097 - 290,141$ mg/kg (Tabel 4.5). Konsentrasi tersebut masih dalam kategori aman untuk tanah. Hal ini karena Menurut Balentine (1995), kisaran konsentrasi logam berat Zn pada tanah sekitar $10-300$ mg/kg.

Konsentrasi logam berat Zn yang ditemukan dalam air lindi yaitu sebesar $0,186 - 2,343$ mg/L (Tabel 4.3) sedangkan dalam air irigasi Mn yang terdeteksi yaitu sebesar $0,060 - 0,215$ mg/L (Tabel 4.4). konsentrasi tersebut sangat kecil jika dibandingkan dengan yang ditemukan di dalam beras dan dalam tanah.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian di negara lainnya (Tabel 4.6) konsentrasi Zn dalam beras di negara Australia yang memiliki konsentrasi sebesar $10,2$ mg/kg, China dengan konsentrasi sebesar $10,9$ mg/kg, dan USA dengan konsentrasi Zn sebesar $13,5$ mg/kg, nilai konsentrasi Zn dalam beras pada penelitian ini menunjukkan angka konsentrasi yang lebih tinggi.

Menurut Kiekens (1995), kisaran khas seng di tanah $10-300$ mg kg^{-1} dengan rata-rata 50 mg Zn kg^{-1} . Sepeti halnya dengan logam berat yang lain Zn berasal dari sampah batu batrei, dan barang-barang elektronik, serta penggunaan pupuk oleh petani.

4.2.7 Konsentrasi Timbal dalam Beras

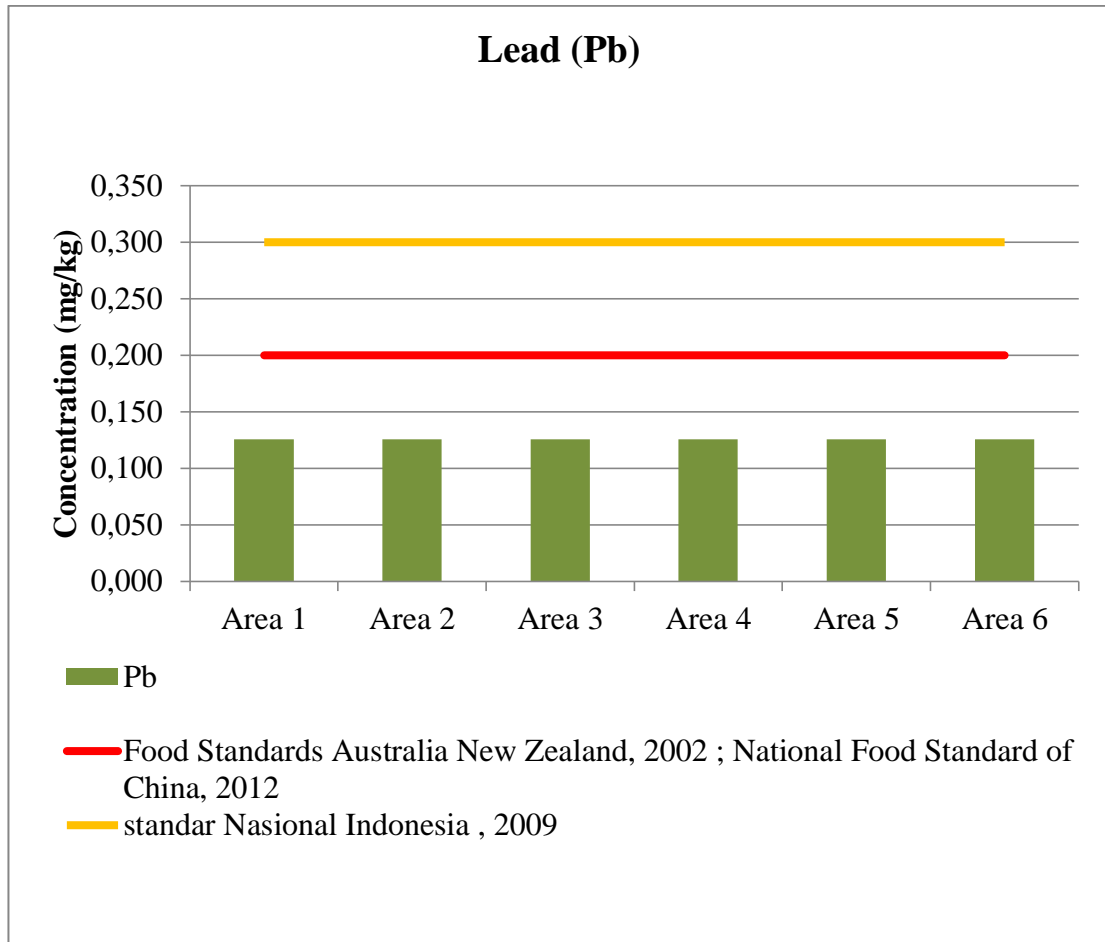
Timbal bukanlah unsur yang sangat melimpah, namun endapan bijinya mudah diakses dan didistribusikan secara luas ke seluruh dunia. Sifat-sifatnya, seperti ketahanan korosi, kerapatan, dan titik lebur yang rendah, menjadikannya logam yang sudah biasa dalam pipa, solder, timbangan, dan baterai penyimpanan. Timbal tersebar di seluruh lingkungan terutama sebagai hasil aktivitas antropogenik. Di udara, timbal berbentuk partikel dan dihilangkan dengan hujan atau pengendapan gravitasi.

Berikut adalah tabel dan grafik yang menunjukkan kandungan Pb didalam beras dari tanaman padi di sekitar TPA Gunung tugel :

Tabel 4.13 Konsentrasi Pb dalam beras

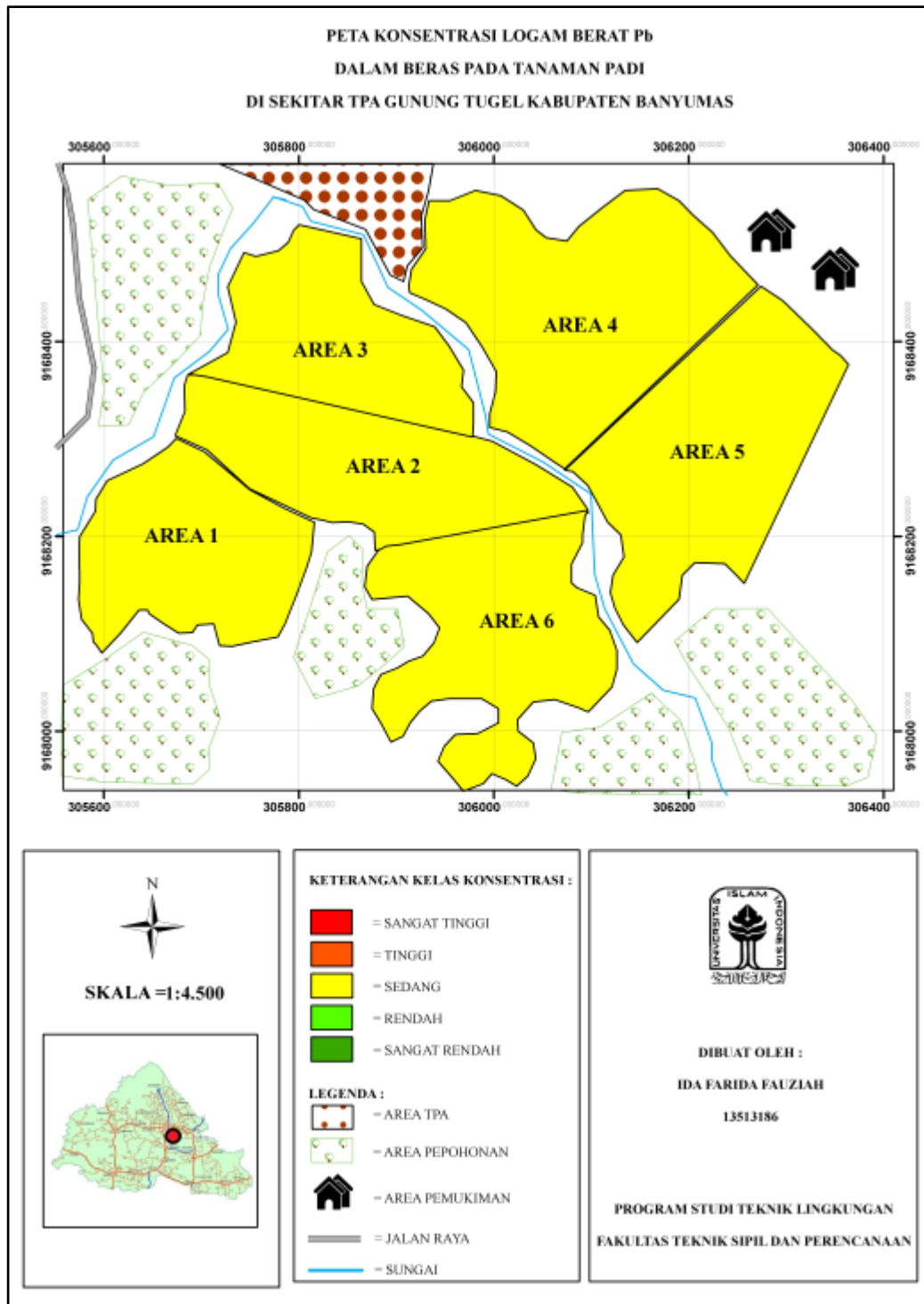
No	Area	Pb (mg/kg)	Baku Mutu China, 2012 ; Australia NewZealand, 2002 (mg/kg)	Baku Mutu SNI, 2009 (mg/kg)
1	Area 1	0,126*	0,200	0,300
2	Area 2	0,126*	0,200	0,300
3	Area 3	0,126*	0,200	0,300
4	Area 4	0,126*	0,200	0,300
5	Area 5	0,126*	0,200	0,300
6	Area 6	0,126*	0,200	0,300
Rata – rata		0,126	0,200	0,300

* Asumsi konsentrasi yaitu setengah dari 0,251 mg/kg yang merupakan limit deteksi alat AAS_flame untuk parameter Pb.



Gambar 4.15. Grafik Konsentrasi Pb dalam Beras

Konsentrasi logam berat Pb dalam sampel beras berdasarkan hasil analisis laboratorium yang ditunjukkan Tabel 4.13 yaitu *not detection* di semua area yang berarti area tersebut memiliki konsentrasi Pb sangat rendah sehingga tidak terdeteksi oleh alat yang memiliki limit deteksi yaitu 0,251 mg/kg. Oleh karena itu, diasumsikan bahwa konsentrasi Pb dalam sampel beras tersebut adalah setengah dari nilai limit deteksi yaitu menjadi sebesar 0,126 mg/kg. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.15 diketahui bahwa semua area memiliki konsentrasi Pb tidak melebihi *Food Standards Australia New Zealand 2002* dan *China's National Food Safety Standard of Maximum Levels of Contaminants in Foods (GB2762-2012)* yaitu 0,2 mg/kg, maupun *Standar Nasional Indonesia (7387 : 2009)* yaitu 0,3 mg/kg.



Gambar 4.16. Peta Konsentrasi Pb dalam Beras

Peta pada Gambar 4.16 menunjukkan tingkat bahaya konsentrasi Pb dalam beras di area penelitian. Tingkat bahaya ini ditandai dengan gradasi warna dan dibagi berdasarkan baku mutu *Food Standards Australia New Zealand 2002*. Untuk konsentrasi sangat tinggi yaitu $> 0,20$ mg/kg ditandai dengan warna merah, konsentrasi tinggi yaitu $0,15 - 0,20$ mg/kg ditandai warna jingga, konsentrasi sedang yaitu $0,10 - 0,15$ mg/kg ditandai warna kuning, konsentrasi rendah yaitu $0,05 - 0,10$ mg/kg dengan warna hijau muda, dan konsentrasi sangat rendah yaitu $0 - 0,05$ mg/kg ditandai dengan warna hijau tua. Semua Area yang memiliki warna kuning menunjukkan tingkat bahaya yang sedang karena konsentrasi Pb di area tersebut tidak melebihi standar.

Berdasarkan grafik Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 seluruh area tersebut menunjukkan warna kuning, dan konsentrasinya berada dibawah limit deteksi alat di semua area. Akan tetapi, konsentrasi logam berat Pb dalam air lindi juga berada dibawah limit deteksi alat (Tabel 4.3) yaitu $0,126$ mg/L. sedangkan dalam air irigasi, Pb terdeteksi yaitu sebesar $0,126 - 0,161$ mg/L (Tabel 4.4). Terdeteksinya Pb dalam air irigasi diduga terjadi akibat beberapa sumber, diantaranya akumulasi kontaminasi air lindi, penggunaan pupuk dan pestisida, atau adanya limbah industri yang berasal dari bagian hulu yang sifatnya sementara.

Logam berat Pb pada tanah juga tidak terdeteksi oleh alat, sehingga diduga memiliki konsentrasi yang rendah. Oleh karena itu, diasumsikan konsentrasinya setengah dari nilai limit deteksi alat (Tabel 4.5) sebesar $0,251$ mg/kg menjadi sebesar $0,126$ mg/kg. Konsentrasi tersebut masih dalam kategori aman untuk tanah. Hal ini karena Menurut Balentine (1995) konsentrasi Pb umum yang terdapat dalam tanah berkisar antara $2-200$ mg/kg. kecilnya konsentrasi Pb dalam tanah ini kemungkinan terjadi karena kondisi tanah di area tersebut memiliki pH $5-6$ yang menyebabkan Pb tidak terakumulasi dalam tanah. Hal ini mengacu pada penjelasan Soepardi (1983) bahwa timbal tidak akan larut ke dalam tanah jika tanah tidak terlalu masam. Pengapuran tanah akan mengurangi ketersediaan timbal dan penyerapan oleh tanaman.

Sedangkan kecilnya konsentrasi Pb dalam sampel diduga karena adanya logam lain yang menghambat terserapnya Pb ke dalam tanaman. Seperti yang dijelaskan oleh (Charlena, 2004) bahwa tanaman dapat menyerap logam Pb pada

saat kondisi kesuburan tanah, kandungan bahan organik, serta KTK (Kapasitas Tukar Kation) tanah yang rendah. Pada keadaan ini logam berat Pb akan terlepas dari ikatan tanah dan berupa ion yang bergerak bebas pada larutan tanah. Jika logam lain tidak mampu menghambat keberadaannya, maka akan terjadi serapan Pb oleh akar tanaman. Selain itu, timbal sebagian besar diakumulasi oleh organ tanaman, yaitu daun, batang, akar, dan akar umbi-umbian (bawang merah). Oleh karena itu, ada kemungkinan bahwa Pb tidak terakumulasi pada bagian buah melainkan dalam bagian tanaman yang lain seperti daun atau akar.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian di negara lainnya (Tabel 4.6) konsentrasi Pb dalam beras dalam penelitian ini lebih besar daripada di Australia yang memiliki konsentrasi sebesar 0,055 mg/kg, USA dengan konsentrasi Pb sebesar 0,019 mg/kg, dan lebih kecil dari China dengan konsentrasi sebesar 0,296 mg/kg.

4.3. Pemetaan Tingkat Bahaya Logam Berat di Area Penelitian

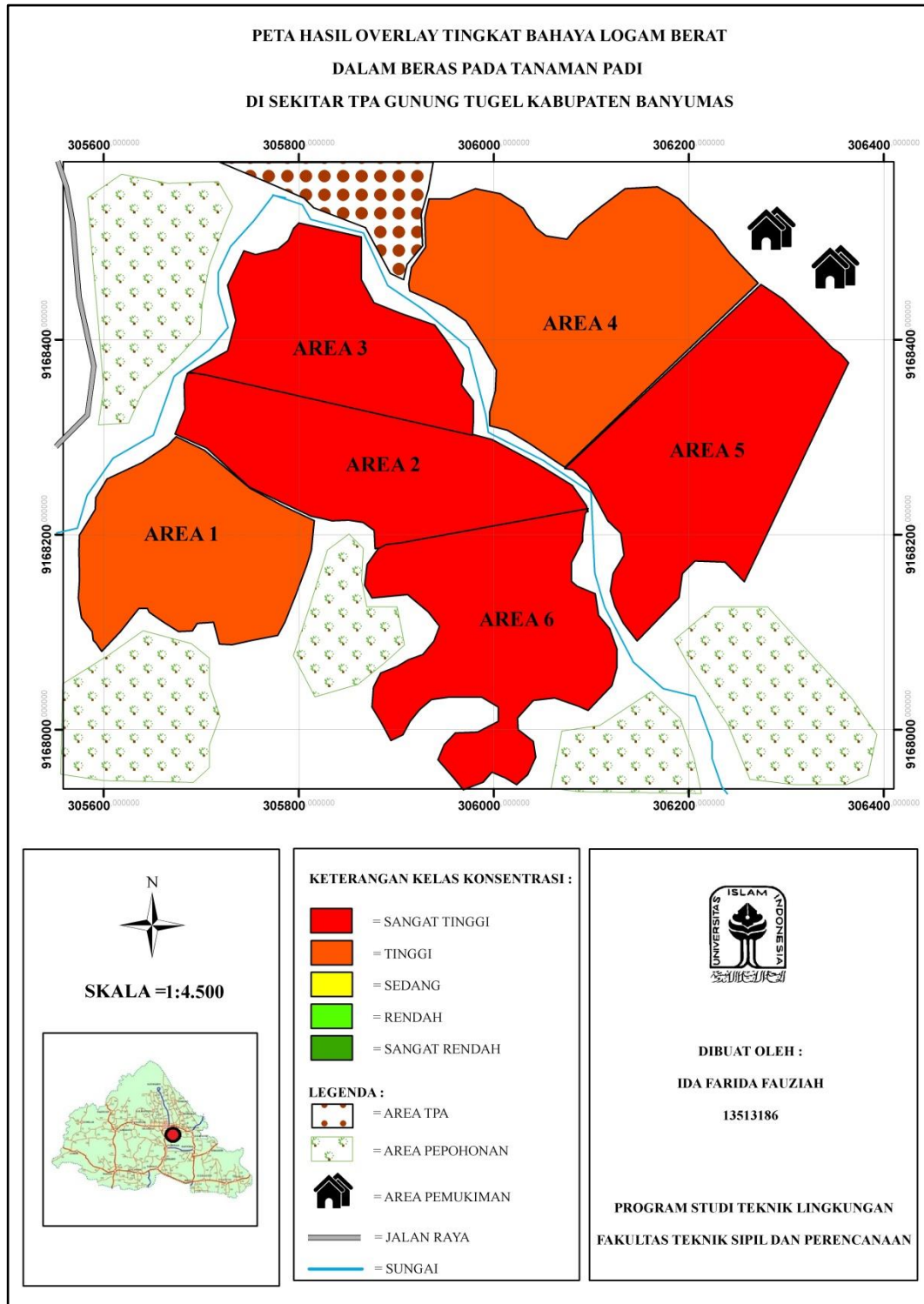
Setelah mengetahui tingkat konsentrasi setiap parameter logam berat dari sampel yang diuji, dilakukanlah pemetaan tingkat bahaya di area penelitian. Pemetaan ini bertujuan untuk menunjukkan area mana yang memiliki tingkat bahaya tertinggi sampai dengan terkecil. Peta ini dibuat berdasarkan gabungan (*overlay*) peta dari setiap parameter logam berat yang telah di klasifikasikan menggunakan metode *scoring*.

Berikut adalah tabel yang menunjukkan *score* tingkat konsentrasi berdasarkan peta setiap parameter logam berat pada sampel beras:

Tabel 4.14 Hasil *Scoring* Tingkat Konsentrasi Logam Berat pada Sampel Beras

Area	Score Setiap Parameter							Jumlah	Kelas
	Cr	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb		
Area 1	1	1	5	5	5	5	3	25	Tinggi
Area 2	4	3	5	5	5	5	3	30	Sangat Tinggi
Area 3	5	1	5	5	5	5	3	29	Sangat Tinggi
Area 4	4	1	5	5	5	5	3	28	Tinggi
Area 5	5	1	5	5	5	5	3	29	Sangat Tinggi
Area 6	3	5	3	5	5	5	3	29	Sangat Tinggi

Gambar 4.17 berikut ini adalah peta *overlay* hasil dari *scoring* tingkat konsentrasi logam berat pada sampel beras:



Gambar 4.17. Peta *Overlay* Tingkat Bahaya Logam Berat dalam Beras

Berdasarkan tabel 4.14 area 2 merupakan area dengan jumlah skor tertinggi yaitu 30, termasuk dalam kategori tingkat bahaya sangat tinggi. Akan tetapi, area lainnya yaitu area 3, 5 dan 6 juga termasuk dalam kategori yang sama. Hal ini semakin diperjelas dengan peta pada gambar 4.17 yang menunjukkan bahwa semua area tersebut memiliki warna merah yang berarti area tersebut memiliki skor antara 29 - 35. Tingkat bahaya yang relatif sama menunjukkan bahwa sumber kontaminasi logam berat pada beras bukan hanya berasal dari TPA, melainkan dari sumber lain seperti penggunaan pupuk dan pestisida yang berlebihan oleh petani. Terbukti dari besarnya tingkat bahaya area 1 yang berada di zona A dengan letak irigasinya berada sebelum longsor TPA sama dengan area 4 yang berada di zona B dengan letak irigasinya berada setelah longsor TPA ditandai dengan warna jingga yaitu kategori tinggi.

Scoring tingkat konsentrasi logam berat pada sampel beras tersebut akan di *overlay* lagi dengan hasil *scoring* tingkat konsentrasi logam berat pada tanah di area persawahan. Tabel yang menunjukkan *score* tingkat konsentrasi dari hasil peta setiap parameter logam berat pada sampel tanah di area persawahan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.15 Hasil *Scoring* Tingkat Logam Berat pada Tanah di Area Persawahan

Area	X	Y	Score Setiap Parameter							Jumlah	Kelas
			Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Zn	Pb		
Area 1	305656	9173709	3	4	3	2	1	4	1	18	Sedang
Area 2	305815	9173781	3	4	2	2	2	3	1	17	Sedang
Area 3	305777	9173934	3	4	2	3	2	4	1	19	Sedang
Area 4	306066	9173941	2	3	1	3	2	4	1	16	Sedang
Area 5	306180	9173746	3	2	2	2	2	4	1	16	Sedang
Area 6	305973	9173620	2	4	1	2	2	5	1	17	Sedang

Tabel 4.16. Klasifikasi Tingkat Bahaya Logam Berat dalam Beras dan Tanah Area Persawahan

Kelas	Warna	Score
Sangat rendah	Hijau Tua	0 – 7
Rendah	Hijau Muda	8 - 14,0
Sedang	Kuning	15 – 21
Tinggi	Jingga	22 – 28
Sangat tinggi	Merah	29 – 35

Berikut adalah tabel yang menunjukkan *score* tingkat konsentrasi dari hasil *overlaysampel* tanah dan sampel beras di area penelitian:

Tabel 4.17 Hasil *Overlay* Tingkat Konsentrasi Logam Berat pada sampel Beras dan sampel Tanah di Area Persawahan

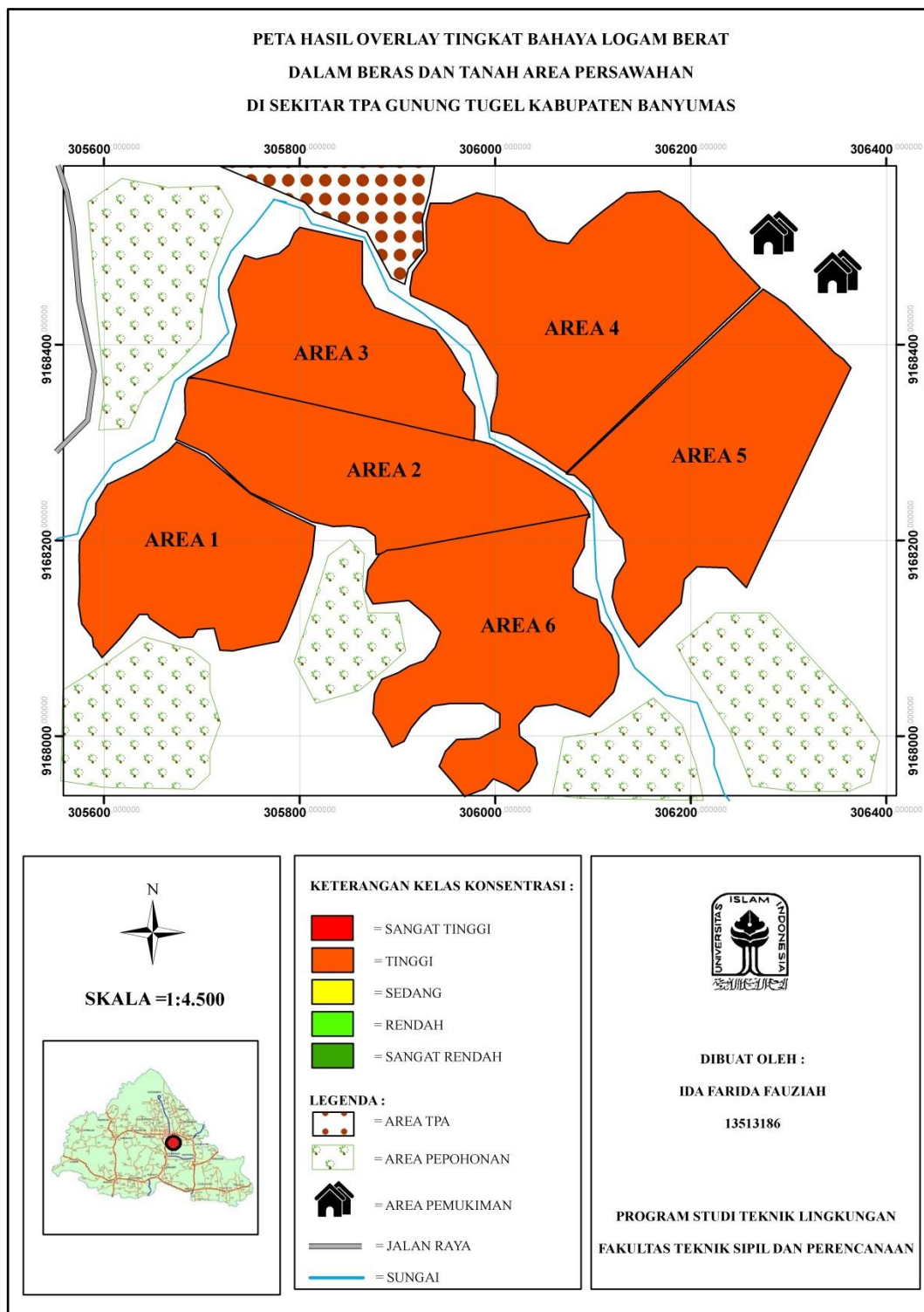
Area	Score Kumulatif Logam Berat Pada Sampel		Jumlah	Kelas
	Tanah	Beras		
Area 1	18	25	43	Tinggi
Area 2	17	30	47	Tinggi
Area 3	19	29	48	Tinggi
Area 4	16	28	44	Tinggi
Area 5	16	29	45	Tinggi
Area 6	17	29	46	Tinggi

Klasifikasi tersebut berdasarkan metode *scoring* seperti tabel berikut :

Tabel 4.18. Klasifikasi Tingkat Bahaya Logam Berat dalam Beras dan Tanah Area Persawahan

Kelas	Warna	Score
Sangat rendah	Hijau Tua	0 – 14
Rendah	Hijau Muda	15 – 28
Sedang	Kuning	29 – 42
Tinggi	Jingga	43 – 56
Sangat tinggi	Merah	57 – 70

Nilai *score* tertinggi seperti ditunjukkan oleh tabel 4.17 yaitu berada pada area 3 yang memiliki skor akumulatif 48, dimana area tersebut terletak pada zona A yang merupakan area persawahan dengan saluran irigasinya berada sebelum longoran TPA akan tetapi lokasinya paling dekat dengan TPA.



Gambar 4.18. Peta *Overlay* Tingkat Bahaya Logam Berat dalam Beras dan Tanah Area Persawahan

Berdasarkan gambar 4.18 hasil *overlay* kandungan logam berat pada beras dan tanah area persawahan di sekitar TPA Gunung Tugel, semua area memiliki tingkat bahaya dengan kategori tinggi yang ditandai dengan warna jingga. Oleh karena itu, ada kemungkinan kontaminasi logam berat di area tersebut berasal dari pencemaran TPA. Tetapi kemungkinan besar kontaminasi logam berat yang terdeteksi ini juga berasal dari penggunaan pupuk dan pestisida yang berlebihan oleh petani. hal ini dapat dibuktikan bahwa semua area termasuk area 1 yang lokasinya berada jauh dari TPA memiliki tingkat kategori yang sama yaitu tingkat kategori tinggi.

4.4. Potensi Risiko Kesehatan Lingkungan

Meskipun ada banyak jalur paparan manusia terhadap logam berat, konsumsi beras telah diidentifikasi sebagai salah satu jalur utama (Liu et al 2011). Asupan logam berat diperkirakan dengan perkalian tingkat konsumsi harian dengan kandungan logam dalam beras (Zhang et al 1998; Shimbo et al., 2001).

Tabel 4.19. Estimasi Asupan Harian untuk Dewasa (60 Kg) pada Logam Berat dari Konsumsi Beras dengan *Hazard Quotient*

No	HM	DI ($\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$)	DI ($\mu\text{g}/\text{kgbw}/\text{day}$)	TDI ($\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$)	DFI	HQ
1	Cr	147,827	2,464	0,001	0,002	2,464
2	Cd	14,486	0,241	0,001	0,0002	0,241
3	Cu	516,691	8,612	0,040	0,009	0,215
4	Fe	4599,067	76,651	0,700	0,077	0,110
5	Mn	6373,258	106,221	0,140	0,106	0,759
6	Zn	22695,163	378,253	0,300	0,378	1,261
7	Pb	21,420	0,357	0,004	0,0004	0,099
THI						5,149

Tabel 4.20. Estimasi Asupan Harian untuk Anak - Anak (25 Kg) pada Logam Berat dari Konsumsi Beras dengan *Hazard Quotient*

No	HM	DI ($\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$)	DI ($\mu\text{g}/\text{kgbw}/\text{day}$)	TDI ($\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$)	DFI	HQ
1	Cr	78,261	3,130	0,001	0,003	3,130
2	Cd	7,669	0,307	0,0008	0,0003	0,383
3	Cu	273,542	10,942	0,111	0,011	0,099
4	Fe	2434,800	97,392	0,7	0,097	0,139
5	Mn	3374,078	134,963	0,122	0,135	1,106
6	Zn	12015,087	480,603	0,476	0,481	1,010
7	Pb	11,340	0,454	0,0036	0,0005	0,126
THI						5,994

Berdasarkan hasil wawancara konsumsi beras setiap hari adalah 170 g / orang / hari untuk orang dewasa dan 90 g/orang / hari untuk anak-anak. Perkiraan asupan harian (DI) rata rata dari Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb masing-masing adalah 147,827; 14,486; 516,691; 4599,067; 6373,258; 22695,163 dan 21,420 mikrogram per orang per hari untuk orang dewasa. Perkiraan asupan harian (DI) rata rata dari Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb masing-masing adalah 78,261; 7,669; 273,542; 2434,800; 3374,078; 12015,087 dan 11,340 mikrogram per orang per hari untuk anak-anak.

Logam berat dapat menumpuk di dalam tubuh manusia melalui konsumsi makanan yang terkontaminasi, minum air yang tercemar, menghirup partikel tersuspensi melalui mulut dan hidung dan penyerapan kulit partikel terkontaminasi yang menempel pada kulit yang terpapar. Dalam penelitian ini, konsumsi beras secara oral ditanam di peternakan ini digunakan untuk mengevaluasi asupan harian dan hasil bagi bahaya.

Hazard Quotient telah dikenal sebagai parameter yang berguna untuk evaluasi risiko yang terkait dengan konsumsi tanaman pangan yang terkontaminasi logam (Sridhara et al., 2008).

Hasil pengukuran *Hazard Quotient* logam berat melalui konsumsi beras dan indeks bahaya total (THI) ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5. Untuk orang dewasa dengan berat badan rata-rata 60 kg, *Hazard Quotient* logam berat dari konsumsi beras menurun drastis $\text{Cr} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cd} > \text{Cu} > \text{Fe} > \text{Pb}$ dan nilai THI adalah 5,149. Untuk anak-anak dengan berat badan rata-rata 25 kg, *Hazard*

Quotient logam berat dari konsumsi beras menurun drastis Cr>Zn> Mn>Cd> Fe>Cu> Pb dan nilai THI adalah 5,994. Nilai THI yang didapatkan > 1 dan HQ untuk semua logam berat yang diuji kecuali Tembaga, Besi dan timbal melalui konsumsi beras lebih besar dari 0,2 sehingga konsumsi beras dari area ini kemungkinan akan menyebabkan efek kesehatan yang merugikan.

Secara umum, senyawa kromium (VI) lebih beracun daripada senyawa kromium (III). Sasaran yang paling sensitif dari kromium (VI) adalah iritasi pernapasan (iritasi hidung dan paru-paru dan fungsi paru yang berubah setelah pemaparan inhalasi), lambung (lesi iritasi, ulserasi, dan lambung dan usus halus berikut paparan oral), anemia hematologis (mikrositik, anemia hipokromik), Dan sistem reproduksi (penurunan jumlah sperma dan kerusakan epididimis). Target utama senyawa kromium (III) adalah pernafasan (setelah pemaparan inhalasi) dan sistem imunologi. Dermatitis alergi kromium biasanya dilekatkan pada kontak kulit pada individu yang peka. DHHS, IARC, dan EPA telah mengklasifikasikan kromium (VI) sebagai karsinogen manusia. IARC telah mengklasifikasikan kromium (III) dan kromium logam karena tidak dapat diklasifikasikan sesuai dengan karsinogenisitasnya pada manusia.

Tidak diketahui apakah anak-anak lebih sensitif terhadap keracunan kromium daripada orang dewasa. Pada hewan laboratorium, kromium (VI) menyebabkan keguguran, berat lahir rendah, dan perubahan dalam pengembangan kerangka dan sistem reproduksi. Efek perkembangan ini mungkin terkait terhadap toksisitas kromium ibu.

Seng adalah nutrisi penting bagi manusia dan hewan yang diperlukan untuk fungsi sejumlah besar metalloenzim. Efek dari paparan inhalasi senyawa seng dan seng agak berbeda dengan bentuk kimia senyawa seng, namun sebagian besar efeknya terjadi di dalam saluran pernapasan. Eksposur terhadap dosis oral tinggi dapat menyebabkan gejala dan tanda iritasi gastrointestinal (kram perut, muntah, dan diare) pada manusia. Paparan oral jangka panjang terhadap senyawa seng dapat menyebabkan efek yang terkait dengan gejala awal defisiensi tembaga, seperti penurunan jumlah eritrosit dan penurunan kadar hematokrit. Kekurangan tembaga disebabkan interaksi antara seng dan tembaga sehingga terjadi penurunan penyerapan tembaga dari makanan. Sedangkan untuk kesehatan anak tidak

diketahui apakah anak-anak lebih rentan terhadap keracunan seng dibanding orang dewasa.

Mangan merupakan nutrisi yang penting, dan memakannya sedikit setiap harinya penting untuk tetap sehat. Mangan telah terbukti melintasi pembuluh darah ke otak dan jumlah mangan yang terbatas juga mampu melewati plasenta selama kehamilan, memungkinkannya mencapai janin yang sedang berkembang.

Gangguan sistem saraf telah diamati pada hewan setelah dosis mangan oral yang sangat tinggi, termasuk perubahan perilaku. Kerusakan sperma dan perubahan yang merugikan pada kinerja reproduksi laki-laki diamati pada hewan laboratorium yang diberi mangan tingkat tinggi. Penurunan pada kesuburan diamati pada tikus betina yang diberi mangan oral sebelum mereka hamil. Penyakit yang melibatkan ginjal dan saluran kencing telah diamati pada tikus laboratorium yang diberi kadar mangan sangat tinggi. Penyakit ini termasuk radang ginjal dan pembentukan batu ginjal.

Sementara EPA menyimpulkan bahwa informasi ilmiah yang ada tidak dapat menentukan apakah atau tidak kelebihan mangan dapat menyebabkan kanker.

Sasaran yang paling sensitif dari toksisitas kadmium adalah ginjal dan tulang setelah paparan oral, ginjal dan paru-paru setelah pemaparan inhalasi. Efek yang diamati pada manusia meliputi kerusakan tubulus ginjal, kerusakan glomerulus, penurunan mineralisasi tulang, peningkatan risiko patah tulang, penurunan fungsi paru-paru, dan emfisema. Efek ini biasanya terjadi setelah paparan kadmium jangka panjang. Beberapa penelitian yang dilakukan kadmium telah menemukan peningkatan risiko kanker paru-paru. DHHS dan IARC menganggap kadmium sebagai karsinogen manusia. EPA menganggap kadmium sebagai karsinogen manusia yang mungkin terjadi dengan rute inhalasi.

Kemungkinan efek yang diamati pada orang dewasa yang terpapar kadmium juga akan terlihat pada anak-anak. Karena kadmium adalah toksin kumulatif dan memiliki waktu paruh yang sangat lama di tubuh, paparan pada anak-anak dalam jumlah yang rendah sekalipun mungkin memiliki konsekuensi jangka panjang. Studi pada hewan menunjukkan bahwa anak-anak mungkin lebih rentan daripada orang dewasa yang menderita kerusakan akibat kadmium. Pada

hewan laboratorium, kadmium menyebabkan penurunan berat badan janin atau pup, skeletal malformasi, dan perubahan perilaku.

Besi merupakan nutrisi penting untuk kesehatan. Ini adalah komponen utama hemoglobin, yang digunakan untuk mengangkut oksigen dan karbon dioksida dalam darah. Kekurangan zat besi dapat meningkatkan penyerapan dan toksisitas timah; Siapa pun dengan kadar timbal darah yang meningkat harus diuji kekurangan zat besi.

Menelan sejumlah besar zat besi dapat merusak pembuluh darah, menyebabkan vomitus / feses berdarah, dan merusak hati dan ginjal, dan bahkan menyebabkan kematian. Namun, karena konsumsi diatur, jaringan tubuh pada umumnya tidak terkena konsentrasi tingkat tinggi.

Setiap orang harus menyerap sejumlah kecil tembaga setiap hari karena tembaga sangat penting untuk kesehatan. Kadar tembaga yang tinggi bisa berbahaya. Untuk jalur pernapasan kadar tembaga tinggi bisa menyebabkan iritasi pada hidung dan tenggorokan. Untuk jalur oral kadar tembaga tinggi bisa menyebabkan mual, muntah, dan diare. Dosis tembaga yang sangat tinggi bisa menyebabkan kerusakan pada hati dan ginjal Anda, dan bahkan bisa menyebabkan kematian. EPA telah menentukan bahwa tembaga tidak dapat diklasifikasikan sebagai karsinogenisitas manusia.

Paparan kadar tembaga tinggi akan menghasilkan jenis efek yang sama pada anak-anak dan orang dewasa. Belum diketahui apakah efek ini akan terjadi pada tingkat dosis yang sama pada anak-anak dan orang dewasa. Studi pada hewan menunjukkan bahwa anak-anak mungkin memiliki efek yang lebih parah daripada orang dewasa, tapi ini belum tentu berlaku bagi manusia. Ada persentase yang sangat kecil dari bayi dan anak-anak yang sangat sensitif terhadap tembaga. Belum diketahui juga apakah tembaga dapat menyebabkan cacat lahir atau efek perkembangan lainnya pada manusia. Studi pada hewan menunjukkan bahwa kadar tembaga yang tinggi dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan janin.

Anak-anak lebih rentan terhadap efek timbal dibandingkan orang dewasa. Sumber paparan timah yang paling umum untuk anak-anak adalah cat berbasis timbal. Paparan timbal baik selama masa bayi atau masa kanak-kanak dapat menyebabkan anemia, kerusakan neurologis, perubahan ginjal, kolik, dan

metabolisme vitamin yang terganggu. Paparan timbal baik dalam rahim, selama masa bayi, atau Selama masa kanak-kanak dapat mengakibatkan keterlambatan atau penurunan perkembangan neurologis, defisit neurobehavioral termasuk defisit IQ, berat lahir rendah, dan usia kehamilan rendah, retardasi pertumbuhan, dan kematangan seksual tertunda pada anak perempuan. Memastikan diet yang cukup gizi dalam kalsium dan zat besi dapat menurunkan dosis timah yang diserap.

Kadmium dan timbal adalah elemen yang tidak esensial dan kehadiran mereka bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah akan menyebabkan efek kesehatan yang merugikan bagi manusia (Mahaffey 1990). Hasil saat ini menunjukkan bahwa ada kemungkinan potensi risiko kesehatan terkait dengan logam berat pada beras dari sawah disekitar TPA Gunung Tugel ada dan dapat menjadi ancaman bagi konsumennya.