

LAPORAN AKHIR

STUDI TINGKAT CEMARAN LIMBAH INDUSTRI (BATU ALAM) PADA LAHAN SAWAH DI KABUPATEN CIREBON

**Disusun Oleh:
Bambang Susanto
Wiratno
Dedi Sugandi
Yanto Surdianto
Didit Rahadian**



**BAPPELITBANGDA KABUPATEN CIREBON
BEKERJASAMA DENGAN
BALAI PENGKAJIAN TEKNOLOGI PERTANIAN
JAWA BARAT**



2019

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Isu lingkungan lain yang perlu mendapat perhatian serius adalah dampak kegiatan atau sektor lain terhadap sumber daya pertanian dan lingkungan, yang berasal dari limbah industri, pertambangan, pemukiman, dan perkotaan. Beberapa senyawa beracun (B3) yang berdampak buruk terhadap keberlanjutan sistem produksi pertanian antara lain adalah logam berat, seperti Hg, Pb, Cd, Cr, As, Fe, Cu, Zn, Mn, dan bahan kimia seperti detergen.

Walaupun belum terlalu serius, terdapat indikasi bahwa di banyak lokasi pertanian di Kabupaten Cirebon terutama di lahan sawah dan perairan, senyawa kimia limbah tersebut telah mulai mencemari lahan dan air irigasi, bahkan juga produk pertanian seperti padi. Hasil penelitian Kurnia *et al.* (2004) menunjukkan bahwa kandungan berbagai jenis logam berat dalam tanah pada lahan yang terpolusi limbah pabrik di beberapa lokasi di Jawa Barat meningkat sekitar 18–98% dibanding lahan yang belum terkena polusi. Polusi logam berat tersebut, selain menyebabkan kontaminasi pada produk (terutama gabah/beras) juga menurunkan produktivitas tanaman (Sugandaa *et al.* 2002; Munarso dan Setyorini 2004).

Untuk mengetahui sejauh mana tingkat cemaran limbah industri pada lahan pertanian di Kabupaten Cirebon, maka perlu dilakukan studi uji tanah, air dan tanaman akibat cemaran limbah tersebut.

1.2. Dasar Pertimbangan

Salah satu kekayaan alam Kabupaten Cirebon adalah sumber daya batu alam yang cukup besar yang terdapat di area pegunungan daerah tersebut. Sumber daya ini oleh masyarakat telah dimanfaatkan menjadi produk hiasan sebagai bahan bangunan (lantai/pelapis dinding). Besarnya permintaan pasar turut mendorong berkembangnya kegiatan dengan pesat.

Kegiatan industri pengolahan batu alam memberikan dampak positif juga membawa dampak negatif. Dari sisi ekonomi dan sosial memberikan dampak positif, dimana terdapat 212 perusahaan batu alam skala mikro dan makro pada 13 desa di Duku Puntang. Aktivitas industri tersebut telah mampu memutarakan roda perputaran uang 100 juta hingga 10 miliar per bulannya dan mempekerjakan masyarakat disekitar perusahaan.

Degradasi lingkungan merupakan dampak negatif yang disebabkan kegiatan industri. Menurut Yustisia dan Sugiyanto (2014) indeks polusi memiliki hubungan kointegrasi jangka panjang negatif dengan GDP per kapita, dimana pertumbuhan ekonomi sejalan dengan degradasi lingkungan, aktivitas industri merupakan penentu perubahan kualitas lingkungan yang dapat ditinjau dari peningkatan emisi per kapita. Berdirinya banyak perusahaan pengolahan batu alam, memberikan dampak pada pencemaran air di sungai-sungai. Pengawasan yang ketat diperlukan untuk kegiatan reklamasi pasca kegiatan tambangnya.

Hasil kajian Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Cirebon tahun 2017 menunjukkan bahwa limbah batu alam memiliki dampak terhadap badan air perairan dan air irigasi karena industri batu alam menghasilkan limbah berupa limbah cair dan serbuk yang bercampur dengan air sehingga membentuk sedimen. Sifat limbah yang mengalami sedimentasi atau pengendapan ini, biasanya memiliki kecenderungan bahwa semakin jauh dari sumber pencemar maka kandungan dari sedimen atau suspensi pada limbah tersebut akan semakin berkurang ketika sampai di badan air perairan yang dapat diketahui dari parameter TDS (*Total Dissolved Solid*) dan TSS (*Total Suspended Solid*).

Limbah batu alam mengandung beberapa unsur kimia yang mempengaruhi kualitas air di permukaan badan air, diantaranya Natrium, Kalsium, Magnesium, Kalium dan Boron yang merupakan unsur logam dan media kuat untuk menghantarkan arus listrik dan semakin jauh dari sumber pencemar limbah kadarnya semakin tinggi. Di samping adanya unsur logam, pH air juga tinggi yang dapat berpengaruh buruk terhadap flora dan fauna yang hidup di sungai maupun tanaman dan hewan yang memanfaatkan air yang tercemar limbah tersebut.

Hasil analisa limbah cair industri batu alam yang dilakukan Dinas Lingkungan Hidup tahun 2017, menunjukkan ada beberapa parameter yang berada di atas baku mutu, diantaranya TSS, dimana dari 9 limbah industri yang dianalisis, ada 8 limbah industri yang nilai TSS di atas nilai baku mutunya. Hal ini menunjukkan adanya sedimentasi yang tinggi akibat limbah batu alam. Parameter lain adalah BOD yang nilainya di atas nilai baku mutunya. Nilai BOD yang tinggi mengakibatkan oksigen dalam air sangat sedikit, sehingga akan mengancam kehidupan flora dan fauna yang hidup di dalamnya. COD dan unsur logam seperti Fe di beberapa titik sampling juga menunjukkan nilai di atas baku mutu.

Hasil analisis air sungai juga menunjukkan bahwa nilai TSS dan BOD di beberapa titik sampling melebihi nilai baku mutunya. Hal ini menunjukkan bahwa limbah industri batu alam telah mempengaruhi kualitas air sungai maupun air irigasi secara keseluruhan, terutama dari sisi sedimentasi.

Lahan sawah di sekitar lokasi industri batu alam di enam kecamatan di Kabupaten Cirebon yaitu Dukupuntang, Depok, Palimanan, Gempol, Jamblang dan Klangeran memanfaatkan air dari sungai dan irigasi Bendungan Jamblang yang tercemar limbah industri batu alam untuk mengairi pertanaman padi. Ada kemungkinan tanah sawah dan tanaman padi tercemar limbah industri batu alam tersebut. Oleh karena itu Badan Perencanaan Pembangunan, Penelitian dan Pengembangan Daerah Kabupaten Cirebon pada tahun 2019 melakukan kajian tentang analisis dampak cemaran limbah industri batu alam pada lahan pertanian khususnya lahan sawah.

1.3. Tujuan

1. Melakukan uji tanah, air dan tanaman pada lahan pertanian yang terindikasi tercemar logam berat dari limbah industri batu alam.
2. Memetakan tingkat cemaran logam berat pada lahan sawah yang tercemar logam berat dari limbah industri batu alam
3. Menyusun arahan atau rekomendasi teknologi pada lahan pertanian untuk mengurangi dampak cemaran logam berat dari limbah industri batu alam.

1.4. Keluaran

1. Data hasil uji tanah, air dan tanaman pada lahan lahan sawah yang tercemar logam berat dari limbah industri batu alam.
2. Peta tingkat cemaran logam berat pada lahan lahan sawah yang tercemar logam berat dari limbah industri batu alam
3. Bahan rekomendasi teknologi pada lahan pertanian untuk mengurangi dampak cemaran logam berat dari limbah industri batu alam

1.5. Manfaat dan Dampak

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Menurunnya dampak pencemaran limbah industri batu alam terhadap lingkungan air dan tanah pertanian.

2. Dapat dijadikan dasar bagi Pemerintah Daerah Kabupaten Cirebon dalam mengambil kebijakan tentang penanganan limbah industri khususnya batu alam

Adapun dampak dari hasil penelitian ini adalah:

1. Meningkatkan produktivitas tanah dalam jangka lama.
2. Meningkatkan produktivitas padi sawah
3. Meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan petani

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bahan Pencemar (Limbah)

Bahan pencemar yang masuk ke muara sungai ataupun ke lahan pertanian akan tersebar dan akan mengalami proses pengendapan, sehingga terjadi pencemaran pada lingkungan (Erlangga, 2007). Kontaminasi bahan pencemar yang berasal dari aktivitas industri, pertanian, peternakan, maupun kegiatan rumah tangga telah menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air pada sumber air seperti sungai, danau dan waduk, sedangkan air tercemar yang masuk ke lahan pertanian akan menurunkan kualitas lahan. Walaupun saat ini telah diberlakukan berbagai macam kebijakan dan peraturan terkait dengan pengendalian pencemaran air, diantaranya PP No. 82 Tahun 2001 dan Permen LH No 13. Tahun 2010, namun lemahnya praktek pengawasan dan penegakkan hukum menyebabkan penurunan kualitas air di badan air terus terjadi. Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia (KLH, 2010) melaporkan bahwa sekitar 74% sungai-sungai besar di Pulau Jawa tidak memenuhi kriteria air kelas II.

Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik. Berdasarkan karakteristiknya, limbah industri dapat dibagi menjadi limbah cair, limbah padat dan emisi ke udara. Air limbah (*waste water*) adalah kombinasi dari cairan dan sampah-sampah (air yang berasal dari permukiman, perdagangan, perkantoran, dan industri) bersama-sama dengan air tanah, air permukaan dan air hujan yang mungkin ada (Metcalf and Eddy, 1991). Secara umum dapat dikemukakan air buangan adalah cairan yang berasal dari rumah tangga, industri maupun tempat umum lainnya, dan biasanya mengandung bahan-bahan/ zat yang dapat membahayakan manusia serta mengganggu kelestarian hidup. Dari beberapa sumber, air limbah atau yang lebih dikenal dengan air buangan ini adalah merupakan:

- a. Cairan buangan yang berasal dari rumah tangga, perdagangan, perkantoran, industri maupun tempat-tempat umum lainnya yang biasanya mengandung bahan-bahan atau zat-zat yang dapat membahayakan kesehatan atau kehidupan manusia serta mengganggu kelestarian lingkungan hidup.
- b. Kombinasi dari cairan atau air yang membawa buangan dari perumahan, instisusi, komersial, dan industri bersama dengan air tanah, air permukiman, dan air hujan.
- c. Kotoran dari masyarakat dan rumah tangga, industri, air tanah/ permukaan serta buangan lainnya (kotoran umum).
- d. Semua air/ zat cair yang tidak lagi dipergunakan, sekalipun kualitasnya mungkin baik.

Secara umum jenis air limbah dibagi menjadi 2 (dua), yaitu: air limbah domestik (rumah tangga) dan air limbah industri. Sedangkan air limbah rumah tangga terdiri dari 2 (dua) jenis, yaitu: air kotor dan air bekas.

1. Air Limbah Domestik (Rumah Tangga)

- Air Kotor

Air Kotor adalah air limbah yang mengandung kotoran, yang pada umumnya berasal dari jamban dengan kloset jongkok, maupun kloset duduk yang dialirkan ke Tangki Septik atau Cubluk. Air rembesan dari Tangki Septik atau Cubluk yang mengandung bakteri penyakit dapat mencemari sumur-sumur dangkal jika tidak dikelola dengan baik.

- Air Bekas

Air bekas adalah air dari aktivitas dapur, mandi, cuci mencuci dan sejenisnya. Air limbah ini mengandung banyak benda-benda organik misalnya makanan, lemak, detergen, dan lain-lain.

2. Air Limbah Industri

Pada industri air digunakan dengan tiga tujuan utama yaitu proses pendinginan, pemanasan, dan penguapan. Disamping itu air dapat menjadi komponen material untuk produk nya itu sendiri, sehingga air menjadi tercemar dengan zat-zat yang komposisinya tergantung dari proses produksinya. Air limbah industri yang mengandung limbah cair beracun maupun logam, sebaiknya dilakukan pengolahan khusus sebelum masuk ke sistem terpusat supaya tidak mengganggu fungsi pengolahan terpusat.

2.2. Karakteristik Air Limbah Industri

Air limbah yang berasal dari kegiatan industri biasanya lebih membahayakan dibandingkan dengan limbah domestik atau limbah rumah tangga. Limbah cair dari industri biasanya mengandung logam-logam yang berbahaya sehingga perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang. Limbah industri bersumber dari kegiatan industri baik karena proses secara langsung maupun secara tidak langsung. Limbah yang bersumber langsung dari kegiatan industri yaitu limbah sisa dari proses produksi. Sedangkan limbah tidak langsung terproduksi sebelum dan sesudah proses produksi. Misalnya pencucian alat-alat produksi atau limbah dari alat produksi tersebut. Seperti halnya industri lainnya, industri pertambangan juga menghasilkan limbah cair yang berbahaya jika langsung dibuang ke lingkungan.

Pengetahuan mengenai karakteristik air buangan baik kuantitas maupun kualitasnya adalah suatu hal yang perlu dipahami dalam merencanakan suatu unit pengolahan limbah air buangan. Kualitas air buangan dibedakan atas tiga kelompok karakteristik, dimana untuk limbah batu alam sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang limbah industri masuk dalam parameter limbah tidak terdefinisi. Berikut parameter limbah batu alam tersebut.

1. Karakteristik fisik

- | | |
|---------------|----------|
| a. Temperatur | c. TDS |
| b. TSS | d. Warna |

2. Karakteristik kimia

Terbagi dalam tiga kategori: Zat organik, zat anorganik dan gas-gas.

- | | | |
|-------|---------------------|---------------------|
| a. pH | i. Sn | q. Cl ₂ |
| b. Fe | j. As | r. Nitrit |
| c. Mn | k. Se | s. Nitrat |
| d. Ba | l. Ni | t. BOD |
| e. Cu | m. Co | u. COD |
| f. Zn | n. Cn | v. Total Nitrogen |
| g. Cr | o. H ₂ S | w. Metelin blue |
| h. Pb | p. F | x. Minyak dan Lemak |

3. Karakteristik biologi

Merupakan banyaknya mikroorganisme yang terdapat dalam air limbah tersebut, seperti bakteri, alga, virus, fungi. Sifat biologis ini perlu diketahui dalam kaitannya untuk mengetahui tingkat pencemaran air limbah sebelum dibuang ke badan air penerima.

2.3. Industri Batu Alam

Pertambangan adalah rangkaian kegiatan dalam rangka upaya pencarian, penambangan (penggalian), pengolahan, pemanfaatan dan penjualan bahan galian (mineral, batubara, panas bumi, migas). Bahan galian memiliki jenis dan klasifikasi tersendiri. Menurut pembentukannya, bahan galian dibedakan menjadi enam jenis, yaitu: pegmatit, magnetit, metamorfosis, hidrotermal, pengendapan dan pengayaan sekuler. Bahan galian pegmatit, terbentuk di dalam gunung api dan dalam bentuk intruksi (gang, apofisa). Bahan galian magnetit, berasal dari magma dan terdapat di dekat dapur magma.

Bahan galian hasil metamorfosis kontak, yaitu batuan di sekitar magma yang bersentuhan dengan magma. Bahan galian hidrotermal, yaitu resapan magma cair yang membeku di celah-celah struktur lapisan bumi atau pada lapisan yang bersuhu relatif rendah. Bahan galian hasil pengendapan, yaitu bahan galian yang terkonsentrasi karena pengendapan di dasar sungai atau genangan air melalui proses pelarutan atau tidak. Bahan galian hasil pengayaan sekunder, yaitu bahan galian yang terkonsentrasi karena proses pelarutan pada batuan hasil dari pelapukan. Konsentrasi dapat terjadi di tempat asal batuan tersebut karena bagian campurannya larut dan terbawa air.

Undang Undang No. 11 Tahun 1976 tentang Pertambangan di Indonesia mengacu PP No. 25 Tahun 2000, secara rinci telah menjelaskan mengenai kewenangan pemerintah dan provinsi sebagai daerah otonomi termasuk di bidang pertambangan terdapat klasifikasi bahan galian menurut kepentingannya bagi pemerintah, yaitu sebagai berikut:

1. Golongan A, yaitu golongan bahan galian yang strategis. Artinya bahan galian tersebut penting untuk pertahanan/keamanan negara atau menjamin perekonomian negara. Contoh: semua jenis batu bara, minyak bumi, bahan radioaktif tambang aluminium (bauksit), timah putih, mangan, besi dan nikel.
2. Golongan B, yaitu golongan galian yang vital, yang dapat, menjamin hajat hidup orang banyak. Contoh: emas, perak, magnesium, seng, wolfram, batu permata, mika dan asbes.
3. Golongan C, yaitu bahan galian yang tidak termasuk dalam golongan A dan B. Mineral non logam dan batuan sering juga disebut sebagai mineral industri atau bahan galian. Dalam UU No. 4 Tahun 2009 tentang pertambangan mineral dan batu bara dipergunakan istilah "Mineral bukan Logam dan Batuan". Bahan galian bukan logam menurut SNI 13-4688-1998 dibedakan menjadi empat yaitu: bahan bangunan, mineral industri, bahan keramik serta batu mulia. Mineral bukan logam dan batuan adalah komoditas pertambangan yang bila dikelola dengan dengan baik dan benar akan dapat meningkatkan perekonomian rakyat khususnya dimana potensi tersebut berada karena umumnya mineral bukan logam lebih mudah untuk dicari dan ditambang. Jenis ini umumnya tidak memerlukan teknologi yang tinggi dalam proses eksplorasi maupun penambangan dan pengolahannya. Jenis bahan galian seperti ini misalnya granit, diorit, andesit, pasir, sirtu dan bahan bangunan dan lempung atau tanah liat sebagai bahan gerabah atau keramik.

2.4. Jenis Batuan

2.4.1. Batuan Beku

Batuan beku adalah batuan yang terbentuk karena pembentukan magma dan lava yang membeku. Magma merupakan batuan cair dan sangat panas yang berada di dalam kerak bumi/ perut bumi, sedangkan lava adalah magma yang mencapai permukaan bumi. Jenis dari batuan beku antara lain: batu apung, obsidian, granit, basalt, diorit, andesit, gabro dan liparit. Batuan-batuan ini memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. Batu Apung
 - a. Ciri: warna keabu-abuan, berpori-pori, bergelembung, ringan, terapung dalam air.
 - b. Cara terbentuk: dari pendinginan magma yang bergelembung-gelembung gas.
 - c. Kegunaan: untuk mengamplas atau menghaluskan kayu, di bidang industri digunakan sebagai bahan pengisi (filter), isolator temperatur tinggi dan lain-lain.
2. Obsidian
 - a. Ciri: hitam, seperti kaca, tidak ad kristal-kristal.
 - b. Cara terbentuk: terbentuk dari lava permukaan yang mendingin dengan cepat.
 - c. Kegunaan: untuk alat pemotong atau ujung tombak (pada masa purbakala) dan bisa dijadikan kerajinan.
3. Granit
 - a. Ciri: terdiri atas kristal-kristal kasar, warna putih sampai abu-abu, kadang-kadang jingga, batuan ini banyak ditemukan di pinggiran pantai dan pinggiran sungai besar ataupun di dasar sungai.
 - b. Cara terbentuk: dari pendinginan magma yang terjadi dengan lambat di bawah permukaan bumi.
 - c. Kegunaan: sebagai bahan bangunan.
4. Basalt
 - a. Ciri: terdiri atas kristal-kristal yang sangat kecil, berwarna hijau keabu-abuan dan berlubang-lubang.
 - b. Cara terbentuk: dari pendinginan lava yang mengandung gas tetapi gasnya telah menguap.
 - c. Kegunaan: sebagai bahan baku dalam industri poles, bahan bangunan/ pondasi bangunan (gedung, jalan, jembatan, dll).
5. Diorit
 - a. Ciri: kelabu bercampur putih atau hitam bercampur putih.

- b. Cara terbentuk: dari hasil peleburan samudra yang bersifat mafic pada suatu subduction zone, biasanya diproduksi pada busur lingkaran volkanis, dan membentuk suatu gunung di dalam cordillera (subduction sepanjang tepi suatu benua, seperti pada teretan pegunungan).
- c. Kegunaan: sebagai batu ornamen dinding maupun lantai bangunan gedung dan sebagai bahan bangunan (hiasan).

6. Andesit

- a. Ciri: batuan bertekstur halus, berwarna abu-abu hijau tetapi sering merah atau jingga.
- b. Cara terbentuk: berasal dari lelehan lava gunung berapi yang meletus, terbentuk (membeku) ketika temperatur lava yang meleleh turun antara 900°C sampai 1.100°C.
- c. Kegunaan: nisan kuburan, cobek, arca untuk hiasan, batu pembuatan candi.

7. Gabro

- a. Ciri: berwarna hitam, hijau, dan abu-abu gelap. Batuan ini adalah massive, tidak terdapat rongga atau lubang udara maupun retakan-retakan. Batuan ini memiliki tekstur fanerik karena mineral-mineralnya dapat dilihat langsung secara kasat mata dan mineral yang besar menunjukkan bahwa mineral tersebut terbentuk pada suhu pembekuan yang relatif lambat sehingga bentuk mineralnya besar-besar.
- b. Cara terbentuk: terbentuk dari magma yang membeku di dalam gunung.
- c. Kegunaan: untuk menghasilkan pelapis dinding (sebagai marmer dinding).

8. Liparit

- a. Ciri: bertekstur porfiris dan umumnya berwarna putih, mineral pembentukannya feldspar, kuarsa, biotit dan mungkin juga mineral berwarna gelap.

2.4.2. Batuan Sedimen

Batu Sedimen atau Endapan adalah batuan yang terbentuk karena pengendapan/ hasil pelapukan dan pengikisan batuan yang dihanyutkan oleh air atau terbawa oleh tiupan angin. Kemudian endapan ini menjadi keras karena tekanan atau ada zat-zat yang merekat pada bagian-bagian endapan tersebut. Jenis-jenis batuan endapan antara lain: konglomerat, pasir, serpih, gamping, breksi, stalaktit, stalagmit dan lempung.

1. Konglomerat

- a. Ciri: material kerikil-kerikil bulat, batu-batu dan pasir yang merekat satu sama lainnya.

- b. Cara terbentuk: dari bahan-bahan yang lepas karena gaya beratnya menjadi terpadatkan dan terikat.
 - c. Kegunaan: untuk bahan bangunan.
2. Batu Pasir
- a. Ciri: tersusun dari butiran-butiran pasir, warna abu-abu, kuning, merah.
 - b. Cara terbentuk: dari bahan-bahan yang lepas karena gaya beratnya menjadi terpadatkan dan terikat.
 - c. Kegunaan: sebagai material di dalam pembuatan gelas/kaca dan sebagai konstruksi bangunan.
3. Batu Serpih
- a. Ciri: lunak, baunya seperti tanah liat, butir-butir batuan halus, warna hijau, hitam, kuning, merah, abu-abu.
 - b. Cara terbentuk: dari bahan-bahan yang lepas dan halus karena gaya beratnya menjadi terpadatkan dan terikat.
 - c. Kegunaan: sebagai bahan bangunan.
4. Batu Gamping (kapur)
- a. Ciri: agak lunak, wana putih keabu-abuan, membentuk gas karbon dioksida kalau ditetesi asam.
 - b. Cara terbentuk: dari cangkang binatang lunak seperti siput, kerang, dan binatang laut yang telah mati. Rangkanya yang terbuat dari kaputidak akan musnah, tapi memadat dan membentuk batu kapur.
 - c. Kegunaan: sebagai bahan baku semen.
5. Breksi
- a. Ciri: gabungan pecahan-pecahan yang berasal dari letusan gunung berapi.
 - b. Cara terbentuk: terbentuk karena bahan-bahan ini terlempar tinggi ke udara dan mengendap di suatu tempat.
 - c. Kegunaan: dijadikan sebagai kerajinan dan sebagai bahan bangunan.
6. Stalaktit dan Stalagmit
- a. Ciri: kuning, coklat, krem, keemasan, putih.
 - b. Cara terbentuk: air yang larut di daerah karst akan masuk ke lobang-lobang (doline) kemudian turun ke gua dan menetes-netes di atap gua ke dasar gua. Tetesan-tetesan air yang mengandung kapur yang lama kelamaan kapurnya

membeku dan menumpuk sedikit demi sedikit lalu berubah jadi batuan kapur yang bentuknya runcing-runcing.

- c. Kegunaan: sebagai keindahan alam (biasanya di gua-gua).

7. Batu Lempung

- a. Ciri: coklat, keemasan, merah, abu-abu.
- b. Cara terbentuk: lempung residu adalah sejenis lempung yang terbentuk karena proses pelapukan (alterasi) batuan beku dan ditemukan disekitar batuan induknya. Kemudian material lempung ini mengalami proses diagesena sehingga membentuk batu lempung.
- c. Kegunaan: dijadikan sebagai kerajinan.

2.4.3. Batuan Metamorf

Batuan Metamorf atau Batuan Malihan merupakan batuan yang berasal dari batuan sedimen dan batuan beku yang mengalami perubahan karena panas dan tekanan. Jenis batuan malihan antara lain: pualam, sabak, ganes, sekis, kuarsit dan melonit.

1. Batuan Pualam atau Batu Marmer (dari batu gamping/kapur)

- a. Ciri: campuran warna berbeda-beda, mempunyai pita-pita warna, kristal-kristalnya sedang sampai kasar, bila ditetesi asam akan mengeluarkan bunyi mendesah, keras dan mengkilap jika dipoles.
- b. Cara terbentuk: terbentuk bila batu kapur mengalami perubahan suhu dan tekanan tinggi.
- c. Kegunaan: untuk membuat patung dan lantai/ubin.

2. Batuan Sabak

- a. Ciri: abu-abu kehijau-hijauan dan hitam, dapat dibelah-belah menjadi lempeng-lempeng tipis.
- b. Cara terbentuk: terbentuk bila batu serpih kena suhu dan tekanan tinggi.
- c. Kegunaan: dijadikan sebagai kerajinan, sebagai batu tulis, sebagai bahan bangunan, dan untuk membuat atap rumah (semacam genting).

3. Gneiss (ganes)

- a. Ciri: berwarna putih keabu-abuan, terdapat goresan-goresan yang tersusun dari mineral-mineral, mempunyai bentuk-bentuk penjajaran yang tipis dan terlipat pada lapisan-lapisan, terbentuk urat-urat yang tebal yang terdiri dari butiran-butiran mineral di dalam batuan tersebut.

- b. Cara terbentuk: terbentuk pada saat batuan sedimen atau batuan beku yang terpendam pada tempat yang dalam mengalami tekanan dan temperatur yang tinggi.
- c. Kegunaan: dijadikan sebagai kerajinan.

4. Sekis

- a. Ciri: berwarna hitam, hijau dan ungu, mineral pada batuan ini umumnya terpisah menjadi berkas-berkas gelombang yang diperlihatkan dengan kristal yang mengkilap dan terkadang ditemukan kristal garnet.
- b. Cara terbentuk: batuan metamorf regional yang terbentuk pada derajat metamorfosa tingkat menengah.
- c. Kegunaan: sebagai sumber mika yang utama (satu komponen penting dalam pembuatan kondensator dan kapasitor dalam industri elektronika).

5. Kuarsit

- a. Ciri: berwarna abu-abu, kekuningan, coklat, merah, sering berlapis-lapis dan dapat mengandung fosil, lebih keras dibanding gelas dan terdapat butiran sedang.
- b. Cara terbentuk: metamorfose dari batuan pasir, jika strukturnya tak mengalami perubahan dan masih menunjukkan struktur aslinya. Kuarsit terbentuk akibat panas yang tinggi sehingga menyebabkan rekristalisasi kwarsa dan felspar.
- c. Kegunaan: dijadikan sebagai kerajinan, konstruksi jalan dan perbaikan.

6. Milonit

- a. Ciri: butir-butir batuan ini lebih halus dan dapat dibelah, dan ab-abu, kehitaman, coklat, biru.
- b. Cara terbentuk: terbentuk oleh rekristalisasi dinamis mineral-mineral pokok yang mengakibatkan pengurangan ukuran butir-butir batuan.
- c. Kegunaan: dijadikan sebagai kerajinan.

2.5. Pengolahan Batu Alam

Industri pengolahan batu alam Andesit dan Palimanan di wilayah Kabupaten Cirebon diawali dengan proses penambangan batu (pengusaha pertambangan), kemudian didistribusikan ke pengrajin batu alam untuk dilakukan pengolahan melalui proses pemotongan, pengukuran dan pembentukan motif.



Gambar 1. Usaha industri batu alam di Kecamatan Dukupuntang Kabupaten Cirebon

Industri batu alam dalam proses produksinya selain menghasilkan produk juga menghasilkan beberapa jenis limbah, yaitu limbah padat dan *slurry*, dimana limbah padat merupakan sisa batu (*reject*) dengan berbagai ukuran (patahan, batu berukuran kecil atau cacat) yang dihasilkan dari lokasi penambangan atau unit pengolahan yang tidak dapat dijual, sedangkan limbah *slurry* adalah komponen semi cair yang merupakan campuran dari partikel-partikel yang dihasilkan dari proses pemotongan dan pemolesan dengan air bervolume besar yang digunakan pengrajin untuk mendinginkan dan melumasi mesin pemotong.

Limbah berbentuk *slurry* dihasilkan dari proses pengolahan batu alam sebanyak 20-40% dari produk akhirnya (Almeida *et al.* 2007), dimana industri tersebut memiliki rasio pertumbuhan yang cukup tinggi dan diprediksi akan mengalami kenaikan sebanyak 4 kali lipat dalam 20 tahun ke depan. Oleh karena itu, pihak industri harus mempertimbangkan langkah produksi yang bersifat berkelanjutan.

2.6. Dampak Kegiatan Industri Batu Alam

Kabupaten Cirebon, memiliki potensi bahan galian berupa Andesit di Ciwaringin, daerah Duku Puntang. Kegiatan industri pengolahan batu alam memberikan dampak positif juga membawa dampak negatif. Dari sisi ekonomi dan sosial memberikan dampak positif, dimana terdapat 212 perusahaan batu alam skala mikro dan makro pada 13 desa di Duku Puntang. Aktivitas industri tersebut telah mampu memutar roda perputaran uang 100 juta hingga 10 miliar per bulannya dan mempekerjakan masyarakat disekitar perusahaan.

Degradasi lingkungan merupakan dampak negatif yang disebabkan kegiatan industri. Menurut Yang *et al.* (2012) indeks polusi memiliki hubungan kointegrasi jangka panjang negatif dengan GDP per kapita, dimana pertumbuhan ekonomi sejalan dengan degradasi lingkungan, Chernwchan (2012) aktivitas industri merupakan penentu perubahan kualitas lingkungan yang dapat ditinjau dari peningkatan emisi per kapita.

Berdirinya banyak perusahaan pengolahan batu alam, memberikan dampak pada pencemaran air di sungai-sungai penduduk. Pengawasan yang ketat untuk kegiatan reklamasi pasca kegiatan tambangnya.



Gambar 2. Bendungan Jamblang yang tercemar limbah Industri Batu Alam di Kabupaten Cirebon

Hal ini dapat dilakukan sejak dilakukan delineasi zonasi untuk wilayah izin usaha pertambangan, baik untuk tingkat eksplorasi maupun izin operasi produksi dimana dampak lingkungan merupakan tanggung jawab semua pihak, penggunaan sumberdaya lingkungan secara bijaksana merupakan kunci utama untuk mencapai pembangunan ekonomi berkelanjutan.

2.7. Pemanfaatan Limbah Batu Alam

Kegiatan industri pengolahan batu alam yang banyak dilakukan oleh warga di Cirebon menimbulkan dampak menumpuknya buangan hasil olahan batu alam berupa sisa gergaji batu alam dan lumpur batu alam. Kedua jenis buangan tersebut jika tidak dimanfaatkan akan memberi dampak negatif terhadap lingkungan, baik secara estetika maupun dampak terhadap lingkungan.

Penanganan produk samping berupa limbah *slurry* telah dilakukan dengan cara *reuse* dan *recycle*, baik pada tahapan percobaan maupun aplikasi (Almeida *et al.*, 2007). Namun saat ini limbah *slurry* hanya diolah dengan cara ditampung dalam bak pengendap untuk mengurangi kandungannya, hingga dihasilkan limbah akhir yang terakumulasi dalam bentuk serbuk halus dan dapat memberikan dampak negatif bagi lingkungan maupun manusia, karena dapat mencemari air tanah (Almeida *et al.*, 2007; Al-Akhras *et al.* 2010). Oleh karena itu, pemanfaatan limbah tersebut dalam bentuk bahan pembangunan dan aplikasi lain dapat menjadi solusi yang tepat dalam menangani permasalahan tersebut. Hingga saat ini, limbah serbuk tersebut diaplikasikan di sektor konstruksi sebagai pengganti *fine aggregate* atau semen (Galetakis and Soutana, 2016).

Aplikasi tersebut dapat mengurangi emisi CO₂ (produksi semen menyumbang 5-7% emisi CO₂ secara global) dan mengurangi jumlah limbah yang dibuang.

Usaha pemanfaatan limbah produksi dari industri batu alam dilaksanakan selain untuk mengurangi dampak negatif ke lingkungan, sekaligus untuk meningkatkan nilai ekonomi dari limbah batu alam tersebut. Di lokasi selain Cirebon, pemanfaatan limbah batu alam telah dilaksanakan, seperti di daerah Prambanan, menurut (Huda, 2015), rancangan pemecahan permasalahan limbah dari produk pengrajin batu alam diatasi dengan mengubah bahan limbah yang berupa serbuk gergaji batu dan serpihan batu menjadi produk yang memiliki nilai tambah. Dimana direncanakan akan dibuat 3 macam produk, yaitu yang terdiri dari produk berupa pertama hasil kerajinan tangan untuk *Handcraft* yang diharapkan dapat dipasarkan di tempat wisata Candi Prambanan, kedua Pot Bunga yang diharapkan dapat dipasarkan secara bebas untuk masyarakat umum dan sebagian digunakan untuk menambah keindahan Dusun Totogan sebagai penghias jalan yang juga berfungsi sebagai wahana promosi penjualan pot bunga, dan ketiga pembuatan batu tempel dan mozaik dari serpihan batu yang dapat digunakan sebagai penghias dinding rumah ataupun lantai taman dan dapat dijual sebagai usaha sampingan dari masyarakat.

Dari observasi lapangan di Cirebon, pemanfaatan limbah batu alam di wilayah ini cenderung dimanfaatkan sebagai bahan pendukung bangunan, seperti batako, paving dan genteng, adapun batu tempel dan mozaik merupakan produk utama dari industri batu alam di wilayah Cirebon. Namun, dengan volume limbah dari kegiatan produksi batu alam yang cukup tinggi, penggunaan batu alam di sektor lain perlu dikembangkan, (Kuswah, 2015) menyebutkan sebanyak 30% penggunaan *slurry* batu alam dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat (pasir) pada pembuatan beton cor dengan kekuatan yang sama. Dan referensi lain (Nemerow, 2009) menyebutkan pemanfaatan *slurry* batu sebagai pengganti agregat dengan konsentrasi sampai 20% tidak mempengaruhi kekuatan mekanis beton cor. Sehingga pemanfaatan limbah batu alam sebagai pengganti agregat pada beton cor dapat diterapkan untuk mengurangi volume limbah batu alam pada industri pengolahan batu alam.

2.7.1. Pembuatan Paving

Paving block adalah komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen Portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan

tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu (SNI 03-0691-1996). Sebagai bahan perkerasan lantai, Paving Block mempunyai beberapa keunggulan antara lain:

1. Pelaksanaannya mudah sehingga memberikan kesempatan kerja yang luas kepada masyarakat,
2. Pemeliharaannya mudah,
3. Bila ada kerusakan, perbaikannya tidak memerlukan bahan tambahan yang banyak karena Paving block merupakan bahan yang dapat dipakai kembali meskipun telah mengalami pembongkaran,
4. Tahan terhadap beban statis, dinamik dan kejut yang tinggi,
5. Cukup fleksibel untuk mengatasi perbedaan penurunan (*differential settlement*), dan
6. Mempunyai durabilitas yang baik.

Pemasangan Paving block dapat dibuat mozaik dengan kombinasi warna sesuai estetika yang dirancang, dapat berupa logo, tulisan dan batasan area parkir atau petunjuk arah pada suatu daerah pemukiman (Syukur Sebayang, 2011). Berdasarkan fungsinya dalam pemasangan, paving block dibagi menjadi 4 jenis, antara lain: Mutu A: digunakan untuk jalan, Mutu B: digunakan untuk peralatan parker, Mutu C: digunakan untuk pejalan kaki dan Mutu D: digunakan untuk taman dan penggunaan lain (SNI 03-0691-1996).

Dalam proses produksinya terdapat berbagai inovasi penggantian material dasar untuk membuat produk paving, hal itu dimaksudkan untuk meningkatkan kekuatannya (kuat tekan), efisiensi biaya produksi hingga pemanfaatan limbah dari produksi kegiatan lain.

2.7.2. Pembuatan Batako

Bata beton adalah suatu jenis unsur bangunan berbentuk bata yang dibuat dari bahan utama semen Portland, air dan agregat; yang dipergunakan untuk pasangan dinding. Bata beton dibedakan menjadi bata beton pejal dan bata beton berlubang (SNI 03-0349-1989).

a. Bata beton pejal

Bata beton pejal adalah bata yang memiliki penampang pejal 75% atau lebih dari luas penampang seluruh dan memiliki volume pejal lebih dari 75% volume bata seluruhnya.

b. Bata beton berlubang

Bata beton berlubang adalah bata yang memiliki penampang lubang lebih dari 25% luas penampang batanya dan volume lubang lebih dari 75% volume bata seluruhnya..

Batako sebagai dinding partisi akan menerima beban dari atas (berata sendiri) dan beban lateral. Untuk memperkuat batako dibutuhkan penguat seperti tulangan/ serat untuk

mengurangi kelemahan batako itu sendiri terhadap beban gaya lateral dan salah satunya adalah dengan menggunakan ijuk sebagai serat (Doni Hermanto, 2014).

Inovasi pembuatan batako saat ini berkembang terutama untuk mengurangi berat sendiri batako tanpa mengurangi kekuatannya melalui penggantian material dasar untuk membuat produk batako, selain itu penggantian material dasar juga dapat dimaksudkan untuk mengurangi biaya produksi melalui pemanfaatan limbah dari produksi kegiatan lain. Penambahan kertas koran bekas dalam campuran batako semen portland untuk menggantikan sebagian agregat halus (pasir) mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan dan peningkatan nilai penyerapan air (absorpsi) (Dantje A., 2011). Selain itu Lumpur lapindo dapat digunakan sebagai bahan baku tambahan pembuatan batako dengan menambahkan *fly ash* untuk mengurangi retak dini atau tanpa *fly ash* (Rofikatul K., 2011). Limbah padat batu alam yang telah dilakukan treatment sebagai bentuk penyiapan maka diukur dengan volume tertentu menggunakan ember dan gelas volum. Selain itu diukur pula kuantitas pasir, semen dan air dengan perbandingan tertentu.

2.7.3. Pembuatan Semen

Semen adalah zat yang digunakan untuk perekat dalam bidang bangunan. Daya ikat material ini telah memacu perkembangan peradaban manusia khususnya di bidang konstruksi dan arsitek. Zat kimia penting yang menjadi penyusun ini dari material ini meliputi: kalsium karbonat, oksida besi, aluminium dan silika (Wikipedia, 2017). Lazimnya, untuk mencapai kekuatan tertentu, semen berkolaborasi dengan bahan lain. Jika bertemu air (minus bahan-bahan lain), misalnya, memunculkan reaksi kimia yang sanggup mengubah ramuan jadi sekeras batu. Jika ditambah pasir, campuran tadi biasanya masih ditambah dengan bongkahan batu atau kerikil, biasanya disebut *concrete* atau beton. Proses pembuatan semen melalui beberapa tahap, antara lain: penggalian, penghancuran, pencampuran awal, penghalusan, pencampuran bahan baku, pembakaran, pendinginan klinker dan penghalusan akhir. Pada Penggalian/ *Quarrying*, terdapat 2 jenis material yang penting bagi produksi semen: yang pertama adalah yang kaya akan kapur atau material yang mengandung kapur (*calcareous materials*) seperti batu gamping, kapur, dll., dan yang kedua adalah yang kaya akan silika atau material mengandung tanah liat (*argillaceous materials*) seperti tanah liat.

Batu gamping dan tanah liat dikeruk atau diledakkan dari penggalian dan kemudian diangkut ke alat penghancur. Penghancuran: penghancuran bertanggung jawab terhadap pengecilan ukuran primer bagi material yang digali. Pencampuran Awal: material yang

dihancurkan melewati alat analisis *on-line* untuk menentukan komposisi tumpukan bahan. Penghalusan dan Pencampuran Bahan Baku: sebuah *belt conveyor* mengangkut tumpukan yang sudah dicampur pada tahap awal ke penampungan, dimana perbandingan berat umpan disesuaikan dengan jenis klinker yang diproduksi. Material kemudian digiling sampai kehalusan yang diinginkan. Pembakaran dan Pendinginan Klinker: campuran bahan baku yang sudah tercampur rata diumpankan ke *pre-heater*, yang merupakan alat penukar panas yang terdiri dari serangkaian siklon ketika terjadi perpindahan panas antara umpan campuran bahan baku dengan gas panas dari kiln yang berlawanan arah. Kalsinasi parsial terjadi pada *pre-heater* ini dan berlanjut dalam kiln, ketika bahan baku berubah menjadi agak cair dengan sifat seperti semen. Pada kiln yang bersuhu 1350-1400°C, bahan berubah menjadi bongkahan padat berukuran kecil yang dikenal dengan sebutan klinker, kemudian dialirkan ke pendingin klinker, tempat udara pendingin akan menurunkan suhu klinker hingga mencapai 100°C. Penghalusan Akhir: dari silo klinker, klinker dipindahkan ke penampung klinker dengan dilewatkan timbangan pengumpan, yang akan mengatur perbandingan aliran bahan terhadap bahan-bahan aditif. Pada tahap ini, ditambahkan gipsum untuk semen jenis 1 dan campuran klinker, gipsum dan posolan untuk semen jenis P dihancurkan dalam sistem tertutup dalam penggiling akhir untuk mendapatkan kehalusan yang dikehendaki. Semen kemudian dialirkan dengan pipa menuju silo semen.

Semen portland merupakan jenis semen yang paling umum dan digunakan hampir di seluruh dunia. Semen ini dibuat dari pemanasan limestone (kalsium karbonat) yang dicampur dengan material lain seperti *clay* pada suhu 1450°C. Proses ini berlangsung dalam kiln dan biasa disebut dengan istilah kalsinasi dimana CO_2 akan dilepas CaCO_3 membentuk CaO . Kalsium oksida ini kemudian secara cepat berikatan dengan material lain seperti silica atau komponen lain yang sangat keras yang disebut klinker. Material baru ini kemudian dihaluskan hingga menjadi powder dan ditambah gipsum dengan kuantitas yang kecil menghasilkan *ordinary portland cement* atau yang biasa disebut OPC. Portland semen merupakan bahan dasar pembuatan beton dan mortar (Encyclopedia cement, 2015).

Jenis semen berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) ada enam macam, yaitu: semen portland putih, semen portland pozolan, semen portland ordinary, semen portland campur, semen masonry dan semen portland komposit. *Ordinary Portland Cement* (OPC), merupakan hidrolis yang tidak memerlukan persyaratan khusus, antara lain

bangunan perumahan, gedung-gedung bertingkat, landasan pacu, dan jalan raya. Semen portland tipe II adalah semen yang mempunyai ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang, misalnya untuk bangunan di pinggir laut, tanah rawa, deramga, saluran irigasi, beton, massa dan bendungan. Semen portland tipe III merupakan semen yang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan bangunan yang memerlukan kekuatan tekan awal yang tinggi setelah proses pengecoran dilakukan dan memerlukan penyelesaian secepat mungkin, seperti pembuatan jalan raya bebas hambatan, bangunan tingkat tinggi dan bandar udara. Semen portland tipe V dipakai untuk konstruksi bangunan-bangunan pada tanah/air yang mengandung sulfat tinggi dan sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan dan pembangkit listrik tenaga nuklir.

Special blended cement merupakan semen khusus yang diciptakan untuk pembangunan megaproyek jembatan Surabaya-Madura (Suramadu) dan sesuai digunakan untuk bangunan di lingkungan air laut, dikemas dalam bentuk curah. *Super Masonry Cement* (SMC) adalah semen yang dapat digunakan untuk konstruksi perumahan dan irigasi yang struktur betonnya maksimal K225, dapat juga digunakan untuk bahan baku pembuatan genteng beton *hollow brick*, *paving block*, dan tegel. *Portland Pozzolan Cement* (PPC) adalah bahan pengikat hidrolis yang dibuat dengan menggiling terak, *gypsum*, dan bahan *pozzolan*. Digunakan untuk bangunan umum dan bangunan yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang, seperti: jembatan, jalan raya, perumahan, dermaga, beton massa, bendungan, bangunan irigasi, dan fondasi pelat penuh. *Portland Composite Cement* (PCC) adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama dengan terak, *gypsum*, dan satu atau lebih bahan anorganik. Kegunaan semen jenis ini sesuai untuk konstruksi beton umum, pasangan batu bata, plesetan bangunan khusus seperti beton para-cetak, beton para-tekan, dan paving block (Semen Indonesia, 2005).

Untuk pemanfaatan limbah batu alam menjadi bahan dasar semen maka dilakukan uji kandungan anorganik dari limbah tersebut dengan menggunakan instrument SEM-EDX. Berdasarkan data kandungan anorganik dalam hal ini spesifik untuk parameter SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan CaO maka dibuat formula pembuatan semen adalah 1g limbah batu alam dan 1,3g kapur. Kedua bahan tersebut kemudian dicampur hingga homogen menggunakan blender. Bahan hasil campuran dicalsinasi hingga suhu 800°C dan ditahan selama 2 jam kemudian disentering hingga temperatur 1300°C dan 1450°C ditahan selama

3 jam. Pemanasan ini dilakukan di cawan platina sehingga tahan terhadap suhu perlakuan. Segera setelah suhu dan waktu pemanasan tercapai untuk kemudian sampel dikeluarkan supaya terjadi pendinginan cepat. Terak yang terbentuk kemudian dihancurkan sehingga diperoleh serbuk semen dan siap dianalisa kandungan anorganiknya dengan instrument SEM-EDX.

2.8. Kondisi Eksisting Industri Batu Alam

Salah satu kekayaan alam Kabupaten Cirebon adalah sumber daya batu alam yang cukup besar yang terdapat di area pegunungan daerah tersebut. Sumber daya ini oleh masyarakat telah dimanfaatkan menjadi produk hiasan sebagai bahan bangunan (lantai/pelapis dinding). Besarnya permintaan pasar turut mendorong berkembangnya kegiatan dengan pesat.

Pada tahun 2012 dan 2013, jumlah unit usaha kerajinan batu berjumlah 344 unit. Industri ini mampu menyerap tenaga kerja sebanyak \pm 2.010 orang pada tahun 2012 dan 2013. Nilai investasinya tetap pada tahun 2012 dan 2013 sebesar Rp. 11.209.311.000,00. Pada tahun 2012 dan 2013, nilai produksinya juga tetap sebesar Rp. 173.622.917.000,00. Tujuan pemasaran adalah dalam negeri dan luar negeri (Malaysia, Brunei, dan beberapa negara di Eropa) (RPJMD Kabupaten Cirebon, 2014-2019).

Berdasarkan data Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Cirebon tahun 2016, pada tahun 2015 terdapat 347 industri Batu Alam yang tersebar di Kecamatan Depok, dukupuntang, Gempol dan Palimanan. Dari hasil survei tahun 2017, industri batu alam mengalami penurunan yaitu 274 pengusaha, hal ini disebabkan bahan baku yang semakin menipis dan tingginya operasional. Perbandingan jumlah industri batu alam di Kabupaten Cirebon tahun 2015 dan 2017 dapat dilihat pada Tabel 1.

Perkembangan industri batu alam cenderung tidak terencana dan terarah, sebagian besar memilih lokasi dengan hanya mempertimbangkan kemudahan akses terhadap fasilitas jalan, sumber bahan baku dan memiliki sumber air untuk menunjang kegiatan operasional, tanpa memperhatikan peruntukkan pemanfaatan kawasan di sekitarnya. Akibatnya, muncul berbagai masalah antara lain; gangguan lalu lintas akibat digunakannya badan-badan jalan sebagai tempat penyimpanan barang, pencemaran sungai, pengkerakan tanah sawah (soil crusting), dan gangguan kebisingan. Potensi gangguan-gangguan ini sudah ada pada tahap merugikan pihak lain baik pengguna jalan, pemilik sawah, pengguna air sungailain dan masyarakat di sekitar, sehingga harus segera

dilakukan tindakan cepat untuk menyelamatkan lingkungan, keberlangsungan usaha dan keselamatan masyarakat (LHKP Cirebon, 2008).

Tabel 1. Jumlah Industri Batu Alam Tahun 2015 dan Tahun 2017 di Kabupaten Cirebon

No	Kecamatan	Desa	Jumlah Industri (2015)	Jumah Industri (2017)
1	Depok	Cikeduk	2	2
		Warugede	31	50
		Warujaya	27	20
2	Dukupuntang	Balad	41	1
		Bobos	89	78
		Cangkoak	21	10
		Cikalahan	45	34
		Cipanas	23	24
		Dukupuntang	3	-
		Kedonggong	5	-
		Kepunduan	29	28
		Girinata	-	5
3	Gempol	Cikeusal	6	5
4	Palimanan	Kepuh	21	15
		Balerante	4	2
	Jumlah		347	274

Sumber data: Dinas Perindustrian dan Perdagangan 2015 dan Hasil Survei Dinas Lingkungan Hidup 2017

Melalui program pengendalian pencemaran dan kerusakan lingkungan Pemerintah Daerah Kabupaten Cirebon melakukan pengkajian tentang pengelolaan limbah batu alam untuk mencari solusi terbaik yang sesuai dengan kapasitas dan kemampuan masyarakat pelaku industri dan pemerintah daerah. Untuk memperbaiki dan mencegah penurunan kualitas lingkungan lebih lanjut, upaya pencegahan pada sumber pencemar dilakukan dengan menyusun *Standard Operating Procedure* (SOP) bagi kegiatan industri batu alam dengan meminimalkan limbah dan mengurangi beban pencemaran ke lingkungan, selanjutnya Pemerintah Daerah melakukan monitoring dan pembinaan terhadap pelaku usaha industri batu alam dan mendorong dibentuknya wadah/paguyuban pengusaha industri batu alam.

Aktivitas pengolahan batu alam selain menghasilkan produk yang akan mendatangkan keuntungan ekonomi, juga telah mengakibatkan permasalahan lingkungan berupa timbunan limbah padat dan cair. Sumber limbah tersebut utamanya berasal dari proses pemotongan bahan baku yang dilakukan dengan bantuan air sehingga akan terbentuk selain produk juga limbah padat (serbuk batu alam) dan air limbah (Almenda *et*

al., 2005). Air limbah ini jika dibuang ke lingkungan maka akan menurunkan kualitas perairan (sungai) yang kemudian berdampak pada kualitas ekosistem yang terkait dengan perairan tersebut seperti pemukiman, pertanian dan peternakan.

Kondisi ini memerlukan penanganan yang tepat baik untuk limbah padatnya maupun limbah cair. Untuk penanganan limbah padat, sudah dilakukan studi mengenai pemanfaatan limbah padat industri batu alam. Sementara untuk pengelolaan air limbah saat ini sudah ada beberapa industri yang memiliki instalasi pengolahan air limbah dengan teknologi pengolahan yang digunakan berupa sedimentasi, koagulasi-flokulasi dan pemisahan. Sistem pengolahan seperti ini akan menghasilkan limbah padat dan dalam fakto di lapangan dijumpai volume *sludge* yang besar terutama pada proses sedimentasi. Sementara industri yang belum memiliki instalasi pengolahan air limbah membuang limbah langsung ke sungai atau badan air dengan menggunakan pipa penyalur air buangan.

Seiring makin maraknya aktivitas penambangan dan pengolahan batu alam di Kabupaten Cirebon, maka semakin besar volume limbah yang dihasilkan dan secara langsung akan bermasalah pada pengelolaan lingkungan di sekitar wilayah tersebut. Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Cirebon telah membuat masterplan penanganan limbah. Sejauh mana telah diaplikasikan masterplan tersebut perlu dikaji dengan melihat dampaknya pada lahan pertanian khususnya lahan sawah.

2.9. Logam Berat

Logam berat berasal dari kerak bumi yang mengandung bahan-bahan murni, organik dan anorganik. Logam merupakan bahan pertama yang dikenal oleh manusia dan digunakan sebagai alat-alat yang berperan penting dalam sejarah peradaban manusia untuk membantu kehidupan sehari-hari (Darmono, 1995).

Logam berat adalah unsur yang mempunyai densitas lebih besar dari 5 g/cm³, dan memiliki nomor atom 22 sampai 92 yang terletak pada periode III sampai VII dalam susunan tabel periodik. Logam berat jarang ada yang berbentuk atom bebas di dalam air, tetapi biasanya terikat oleh beberapa senyawa lain sehingga membentuk sebuah molekul. Logam berat merupakan senyawa kimia yang berpotensi menimbulkan masalah yaitu pencemaran lingkungan. Logam berat memiliki kekuatan dan ketahanan yang baik, daya pantul cahaya dan daya hantar listrik yang tinggi, serta daya hantar panas yang cukup baik (Dahuri, 1996).

Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat dibagi menjadi dua jenis yaitu logam berat esensial dan logam berat tidak esensial (beracun). Keberadaan logam berat esensial dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh setiap organisme hidup, seperti antara lain, seng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe), kobalt (Co), dan mangan (Mn). Sebaliknya, keberadaan logam berat tidak esensial dalam tubuh organisme hidup dapat bersifat racun, seperti logam merkuri (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), kromium (Cr), dan lain-lain. Logam berat esensial dibutuhkan oleh setiap organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun (Palar, 1994).

2.10. Karakteristik Logam Berat

1) Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan senyawa kimia dengan nomor atom 82, titik leleh 327,46 °C, dan titik didih 1749 °C. Timbal (Pb) berada di alam dalam bentuk batuan galena (PbS), sensite (PbCO₃), dan anglesit (PbSO₄). Timbal mudah dibentuk dan dapat digunakan untuk melapisi logam untuk mencegah perkaratan (Gayer, 1986).

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang tersebar lebih luas dibanding kebanyakan logam toksik lainnya. Timbal memiliki bentuk berupa serbuk berwarna abu-abu gelap. Sumber pencemaran timbal dapat berasal dari tanah, udara, air, hasil pertanian, makanan dan minuman kaleng, limbah tukang emas, industri rumah, baterai, dan percetakan. Makanan dan minuman yang bersifat asam seperti air tomat, air buah apel, dan asinan dapat melarutkan timbal yang terdapat pada lapisan mangkuk dan panci. Sumber utama limbah timbal adalah gas buang kendaraan bermotor dan limbah industri. Diperkirakan 65% dari pencemaran udara disebabkan emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor, dimana timbal digunakan sebagai bahan tambahan pada bensin (Mukono, 1991). Timbal dapat masuk ke dalam tubuh melalui pernapasan, makanan, dan minuman. Masuknya senyawa timbal ke dalam tubuh makhluk hidup dapat mengakibatkan gejala keracunan seperti gangguan gastrointestinal, rasa logam pada mulut atau mulut terasa bau logam, muntah, sakit perut, dan diare. Timbal di dalam tubuh terikat pada gugus sulfidril (-SH) pada molekul protein, dan hal ini mengakibatkan hambatan pada aktivitas kerja sistem enzim. Timbal tidak dibutuhkan oleh manusia, sehingga bila makanan tercemar oleh logam timbal, tubuh akan mengeluarkannya sebagian dan sisanya akan terakumulasi dalam tubuh yang dapat menyebabkan gangguan dan kerusakan pada saraf, hati, ginjal, tulang dan otak. Pada bayi dan anak-anak, keracunan timbal dapat

mengakibatkan ensefalopati, gangguan mental dan penurunan kecerdasan (Setyawan, 2004). Batas normal kadar timbal yang masih dapat ditoleransi oleh tubuh adalah berkisar antara 0,1-0,3 mg/hari. Apabila yang masuk ke dalam tubuh lebih dari 0,6 mg/hari dapat menyebabkan keracunan timbal yang berakibat fatal (Homan dan Brogan, 1993).

2) Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) merupakan mikroelemen esensial bagi tubuh. Oleh karena itu, tembaga harus selalu ada di dalam makanan. Hal yang perlu diperhatikan adalah menjaga agar kadar tembaga di dalam tubuh tidak kurang dan juga tidak berlebihan. Tubuh memerlukan 0,5 mg/kg berat badan per hari. Pada kadar tersebut tidak terjadi akumulasi tembaga pada tubuh manusia normal. Dalam industri, tembaga banyak digunakan dalam industri cat dan fungisida. Pada bahan makanan, cemaran logam tembaga dapat terjadi akibat penggunaan pestisida secara berlebihan (Ganiswara, 1995). Adanya tembaga dalam jumlah yang besar dalam tubuh dapat mengakibatkan gejala-gejala yang akut. Keracunan tembaga dapat menyebabkan gangguan pencernaan seperti akit perut, mual, muntah, dan diare, serta gangguan sistem peredaran darah. Beberapa kasus yang parah dapat menyebabkan gagal ginjal dan kematian (Darmono, 1995).

3) Mangan (Mn)

Mineral mangan tersebar secara luas dalam banyak bentuk seperti oksida, silikat, karbonat. Penemuan sejumlah besar senyawa mangan di dasar lautan merupakan sumber mangan dengan kandungan 24%, bersamaan dengan unsur lainnya dengan kandungan yang lebih sedikit. Kebanyakan senyawa mangan saat ini ditemukan di Rusia, Brazil, Australia, Afrika Selatan, Gabon dan India. Irolusi dan rhodokrosit adalah mineral mangan yang paling banyak dijumpai.

Mangan terdapat sekitar 1000 ppm (0,1%) dari kerak bumi. Tanah mengandung mangan 7-9000 ppm dengan rata-rata 440 ppm. Air laut yang hanya 10 ppm atau sama dengan $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mangan berada dalam bentuk pyrolisite (MnO_2), braunite ($\text{Mn}^{2+}(\text{SiO}_3)_2$), dan katingkat yang lebih rendah sebagai rhodochrosite (MnCO_3).

Pyrolisite bijih mangan (MnO_2) merupakan bentuk mangan yang paling penting yang tersedia di alam. Lebih dari 80% dari sumberdaya bijih mangan yang penting, biasanya berkaitan erat dengan bijih besi, Mangan banyak ditemukan di Afrika Selatan, dan Ukraina. Endapan mangan lainnya yang penting berada di Australia, India, Cina,

Gabon, dan Brazil. Pada tahun 1978 diperkirakan 500 miliar ton nodul mangan ada di dasar laut.

4) Besi (Fe)

Besi adalah logam yang berasal dari bijih besi (hasil tambang) yang dapat digunakan untuk kehidupan manusia sehari-hari dalam tabel periodik, besi mempunyai simbol Fe dan memiliki nomor atom 26. Besi juga mempunyai nilai ekonomis yang tinggi.

Besi merupakan logam yang paling banyak dan paling beragam penggunaannya. Hal ini dikarenakan beberapa hal seperti limpahan besi di kulit bumi cukup besar, pengolahannya relatif mudah dan murah, serta besi mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan serta mudah dimodifikasi.

Salah satu kelemahan besi adalah mudah mengalami korosi. Korosi menimbulkan banyak kerugian karena mengurangi umur pakai berbagai barang atau bangunan yang berbahan besi dan baja (Mulyadi, 2008).

5) Kadmium (Cd)

Pencemaran kadmium dapat berasal dari kontaminasi makanan dan penggunaan sisa lumpur kotor sebagai pupuk tanaman pangan serta hasil peleburan dan penggunaannya dalam industri (Roechan, 1986). Kadmium merupakan salah satu dari berbagai jenis logam berat yang berbahaya, tidak hanya bagi tanaman tapi juga bagi manusia dan hewan. Logam kadmium masuk dalam tubuh melalui saluran pernapasan dan saluran pencernaan (Roth dan Blasvlike, 1988). Kadmium memiliki ikatan yang sangat tinggi dengan gugus sulfhidril (-SH) pada enzim dan protein. Oleh karena itu keberadaan kadmium akan mengganggu aktivitas enzim, metabolisme Fe (Besi), menyebabkan klorosis (kekurangan klorofil pada tumbuhan) pada daun (Setyawan, 2004).

6) Aluminium (Al)

Kedua termudah dalam soal pembentukan, dan keenam dalam soal ductility. Sifat-sifat penting yang dimiliki aluminium sehingga banyak digunakan sebagai material teknik:

- a. Berat jenisnya ringan (hanya $2,7 \text{ g/cm}^3$, sedangkan besi $\pm 8,1 \text{ g/cm}^3$)
- b. Tahan korosi

Sifat bahan korosi dari aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan aluminium oksida (Al_2O_3) pada permukaan aluminium. Lapisan ini membuat Al tahan korosi tetapi sekaligus sukar dilas, karena perbedaan *melting point* (titik lebur).

c. Penghantar listrik dan panas yang baik (aluminium umumnya melebur pada temperatur ± 600 °C dan aluminium oksida melebur pada temperatur 2000 °C).

d. Mudah difabrikasi/dibentuk

Kekuatan dan kekerasan aluminium tidak begitu tinggi, dengan pepaduan dan *heat treatment* dapat ditingkatkan kekuatan dan kekerasannya. Aluminium komersil selalu mengandung ketidakmurnian $\pm 0,8\%$ biasanya berupa besi, silikon, tembaga dan magnesium.

7) Magnesium (Mg)

Magnesium merupakan unsur kedelapan paling melimpah dalam kerak bumi. Mg terdapat dalam bentuk bahan mineral magnesit, dolomit dan mineral lain.

Mg adalah logam berat, putih keperakan, ringan (1/3 lebih ringan dari Al) dan akan kusam jika dalam udara terbuka. Walaupun berbeda dengan logam alkali, penyimpanannya dalam kondisi kedap udara. Dalam bentuk serbuk logam ini akan mudah terbakar dengan nyala putih. Jika terbakar maka akan sulit untuk memadamkannya karena Mg terbakar bersama nitrogen (membentuk magnesium nitrida), dan karbondioksida (membentuk magnesium oksida, dan karbon). Mg merupakan bagian dari klorofil, pektin dan fitin.

Logam mg ditemukan dalam sel, dimana zat ini dapat mengaktifkan enzim yang diperlukan untuk metabolisme karbohidrat dan asam amino. Mg membantu mengatur keseimbangan alkali-alkali di dalam tubuh. Mg membantu meningkatkan penyerapan dan metabolisme mineral-mineral yang lain, seperti kalsin, fosfor, natrium serta kalium dan magnesium ini larut dalam cairan sel.

Dewasa ini penggunaan logam magnesium sudah sangat banyak, diantaranya adalah sebagai bahan refraktori untuk menghasilkan besi, kaca dan semen. Dalam bentuk logam, kegunaan utama unsur ini adalah sebagai bahan tambah logam dalam aluminium. Logam aluminium-magnesium ini biasanya digunakan dalam pembuatan kaleng minuman, digunakan dalam beberapa komponen otomotif dan truk, serta dapat melindungi struktur seperti pipa-pipa dan tangki air yang terpendam di dalam tanah terhadap korosi. Magnesium memegang peranan amat penting dalam proses kehidupan hewan dan tumbuhan. Magnesium terdapat dalam klorofil yaitu yang digunakan oleh

tumbuhan untuk fotosintesis. Magnesium juga mengambil peranan dalam replikasi DNA dan RNA yang mempunyai peranan amat penting dalam proses keturunan semua organisme. Di samping itu magnesium mengaktifkan berbagai enzim yang mempercepat reaksi kimia dalam tubuh manusia dan dijadikan sebagai obat penetralisir asam lambung.

III. METODOLOGI

3.1. Pendekatan

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan desk study, survei lapang, analisis laboratorium, deliniasi tingkat cemaran limbah, dan FGD (*Focus Group Discussion*). Desk Study dilakukan pada awal kegiatan yaitu mengumpulkan bahan-bahan pendukung seperti literatur, peta-peta pendukung, dan data-data sekunder lainnya yang mendukung kajian ini. Survey lapang dilakukan dengan tujuan untuk pengambilan contoh tanah air dan tanaman pada lahan sawah yang terindikasi tercemar limbah industri batu alam. Analisis laboratorium dilakukan terhadap contoh tanah, air dan tanaman untuk mengetahui sifat-sifat kimia tanah dan kadar logam berat yang berpotensi mencemari lingkungan lahan sawah. Deliniasi tingkat cemaran limbah batu alam dilakukan untuk mengetahui sebaran logam berat dari limbah batu alam di lokasi pengkajian. Sedangkan pendekatan yang ketiga adalah FGD yang bertujuan untuk menjaring aspirasi baik dari pemerintah daerah, peneliti, maupun tokoh masyarakat dalam merumuskan arahan teknologi pengelolaan lahan pertanian khususnya sawah yang terdampak cemaran limbah industri batu alam dan kebijakan pembangunan IPAL (Instalasi Pengelolaan Air Limbah) pada setiap industri yang menghasilkan limbah berbahaya.

3.2. Ruang Lingkup

Ruang lingkup kegiatan pengkajian ini adalah lahan sawah dan sungai yang terindikasi terpapar cemaran limbah industri batu alam di Kabupaten Cirebon. Lokasi pengkajian meliputi enam kecamatan di Kabupaten Cirebon yaitu: Dukupuntang, Palimanan, Depok, Gempol, Klangeran dan Jamblang dengan luas lahan sawah kurang lebih 6.555 ha (BPS Kabupaten Cirebon, 2018).

3.3. Tahapan Kegiatan

Kegiatan kajian dampak pencemaran limbah pada lahan pertanian di Kabupaten Cirebon dilakukan melalui beberap tahapan, yaitu: a) persiapan dan koordinasi, b) survei lapang, c) analisis laboratorium, d) analisis data, e) deliniasi tingkat cemaran limbah, dan f) penyusunan laporan.

a) Persiapan dan Koordinasi

Tahapan persiapan dan koordinasi dilakukan dalam rangka menentukan judul kegiatan, menyusun TOR (Term of Reference)/proposal kegiatan dan dokumen kerjasama. Di samping itu, dikumpulkan data-data dan hasil-hasil penelitian yang berhubungan dengan kajian yang akan dilaksanakan. Data awal yang dikumpulkan meliputi data sekunder dan data spasial seperti Peta Sebaran Industri Limbah Batu Alam, Peta Penggunaan Lahan Sawah, Peta Tanah, Peta Rupa Bumi Indonesia, Peta Administrasi, Peta Geologi dan peta pendukung lainnya. Koordinasi tidak hanya dilakukan antara BPTP Jawa Barat dengan BAPPELITBANGDA Kabupaten Cirebon, tetapi juga dengan kecamatan-kecamatan yang akan disurvei, sekaligus memberitahukan bahwa akan dilaksanakan survei untuk pengambilan contoh tanah, air dan tanaman di wilayah tersebut.

b) Survei lapang

Survei lapang dilakukan untuk pengambilan contoh tanah, air dan tanaman di lapangan yang terindikasi tercemar limbah industri batu alam. Survei lapang dilakukan oleh tim BPTP Jawa Barat, BAPPELITBANGDA dan petugas dari tiap-tiap kecamatan atau desa yang dikunjungi. Data yang diambil selama survei lapang meliputi nama desa, blok sawah, produktivitas tanah (hasil padi ton/ha), varietas padi yang ditanam, sumber air irigasi, tingkat cemaran limbah batu alam, dan lain-lain.

Peralatan yang dibawa selama kegiatan survei lapang antara lain: GPS, bor tanah tipe belgi, pisau/cutier, palstik sampel, karung sampel, air aquades, pH paper dan peta penggunaan lahan sawah untuk membantu menentukan titik-titik pengamatan di lapangan. Prosedur pengambilan contoh tanah, air dan tanaman mengacu pada buku petunjuk teknis pengambilan contoh tanah yang dikeluarkan Balai Penelitian Tanah Bogor.

c) Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium dilakukan untuk mengetahui kadar bahan cemaran khususnya logam berat seperti Pb, Cd, Cr, Hg dan As pada tanah sawah, air irigasi dan tanaman padi. Selain itu juga dilakukan analisis tanah rutin, anatara lain: tekstur tanah 3 fraksi (pasir, debu, klei), pH, C-organik, N-total, P dan K potensial, P tersedia, hara mikro (Fe, Mn, Cu, Zn), KTK (Kapasitas Tukar Kation), KB (Kejenuhan Basa) dan basa dapat ditukar (K, Na, Ca, Mg). Analisis tanah, air dan tanaman dilakukan di Laboratorium Kimia dan

Kesuburan Tanah Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Pertanian, Fakultas Pertanian, IPB.

d) Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam pengkajian ini adalah metode analisis multivariat (analisis klaster) untuk menentukan tingkat pencemaran limbah batu alam pada tanah sawah. Analisis spasial untuk mendeliniasi tingkat pencemaran limbah batu alam pada tanah sawah. FGD (*Focus Group Discussion*) untuk menentukan rekomendasi teknologi pengelolaan tanah sawah yang tercemar limbah batu alam.

e) Penyusunan Peta Tingkat Pencemaran Limbah Batu Alam

Peta Tingkat Cemar Limbah Batu Alam dibuat berdasarkan data hasil analisis laboratorium yang datanya dianalisis dengan analisis klaster sehingga didapatkan klasifikasi tingkat cemaran, kemudian dimasukkan ke dalam program ArcGis 10.1 dan di overlay dengan peta penggunaan lahan sawah, peta tanah dan peta hidrologi (jaringan sungai dan jaringan irigasi). Hasil overlay tersebut menghasilkan deliniasi tingkat cemaran limbah batu alam pada lahan sawah di lokasi pengkajian sebagai dasar pembuatan peta tingkat cemaran limbah batu alam skala 1:25000.

f) Penyusunan Laporan

Laporan disusun sebagai bukti pertanggungjawaban pekerjaan. Laporan hasil pengkajian dibuat dalam tiga tahap, yaitu laporan pendahuluan, laporan antara dan laporan akhir.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN SEMENTARA

4.1. Kondisi Umum Wilayah Pengkajian

4.1.1. Geografi

Kabupaten Cirebon merupakan bagian dari wilayah Provinsi Jawa Barat yang terletak di bagian timur dan merupakan batas, sekaligus sebagai pintu gerbang Propinsi Jawa Tengah. Dalam sektor pertanian Kabupaten Cirebon merupakan salah satu daerah produsen beras yang terletak di jalur pantura.

Letak daratannya memanjang dari Barat Laut ke Tenggara. Dilihat dari permukaan tanah/daratannya dapat dibedakan menjadi dua bagian, pertama daerah dataran rendah umumnya terletak di sepanjang pantai utara Pulau Jawa, yaitu Kecamatan Gegesik, Kaliwedi, Kapetakan, Arjawinangun, Panguragan, Klangeran, Gunungjati, Tengah Tani, Weru, Astanajapura, Pangenan, Karangsembung, Waled, Ciledug, Losari, Babakan, Gebang, Palimanan, Plumbon, Depok dan Kecamatan Pabedilan. Sedangkan sebagian lagi termasuk pada daerah dataran tinggi.

4.1.2. Batas Wilayah

Berdasarkan letak geografisnya, wilayah Kabupaten Cirebon berada pada posisi 108°40' - 108°48' Bujur Timur dan 6°30' - 7°00' Lintang Selatan, yang dibatasi oleh:

- ◆ Sebelah Utara berbatasan dengan wilayah Kabupaten Indramayu
- ◆ Sebelah Barat Laut berbatasan dengan wilayah Kabupaten Majalengka
- ◆ Sebelah Selatan berbatasan dengan wilayah Kabupaten Kuningan
- ◆ Sebelah Timur berbatasan dengan wilayah Kota Cirebon dan Kabupaten Brebes Propinsi Jawa Tengah.

4.1.3. Topografi

Wilayah Kecamatan yang terletak sepanjang jalur pantura termasuk pada dataran rendah yang memiliki letak ketinggian antara 0-10 m dari permukaan air laut, sedangkan wilayah kecamatan yang terletak di bagian selatan memiliki letak ketinggian antara 11-130 m dari permukaan laut.

4.1.4. Iklim

Faktor iklim dan curah hujan di Kabupaten Cirebon dipengaruhi oleh keadaan alamnya yang sebagian besar terdiri dari daerah pantai terutama daerah bagian utara, timur, dan barat, sedangkan daerah bagian selatan merupakan daerah perbukitan.

4.1.5. Hidrografi

Kabupaten Cirebon dilalui oleh 18 aliran sungai yang berhulu di bagian selatan. Sungaisungai yang ada di Kabupaten Cirebon yang tergolong besar antara lain Cisanggarung, Ciwaringin, Cimanis, Cipager, Pekik, dan Kalijaga. Pada umumnya, sungai-sungai besar tersebut dipergunakan untuk pengairan pesawahan disamping untuk keperluan mandi, cuci, dan sebagai kakus umum.

4.1.6. Lahan Sawah

Menurut BPS Kabupaten Cirebon (2018), Kabupaten Cirebon memiliki lahan sawah seluas 52.725 ha terdiri dari lahan sawah irigasi kurang lebih 47.391 ha dan non irigasi kurang lebih 5.334 ha dengan luas panen masing-masing sebesar 87.058,70 ha dan 50 ha. Lahan sawah yang diperkirakan terkena dampak limbah industri batu alam kurang lebih 6.555 ha yang tersebar di enam kecamatan yaitu Kecamatan Dukupuntang, Palimanan, Depok, Gempol, Jamblang dan Klagenan. Data luas lahan sawah yang diperkirakan terkena dampak limbah industry batu alam dapat dilihat pada Tabel 5.

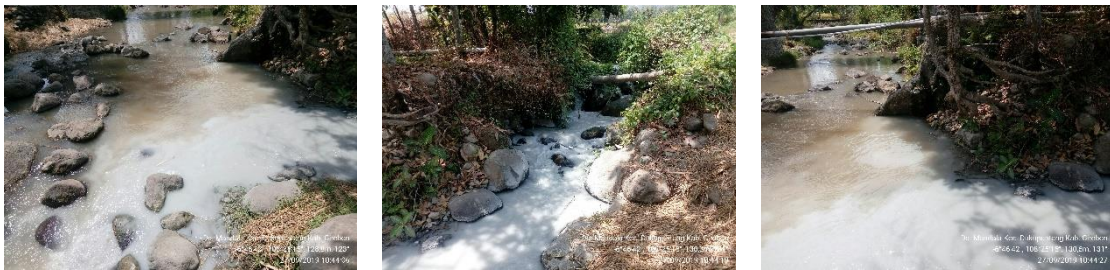
Tabel 5. Lahan sawah yang terkena dampak limbah industry batu alam di Kabupaten Cirebon

No.	Kecamatan	Sawah Irigasi (Ha)	Salah Non Irigasi (Ha)	Jumlah (Ha)
1	Dukupuntang	1281	0	1.281
2	Palimanan	999	0	999
3	Depok	644	0	644
4	Gempol	858	127	985
5	Jamblang	1151	16	1.167
6	Klagenan	1460	19	1.479
				6.555

Sumber data: BPS Kabupaten Cirebon (2018)

Lahan di enam kecamatan di atas memanfaatkan air sungai Ciwaringin yang mengalir dari hulunya di Desa Mandala Kecamatan Dukupuntang sampai ke hilirnya di Desa Jamblang (Bendungan Jamblang) sebagai air irigasi untuk mengairi lahan sawah yang ada di wilayah tersebut. Kondisi air sungai ini sudah tercemar limbah industri batu alam yang dapat dilihat dari warnanya yang abu-abu pekat karena bercampur dengan air limbah batu alam yang dibuang ke sungai. Dilihat dari kualitasnya, air sungai ini sebetulnya sangat tidak layak untuk mengairi tanaman padi di lahan sawah, karena secara kimia banyak mengandung logam dan sedimen dari hancuran batu alam yang dapat

menyebabkan adanya lapisan atas yang mengeras (*soil crusting*) yang mengganggu pertumbuhan tanaman terutama sistem perakarannya. Hasil wawancara dengan petani di Desa Dukupuntang, pertanaman padi yang diairi air yang tercemar limbah cair batu alam, pertumbuhannya terhambat dan tampak kerdil atau mengalami gejala *stunting*. Selain itu sejak adanya limbah cair dari industri batu alam menurunkan produktivitas padi sekitar 10-30%.



Gambar 7. Kondisi hulu Sungai Ciwaringin di Desa Mandala Kecamatan Dukupuntang Kabupaten Cirebon yang tercemar limbah cair industri batu alam.



Gambar 8. Kondisi air di saluran irigasi dan yang masuk ke lahan pertanaman padi yang berwarna abu pekat menyebabkan tanaman pertumbuhannya terhambat/kerdil (mengalami gejala *stunting*)

4.1.7. Industri

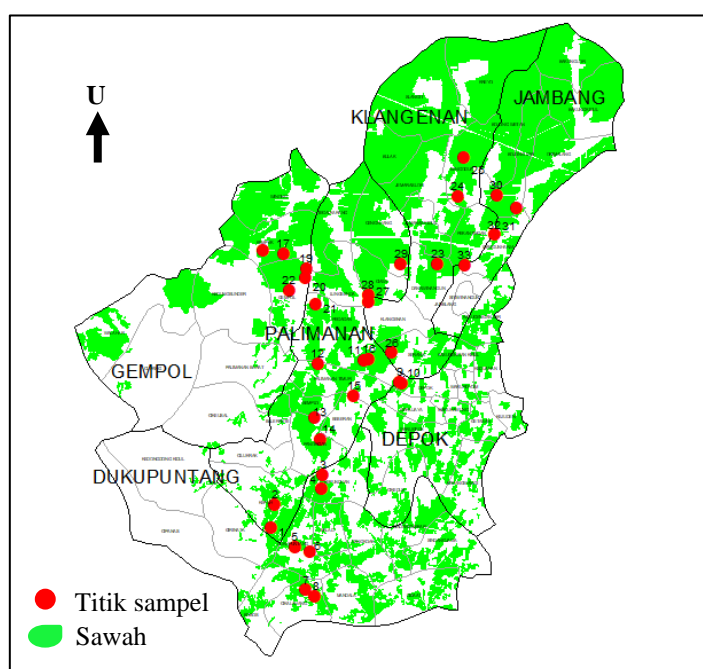
Menurut BPS Kabupaten Cirebon (2018), industri batu alam menempati urutan kelima sebagai industri unggulan di Kabupaten Cirebon, dengan jumlah 347 buah. Industri batu alam mampu menyerap tenaga kerja sebanyak 2.072 orang. Kapasitas produksi industri batu alam mencapai 5.170.777 m². Nilai produksi industri batu alam dalam rupiah sebesar 182.813.030.000 dengan nilai investasi sebesar 11.321.404.000. Melihat kondisi yang demikian, maka industri batu alam merupakan salah satu sumber pendapatan yang cukup besar bagi perekonomian Kabupaten Cirebon. Namun demikian perlu adanya aturan yang ketat dalam pengelolaan industri batu alam terkait dengan, dampak negatif yang ditimbulkan dari limbah industri terhadap lingkungan pertanian baik

air irigasi maupun lahan pertanian yang terairi air irigasi yang tercemar limbah industri batu alam.

4.2. Survei Dampak Cemaran Limbah Industri Batu Alam

Survei dampak cemaran limbah industri batu alam dilaksanakan untuk mengetahui seberapa besar dampak cemaran limbah industri batu alam terhadap lingkungan perairan, tanah sawah dan tanaman padi, maka dilakukan survei lapang. Sebelum survei lapang terlebih dahulu ditentukan lokasi kecamatan mana saja yang sungainya sebagai sumber air irigasi dan lahan pertanian khususnya tanah sawahnya tedampak cemaran limbah industri batu alam, dari yang paling berat (jaraknya paling dekat dengan lokasi industri batu alam) sampai yang paling ringan (jaraknya paling jauh dari lokasi industri batu alam).

Berdasarkan hasil penelitian dari Dinas Lingkungan Hidup (2017), daerah yang terdampak cemaran limbah indsutri batu alam terutama sungai sebagai sumber air bagi masyarakat di wilayah tersebut untuk mandi, cuci dan kebutuhan irigasi bagi usaha pertanian padi sawah meliputi wilayah Kecamatan Depok, Dukupuntang, Palimanan, dan Gempol. Setelah dua tahun, ada kemungkinan dampak dari cemaran limbah industri batu alam sudah bertambah ke arah hilir. Oleh karena itu lokasi penelitian diperluas menjadi enam kecamatan yaitu: Kecamatan Dukupuntang, Depok, Gempol, Palimanan, Jamblang dan Klangeran.



Gambar 3. Peta sebaran titik sampel di lokasi penelitian (lahan sawah di Kabupaten Cirebon)

Setelah ditentukan enam lokasi kecamatan, maka selanjutnya ditentukan titik sampel berdasarkan peta sebaran lahan sawah yang diperoleh dari Pusdatin Kementerian Pertanian skala 1:10.000. Jumlah titik sampel yang akan diambil dalam survei lapang ditentukan sebanyak 34 sampel dengan sebaran seperti dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 2.

Tabel 2. Sebaran titik sampel di lokasi penelitian (lahan sawah di enam kecamatan di Kabupaten Cirebon)

No	Kode Sampel	Keterangan		
		Desa	Kecamatan	Kabupaten
1	BA 1	Cipanas	Dukupuntang	Cirebon
2	BA 2	Girinata	Dukupuntang	Cirebon
3	BA 4	Kapunduhan	Dukupuntang	Cirebon
4	BA 5	Bobos	Dukupuntang	Cirebon
5	BA 6	Dukupuntang	Dukupuntang	Cirebon
6	BA 7	Cikalahang	Dukupuntang	Cirebon
7	BA 8	Mandala	Dukupuntang	Cirebon
8	BA 3	Warugede	Depok	Cirebon
9	BA 9	Depok	Depok	Cirebon
10	BA 10	Waruroyom	Depok	Cirebon
11	BA 11	semplo	Palimanan	Cirebon
12	BA 12	Balerante	Palimanan	Cirebon
13	BA 13	Cilukrak	Palimanan	Cirebon
14	BA 14	Kepuh	Palimanan	Cirebon
15	BA 15	Panongan	Palimanan	Cirebon
16	BA 16	Beberan	Palimanan	Cirebon
17	BA 17	Kempek	Gempol	Cirebon
18	BA 18	Kempek	Gempol	Cirebon
19	BA 19	Kedungbundar	Gempol	Cirebon
20	BA 20	Kedungbundar	Gempol	Cirebon
21	BA 21	Palimanan Barat	Gempol	Cirebon
22	BA 22	Gempol	Gempol	Cirebon
23	BA 24	Pekantingan	Klangenan	Cirebon
24	BA 25	Bangodua	Klangenan	Cirebon
25	BA 26	Serang	Klangenan	Cirebon
26	BA 27	Klangenan	Klangenan	Cirebon
27	BA 28	Klangenan	Klangenan	Cirebon
28	BA 29	Klangenan	Klangenan	Cirebon
29	BA 30	Danawinangun	Klangenan	Cirebon
30	BA 23	Jamblang	Jamblang	Cirebon
31	BA 31	Wangunharja	Jamblang	Cirebon
32	BA 32	Wangunharja	Jamblang	Cirebon

No	Kode Sampel	Keterangan		
		Desa	Kecamatan	Kabupaten
33	BA 33	Wangunharja	Jamblang	Cirebon
34	BA 34	Jamblang	Jamblang	Cirebon

Pada setiap titik sampel yang disurvei diambil contoh tanah secara komposit dari lima titik yang diambil secara acak menggunakan bor tanah tipe belgi pada lapisan olah tanah pada kedalaman 20 cm. Contoh tanah komposit yang diambil dimasukkan ke dalam kantong plastik sebanyak kurang lebih 1 kg dan diberi label yang berisi informasi kode contoh tanah, nama desa, nama kecamatan dan tanggal survei untuk memudahkan dalam persiapan contoh dan uji laboratorium. Disamping contoh tanah, dalam survei lapang diambil juga contoh air dan contoh tanaman. Untuk contoh air dan contoh tanaman diambil masing-masing sebanyak 5 contoh. Contoh air diambil di saluran irigasi tersier yang mengairi lahan sawah, sedangkan contoh tanaman diambil bagian batang, daun dan gabah. Adapun lokasi pengambilan contoh air dan contoh tanaman dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Lokasi pengambilan contoh air di lokasi penelitian

No	Kode Sampel	Keterangan		
		Desa	Kecamatan	Kabupaten
1	BA 1	Cipanas	Dukupuntang	Cirebon
5	BA 6	Dukupuntang	Dukupuntang	Cirebon
6	BA 7	Cikalahan	Dukupuntang	Cirebon
7	BA 8	Mandala	Dukupuntang	Cirebon
34	BA 34	Jamblang	Jamblang	Cirebon

Tabel 4. Lokasi pengambilan contoh tanaman di lokasi penelitian

No	Kode Sampel	Keterangan		
		Desa	Kecamatan	Kabupaten
1	BA 1	Cipanas	Dukupuntang	Cirebon
3	BA 4	Kapunduhan	Dukupuntang	Cirebon
4	BA 5	Bobos	Dukupuntang	Cirebon
27	BA 28	Klangenan	Klangenan	Cirebon
31	BA 31	Wangunharja	Jamblang	Cirebon

Di samping pengambilan contoh tanah, di setiap lokasi diamati ketebalan lumpur atau endapan dari limbah batu alam yang masuk ke lahan sawah. Dampak cemaran

limbah industri batu alam terhadap produktivitas padi dikumpulkan dengan cara wawancara dengan petani.

4.3. Dampak Limbah Industri Batu Alam Terhadap Lahan Pertanian

Dampak cemaran limbah industri batu alam dapat dilihat dari aspek tanah (sifat fisik dan sifat kimia), air (cemaran logam berat pada air irigasi) dan tanaman (kadar logam berat dan produktivitas padi).

4.3.1. Dampak Terhadap Sifat Fisik Tanah

Parameter sifat fisik tanah yang digunakan untuk menilai besarnya dampak cemaran limbah industri batu alam adalah tekstur, struktur dan ketebalan endapan.

Jika dilihat dari tekstur tanahnya, daerah yang dekat dengan industri batu alam seperti Kecamatan Dukupuntang dan Depok, memiliki tekstur yang lebih ringan yaitu lempung berdebu dan lempung. Semakin jauh dari industri batu alam, tekstur tanah sawahnya semakin berat, hal ini bisa dilihat dari kandungan kleinya yang semakin meningkat. Tanah sawah di Kecamatan Gempol dan Palimanan memiliki tekstur yang agak berat yaitu mulai dari lempung, lempung liat berdebu, lempung berliat dan klei. Sedangkan tanah sawah di daerah Kecamatan Jamblang dan Klangean memiliki tekstur yang berat yaitu lempungliat berdebu, lempung berliat dan liat lebih dominan. Pengaruh endapan limbah batu alam terhadap tekstur tanah dapat diketahui dengan peningkatan kadar klei. Artinya bahan endapan di daerah yang dekat dengan industri batu alam banyak mengandung bahan kasar, sehingga akan banyak terendapkan di daerah Dukupuntang dan Depok, sebaliknya bahan yang halus berupa klei lebih banyak terendapkan di daerah hilir. Tekstur tanah sangat berpengaruh terhadap pengolahan tanah, dimana semakin halus tekstur tanah atau semakin berat tekstur tanah akan menyebabkan pengolahan tanah yang lebih berat dan memakan waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan tanah dengan tekstur kasar atau ringan. Dengan demikian, jika dilihat dari pengaruh limbah industri batu alam terhadap tekstur tanah sawah, maka semakin jauh tanah sawah dari lokasi industri batu alam akan semakin besar dampaknya terhadap pengolahan tanah. Sebaliknya semakin dekat dengan lokasi industri batu alam, maka akan semakin mudah dalam pengolahan tanah.

Demikian juga jika dilihat dari struktur tanah sawahnya, bahwa semakin dekat dengan lokasi industri batu alam struktur tanahnya lebih baik jika dibandingkan dengan yang lokasinya lebih jauh dari industri batu alam, dimana struktur tanahnya lebih masiv

atau padat. Dengan semakin padat struktur tanah sawah, maka perakaran tanaman padi semakin sulit untuk menembusnya, dan jika tanahnya kering dapat pecah dan membuat akar tanaman putus.

Jika dilihat dari ketebalan endapan limbah industri batu alam yang menutupi permukaan tanah sawah, maka semakin dekat dengan lokasi industri batu alam, endapan yang menutupi permukaan tanah sawah semakin tebal. Dari hasil pengamatan dapat diketahui bahwa tebal endapan lumpur limbah batu alam cukup bervariasi dari 0 sampai 60 cm yang dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu: 0-10 cm, 10-30 cm dan 30-60 cm. Ketebalan endapan lumpur limbah batu alam 30-60 dijumpai pada lahan sawah yang paling dekat (hulu) dengan lokasi industri batu alam terutama di wilayah Kecamatan Dukupuntang dan Kecamatan Depok (Gambar 4). Ketebalan endapan lumpur limbah batu alam 10-30 dijumpai pada lahan sawah yang berada agak jauh dari lokasi industri batu alam terutama di wilayah Kecamatan Gempol dan Kecamatan Palimanan (Gambar 5). Sedangkan ketebalan endapan lumpur limbah batu alam 0-10 dijumpai pada lahan sawah yang jauh (hilir) dari lokasi industri batu alam terutama di wilayah Kecamatan Jamblang dan Kecamatan Klangean (Gambar 6)



Gambar 4. Kondisi lahan sawah yang tercemar endapan limbah industri batu alam dengan ketebalan 30-60 cm di Kecamatan Dukupuntang dan Depok.



Gambar 5. Kondisi lahan sawah yang tercemar endapan limbah industri batu alam dengan ketebalan 10-30 cm di Kecamatan Gempol dan Palimanan.



Gambar 6. Kondisi lahan sawah yang tercemar endapan limbah industri batu alam dengan ketebalan 0-10 cm di Kecamatan Jamblang dan Klangean.

4.3.2. Dampak Terhadap Sifat Kimia Tanah

Berdasarkan data laboratorium, dampak limbah industri batu alam terhadap sifat kimia tanah sawah, diantaranya pH, C-organik, N-total, P-tersedia (Olsen), P&K-potensial (HCl25%), Ca, Mg, K, Na, KTK (Kapasitas Tukar Kation) dan KB (Kejenuhan

Basa) menunjukkan tidak adanya dampak negatif akibat limbah industri batu alam (Tabel 5 dan Lampiran 1).

Tabel 5. Karakteristik sifat kimia tanah sawah di lokasi penelitian

Karakteristik Sifat Kimia Tanah Sawah	Kecamatan					
	Dukupuntang	Depok	Gempol	Palimanan	Jamblang	Klangenan
pH	5,95-6,83	5,65-6,55	6,0-6,58	5,47-6,32	6,14-6,94	5,78-6,69
C-org (%)	0,66-1,32	0,94-2,19	1,19-3,00	0,73-1,95	0,96-1,33	0,70-1,91
N-total (%)	0,11-0,21	0,14-0,16	0,12-0,23	0,12-0,23	0,18-0,30	0,14-0,24
P-ter (ppm)	68,29-156,39	57,27-73,94	67,11-152,14	64,72-115,57	97,73-151,01	84,83-177,53
P-pot (ppm)	210-499	255-590	43-402	80-371	49-250	75-404
K-pot (ppm)	91-309	120-195	79-209	92-171	78-214	80-840
Ca (cmol ⁽⁺⁾ /kg)	8,19-11,65	9,89-10,74	10,83-13,62	8,56-11,08	11,65-16,66	10,38-14,54
Mg (cmol ⁽⁺⁾ /kg)	2,41-4,42	4,48-4,80	4,28-5,51	3,51-5,12	5,79-10,92	5,26-9,51
K (cmol ⁽⁺⁾ /kg)	0,15-0,75	0,27-0,49	0,18-0,54	0,19-0,38	0,22-0,49	0,18-4,45
Na (cmol ⁽⁺⁾ /kg)	0,29-0,75	0,38-0,43	0,37-9,61	0,31-0,39	0,39-1,14	0,30-0,91
KTK	11,70-23,29	21,98-27,88	24,38-36,42	16,21-29,33	25,23-40,33	17,42-33,60
KB (%)	61,10-99,13	57,14-73,73	57,28-74,89	57,56-91,92	69,68-87,70	69,72-95,35
Tekstur	lempung berdebu, lempung	lempung berdebu, liat	lempung, lempung liat berdebu, liat berdebu, lempung berliat	Lempung, lempung berliat, liat	Lempung berliat, liat	lempung, lempung liat berdebu, lempung berliat liat

Nilai pH tanah sawah di lokasi penelitian dalam kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman padi, dengan kisaran pH agak masam (5,47) sampai netral (6,94). Nilai C-organik berkisar 0,66%-3,00% tergolong rendah sampai sedang akan tetapi dominan rendah. Oleh karena itu perlu ada penambahan bahan organik dari luar antara lain dengan mengembalikan jerami sisa panen ke tanah sawah maupun dengan pemberian pupuk organik. Hampir sama dengan C-orgnik, Nilai N-total tanah sawah di lokasi penelitian juga tergolong rendah sampai dengan sedang (0,11-0,30%). Kandungan P-tersedia metode Olsen tanah sawah di lokasi penelitian tergolong tinggi berkisar 57,27-177,53 ppm. Demikian juga kadar P dan K potensial (HCl 25%) tergolong tinggi, masing-masing berkisar 43-590 ppm dan 78-840 ppm. Tanah sawah di lokasi penelitian masih memiliki jumlah basa-basa yang dapat dipertukarkan dalam jumlah yang tinggi terutama

Mg (2,41-10,92 cmol⁽⁺⁾/kg), Ca tergolong sedang sampai tinggi (8,19-16,66 cmol⁽⁺⁾/kg), K dan Na tergolong rendah sampai tinggi dengan kisaran nilai masing-masing sebesar 0,15-4,45 cmol⁽⁺⁾/kg dan 0,29-9,61 cmol⁽⁺⁾/kg. Nilai KTK liat tanah sawah di lokasi penelitian tergolong rendah sampai tinggi dengan nilai berkisar dari 11,70-40,33. Nilai KB tergolong sedang sampai tinggi dengan nilai berkisar dari 57,14%-99,13%.

Dilihat dari sifat kimia seperti pada Tabel 5, maka dapat dikatakan bahwa tanah sawah di lokasi penelitian secara alami masih cukup subur jika dilihat dari nilai pH, P-tersedia, P dan K potensial, basa-basa dapat ditukar, KTK dan KB-nya dan akan semakin meningkat kesuburannya apabila ada penambahan bahan organik yang diberikan ke dalam tanah.

Tabel 6. Kadar logam berat tanah sawah di lokasi penelitian

Karakteristik Sifat Kimia Tanah Sawah	Kecamatan					
	Dukupuntang	Depok	Gempol	Palimanan	Jamblang	Klangenan
Fe (ppm)	94,96-264,65	89,76-545,76	80,42-255,04	102,84-451,77	59,78-117,11	86,69-555,15
Cu (ppm)	9,79-31,06	11,07-16,14	5,43-13,86	6,81-10,30	6,05-8,03	6,62-15,15
Zn (ppm)	1,07-3,02	0,73-6,11	1,74-2,61	1,32-5,66	1,86-16,00	1,30-5,06
Mn (ppm)	17,27-53,92	27,59-117,22	39,07-137,22	35,73-141,82	41,71-113,92	48,23-91,13
Pb (ppm)	0,23-0,69	0,03-1,81	1,19-2,68	0,43-1,14	0,54-1,60	0,26-4,27
Cd (ppm)	0,02-0,04	0,03-0,07	0,04-0,07	0,02-0,04	0,05	0,04-0,06
As (ppm)	0,0012-0,0080	0,0009-0,0032	0,0023-0,0055	0,0006-0,0089	0,0011-0,0028	0,0002-0,0029
Hg (ppm)	0,0002-0,0033	0,0002-0,0015	0,0002-0,0008	0,0002-0,0008	0,0004-0,0006	0,0002-0,0008
Cr (ppm)	0,02	tr	tr	tr	tr	tr

Keterangan:

tr = tidak terukur

Ada asumsi bahwa limbah industri batu alam di Kabupaten Cirebon membawa bahan pencemar berupa logam berat yang apabila melebihi nilai ambang batasnya akan sangat berbahaya terhadap tanah, air maupun tanaman dan manusia. Dari hasil analisis laboratorium (Tabel 6), menunjukkan bahwa tanah sawah tidak atau belum tercemar oleh logam berat seperti Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Cd, As, Hg dan Cr, karena besarnya kadar logam berat tersebut masih dibawah nilai ambang batas menurut kriteria dari USEPA (United State Environment Protection Agency) dan Tahiland, seperti dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8 (Komarawidjaja 2017).

Tabel 7. Baku mutu kandungan logam berat dalam sedimen dari USEPA (2011)

Unsur logam berat	Tidak Tercemar	Tercemar Ringan	Tercemar Berat	Rata-rata dalam Kerak Bumi
Pb	< 40	40 - 60	> 60	16
Zn	< 90	90 – 200	> 200	80
Fe	< 17000	17000 - 25000	> 25000	50000
Ni	< 20	20 – 50	> 50	100
Mn	< 300	-	> 500	1000
Cd	-	-	> 6	0,2
Cr	< 25	25 – 75	> 75	200
Cu	< 25	25 – 50	> 50	70

Sumber: Komarawidjaja (2017)

Tabel 8. Baku mutu tanah untuk pertanian dan pemukiman negara Thailand

No	Jenis Logam Berat	Baku Mutu (mg/kg)
1	Arsen (As)	3,9
2	Cadmium (Cd)	37
3	Lead (Pb)	400
4	Mercury (Hg)	23

Sumber: Komarawidjaja (2017)

4.3.3. Dampak Terhadap Kualitas Air Irigasi

Analisis kualitas air limbah dan air sungai sudah dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Cirebon pada tahun 2017. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa ada beberapa parameter yang berada di atas nilai baku mutu berdasarkan PP 82/2001 dan Permen LH 5/2014, yaitu: 1) nilai TSS (*Total Suspended Solid*) yang menunjukkan adanya proses sedimentasi yang tinggi, 2) nilai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) yang menunjukkan banyaknya oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mengurai zat pencemar organik.

Oksigen terlarut dalam air mempengaruhi pertumbuhan tanaman (Hardjowigeno, 1995; Subandi *et.al.*, 2015). Oksigen yang tersedia sesuai kebutuhan tanaman akan memaksimalkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Fauzi *et.al.*, 2013). Oleh tanaman, oksigen digunakan untuk proses metabolisme, termasuk transport dan penyerapan aktif (Gardner *et al.*, 1991; Subandi *et.al.*, 2015). Kekurangan oksigen pada

akar tanaman dapat mengakibatkan pertumbuhan yang terhambat bahkan menyebabkan penurunan hasil panen (Rahma *et.al.* 2015). Oksigen terlarut tersedia dari difusi oksigen di atmosfer dan aktivitas fotosintesis tumbuhan air (Effendi, 2003; Puspitaningrum *et.al.*, 2012).

Penelitian ini dapat dikatakan menindaklanjuti penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Cirebon dan bertujuan untuk mengetahui dampak limbah cair industri batu alam pada kualitas air di saluran irigasi yang masuk ke lahan pertanian khususnya sawah. Parameter kualitas air yang diukur lebih ke kualitas secara kimia, yaitu: pH, DHL, dan kadar logam berat (Pb, Cd, As, Hg dan Cr).

Tabel 9. Hasil analisis air irigasi di lokasi penelitian

Kode Contoh	Lokasi	pH	DHL	Pb	Cd	As*	Hg*	Cr
			...(μS/cm)	...(ppm)...(ppm)....	...(ppm)...		
BA 1	Cipanas	7.49	315.00	0.01	tr	0.002	0.0004	0.01
BA 6	Dukupuntang	6.66	276.00	0.02	tr	0.003	0.0001	0.01
BA 7	Cikalahang	6.91	276.00	0.02	tr	0.004	0.0004	tr
BA 8	Mandala	7.18	234.00	0.06	tr	0.001	tr	tr
BA 34	Jamblang	7.34	413.00	0.07	tr	0.003	tr	0.01

Nilai DHL atau EC (*electrical conductivity*) meter atau pengukur daya hantar listrik dapat menunjukkan kandungan garam yang terlarut dalam air (Karsono *et al.*, 2002; Rahma *et.al.* 2015). Kadar garam terlarut yang terlalu tinggi dapat mengganggu tanaman. Cekaman yang terjadi direspon berbeda oleh tanaman yang berbeda (Sipayung, 2003). Oleh sebab itu, penting untuk mengetahui kadar garam terlarut dalam air irigasi. Dari hasil analisis DHL terhadap sampel air yang diambil dari 5 lokasi menunjukkan nilai DHL yang berkisar antara 234,00-413,00 μS/cm. Nilai DHL ini masih jauh dari ambang batas menurut PP 82/2001 dan Permen LH 5/2014 sebesar 2000 μS/cm, artinya masih aman untuk tanaman padi.

Dilihat dari tingkat salinitas menurut Follet *et.al.* (1981), tingkat salinitas ini tergolong “Non Salin” yang berarti garam terlarut sangat rendah. Dalam kondisi ini pengaruh kadar garam terlarut terhadap tanaman dapat diabaikan. Secara umum tanaman dapat terhambat proses pertumbuhannya apabila garam terlarut terlalu tinggi. Plasmolisis dapat terjadi pada bagian tanaman yang tergenang air dan menyebabkan cairan dalam sel

tanaman itu keluar dari tanaman, akhirnya tanaman mengalami dehidrasi (Thohiron dan Prasetyo, 2012). Kekurangan air dalam tanaman dapat mengakibatkan tanaman mati dalam jangka panjang, atau sampai pada titik layu permanennya (Sipayung, 2003). Jika titik layu permanen terjadi maka produksi pertanian gagal. Kejadian ini akan mengurangi produksi pertanian yang seyogianya harus selalu dipertahankan bahkan ditingkatkan. Negara dan rakyat harus dapat menentukan produksi apa yang cocok di suatu wilayah atau negara (Subandi, 2012).

Tabel 10. Pengaruh tingkat salinitas terhadap tanaman

Tingkat Salinitas	Konduktivitas (mmhos)	Pengaruh Terhadap Tanaman
Non Salin	0 - 2	Dapat diabaikan
Rendah	2 - 4	Tanaman yang peka terganggu
Sedang	4 - 8	Kebanyakan tanaman terganggu
Tinggi	8-16	Tanaman yang toleran belum terganggu
Sangat Tinggi	> 16	Hanya beberapa jenis tanaman toleran yang dapat tumbuh

Sumber: Follet *et.al.* (1981)

Selain itu pH sebagai salah satu indikator kualitas air juga penting diketahui karena tingkat pH mempengaruhi unsur hara yang tersedia bagi tanaman. Secara keseluruhan kadar oksigen terlarut, kadar garam terlarut, dan pH mempengaruhi tumbuh kembang tanaman padi. Nilai pH air irigasi di lokasi penelitian berkisar antara 6,66-7,49 yang tergolong netral, dan menurut PP 82/2001 dan Permen LH 5/2014 nilai pH ini masih belum melebihi ambang batas sebesar masing-masing 5-9 dan 6-9. Artinya nilai pH ini masih sesuai untuk pertumbuhan dan produksi tanaman padi. Dengan tingkat pH ini, air irigasi tergolong baik untuk menjaid sumber pengairan lahan swah padi. Tidak semua unsur hara mampu tersedia pada pH yang sama, untuk itu nilai pH cenderung mempengaruhi ketersediaan unsur hara tertentu. Salah satu contohnya adalah unsur N yang dapat menurun apabila pH terlalu tinggi, sedangkan unsur P dapat meningkat. Tentunya hal ini juga mempengaruhi ketersediaan hara yang akan diserap ke digunakan pada bagian atas tanaman seperti daun (Subandi *et.al.*, 2015).

Jika dilihat dari kadar logam beratnya, baik Pb, Cd, Hg, As dan Cr, semuanya masih dibawah nial ambang batas yang membahayakan menurut standar baku mutu dari PP

82/2001 (Lampiran 2). Kadar logam berat pada air irigasi di lokasi penelitian untuk Pb, Cd, Hg, As dan Cr masing-masing berkisar 0,01-0,07 ppm Pb, Cd tidak terukur, 0,001-0,004 ppm As, 0,0001-0,0004 ppm Hg, dan 0,01 ppm Cr.

4.3.4. Dampak Terhadap Tanaman Padi

Dampak limbah cair industri batu alam terhadap tanaman dilihat dari produktivitas padi dan kandungan logam berat dalam jaringan tanaman. Untuk mengetahui dampak limbah industri cair terhadap produktivitas padi dilakukan wawancara dengan beberapa petani yang dijumpai di lapangan, sedangkan untuk mengetahui dampak adanya kandungan logam berat dalam jaringan tanaman padi, maka diambil sampel tanaman padi di 5 lokasi dan dianalisis kandungan logam beratnya yang meliputi: Pb, Cd, As dan Hg.

Berdasarkan hasil wawancara dengan beberapa petani di lokasi penelitian diperoleh informasi bahwa adanya limbah industri batu alam berupa endapan menyebabkan tanaman tidak tumbuh dengan normal pada masa vegetatif awal (15-30 hari setelah tanam) yang dikenal dengan istilah *stunting*. Selain itu adanya limbah industri batu alam juga menyebabkan menurunnya produksi dan produktivitas padi sawah sampai 30%, jika dibandingkan dengan sebelum adanya limbah industri batu alam yang masuk ke lahan sawah. Produktivitas padi di Desa Cipanas, Kecamatan Dukupuntang yang tercemar endapan lumpur setebal 30-60 cm hanya mencapai 3 ton/ha GKP (Gabah Kering Panen). Dalam kondisi normal produktivitas padi per ha dapat mencapai 5-6 ton GKP. Jika dihitung penurunan produktivitasnya hampir 50% dibanding kondisi normal. Menurunnya produktivitas padi disebabkan karena akar tidak dapat berkembang dengan baik untuk menjangkau hara yang dibutuhkan akibat tebalnya endapan lumpur limbah batu alam yang apabila kering akan mengeras sehingga susah ditembus akar. Hal ini sangat berbeda dengan produktivitas padi di daerah yang kurang terdampak limbah industri batu alam seperti di Desa Jamblang, Kecamatan Jambalang, dimana produktivitasnya dapat mencapai 7 ton/ha GKP.

Logam berat seperti Cu, Zn, Mn, Fe dan Mo bermanfaat untuk tanaman dalam jumlah tertentu, tetapi menjadi berbahaya pada konsentrasi yang lebih tinggi, terutama untuk logam berat seperti Hg, Pb, Cd, As, Cr, dan Ni (He *et al.*, 2005). Logam berat dapat berpotensi menjadi racun bagi tanaman, hewan dan manusia ketika tanah yang terkontaminasi digunakan untuk produksi tanaman (Wong *et al.*, 2002).

Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa kadar logam berat dalam jaringan tanaman masih tergolong di bawah ambang batas yang tidak membahayakan sesuai PP 82/2001. Kadar Pb dalam jaringan tanaman berkisar 0,47-0,94 ppm, Cd tidak terukur (sangat rendah), As 1,18-1,43 ppm dan Hg 0,01-0,15 ppm (Tabel 11).

Tabel 11. Hasil analisis logam berat pada tanaman padi di lokasi penelitian

Kode Contoh	Lokasi	Unsur Logam Berat			
		Pb	Cd	As*	Hg*
	(ppm).....			
BA 1	Cipanas	0.94	tr	1.42	0.15
BA 4	Kapunduhan	0.47	tr	1.22	0.03
BA 5	Bobos	0.47	tr	1.22	0.04
BA 28	Klangenan	0.94	tr	1.43	0.02
BA 31	Wangunharja	0.94	tr	1.18	0.01

Keterangan:

tr = tidak terukur

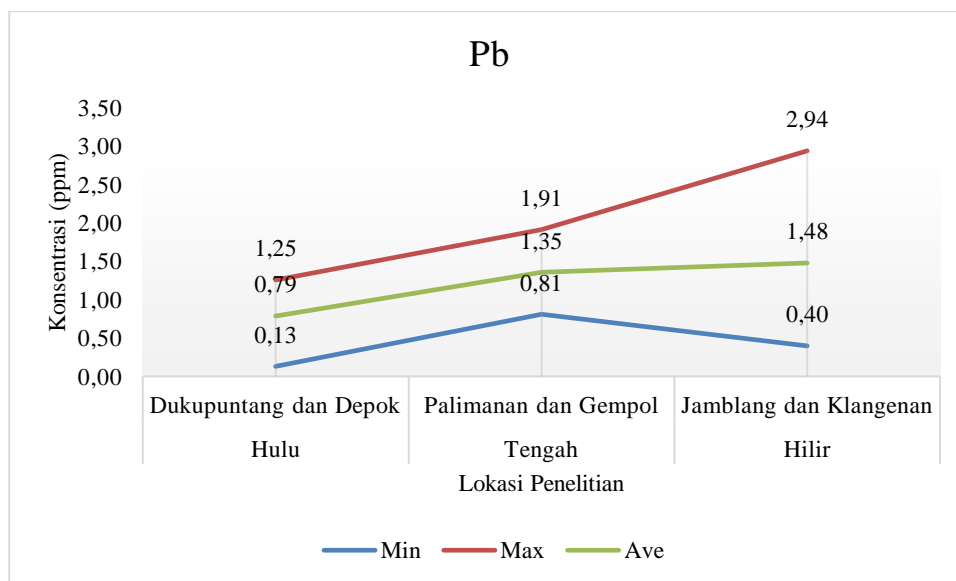
4.4. Peta Tingkat Cemaran Limbah Industri Batu Alam Pada Tanah Sawah

Tingkat cemaran limbah industri batua alam pada tanah sawah di Kabupaten Cirebon dilihat dari aspek kandungan logam berat terutama Pb, Cd, Cr, As dan Hg. Berdasarkan acuan bakumutu dari USEPA (2011) (Tabel 7) tentang kandungan logam berat dalam suatu sedimen, maka dapat diketahui bahwa tanah sawah di lokasi penelitian kandaungan logam beratnya seperti Pb, Cd, Cr belum melampaui batas maskimum yang diperbolehkan dan termasuk dalam kategori tidak tercemar. Demikian juga untuk kandungan logam berat As dan Hg, menurut bakumutu tanah untuk pertanian dan pemukiman di Thailand (Tabel-8), kandungan As dan Hg belum melebihi ambang batas. Menurut dua referensi bakumutu tersebut, kondisi tanah sawah dengan kandungan logam berat seperti disajikan pada Tabel 6 belum membahayakan bagi lingkungan.

Indonesia sampai saat ini belum memiliki bakumutu untuk tanah terkontaminasi logam berat, namun Indonesia pada tahun 1992 bekerjasama dengan Canada melakukan penyusunan batas kritis logam berat pada tanah untuk beberapa logam berat, seperti Pb, Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Mn dan Zn. Membandingkan dengan batas kritis logam berat tersebut, Pb, Cd dan Cr belum melampaui batas kritis logam berat dalam tanah.

Logam Timah Hitam, Plumbum(Pb)

Logam Pb di lokasi penelitian menunjukkan adanya kecenderungan semakin jauh dari sumber pencemar semakin membesar atau terakumulasi. Sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 6, pada tanah sawah di Kecamatan Klangean yang paling jauh dari sumber pencemar, kandungan logam Pb nilainya paling besar 4,27 ppm. Meskipun nilai konsentrasi Pb tersebut tidak melampaui bakumutu, dikawatirkan lambat laun akan semakin meningkat akibat terjadi akumulasi pada tanah.



Gambar 7. Peta sebaran logam Pb pada tanah sawah bagian hulu, tengah dan hilir di lokasi penelitian

Secara spasial, lokasi penelitian dapat dikelompokkan menjadi tiga didasarkan pada banyaknya industri batu alam atau limbah industri yang dihasilkan, yaitu: 1) wilayah hulu meliputi Kecamatan Dukupuntang dan Depok, 2) wilayah tengah meliputi Kecamatan Palimanan dan Gempol, dan 3) wilayah hilir meliputi Kecamatan Jamblang dan Klangean. Dari Gambar 7 terlihat bahwa konsentrasi Pb pada tanah sawah di Kecamatan Dukupuntang dan Depok sebagai lokasi yang paling banyak industri batu alam ternyata konsentrasi logam Pb-nya paling kecil dengan nilai rata-rata 0,79 ppm (dari kisaran nilai 0,13-1,25 ppm). Tanah sawah bagian tengah yang meliputi Kecamatan Palimanan dan Gempol memiliki kandungan logam Pb yang lebih tinggi dibanding bagian hulu dengan nilai rata-rata 1,35 ppm dari kisaran nilai 0,81-1,91 ppm. Konsentrasi

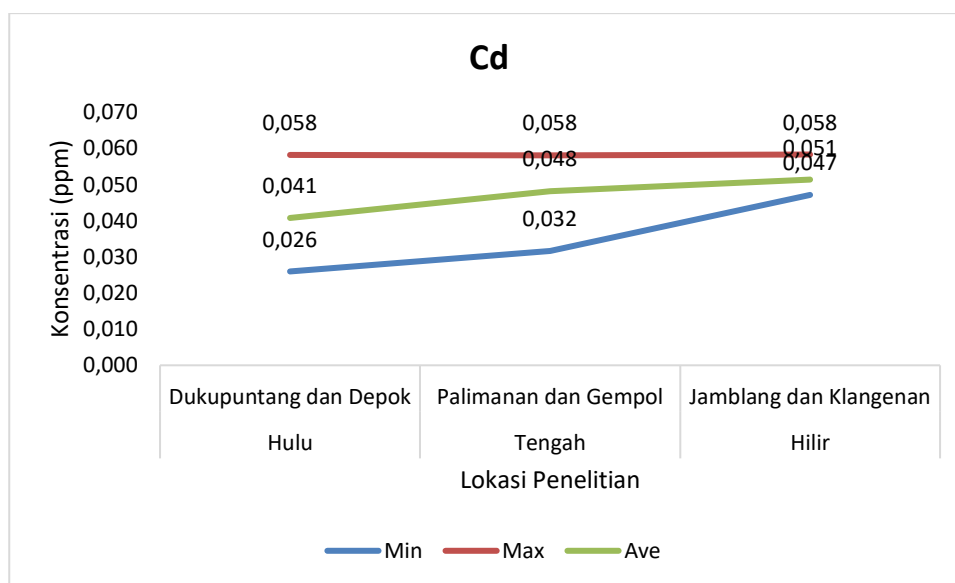
logam Pb paling tinggi adalah di bagian hilir yang meliputi Kecamatan Jamblang dan Klangeran dengan nilai rata-rata 1,48 ppm dari kisaran nilai 0,40-2,94.

Jika dibandingkan dengan logam berat yang lain konsentrasi Pb dijumpai paling banyak di lokasi penelitian. Hal ini disebabkan karena Pb yang terakumulasi pada tanah sawah bisa berasal dari sumber lain selain limbah cair industri batu alam, misalnya pupuk dan pestisida. Pencemaran tanah oleh Pb juga lebih luas dibandingkan logam berat lainnya. Hal ini karena sumbangan terbesar adalah dari sumber antropogenik. Dari hasil penelitian (Hu *et al.* 2013) diketahui bahwa Mn, Co, Fe, Cr, dan Ni di permukaan tanah terutama berasal dari sumber lithogenic. Sedangkan Hg dan As di tanah dikendalikan oleh sumber lithogenic dan antropogenik. Daerah urban lebih beresiko terkena dampak pencemaran logam berat dibandingkan dengan daerah industri. Hasil ini menunjukkan kebutuhan yang signifikan untuk pengembangan strategi pencegahan pencemaran dan pengurangan pencemaran logam berat untuk daerah yang mengalami industrialisasi dan urbanisasi cepat. Akumulasi logam berat dapat menurunkan kualitas tanah, mengurangi hasil panen dan kualitas produk pertanian, dan sehingga berdampak negatif terhadap kesehatan manusia, hewan, dan ekosistem (Nagajyoti *et al.* 2010). Dengan mengidentifikasi sumber dan mengukur konsentrasi logam berat, serta variabilitas spasial dalam tanah, maka dapat diketahui penanggulangannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa parameter aktivitas mikroba dapat digunakan sebagai indikator untuk melihat peningkatan konsentrasi Cd, Pb, dan Zn dalam tanah (Smejkalova *et al.* 2003).

Logam Cadmium (Cd)

Logam Cd ternyata di sumber konsentrasinya kecil atau sedikit dan penyebarannya berbeda dengan Pb, dimana semakin menjauh terlihat adanya akumulasi yang lebih sedikit. Kisaran kandungan Kadmium pada lokasi studi antara 0,02 ppm s /d 0,07 ppm, konsentrasi ini belum melampaui baku mutu (6 ppm). Dari Gambar 8 dapat diketahui bahwa konsentrasi logam Cd pada daerah sentra industri batu alam paling tinggi yaitu di Kecamatan Dukupuntang dan Depok, kemudian cenderung menurun di bagian tengah (Palimanan dan Gempol) dan paling rendah di bagian hilir (Kecamatan Jamblang dan Klangeran). Meskipun kadar logam Cd tanah di lokasi penelitian masih di bawah baku mutu (0,5 ppm), namun perlu mendapat perhatian karena lama kelamaan akumulasinya akan melebihi nilai batas kritisnya. Kadar Pb dan Cd yang berlebihan di datam tanah akan menghambat mineralisasi N organik dan proses nitrifikasi (Doelman, 1986).

Akumulasi Pb dan Cd di dalam tanah sawah akan diserap tanaman padi dan berbahaya bagi manusia dan hewan. Kelarutan Pb dan Cd di dalam tanah dipengaruhi oleh pH tanah. Pada pH <5,6 kandungan Pb dan Cd lebih banyak dalam bentuk dapat dipertukarkan, sedangkan pada pH >5,6 Pb dan Cd kurang tersedia karena dalam bentuk yang tidak dapat dipertukarkan.



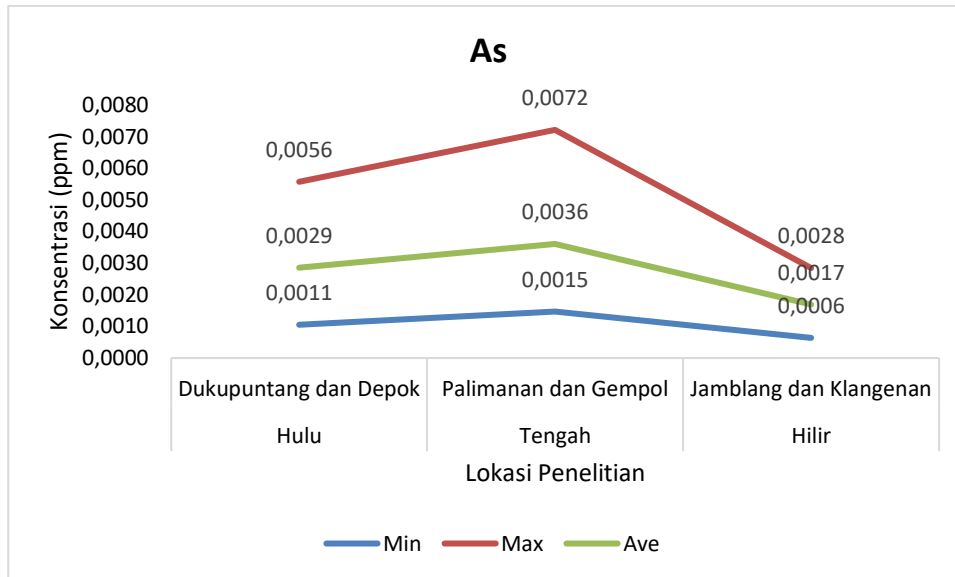
Gambar 8. Peta sebaran logam Cd pada tanah sawah bagian hulu, tengah dan hilir di lokasi penelitian

Logam Chromium (Cr)

Logam Cr konsentrasinya rendah sekali di lokasi penelitian dan hampir tidak terukur oleh alat. Berdasarkan acuan bakumutu USEPA, kandungan logam berat Cr dalam sedimen persawahan di lokasi penelitian tergolong tidak tercemar.

Logam Arsen (As)

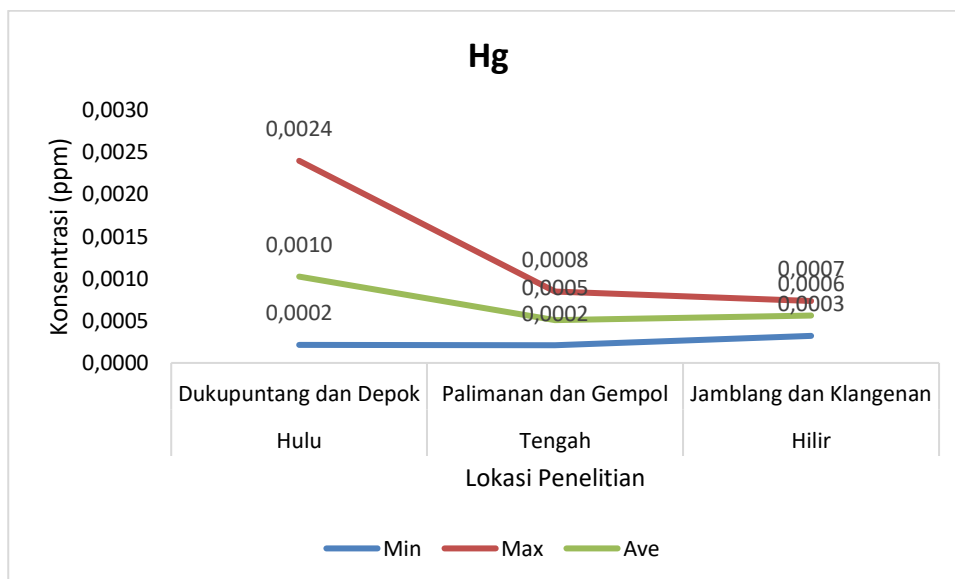
Kisaran kandungan logam As tanah sawah di lokasi penelitian adalah sebesar 0,0002 ppm hingga 0,0089 ppm (Tabel 6). Menurut baku mutu tanah untuk pertanian dan pemukiman Thailand (Tabel 8), kandungan As masih jauh di bawah nilai ambang batas (3,9 ppm). Pola sebaran logam As di lokasi penelitian hampir sama dengan pola sebaran Cd (Gambar 9). Hanya saja pola sebaran logam As meningkat ke wilayah tengah (Kecamatan Palimanan dan Gempol) kemudian menurun tajam di daerah hilir (Jamblang dan Klangean).



Gambar 9. Peta sebaran logam As pada tanah sawah bagian hulu, tengah dan hilir di lokasi penelitian

Logam Air Raksa (Hg)

Logam Hg tanah sawah di lokasi studi berkisar 0,0002-0,0033 ppm. Pola sebaran logam Hg juga sama dengan Cd. Semakin ke daerah hilir konsentrasinya semakin rendah (Gambar 10). Secara umum tanah sawah di lokasi penelitian tidak tercemar logam berat baik Pb, Cd, Cr, As dan Hg. Namun demikian upaya untuk mengurangi dan menjaga agar tidak sampai mencemari lingkungan harus dilakukan.



Gambar 10. Peta sebaran logam Hg pada tanah sawah bagian hulu, tengah dan hilir di lokasi penelitian

4.5. Kebijakan dan Arah Teknologi Penanganan Limbah Industri Batu Alam dan Pengelolaan Lahan Pertanian yang Terdampak Limbah

Untuk menangani permasalahan limbah industri batu alam yang telah meresahkan masyarakat khususnya petani, maka diperlukan adanya kebijakan multi sektoral dengan melibatkan beberapa lembaga/institusi seperti Setda Kabupaten Cirebon, Dinas ATR, BAPPELITBANGDA, Dinas Pertanian, Dinas Perindustrian, Dinas Lingkungan Hidup Dinas PU Pengairan, Perguruan Tinggi, dan Swasta yang nantinya dapat berperan aktif secara terintegrasi dalam upaya mengatasi permasalahan limbah industri batu alam. Kebijakan yang perlu dilakukan antara lain:

- Membuat aturan yang jelas tentang penanganan limbah industri batu alam dalam bentuk PERDA
- Diwajibkan setiap perusahaan untuk membuat IPAL yang memenuhi standar
- Ada sanksi hukum terhadap perusahaan yang masih membuang limbahnya ke sungai atau saluran irigasi, misalnya pencabutan ijin usaha.

Selain kebijakan yang harus dirumuskan secara bersama-sama di lingkup Pemda Kabupaten Cirebon, di tingkat lapangan perlu adanya tindakan yang harus segera dilakukan untuk mengurangi dampak pencemaran limbah cair dari industri batu alam dengan memanfaatkan teknologi secara terpadu mulai dari penanganan limbah di sumbernya, limbah yang sudah masuk perairan (sungai dan saluran irigasi), sampai limbah yang masuk ke lahan pertanian terutama lahan sawah. Beberapa teknologi tersebut dilaksanakan oleh SKPD lingkup Pemda Kabupaten Cirebon sesuai dengan tugas pokok dan fungsinya bekerjasama dengan Lembaga Penelitian (Pemerintah, Perguruan Tinggi dan Swasta).

4.5.1. Teknologi Penanganan Limbah Industri Batu Alam

4.5.1.1. Teknologi Pembuatan IPAL Komunal

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal dengan Sistem Perpipaan terdiri dari :

- a. Bangunan IPAL
- b. Sistem jaringan perpipaan

A. Bangunan IPAL

Komponen instalasi pengolahan air limbah terdiri dari :

- Bak Inlet

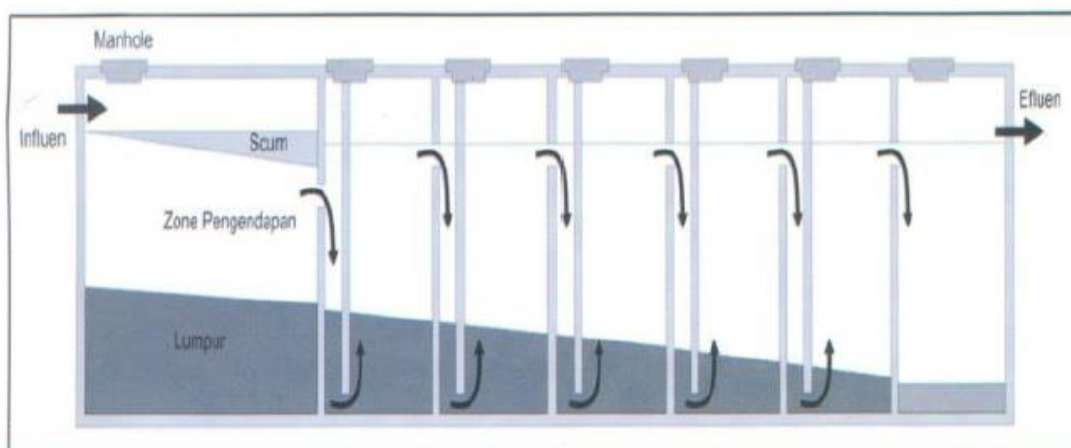
- Bak Pengolahan (banyak pilihan teknologi)
- Bak Outlet

Bangunan IPAL berfungsi untuk menampung air limbah yang dialirkan dari sistem perpipaan untuk diolah agar menghasilkan air buangan (*Effluent*) yang aman bagi lingkungan. Pada dasarnya telah banyak pilihan teknologi maupun jenis sarana pengolahan air limbah yang umum dipakai, namun dengan beberapa pertimbangan yang dipakai sebagai contoh dalam buku Petunjuk Teknis ini adalah pengolahan dengan teknologi *Anaerobik Baffled Reactor dan Anaerobic Up flow Filter*.

1) *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)*

Terdiri dari beberapa bak, dimana bak pertama untuk menguraikan air limbah yang mudah terurai dan bak berikutnya untuk menguraikan air limbah yang lebih sulit, demikian seterusnya. ABR terdiri dari kompartemen pengendap yang diikuti oleh beberapa reaktor baffle. Baffle ini digunakan untuk mengarahkan aliran air keatas (upflow) melalui beberapa seri reaktor selimut lumpur (sludge blanket). Konfigurasi ini memberikan waktu kontak yang lebih lama antara biomasa anaerobic dengan air limbah sehingga akan meningkatkan kinerja pengolahan.

Teknologi sanitasi ini dirancang menggunakan beberapa baffle vertikal yang akan memaksa air limbah mengalir keatas melalui media lumpur aktif. Cocok untuk pengolahan air limbah bersama beberapa industri batu akam (komunal)



Gambar 11. Anaerobic Buffed Reactor

Kelebihan:

- Luas lahan yang dibutuhkan sedikit karena dibangun di bawah tanah

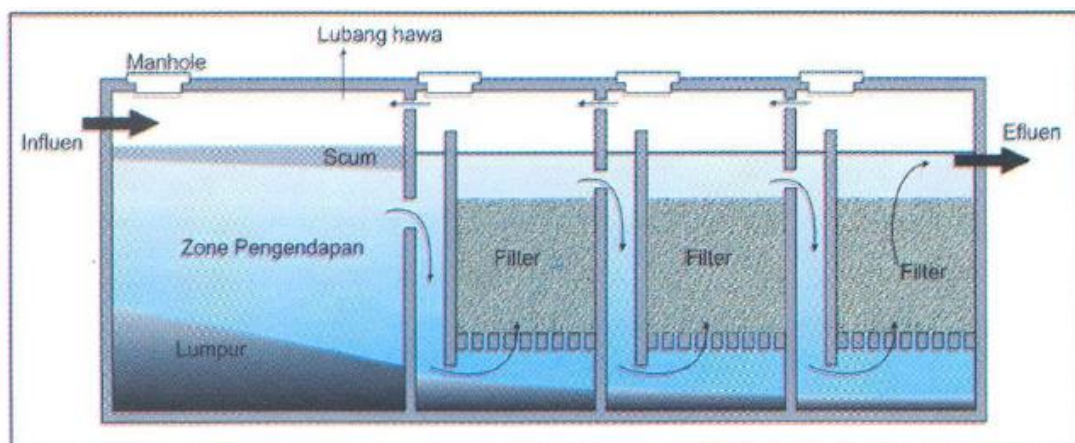
- Biaya pembangunan kecil
- Biaya pengoperasian dan perawatan murah dan mudah
- Efluen dapat langsung dibuang ke badan air penerima.

Kekurangan:

- Diperlukan tenaga ahli untuk desain dan pengawasan pembangunan
- Diperlukan tukang ahli untuk pekerjaan plester berkualitas tinggi untuk konstruksi beton
- Efisiensi pengolahan rendah
- Tidak boleh terkena banjir
- Memerlukan sumber air yang konstan
- Perlu dilakukan pengurasan berkala setiap (2-3 tahun)

2) *Anaerobic Upflow Filter*

Komponen ini sama seperti Tanki Septik Bersusun tetapi pengolahan limbahnya dibantu oleh bakteri anaerobic yang dibiakkan pada media filter Anaerobic upflow filter, merupakan proses pengolahan air limbah dengan metode pengaliran air limbah keatas melalui media filter anaerobic. Sistem ini memiliki waktu detensi yang panjang.



Gambar 12. Tipikal Bangunan Anaerobic Upflow Filter (AUF)

Anaerobic upflow filter cocok digunakan untuk pengolahan air limbah bersama beberapa industri batu alam (komunal). Bisa mengolah **black water** dan **grey water**. Cocok untuk meningkatkan kualitas efluen sebelum dibuang ke badan air penerima.

Kelebihan:

- Luas lahan yang dibutuhkan sedikit karena dibangun di bawah tanah
- Biaya pengoperasian dan perawatan murah dan mudah

- Efisiensi pengolahan limbah relatif lebih tinggi
- Material filter dapat menggunakan bahan lokal atau pabrikan
- Efluen dapat langsung dibuang ke badan air penerima.

Kekurangan:

- Biaya konstruksi bisa menjadi besar jika bahan filter tidak ada di daerah sekitarnya.
- Diperlukan tenaga ahli untuk desain dan pengawasan pembangunan.
- Diperlukan tukang ahli untuk pekerjaan plester berkualitas tinggi.
- Pori-pori filter mudah tersumbat apabila masih ada padatan terbawah setelah pengolahan primer. Tidak boleh terendam banjir.
- Perlu dilakukan pembersihan filter secara berkala setiap (2-3 tahun).

B. Sistem Jaringan Perpipaan

Sistem jaringan perpipaan terdiri dari Pipa sambungan rumah, Pipa Service (Pipa Tertier), Pipa Cabang (Pipa Sekunder), Pipa Induk (Pipa Utama) yang berfungsi untuk mengumpulkan air limbah dari sumber-sumbernya dan mengalirkannya ke bangunan IPAL untuk diolah agar menghasilkan *effluent* air buangan yang aman bagi lingkungan. Sistem saluran ini membutuhkan bak kontrol setiap jarak 20 m atau sesuai kebutuhan kondisi dilapangan untuk saluran lurus, pada titik-titik pertemuan saluran dan pada perubahan arah aliran.

Kelebihan:

- Lebih hemat dari pada sistem pembuangan limbah konvensional
- Masyarakat dapat berperan dalam proses perencanaan dan konstruksi
- Nyaman untuk pengguna karena air limbah dijauhkan dari area permukiman dan mendekatkan akses ke pengguna.

Kekurangan

- Proses perencanaan lebih rumit
- Diperlukan perawatan secara rutin, perawatan yang tidak rutin akan menyebabkan kegagalan sistem secara total.

4.5.1.2. Teknologi Pengolahan Air Limbah

Pengolahan air limbah secara garis besar dapat dikategorikan menjadi metoda pengolahan fisika-kimia dan metoda pengolahan biologi. Metoda pengolahan biologi dapat diterapkan pada air limbah yang mengandung senyawa organik (BOD, COD),

dimana sebagai pengoperasian satuan yang menyusun proses olah ini, perlu dimasukkan pengoperasian secara fisika-kimia seperti pemisahan padatan – cairan, absorpsi oksigen dan lainnya.

Polutan yang terkandung di dalam air limbah ada yang berbentuk suspensi dan berbentuk larutan, serta ada yang organik dan non organik. Tujuan pengolahan air limbah adalah menguraiakan senyawa polutan melalui metoda fisika-kimia atau kombinasi dengan metoda biologi, atau menjernihkan air limbah dengan memisahkan dan mengentalkan senyawa polutan dari air limbah. Tujuan tersebut dapat dibagi menjadi berikut ini.

- 1) Pemisahan padatan-cairan (senyawa suspense, kandungan minyak dll)
- 2) Oksidasi dan penguraian senyawa organic (BOD, COD dll)
- 3) Pengaturan pH
- 4) Eliminasi Senyawa B3
- 5) Eliminasi garam nutrisi non organik (utamanya adalah senyawa fosfor, senyawa nitrogen)
- 6) Pengolahan dan disposal lumpur (*sludge*)

Untuk karakteristik air limbah yang didominasi oleh padatan terlarut dan padatan tersuspensi tinggi seperti limbah industri batu alam, maka teknologi pengelolaan limbah yang tepat adalah secara fisik kimia yang dilengkapi dengan unit pengendapan kimia menggunakan koagulan dan flokulan (Kristanto, 2002). Oleh karena itu, dari semua di atas, no 1), 2) dan 6) yang digaris bawahi adalah yang paling penting dan sulit, terkait dengan pengolahan air limbah di pabrik industri batu alam.

1) Prinsip Dasar Pengendapan Kimia

Unit pengendapan kimia berfungsi untuk menurunkan kandungan padatan tersuspensi dalam limbah cair. Padatan tersuspensi yang terkandung dalam limbah cair dapat dikelompokkan menjadi sedimen dan koloid. Padatan sedimen, karena ukuran dan beratnya, dapat langsung mengendap apabila ditinggalkan dalam waktu yang cukup. Sedangkan penurunan padatan koloid yang memiliki ukuran sangat kecil, dilakukan secara kimiawi. Koloid hanya dapat mengendap setelah digumpalkan antar sesamanya terlebih dahulu, melalui reaksi koagulasi dan flokulasi (Hugges, 2000).

Partikel koloid dalam limbah cair bersifat stabil karena lapisan permukaannya mempunyai muatan listrik yang sama. Umumnya bermuatan negatif walaupun ada juga koloid yang bermuatan positif. Karena memiliki muatan yang sama, partikel-partikel

tersebut umumnya tidak dapat saling berdekatan dan saling tolak-menolak antar sesamanya. Gaya tolak antar sesama partikel koloid ini mencegah terjadinya penggumpalan.

Partikel koloid memiliki gaya tarik antar partikel yang akan bekerja jika jarak antar partikel koloid tersebut sangat dekat. Jika berhasil memaksa partikel koloid untuk saling berdekatan, atau melawan gaya tolaknya, maka partikel tersebut akan saling menggumpal. Untuk membantu pendekatan antar partikel koloid diperlukan bantuan dari luar berupa penambahan bahan kimia dan atau pengadukan.

Penggumpalan partikel koloid dapat terjadi dengan bantuan dari luar berupa penambahan bahan kimia yang dapat mengganggu kestabilan muatan listrik partikel-partikel koloid.

Bahan kimia tersebut harus memiliki muatan listrik yang berlawanan dengan muatan listrik partikel koloid. Gaya tolak akan diperkecil sehingga gaya tarik akan bebas bekerja, sehingga sesama partikel koloid saling mendekat dan menggumpal. Ion koagulan yang muatannya berlawanan juga dapat berikatan atau teradsorpsi dengan partikel-partikel koloid untuk membentuk ikatan yang lebih besar. Dalam hal ini, ion koagulan lebih berperan sebagai bola pengikat antara partikel koloid satu dengan partikel koloid lainnya (Raju, 1995).

Dengan bantuan pengadukan, kedua proses destabilisasi koloid di atas akan membentuk partikel-partikel gumpalan yang lebih besar dan lebih berat sehingga dapat mengendap secara gravitasi. Proses tersebut disebut proses penggumpalan koloid atau lebih dikenal sebagai reaksi koagulasi - flokulasi. Banyak pihak yang berusaha mendefinisikan reaksi tersebut secara terpisah. Reaksi koagulasi lebih dikaitkan kepada proses pengrusakan kestabilan (destabilisasi) partikel koloid sedangkan reaksi flokulasi dikaitkan kepada proses pembentukan gumpalan (flok).

Proses penggumpalan koloid seringkali tidak mampu menghasilkan gumpalan yang besar dan berat untuk dapat mengendap dengan cepat, sehingga membutuhkan rentang waktu lama untuk mengendap dengan sempurna. Hal ini dapat diatasi dengan penambahan bahan kimia lain yang berperan sebagai tali pengikat antara gumpalan satu dengan gumpalan lainnya. Bahan kimia ini disebut sebagai koagulan pembantu atau disebut flokulan. Sesuai fungsinya sebagai tali pengikat, senyawa flokulan, umumnya merupakan suatu senyawa polimer sintetik yang memiliki rantai ikatan panjang, memiliki serat-serat terbuka dan dapat mengikat gumpalan-gumpalan yang berdekatan dengannya.

Penggunaan flokulan ini dapat menghasilkan gumpalan yang kasat mata.

Setelah koloid berhasil digumpalkan, proses selanjutnya adalah proses pengendapan (sedimentasi) atau proses pemisahan padatan dengan air secara gravitasi. Syarat utama terjadi pengendapan adalah gumpalan memiliki berat yang cukup dan kecapatan jatuh gumpalan masih lebih besar daripada kecepatan aliran yang berbeda arah. Kecepatan jatuhnya padatan atau gumpalan sangat dipengaruhi oleh berat padatan. Semakin berat suatu padatan maka kecepatan jatuhnya semakin tinggi. Selain berat jenisnya, berat suatu gumpalan ditentukan oleh ukurannya. Reaksi koagulasi - flokulasi dapat menghasilkan gumpalan yang semakin membesar ukurannya.

2) Penambahan Koagulan dan Flokulan

Koagulasi merupakan unit proses yang pertama pada pengolahan air dan sangat penting untuk menghilangkan partikel yang tersuspensi dan yang terlarut. Koagulasi merupakan perlakuan destabilisasi partikel koloid stabil dan suspensi. Partikel yang mengalami destabilisasi lalu dilakukan proses flokulasi, sedimentasi dan filtrasi. Pada umumnya proses koagulasi bertujuan untuk menghilangkan partikel koloid anorganik. Juga untuk menghilangkan bahan organik terlarut dengan peningkatan koagulasi. Zat tersuspensi yang mempunyai ukuran lebih dari 5 – 10 μm dihilangkan lebih mudah dengan filtrasi dan sedimentasi.

Di dalam air permukaan terdapat partikel-partikel dengan ukuran yang berbeda. Klasifikasi yang dikenal adalah :

- a. Zat terlarut (contoh molekul ion) yang mempunyai ukuran diameter lebih kecil dari 1 nm, dengan fasa homogen
- b. Koloid pada umumnya mempunyai ukuran antara 1 m – 1 μm , fasa homogen-heterogen. Contohnya zat humus, tanah liat, silika dan virus
- c. Zat-zat tersuspensi mempunyai ukuran lebih besar dari 1 μm , fasa heterogen. Contohnya adalah bakteri, alga, lumpur, pasir dan sisa kotoran organik.

Proses koagulasi diperlukan untuk menghilangkan bahan-bahan yang terkandung dalam air limbah yang berbentuk suspensi atau koloid. Partikel koloid merupakan partikel yang mempunyai ukuran 1 nm sampai 0,1 mm. Ukuran partikel yang sangat kecil tersebut menyebabkan partikel -partikel tidak dapat mengendap secara gravitasi. Penggumpalan (agglomerasi) partikel-partikel ke dalam kelompok-kelompok akan meningkatkan ukuran partikel dan kecepatan pengendapan. Namun ukuran partikel koloid yang sangat kecil tersebut dan sifat stabilitas partikel akan mencegah terjadinya agglomerasi

(penggumpalan).

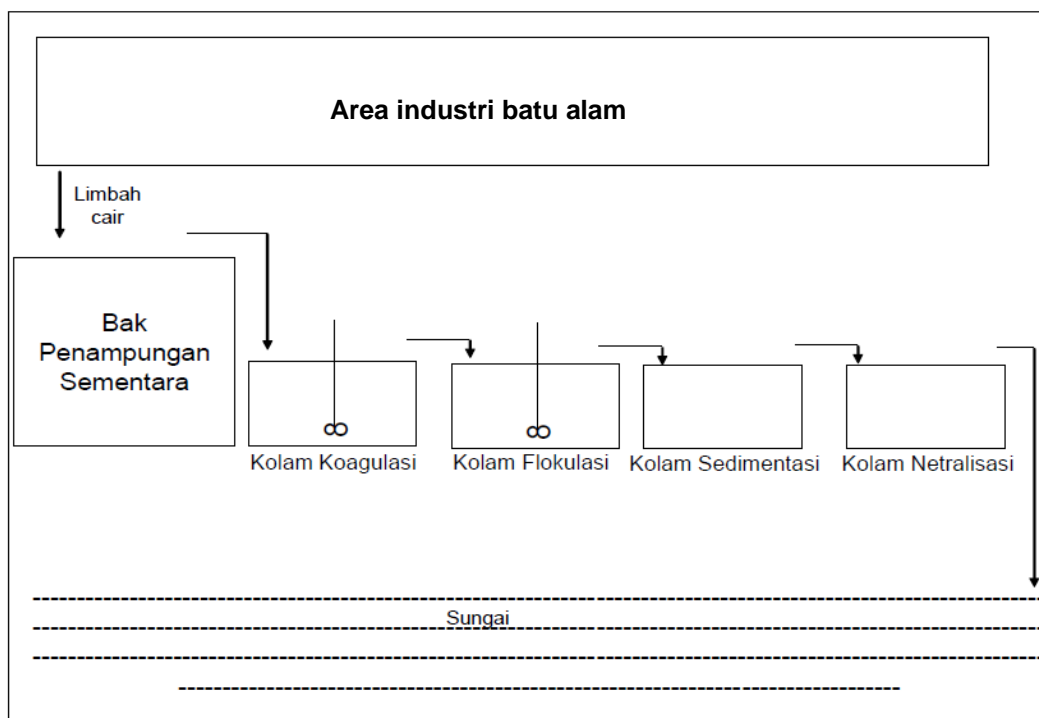
Penambahan bahan kimia koagulan harus dilakukan untuk menunjang terjadinya destabilisasi koloid dalam reaksi koagulasi - flokulasi. Penambahan bahan kimia flokulan untuk memperbesar ukuran gumpalan yang kemudian akan mempercepat berlangsungnya pengendapan koloid (Raju, 1995). Beberapa jenis koagulan yang sangat efektif digunakan pada proses pengolahan air limbah, antara lain : aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$), ferri sulfat ($FeCl_3$) dan ferro sulfat ($FeSO_4$), serta beberapa jenis polimer.

Berdasarkan kondisi pengolahan limbah tersebut ada beberapa rekomendasi yang diajukan dalam penelitian ini yaitu :

- 1) Instalasi pengolahan air limbah di area industri batu alam sebaiknya memiliki kolam penampungan sementara untuk menampung limpasan air hujan. Dengan adanya kolam penampungan sementara diharapkan limpasan air hujan yang melebihi kapasitas KPL dapat ditampung dan tidak mengalir ke badan air tanpa melalui proses pengolahan.
- 2) Dari kolam penampungan sementara aliran dialirkan ke kolam koagulasi dan flokulasi. Pada kolam koagulasi dan flokulasi sebaiknya ada pengaduk yang digunakan untuk mendispersikan bahan kimia yang digunakan sehingga proses koagulasi berjalan lebih efektif. Qasim *et al* (2000) menyatakan bahwa berdasarkan metodenya, pengadukan dibedakan menjadi tiga yaitu: pengadukan mekanis yang berupa *impeller* yang digerakkan motor bertenaga listrik, pengadukan hidrolis yang memanfaatkan gerakan air sebagai tenaga pengaduk dan pengadukan pneumatis yang menggunakan udara (gas) yang dimasukkan ke dalam air sehingga menimbulkan pengadukan pada air. Pengadukan cepat dapat dicapai dengan metode pengadukan mekanis dan hidrolis (Nur dan Mochtar, 2007), sedangkan pengadukan lambat dicapai dengan metode mekanik dan pneumatis (Qasim *et al*, 2000). Proses pendispersian bahan kimia juga akan berlangsung lebih baik jika koagulan aluminium sulfat yang digunakan dalam bentuk serbuk atau cairan sehingga lebih mudah terdispersi di dalam air baku yang akan diolah.
- 3) Dari kolam koagulasi dan flokulasi, aliran selanjutnya dialirkan ke kolam sedimentasi dimana terjadinya proses pengendapan. Selanjutnya aliran dialirkan ke kolam netralisasi untuk menetralkan pH. Penggunaan koagulan aluminium sulfat dapat menurunkan nilai pH. Untuk menaikkan nilai pH sehingga berada pada baku mutu yang ditetapkan yaitu pada nilai pH 6 - 9 maka diperlukan penambahan bahan kimia

yang bersifat basa, karenanya penambahan kapur dapat dilakukan untuk proses netralisasi.

- 4) Untuk mengetahui apakah limbah hasil pengolahan yang akan dibuang sudah aman bagi makhluk hidup, sebaiknya ada bio indikator yang digunakan, misalnya ikan. Limbah yang dibuang ke badan air, dalam hal ini limbah dialirkan ke sungai diharapkan tidak mencemari kualitas air sungai yang menurut Samuel (2008) serta Wijaya dan Prianto (2008) masih cukup baik dan layak untuk kehidupan biota. Skema sistem pengolahan limbah cair industri batu alam dapat dilihat pada Gambar 13 berikut.



Gambar 13. Skema sistem pengolahan limbah

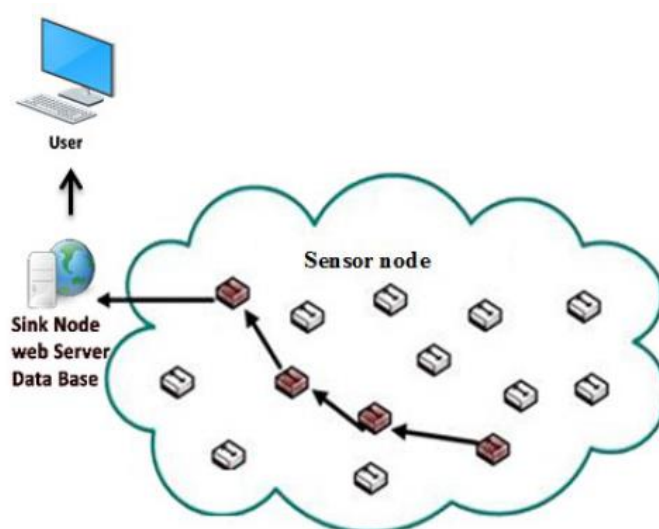
Untuk mengurangi terjadinya pencemaran lingkungan dilakukan upaya minimisasi limbah dengan melaksanakan *good house keeping*, misalnya mencegah kebocoran pipa air yang dapat membawa serta batubara halus ke saluran pembuangan yang akan menambah beban IPAL.

4.5.1.3. Teknologi sistem pemantauan kualitas air limbah secara otomatis, kontinyu dan online

Salah satu bagian dari pengendalian air sungai adalah dengan melakukan pemantauan kondisi air sungai. Beberapa model pemantauan air yang sudah pernah

dikembangkan antara lain, pemantauan kualitas air sungai dengan memanfaatkan teknologi telemetri yang menggunakan jaringan GSM

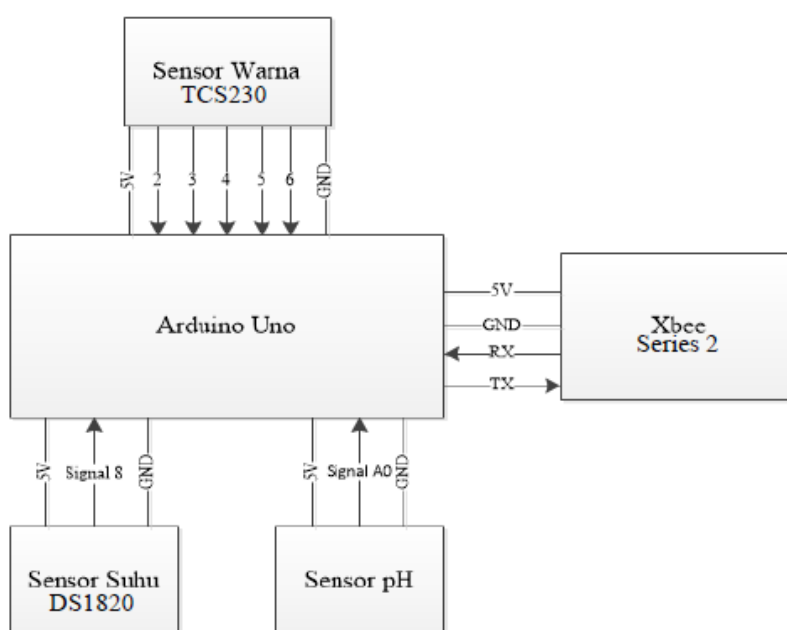
Perkembangan sistem pemantauan kualitas air saat ini cenderung mengarah ke sistem yang berbasis Wireless Sensor Network (WSN), terutama pada pemantauan kualitas air di daerah laut. Selain pemantauan kualitas air laut, sistem pemantauan ketinggian permukaan air sungai maupun air tanah berbasis WSN juga mulai dikembangkan. WSN atau jaringan sensor nirkabel merupakan jenis jaringan *ad-hoc multi-hop nirkabel* yang terdiri dari beberapa node tersebar yang berfungsi sebagai sensor nirkabel serta sink sebagai tujuan pengiriman data. Pada pemantauan air yang menggunakan WSN, kondisi dan kualitas air dapat dibaca menggunakan sensor untuk kemudian dikirimkan kepada sink agar dapat diolah menjadi informasi.



Gambar 14. Desain rancangan sistem pemantauan sungai

Pada penelitian ini, dikembangkan purwarupa dari sistem pemantauan pH, suhu dan warna yang berbasis WSN. Secara keseluruhan, desain rancangan sistem pemantauan kondisi air sungai berbasis WSN ditunjukkan pada Gambar 14. Pada sistem yang dirancang, terdapat beberapa perangkat sensor node WSN yang dapat mengirimkan pesan berupa data yang dibaca dari sensor yang terpasang melalui jaringan nirkabel *ad-hoc* ke node pusat atau sink. Perangkat sensor node WSN yang digunakan juga harus dapat meneruskan paket data dari perangkat lain ke sink. Sink yang menerima data dari sensor node berfungsi juga sebagai database server dan web server. Pada node sink ini data

diolah menjadi informasi yang dapat diakses melalui halaman web. Setiap sensor node yang digunakan dirancang agar dapat membaca nilai dari pH, suhu dan warna air sungai, serta memiliki kemampuan untuk mengirimkan data hasil pembacaan sensor serta meneruskan data yang diterima dari node lain hingga ke sink node. Desain sensor node yang digunakan pada penelitian ditunjukkan pada Gambar 15, pada setiap node terdapat tiga buah sensor yaitu sensor pH yang menggunakan analog pH Meter Kit DFRobot, modul sensor suhu digital DS18B20 dan sensor warna yang menggunakan modul TCS230. Ketiga buah sensor terhubung ke unit pengolah yang menggunakan Arduino Uno yang berbasis mikrokontroler ATmega328.



Gambar 15. Desain rangkaian sensor node

Sensor pH analog yang digunakan merupakan kit sensor pH yang diproduksi oleh DFRobot. Sensor ini dapat membaca nilai pH dari 0 sampai 14. Keluaran yang dihasilkan dari sensor ini merupakan tegangan 0 sampai 5 volt yang dihubungkan pada pin ADC pada mikrokontroler. Sensor suhu DS1820 yang digunakan merupakan sensor suhu yang menghasilkan pulsa digital yang mengindikasikan nilai suhu yang disensor. Sensor DS1820 yang digunakan dihubungkan ke port digital mikrokontroler pada Arduino. Pada sensor Warna TCS230, terdapat 4 jenis foto diode yang berbeda, yaitu foto diode dengan filter merah, biru, hijau dan tanpa filter yang dapat membaca nilai komposisi RGB. Hasil pembacaan warna berupa arus dikonversi menjadi frekuensi gelombang kotak dalam bentuk larik 8x8 oleh IC TCS230. Hasil pembacaan dari ketiga sensor kemudian

dikirimkan menuju ke sink node melalui modul XBee yang terhubung ke Arduino Uno. Perangkat Xbee yang digunakan pada penelitian ini adalah XBee Series2 yang memiliki kemampuan untuk meneruskan paket data dari perangkat pengirim ke perangkat penerima yang melaluinya seperti pada router.

```

<code pH>
if get milisecond - samplingTime > samplingInterval
  pHArray[pHArrayIndex++] = read analog from SensorPin
  if pHArrayIndex = ArrayLenth
    pHArrayIndex = 0
    voltage = the average of array between pHArray and ArrayLenth * 5.0/1024
    pHValue 3.5*voltage + offset
  endif
endif

<code Suhu>
request sensors
tempStr = tempStr + get sensors index 0
tempStr = tempStr + "H"
tempStr = tempStr + "$"
write tempStr

<code warna>
Initialize i to zero
TCNT = 100
increment flag
if flag = 1
  counter = 0
endif
else if flag = 2
  set s2 to LOW
  set s3 to LOW
  countr = counter / 1.051
  set s2 to HIGH
  set s3 to HIGH
endif
else if flag = 3
  set s2 to LOW
  set s3 to LOW
  countr = counter / 1.0157
  set s2 to HIGH
  set s3 to HIGH
endif
else if flag = 4
  set s2 to LOW
  set s3 to LOW
  countr = counter / 1.114
  set s2 to HIGH
  set s3 to HIGH

```

Gambar 16. Pseudocode sensor node

Untuk mengolah hasil pembacaan sensor, Arduino Uno menjalankan program dengan alur seperti pada pseudocode yang ditunjukkan pada Gambar 16. Pseudocode tersebut mempunyai tiga bagian, yaitu kode pH, kode suhu dan kode warna. Kode pH

menjelaskan nilai tegangan sebuah pH dikali 5.0/1024 dan pH Value bernilai $3.5 * \text{voltage} + \text{offset}$. Kode suhu menjelaskan variabel tempStr + sensor index yang bernilai 0 dan akan ditulis di dalam tempStr. Kode warna menjelaskan nilai dari TCNT, dengan nilai awal 100. Jika flag 1 maka hasilnya adalah 0, flag 2 bernilai counter/1.051, flag 3 bernilai counter/1.0157 dan flag 4 bernilai counter/1.114.

Pada sink node, terdapat sebuah Personal Computer (PC) sebagai unit pengolah data yang diterima dari sensor node. Untuk dapat menerima data yang dikirim dari sensor node melalui jaringan nirkabel ad-hoc, PC dihubungkan ke perangkat XBee Series-2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17. Selain berfungsi sebagai sink node, PC tersebut berfungsi juga sebagai database server yang menyimpan data hasil pembacaan sensor dan juga sebagai web server yang melayani permintaan tampilan pemantauan data dari sensor secara waktu nyata. Mesin database yang digunakan pada sink node adalah MySQL 5.6, sedangkan web server yang digunakan adalah Apache 2.2.



Gambar 17. Xbee Series 2

Diagram alir dari kerja node sink yang dirancang untuk melakukan penerimaan data dan penyimpanan data ke dalam tabel database. Penerimaan data dari modul XBee Series-2 dilakukan setelah inisialisasi awal. Data tersebut diseleksi dan dipisahkan antara data pH, suhu dan warna. Setelah dilakukan pemisahan, data akan diseleksi kembali, data yang berasal dari node 1, node 2 atau node 3 akan dipisahkan. Setelah data dari semua sensor di setiap node dipisahkan, data disimpan ke dalam tabel database.

4.5.2. Teknologi Pengelolaan Lahan Pertanian yang Terkena Dampak Limbah Industri Batu Alam

4.5.2.1. Teknologi Pengolahan Tanah secara Mekanik

Tanah sawah di lokasi pengkajian yang terkena dampak limbah batu alam, mengalami kerusakan secara fisik karena tertutupi oleh endapan dari limbah batu alam dengan kedalaman 0-60 cm. Kondisi yang seperti ini akan berpengaruh pada tanaman padi yang akan ditanam. Secara fisik akar tanaman tidak akan tumbuh dengan normal dan secara kimia, akar tanaman tidak dapat menjangkau hara yang ada di dalam tanah, akibatnya tanaman mengalami *stunting* (perutumbuhan terhambat) bahkan akan layu dan mati. Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan teknologi olah tanah dalam agar lapisan tanah yang subur dapat terangkat ke atas dan endapan limbah batu alam berada di bawah. Teknologi yang dapat diterapkan adalah dengan teknologi olah tanah secara mekanik menggunakan bajak subsoil yang dioperasikan menggunakan traktor empat roda.

Traktor empat roda memiliki daya berkisar 12-15 Hp dimana dalam mengoperasikannya atau mengendarai sama dengan mengendarai mobil yang dilengkapi dengan stir kemudi sebagai pengendali arah dengan operator duduk. Berbeda dengan traktor tangan operator ikut berjalan dengan memegang handel stang. Komponen atau unit yang digunakan hampir sama dengan traktor tangan. Pada traktor empat roda dilengkapi dengan poros PTO (Power Take Of) sehingga untuk kepentingan tertentu seperti tenaga untuk memutar bajak rotary dapat diambilkan langsung dari putaran poros mesin (PTO). Kedalaman olah menggunakan bajak subsoil dapat mencapai 20-36 inci atau 45-90 cm. Untuk kedalaman olah dapat diatur disesuaikan dengan ketebalan endapan dari limbah batu alam yang menutupi lapisan top soil tanah sawah.

Traktor roda empat memiliki komponen-komponen yaitu komponen utama dan komponen pelengkap (implement). Adapun komponen traktor empat roda secara rinci dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12 Komponen Traktor Empat Roda

A. Komponen Utama		
1. Pedal rem	9. Tuas pengatur gas	17. Batang rem
2. Tumpuan kaki	10. Stir kemudi	18. Tuas perseneling
3. Pedal pengunci differensial	11. Tuas perseneling utama	19. Pedal kopling
4. Panel instrument	12. Tuas perseneling PTO	20. Bak gigi kemudi

5. Radiator	13. Tuas pengatur hidrolis	21. Motor starter
6. Motor penggerak	14. Tempat duduk operator	22. Aki
7. Saringan udara	15. Poros PTO	
8. Tangki bahan bakar	16. Roda belakang dan depan	
Jenis Alat Bantu/Implement Traktor Empat Roda		
Unit Roda :		Unit equipment atau peralatan lainnya
1. Roda ban		1. Bajak singkal
2. Roda pengatur kedalaman bajakan		2. Bajak rotary
3. Roda besi		3. Gelebeg
4. Roda apung		4. Ridger
		5. Trailer
		6. Transplanter
		7. Seed drill
		8. Pontoon atau pelampung



(a)



(b)

Gambar 18. Traktor Roda Empat: Bajak (a) dan (b) Rotary

Dalam mengoperasikan traktor empat roda ada empat tahapan yang harus diketahui, yaitu: 1) memulai menjalankan traktor, 2) menjalankan lurus ke depan, 3) mengganti gigi persneleng, 4) melewati tanjakan, dan 5) menghentikan traktor.

1) Memulai menjalankan traktor roda empat

- Lakukan langkah menghidupkan traktor
- Posisi gas digeser sedikit lebih besar dari posisi idle.
- Tuas rem parkir dilepas

- Pedal kopling diinjak penuh
 - Tuas persneleng cepat lambat dipindah ke posisi “cepat” atau “lambat”
 - Tuas persneleng utama dipindah ke posisi jalan (1,2,3 atau R).
 - Pedal kopling utama dilepas pelan-pelan agar traktor tidak meloncat pada saat mulai jalan.
- 2) Menjalankan lurus ke depan
- Lakukan langkah “mulai menjalankan traktor roda empat”
 - Pada saat traktor berjalan, kedua tangan berada pada kemudi. Posisi ibu jari keluar.
 - Mata memandang ke depan.
 - Gas diperbesar untuk mempercepat jalannya traktor sesuai keinginan.
 - Kedua kaki dipindah ke landasan, jangan di pedal gas, kopling atau rem.
 - Jangan membelokkan stang kemudi
 - Jangan memindah posisi gigi persneleng
- 3) Mengganti gigi persneleng
- Lakukan langkah menghentikan traktor
 - Pindahkan posisi gigi persneleng sesuai kecepatan yang diinginkan.
 - Mulai menjalankan traktor lagi.
- 4) Melewati tanjakan
- Gigi persneleng dipindah ke posisi rendah sebelum melewati tanjakan.
 - Jalankan traktor, lalu gas diperbesar secara pelan-pelan, untuk mencegah roda depan terangkat
 - Tidak boleh memindah gigi persneleng pada saat menanjak.
- 5) Menghentikan traktor
- Gas dikecilkan pada posisi idle untuk mengurangi kecepatan
 - Injak pedal kopling sehingga posisi transmisi terlepas
 - Injak pedal rem, traktor akan berhenti.
 - Persneleng utama dan persneleng cepat lambat dinetralkan.

4.5.2.2. Rekayasa Ekologi Melalui Pendekatan Pengelolaan dan Sumberdaya Terpadu

Kualitas air pengairan yang menurun akibat tercemar oleh limbah industri batu alam merupakan salah satu tanda rusaknya agroekosistem lahan sawah di Kabupaten Cirebon. Oleh karena itu perlu dilakukan restorasi (*restore agroecosystem*) supaya layanan ekosistem (*ecosystem services*) berjalan secara alami. Menurut Baehaki *et al.* (2016),

agroekosistem memproduksi berbagai layanan ekosistem untuk pertanian sangat besar, seperti pengaturan tanah dan kualitas air, penambatan karbon, dukungan untuk keanekaragaman hayati dan pelayanan budidaya. Praktek-praktek pengelolaan lahan yang tidak tepat bisa menjadi sumber berbagai kegagalan layanan (*disservices*) yang menyebabkan hilangnya habitat satwa liar, hilangnya nutrisi, sedimentasi sungai, emisi gas rumah kaca, dan keracunan pestisida terhadap manusia dan spesies bukan sasaran (Power 2010).

Dalam merespon hal tersebut diatas diperlukan usaha restorasi agroekosistem melalui rekayasa ekologi (RE=*Ecological Engineering*). RE, didefinisikan sebagai desain ekosistem yang berkelanjutan yang mengintegrasikan kegiatan masyarakat manusia dengan lingkungan alam untuk kepentingan keduanya (Mitsch 2012). Tujuan dari RE adalah untuk keuntungan bersama bagi manusia dan bagi alam. RE bersifat membangun, memperkuat dan memulihkan layanan ekosistem untuk pengelolaan alam berkelanjutan. Pelayanan ekosistem dari pengelolaan tanaman terpadu (PTT) merupakan tombol pengaktif sistem ekologi dalam produksi komoditas budidaya bagi manusia dan restorasi agroekosistem. PTT yang dibangun oleh teknologi berbagai disiplin keahlian dapat mempercepat proses restorasi agroekosistem pertanian, kehutanan, dan perairan. Sumbangan setiap teknologi dari disiplin tertentu terhadap PTT akan berbeda satu sama lainnya.

RE tidak hanya untuk produksi komoditas saja, tetapi RE dapat digunakan untuk restorasi alam (sungai, hutan, lautan). RE telah dianalisis nilai ekonominya menggunakan kaidah ekonomi ekologi (*ecological economics*) pada restorasi sepanjang 45 mil bagian sungai Platte, Denver, USA pada lima pelayanan ekosistem yang dimulai dari pelarutan air limbah, pemurnian alami air, pengendalian erosi, habitat ikan dan satwa liar, sampai dapat digunakan sebagai tempat rekreasi (Loomis *et al.* 2000).

Rekayasa ekologi merupakan bentuk pelayanan ekologi untuk restorasi agroekosistem supaya seluruh faktor kendali mampu bekerja secara alami, menuju kehidupan yang berkelanjutan. Rekayasa ekologi dalam pengelolaan tanaman terpadu (PTT) memberikan pelayanan ekologi, diantaranya dengan memberdayakan varietas padi, nutrisi, dan irigasi. Pengelolaan varietas terpadu adalah bentuk pelayanan ekologi untuk meningkatkan stabilitas biodiversitas genotipe melalui perakitan varietas tahan yang dilengkapi dengan karakter fungsional yang diaplikasikan sebagai pertanaman mozaik varietas. Pengelolaan nutrisi tanaman terpadu adalah bentuk pelayanan ekologi

untuk meningkatkan kinerja bakteri pelarut fosfat, bakteri pelarut kalium, bakteri pelarut sulfur, bakteri pendegradasi logam berat dalam bahan organik sebagai mediator serta bahan dasar pupuk anorganik sebagai starter. Pengelolaan air terpadu memberi pelayanan dalam pengaturan air secara langsung atau pengaturan kelembaban relatif dan suhu secara tidak langsung dalam penyediaan lingkungan yang cocok mikroba tanah yang berfungsi sebagai mikroba pendegradasi logam berat.

Teknologi pengelolaan varietas terpadu (PVT) adalah teknologi berumur tua yang sangat matang dan terus diperbarui telah memberikan pelayanan terhadap ekosistem. Para pemulia dalam pelayanan ekologi telah mendistribusikan varietas berdasar zonasi ekosistem, sehingga para pengguna dapat memilih varietas berdasar lingkungan tanah garapannya. Perakitan varietas dalam perkembangannya dilengkapi dengan fungsinya seperti varietas rendah emisi gas metan, padi bervitamin A, padi dengan kadar besi tinggi (Darajat dan Mejaya, 2012), varietas yang toleran terhadap logam berat (Padi Kultivar Kasalath). Beberapa varietas unggul padi yang toleran terhadap keracunan Fe antara lain: Muncul (Cilamaya), Batang Ombilin, Way Seputih, Ciliwung, Bengawan Solo, dan Cibodas (Suhartini *et al.* 1999), sedangkan varietas padi lokal yang toleran terhadap keracunan Fe antara lain: Sigiliti, Mesir, Angkong dan Pontianak.

Teknologi PTT yang dapat mengurangi dampak cemaran limbah batu alam, di samping penggunaan varietas toleran adalah sistem tanam jajar legowo (Jarwo), di mana pada lolongkrangnya dapat dibuat caren untuk menampung endapan dari limbah industri batu alam sehingga tidak mengganggu pertumbuhan tanaman. Penggunaan pupuk organik dan pupuk hayati juga dapat menekan pengaruh dari logam berat yang terkandung dalam limbah cair industri batu alam. Bahan organik maupun mikroorganisme dapat mengikat logam berat yang tidak mudah terurai sehingga tidak tersedia dan diserap oleh tanaman.

4.5.2.3. Teknologi Penanggulangan Pencemaran Logam Berat dari Limbah Industri Batu Alam

Untuk menanggulangi pencemaran lahan sawah secara biologi dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis vegetasi atau tanaman yang ditanam pada tanah yang tercemar. Cara tersebut disebut fitoremediasi (phytoremediation), yang diharapkan mampu mengurangi atau menyerap logam berat dan B3 dari dalam tanah. Selain itu, cara lain untuk mengurangi dampak negatif logam berat dan B3 pada tanah sawah yang

tercemar limbah industri adalah dengan penerapan teknologi bioremediasi (bioremediation).

A. Fitoremediasi

Di Jepang, Noriharu dan Tomohito (2002) menggunakan tanaman padi untuk remediasi tanah yang tercemar logam berat, sedangkan Katayama (2002) menemukan bahwa berbagai jenis tanaman yang tumbuh di lahan kering dan dalam kondisi anaerob/jenuh air atau tergenang, seperti dari famili Cyperaceae mampu memperbaiki kualitas tanah dan air tercemar logam berat dan B3. Untuk kondisi Indonesia, jenis-jenis tanaman yang tumbuh dalam kondisi tergenang seperti mendong (*Fimbristylis globulosa*), eceng gondok (*Eichornia crassipes*), rumput-rumputan di tanah sawah, padi sawah, serta tanaman air lainnya mempunyai kemampuan yang baik dalam menyerap logam berat dan B3 dari dalam tanah.

Penelitian Undang Kurnia *et al.* (2004) pada lahan sawah yang tercemar limbah industri tekstil di Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung, membuktikan bahwa mendong dan eceng gondok yang ditanam pada tanah sawah mampu menyerap logam berat. Namun, kandungan beberapa unsur logam berat seperti Ni, Cr, Mn, dan Zn dalam tanah sawah mengalami peningkatan setelah 100 hari sejak penanaman. Hal tersebut diduga karena di dalam tanah sawah sering mengalami perubahan kondisi reduksi dan oksidasi, terutama pada saat pengolahan tanah, dan satu atau dua minggu menjelang panen, menyebabkan logam tersebut lebih banyak terbentuk di dalam tanah.

Selain itu secara alami, unsur-unsur Mn, Zn, dan Fe yang ada di dalam tanah sawah sering dijumpai dalam konsentrasi tinggi tergantung bahan induk dan kondisi tanah. Dalam konsentrasi yang berlebihan dan dalam bentuk senyawa atau ion tertentu (tergantung kondisi tanah), logam berat tersebut dapat berpengaruh buruk terhadap pertumbuhan tanaman padi. Hasil penelitian tersebut juga membuktikan, bahwa logam berat terkonsentrasi lebih banyak pada akar dibandingkan dengan bagian batang atau daun tanaman, walaupun perbedaan tersebut tidak nyata.

B. Bioremediasi

Bioremediasi adalah pemanfaatan mikroba sebagai perantara dalam reaksi kimia dan proses fisik secara metabolik di atas permukaan tanah (*ex situ*) dan di dalam tanah (*in situ*). Proses perbaikan kualitas lingkungan dari kontaminasi bahan-bahan kimia secara

biologi dapat mengubah senyawa kimia kompleks atau sederhana menjadi bentuk yang tidak berbahaya (Skladany and Metting, 1993).

Salah satu teknologi untuk merehabilitasi tanah yang tercemar limbah adalah dengan memanfaatkan mikroorganisme, dikenal sebagai bioremediasi. Mikroorganisme merupakan bioremediator ampuh untuk memindahkan atau menghilangkan logam-logam melalui mekanisme serapan secara aktif atau pasif (Volesky and Holand, 1995). Proses-proses terjadi melalui beberapa mekanisme, yaitu adsorpsi, reaksi reduksi dan oksidasi, serta metilasi (Hughes and Rolle, 1989). Menurut Sims *et al.* (1990), keberhasilan penanganan biologis terhadap kontaminan dalam media tanah ditentukan oleh empat faktor utama, yaitu: (1) heterogenitas limbah; (2) konsentrasi zat atau senyawa; (3) toksisitas dan anti degradasi; dan (4) kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan mikroba.

Teknologi bioremediasi dapat dilakukan secara *in situ* dan *ex situ*. Proses *in situ* dilakukan pada habitat atau lingkungan tempat asal, biasanya membutuhkan penyediaan oksigen dan nutrisi (nutrient). Proses *ex situ* dilakukan dengan memindahkan senyawa pencemar dari habitat asalnya, biasanya dengan penggalian ke suatu lingkungan buatan (Jakpa *et al.* 1998). Teknologi bioremediasi *ex situ* meliputi tiga cara:

- 1) *Landfarming* (berkaitan dengan aerasi, pencampuran tanah yang tercemar, penambahan nutrisi untuk mikroorganisme, dan pengontrolan tingkat kelembapan tanah dengan cara penambahan air secara periodik)
- 2) Pengomposan (senyawa pencemar dicampur dengan zat yang berisi senyawa organik, seperti pupuk, kemudian dimasukkan ke dalam suatu tempat khusus)
- 3) Bioreaktor (model operasi terhadap tanah yang tercemar yang dilakukan dalam sebuah tempat yang berisi cukup air untuk menjaga agar proses pencampuran tetap berlangsung).

Proses biodegradasi suatu senyawa pencemar tergantung jenis mikroorganismenya (Lemigas, 1995). Menurut Veen *et al.*, (1997). Ada dua kelompok bakteri berdasarkan kemampuannya dalam merombak senyawa-senyawa toksik, yaitu:

- (1) Kelompok metabolit. Bakteri tersebut mampu tumbuh dan memperbanyak diri dengan menggunakan senyawa toksik sebagai makanannya, misalnya bakteri *Pseudomonas* dengan mekanisme oksidoreduksi. Pertukaran elektron yang dimulai dengan reaksi memakai O₂ atau dengan hidrolisis, penambahan gugus OH menghasilkan enzim yang dapat digunakan oleh bakteri tersebut untuk mengasimilasi

hidrokarbon dari molekul aromatik yang umumnya toksik, seperti benzena, toluena, dan zylena.

- (2) Kelompok ko-metabolit. Bakteri tersebut mampu tumbuh dan memperbanyak diri dengan sumber makanan biasa seperti glukosa dan amonia, serta mampu mentransformasikan senyawa toksik menjadi tidak toksik dengan cara mensekresi enzim yang merombak senyawa tersebut sebagai usaha untuk mempertahankan diri.
- (3) Pada limbah industri, pertambangan, bahan bakar dan tanah tercemar logam berat terdapat banyak bakteri, fungi, alga, dan ragi (yeast) yang mampu mengakumulasi logam berat Ag, Au, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, U, Zn (Gadd and White, 1993).

Beberapa jenis bakteri, seperti *Pseudomonas*, *Thiobacillus*, *Bacillus*, dan bakteri penambat N dilaporkan mampu mengakumulasi logam berat (Meeting and Skladany, 1993). Mikroorganisme mempunyai berbagai macam cara dalam menyerap logam toksik dan beberapa mekanisme telah diketahui pada tingkat molekuler. Resistensi logam biasanya disandi oleh plasmid yang terdapat dalam bakteri. Plasmid yang menyandi efflux pathway untuk As dan Cd terdapat pada beberapa bakteri tertentu dan dapat membedakan jalur penyerapan untuk P dan Mn, melalui As dan Cd masing-masing masuk ke dalam sel. Beberapa logam dan komponennya merupakan sasaran dalam biotransformasi yang dapat meningkatkan atau menurunkan toksik. Jalur efflux untuk logam seperti Cd dan ion Hg^{2+} didetoksifikasi melalui translokasi logam yang masuk melalui intraseluler reduktase. Proses alkilasi dari komponen Pb dan As oleh mikroba prokariotik dan eukariotik dapat meningkatkan potensi toksik.

Mikroorganisme mengembangkan berbagai mekanisme resistensi dalam menetralkan atau meniadakan sifat toksik logam berat. Mekanisme resistensi atau toleransi terhadap logam berat melalui pengikatan logam berat pada permukaan sel. Pada *E coli* dan sebagian besar bakteri Gram negatif memiliki kapasitas muatan yang lebih rendah dari pada Gram positif, tetapi memiliki struktur kompleks tiga lapis (inter membran, peptidoglikan dan membran sitoplasma) yang mampu mengikat dan mengimobilisasi ion logam termasuk Pb^{2+} dan Hg^{2+} . Bakteri Gram negatif umumnya menunjukkan toleransi terhadap logam yang lebih besar daripada Gram positif. Interaksi logam dengan bagian dalam sel (intraseluler) diawali pengikatan logam yang berlangsung cepat dan reversibel pada permukaan sel, meminimalkan akumulasi logam oleh sel, mentransformasikan bentuk toksik menjadi bentuk lain (biasanya bentuk volatil), mengikat logam menjadi bentuk tidak toksik dan mencegah logam masuk ke dalam sel.

Logam ditransport ke dalam sel melalui membran ke arah berlawanan atau ke luar sel (*efflux*) diikuti akumulasi logam dalam kompartemen sel. Situs pengikat potensial pada sel mikroba, matriks ekstraseluler, serta komponen struktural pada bakteri, alga dan fungi meliputi peptidoglikan, asam teikuronat (komponen struktur dinding sel bakteri), polisakarida, selulosa, asam uronat, protein, glukosa dan komponen dinding sel cendawan (glukan, mannan, chifuri, dan melanin), dengan tingkat spesifikasi ligan yang sesuai. Terikatnya logam pada dinding sel bakteri disebabkan banyak situs anionik pada dinding sel, terutama (1) gugus fosfodiester dari asam-asam tekoat; (2) gugus karboksil bebas pada peptidoglikan; (3) gugus karboksil dari polimer dinding sel; dan (4) gugus amida dari rantai peptida. Peptidoglikan paling nyata mengikat ion logam dan membentuk situs-situs nukleasi untuk deposisi sekunder (Hughes dan Rolle, 1989). Lapisan peptidoglikan resisten terhadap degradasi apabila konstituen outolisin (enzim degradatif) terdenaturasi, sehingga peptidoglikan dapat persisten lama pada lingkungan, walaupun sel telah mati (Sadhukhan et al., 1997).

Ligan mengikat logam secara selektif, berdasarkan prinsip dasar kimia. Faktor yang menentukan ukuran interaksi logam dengan ligan adalah kekuatan polarisasi dan karakter kation, keduanya merupakan faktor spesifik sebagai pengaruh pengkelatan dan pengaruh sinergis. Situs aktif enzim dapat mengikat logam sekitarnya, seperti halnya katalisis enzim yang membutuhkan bentuk geometri tertentu. Transisi ion logam penting digunakan untuk katalisis redoks, dapat menghasilkan nilai redoks yang tepat. Logam ini mengikat gugus-SH enzim dan mengadakan perubahan terhadap struktur tersier dan kuartier protein, juga gugus merkapto fungsional ko-enzim A yang diinhibisi (Hughes and Rolle, 1989).

Pembentukan kompleks logam secara intraseluler pada beberapa jenis mikroorganisme logam dilakukan secara inducibel, dengan membentuk atau mensintesis metalothionein atau protein berbobot molekul rendah dan kaya asam amino yang mengikat Cd, Zn, dan Cu. Plete (1989) menggambarkan interaksi antara ion Cd dengan bakteri Gram positif, selama ion logam terikat oleh gugus reaktif polimer dinding sel tidak akan memberikan pengaruh penting pada bakteri. Apabila ion logam menempel pada membran sitoplasma, ion logam akan bereaksi dengan gugus fungsi pada membran dan selanjutnya logam ditransport ke dalam sel. Pengambilan logam Cd ini bisa secara pasif, yaitu difusi melalui pori-pori membran atau secara aktif, yaitu dengan mekanisme pembawa (*carrier*) yang tergantung energi. Peristiwa penyerapan logam tersebut menyebabkan konsentrasi internal ion logam mencapai taraf toksik dan mengakibatkan

tidak berfungsinya metabolisme sel. Namun konsentrasi ion logam bebas dalam sitoplasma kemungkinan direduksi melalui pembentukan kompleks logam dengan ligan anorganik atau organik (fosfat, sulfat, dan protein).

Pembentukan kompleks suatu logam dengan lapisan terluar pada dinding sel mikroba terutama dengan polimer ekstraseluler dan perifer, seperti pada galur-galur *Zooglyphis ramigera* menghasilkan matriks bergelatin yang mampu mengikat logam. Bakteri yang menghasilkan kapsul ini memiliki 25% bobot logam setelah tumbuh di limbah. Studi lain mengindikasikan bahwa lebih dari 3 mmol Cu g⁻¹ bobot kering dapat diakumulasi oleh sel bakteri ini (Hughes dan Rolle, 1989). *Klebsiella aerogenes* menghasilkan kapsul polisakarida yang berperan sebagai pengikat Cu di luar sel (Cha and Cooksey, 1991). *Neurospora crassa* mampu mengikat logam Co, Fe dan Zn yang disebabkan chitin dan chitosan, sedangkan yang mengikat Cu²⁺ dan Cd²⁺ dengan kuat pada cendawan *Aureobasidium pullulan* adalah melanin. Secara normal pengikatan logam pada permukaan sel mikroba dianggap sebagai awal dari proses transport logam ke dalam sel. Tetapi apabila mekanisme akumulasi transmembran tidak ada, maka pengikatan logam pada dinding sel akan persisten (Hughes dan Rolle, 1989). Proses akumulasi logam berat oleh bakteri sifatnya stabil, pengikatan terjadi pada muatan negatif bakteri terhadap muatan positif logam berat.

Di Indonesia, penggunaan bioremediasi bakteri pengakumulasi logam berat, *Bacillus* sp. telah diujikan pada tanah sawah tercemar limbah industri. Hasil pengujian pada tanah di Desa Sukajadi, Kecamatan Sukatani, Kabupaten Bekasi (0.30 ppm Cd), inokulasi *Bacillus* sp. menurunkan dengan nyata serapan Pb dan Cd pada beras. Serapan Pb menurun dari 36,49% hingga 58,21%, serapan Cd menurun dari 31,05% hingga 51,32%. Demikian pula serapan Cd oleh jerami 43%, dan kombinasi bioremediasi logam berat *Bacillus* sp. Dan biofertilizer BioPhos mampu menurunkan serapan Cd beras 49%, dan kadar Cd tanah 36%. Di Desa. Balong Ampel, Kecamatan Sukarahayu, Kabupaten Bekasi (0,38 ppm), aplikasi kombinasi bioremediasi *Bacillus* sp. dan Zn meningkatkan kualitas beras dengan menurunnya kandungan Cd dalam beras dari 1,5 g ha⁻¹ menjadi 1,2 g ha⁻¹, dan produksi beras dari 3,1 t ha⁻¹ menjadi 4,4 t ha⁻¹.

Keberhasilan reduksi pencemaran logam berat oleh mikroba pengakumulasi logam berat dipengaruhi oleh keunggulannya dalam mengakumulasi logam berat. Setiap jenis mikroba mempunyai karakter yang berbeda untuk dapat hidup pada lingkungan yang sama. Mikroorganisme yang mampu hidup pada konsentrasi logam yang lebih tinggi dari

nilai baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan, dapat dijadikan rujukan dalam menggunakan mikroba tersebut dalam mereduksi pencemaran, baik di tanah pertanian maupun di badan perairan, sesuai dengan tingginya kandungan logam berat dalam lingkungan yang tercemar. Pemanfaatan mikroba tersebut diharapkan dapat meningkatkan kesehatan petani dan keuntungan usaha tani, sehingga mampu mempercepat pengentasan kemiskinan. Pemanfaatan mikroba pengakumulasi logam berat tidak menimbulkan pencemaran tanah.

V. KESIMPULAN

Untuk mengetahui dampak limbah industri batu alam terhadap tanah sawah di Kabupaten Cirebon ditentukan 34 titik pengambilan sampel tanah, 5 titik pengambilan sampel air, dan 5 titik pengambilan sampel tanaman. Dari hasil pengamatan dapat diketahui bahwa tebal endapan lumpur limbah batu alam cukup bervariasi dari 0 sampai 60 cm yang dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu: 0-10 cm, 10-30 cm dan 30-60 cm. Ketebalan endapan lumpur limbah batu alam 30-60 dijumpai pada lahan sawah yang paling dekat (hulu) dengan lokasi industri batu alam terutama di wilayah Kecamatan Dukupuntang dan Kecamatan Depok. Ketebalan endapan lumpur limbah batu alam 10-30 dijumpai pada lahan sawah yang berada agak jauh dari lokasi industri batu alam terutama di wilayah Kecamatan Gempol dan Kecamatan Palimanan. Sedangkan ketebalan endapan lumpur limbah batu alam 0-10 dijumpai pada lahan sawah yang jauh (hilir) dari lokasi industri batu alam terutama di wilayah Kecamatan Jamblang dan Kecamatan Klangeran.

Adanya limbah industri batu alam berupa endapan menyebabkan tanaman tidak tumbuh dengan normal pada masa vegetatif awal (15-30 hari setelah tanam) yang dikenal dengan istilah *stunting*. Selain itu adanya limbah industri batu alam juga menyebabkan menurunnya produksi dan produktivitas padi sawah sampai 30%, jika dibandingkan dengan sebelum adanya limbah industri batu alam yang masuk ke lahan sawah.

Berdasarkan hasil analisis laboratorium terhadap tanah, air irigasi dan tanaman menunjukkan bahwa dilihat dari kadar logam berat dalam ketiga jenis sampel tersebut tidak menunjukkan adanya hasil kadar logam berat yang melebihi ambang batas yang berbahaya bagi tanah, air dan tanaman padi. Namun demikian perlu segera diantisipasi agar tidak semakin meningkat akumulasinya di dalam tanah sawah.

Pengendalian pencemaran lingkungan pertanian, khususnya pencemaran pada lahan sawah ditujukan untuk (1) pengendalian sumber dan penyebab pencemaran dan (2) pengendalian dampak yang terjadi pada lahan sawah, tanah, air, dan tanaman. Pengendalian sumber dan penyebab pencemaran lebih ditujukan bagi para pelaku pencemaran, dalam hal ini di antaranya adalah industri batu alam. Upaya pengendalian sumber dan penyebab pencemaran dapat dilakukan dengan penataan kembali keberadaan atau kelayakan sumber pencemar melalui penegakan peraturan dan perundang-undangan serta pengawasan yang ketat tentang kewajiban pelaku industri mengoptimalkan fungsi instalasi pengolah air limbah (IPAL), dan optimalisasi fungsi pengawasan dan pengendalian oleh Badan Pengendali Dampak Lingkungan (Bappedal).

Pengendalian dampak pencemaran pada lahan sawah difokuskan pada upaya penanggulangan objek yang terkena dampak, dalam hal ini adalah lahan sawah (tanah, air, tanaman dan hasil atau produk pertanian). Fokus utama pengendalian pencemaran lahan sawah adalah menyehatkan atau memperbaiki kualitas lahan yang sudah tercemar, yang meliputi kualitas biofisik, sifat-sifat kimia dan kesuburan tanah termasuk aktivitas makro/mikro fauna tanah. Tolok ukur atau indikator keberhasilan penyehatan atau perbaikan kualitas lahan mengacu pada batas kritis atau ambang batas unsur-unsur yang merugikan tanah, air, dan tanaman seperti bahan beracun berbahaya (B3) dan logam berat. Oleh sebab itu, batas kritis atau ambang batas logam berat dan B3 dalam tanah harus dijadikan acuan untuk melakukan tindakan hukum bagi pelaku pencemaran dan kerusakan lingkungan. Namun, batas kritis atau ambang batas B3 dan logam berat dalam tanah belum ada. Untuk sementara dapat digunakan ambang batas B3 dan logam berat yang dimiliki oleh beberapa negara di luar negeri, dan sudah saatnya penetapan nilai ambang batas B3 dan logam berat dalam tanah di Indonesia segera diwujudkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji SS., D. Sunarsih, S. Hamda. 2008. Pencemaran logam berat dalam tanah dan tanaman serta upaya menguranginya. Seminar Nasional Kimia XVIII di FMIPA UGM, Yogyakarta. 19 hal.
- Alloway, B.J., (1995), *Heavy Metals in Soils*, Second Edition, Blackie Academic & Professional. An Imprint of Chapman & Hall. Glasgow.
- Andarani, P. Roosmini, D. 2009. Profil Pencemaran Logam Berat (Cu, Cr, dan Zn) pada Air Permukaan dan Sedimen di Sekitar Industri Tekstil PT X (Sungai Cikijing), Faculty of Civil and Environmental Engineering, ITB.

- Anonymous. 1992 Water Quality Assesments, Edited by Chapman and Hall Ltd. London. 585p UNESCO/WHO/UNEP.
- Anonimus. 2000. Pengkajian Baku mutu Tanah pada Lahan Pertanian. Laporan Akhir Kerjasama Antara Proyek Pengembangan Penataan Lingkungan Hidup Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Jakarta dan Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat – Badan Litbang Pertanian, No. 50/Puslittanak/2000, (Tidak dipublikasikan).
- Anonimus. 2013. Laporan Verifikasi Sengketa Lingkungan Hidup Akibat Pembuangan Limbah ke Sungai Cikijing, Kementerian Lingkungan Hidup.
- Birry, A.A. dan H. Meutia. 2016. Konsekuensi Tersembunyi : Valuasi Kerugian Ekonomi Akibat Pencemaran Industri, <http://www.greenpeace.org/seasia/id/PageFiles/724033/Laporan%20Melawan%20Limbah.pdf>. Diunduh 09 Februari 2017.
- BPS. 2018. Kabupaten Cirebon Dalam Angka 2018. Badan Pusat Statistik Kabupaten Cirebon.
- BPS. 2018. Kecamatan Depok Dalam Angka 2018. Badan Pusat Statistik Kabupaten Cirebon.
- BPS. 2018. Kecamatan Dukupuntang Dalam Angka 2018. Badan Pusat Statistik Kabupaten Cirebon.
- BPS. 2018. Kecamatan Palimanan Dalam Angka 2018. Badan Pusat Statistik Kabupaten Cirebon.
- BPS. 2018. Kecamatan Gempol Dalam Angka 2018. Badan Pusat Statistik Kabupaten Cirebon.
- BPS. 2018. Kecamatan Jamblang Dalam Angka 2018. Badan Pusat Statistik Kabupaten Cirebon.
- BPS. 2018. Kecamatan Klenganan Dalam Angka 2018. Badan Pusat Statistik Kabupaten Cirebon.
- Dinas Lingkungan Hidup. 2017. Laporan Akhir Masterplan Penanganan Limbah Batu Alam Kabupaten Cirebon. Dinas Lingkungan Hidup, Pemerintah Kabupaten Cirebon.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan.
- Follet RH, Murphy, RL Donahue. 1981. *Fertilizer and Soil Amandements*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Hu, Y., Xueping Liu, Jinmei Bai, Kaimin Shih, Eddy Y. Zeng, and Hefa Cheng, 2013. Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. *Environ Sci Pollut Res*. 20:6150–6159.
- KLH-Dalhousie University. 1992. Environmental Managemental Development in Indonesia, p.5-8, In Indonesia Environmental Soil Quality Criteria for Contaminated Site. Project of the Ministry States for Population and Environmental Republic of Indonesia and Dalhousie University Canada With Support form tha Canadian International Development Agency.

- Komarawidjaja, W. 2016. Sebaran Limbah Cair Industri Tekstil Dan Dampaknya Di Beberapa Desa Kecamatan Rancaekek Kabupaten Bandung, Jurnal Teknologi Lingkungan (JTL) Vol 17, No.2 : 118-125. P-ISSN 1441-318X, e-ISSN 2548-6101.
- Komarawidjaja, W. 2017. Paparan Limbah Cair Industri Mengandung Logam Berat pada Lahan Sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung. Jurnal Teknologi Lingkungan. 18 (2): 173-181
- Kurnia, U., H. Suganda, R. Saraswati, dan Nurjaya. 2004. Teknologi pengendalian pencemaran lahan sawah. Hlm. 251-281. Dalam Tanah sawah dan Teknologi Pengelolaannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Kurniasih, Y.A. 2008. Fitoremediasi Lahan Pertanian Tercemar Logam Berat Kadmium Dan Tembaga Dari Limbah Industri Tekstil, Skripsi, Departemen Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. 60 hal. <https://core.ac.uk/download/pdf/32348987.pdf>. Diunduh 14-11-2016.
- Mukimin, A., H. Vistanty, I.R. Juliasari, A. Budiarto, J.A. Fatkhurahman. 2016. Aplikasi limbah padat batu alam sebagai substitusi *fine agregat* paving blok, batako dan bahan baku semen. Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri. 7(1):1-12.
- Munarso, J. and D. Setyorini. 2004. Heavy Metal Distribution in Relevant Arable Soil and Staple Crops in Indonesia. Codex Food Savety. JIRCAS, Tokyo.
- Nagajyoti PC, LeeKD, and Sreekanth T.V.M. 2010. Heavymetals, occurrence and toxicity for plants: a review. Environ Chem Lett. 8(3):199–216.
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. http://www.minerba.esdm.go.id/library/sijh/PP-8201_KualitasAir.
- Prahotama, A. 2013. Estimasi Kandungan Do (Dissolved Oxygen) Di Kali Surabaya Dengan Metode Kriging. Jurnal Statistik Vol. 1 (2) : 9-14.
- Sabaiq A., PN. Budisejati. 2017. Sistem pemantauan kadar pH, suhu dan warna pada air sungai melalui web berbasis wireless sensor network. Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer. 5(3):94-100.
- Saraswati, R dan Sumarno. 2008. Pemanfaatan mikroba penyubur tanah sebagai komponen teknologi pertanian. IPTEK Tanaman Pangan 3(1):42-58.
- Sarwari, G., H. Schmeisky, N. Hussain, S. Muhammadi, M. Ibrahim, and Ehsan Safdar. 2008. Improvement of soil physical and chemical properties with compost application in rice-wheat cropping system. Pak. J. Bot., 40(1): 275-282.
- Skladany, G. J., and F. B. Metting. 1993. Bioremediation of contaminated soil. p. 483-513. Metting, F.B. (Ed.). In Soil Microbial Ecology. Application in Agriculture and Environmental Management. New York: Marcel Dekker Inc.
- Smejkalova, M., O. Mikanova, and L. Boruvka. 2003. Effects of heavy metal concentrations on biological activity of soil micro-organisms. Plant soil Environ. 49 (7): 321–326.
- Suganda, H., D. Setyorini, H. Kusnadi, I. Ssripin, and U. Kurnia. 2002. Evaluation of the effect of liquid wastes from factories on the sustainability of rice production.

Paper presented at Preliminary Seminar of Multifunctionally of Paddy Field, Bogor 2 October 2002.

- Tanung ARM., R. Munadi, DD. Sanjoyo. 2018. Desain dan implementasi detektor pencemaran air sungai menggunakan wireless sensor network. *Proceeding of Engineering*. 5(3):4643-4649.
- Tarigan, MS. Dan Edward. 2003. Kandungan Total Zat Padat Tersuspensi (Total Suspended Solid) Di Perairan Raha, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Makara Sains* Vol.7 (3) : 109-119
- Thohiron, M. Dan Prasetyo, H. 2012. Pengelolaan Lahan dan Budidaya Tanaman Lahan Terdampak Lumpur Marine Sidoarjo. *J-PAL* Vol. 3 (1) : 19-27.
- Umami, N. S. D. dan L. S. Akliyah. 2016. Kajian Dampak Pencemaran Air Limbah Industri Terhadap Kondisi Fisik Lingkungan, Sosial-Ekonomi Masyarakat Kecamatan Rancaekek Kabupaten Bandung. (The Study of Industrial Water Pollution Impact toward The Physical Environment and Social-Economic at Rancaekek Residence Kabupaten Bandung). *Prosiding Perencanaan Wilayah dan Kota* Volume 2, No.2:167-175. ISSN: 2460-6480.
- US EPA. 2011. Exposure factors handbook 2011 edition. <http://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>
- Yaron, B., R. Calvet and R. Prost. 1996. *Soil Pollution, Processes and Dynamics*. Springer. New York.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamental of Rice Crop Science*. Los Banos, Laguna: IRRI.
- Yustisia, D., dan C. Sugiyanto. 2014. Analisis empiris environmental Kuznets Curve (EKC) terkait orientasi energi. *Jurnal Ekonomi dan Studi Pembangunan*. 15 (2): 161-170.

Lampiran 1. Hasil analisis laboratorium tanah sawah di lokasi penelitian tahun 2019

No. Lapang	IKM-ITSL-22	IKM-ITSL-24	IKM-ITSL-25	Olsen	IKM-ITSL-02	HCI25%	IKM-ITSL-05					KB	IKM-ITSL-09				DTPA					IKM-ITSL-11		
	pH 1:5	Walkley & Black	Kjeldahl		HCI25%		NNH ₄ OAc pH 7.0						DTPA				Tekstur (Metode Pipet)							
	H ₂ O	C-org	N-Total	P*	P	K*	Ca	Mg	K	Na	KTK	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb*	Cd*	As**	Hg**	Cr*	Pasir	Debu	Liat	
	..(%)..	..(%)..	..(%)..	...(ppm)...(cmol ⁺ /kg).....	..(%)..(ppm).....			(ppm).....			(%).....								
BA 1	6.83	0.91	0.18	86.29	425.92	309.44	11.65	3.62	0.47	0.42	21.21	76.24	202.31	16.46	1.07	26.43	0.42	0.04	0.0033	0.0019	tr	20.97	53.90	25.12
BA 2	5.95	1.19	0.11	69.72	210.22	91.02	8.66	2.96	0.15	0.42	16.25	75.00	225.85	9.79	1.43	45.83	0.53	0.04	0.0012	0.0033	tr	30.74	45.13	24.13
BA 3	6.55	0.94	0.16	73.94	255.43	194.78	10.74	4.61	0.43	0.43	21.98	73.73	89.76	14.34	0.73	27.59	0.03	0.03	0.0021	0.0015	tr	26.56	50.77	22.66
BA 4	6.61	0.66	0.13	68.29	338.15	180.77	9.58	3.47	0.42	0.75	23.29	61.10	94.96	14.36	1.74	36.15	0.39	0.02	0.0027	0.0006	tr	18.77	59.15	22.09
BA 5	6.32	0.96	0.21	74.24	283.70	181.61	10.03	3.55	0.43	0.47	20.73	69.82	117.89	13.44	1.34	47.33	0.30	0.03	0.0033	0.0002	tr	28.69	48.39	22.91
BA 6	6.07	1.32	0.19	87.62	399.17	183.67	9.86	4.42	0.48	0.30	21.79	69.14	264.65	11.52	3.02	48.73	0.64	0.04	0.0059	0.0013	tr	42.83	33.07	24.10
BA 7	6.77	1.23	0.17	91.61	499.08	178.50	8.66	2.41	0.25	0.29	11.70	99.13	106.94	31.06	2.06	17.27	0.69	0.03	0.0080	0.0008	0.02	33.13	62.69	4.18
BA 8	6.29	1.31	0.12	123.08	240.50	183.32	8.19	3.63	0.76	0.41	15.53	83.59	214.64	14.07	1.53	53.92	0.23	0.04	0.0013	0.0008	tr	47.22	35.62	17.16
BA 9	5.88	1.62	0.16	57.27	323.49	119.74	9.89	4.48	0.27	0.42	25.47	59.08	369.42	11.07	2.01	117.22	1.49	0.03	0.0009	0.0002	tr	8.53	64.36	27.11
BA 10	5.65	2.19	0.14	70.66	589.57	159.03	10.26	4.80	0.49	0.38	27.88	57.14	545.76	16.14	6.11	91.80	1.81	0.07	0.0032	0.0006	tr	36.96	11.66	51.38
BA 11	5.90	0.86	0.13	64.72	254.62	142.39	10.04	4.81	0.22	0.31	22.72	67.66	257.06	9.17	1.50	41.09	0.43	0.03	0.0008	0.0006	tr	35.10	3.84	61.07
BA 12	6.22	1.27	0.12	87.63	370.62	132.06	10.43	4.74	0.25	0.36	20.68	76.32	234.99	8.70	1.53	141.82	0.49	0.04	0.0011	0.0008	tr	21.27	45.00	33.73
BA 13	6.32	0.73	0.19	115.57	79.71	103.80	9.20	5.12	0.24	0.34	16.21	91.92	102.84	6.81	1.32	73.85	0.60	0.02	0.0089	0.0002	tr	40.47	37.56	21.97
BA 14	5.47	1.47	0.21	77.74	126.12	92.28	8.56	3.51	0.19	0.32	20.64	60.92	451.77	7.82	5.66	123.54	1.14	0.03	0.0055	0.0004	tr	25.27	36.60	38.13
BA 15	5.93	1.95	0.23	94.48	179.36	170.94	11.08	5.03	0.38	0.39	29.33	57.56	246.33	8.82	2.14	35.73	0.92	0.04	0.0006	0.0004	tr	31.27	43.97	24.76
BA 16	5.89	1.38	0.19	84.88	276.35	141.64	10.29	3.64	0.26	0.35	18.53	78.46	374.75	10.30	1.76	44.96	0.95	0.04	0.0033	0.0006	tr	38.67	42.13	19.20
BA 17	6.46	1.54	0.14	69.48	121.79	130.65	13.10	5.51	0.21	0.48	32.45	59.50	126.46	8.30	1.81	72.86	2.32	0.06	tr	0.0004	tr	14.25	44.52	41.23
BA 18	6.58	1.34	0.12	67.11	126.58	185.25	10.83	4.63	0.54	9.61	36.42	70.32	126.60	5.43	2.24	88.99	2.68	0.04	0.0032	0.0002	tr	7.44	46.32	46.24
BA 19	6.33	1.22	0.14	69.92	43.39	79.10	12.33	4.42	0.18	0.48	24.40	71.35	80.42	6.44	1.74	137.22	1.19	0.06	0.0042	0.0008	tr	27.63	40.49	31.89
BA 20	6.14	3.00	0.16	113.77	85.12	105.25	11.23	4.28	0.31	0.52	28.51	57.28	151.61	8.71	2.61	49.08	1.55	0.07	0.0055	0.0002	tr	20.83	44.23	34.93
BA 21	6.00	1.89	0.23	73.81	401.64	208.97	11.89	5.05	0.29	0.48	24.38	72.67	255.04	13.86	2.08	47.66	1.43	0.05	0.0040	0.0006	tr	30.93	47.42	21.64
BA 22	6.24	1.19	0.18	152.14	121.97	91.59	13.62	5.34	0.20	0.37	26.08	74.89	147.39	9.67	2.55	39.07	2.54	0.07	0.0023	0.0006	tr	40.58	32.92	26.51
BA 23	6.59	1.18	0.21	114.58	49.03	77.81	11.65	5.79	0.22	0.39	25.23	71.55	115.47	7.62	2.43	41.71	0.88	0.05	0.0017	0.0006	tr	29.67	41.41	28.92
BA 24	6.52	1.60	0.21	133.76	134.13	185.25	13.95	7.89	0.54	0.51	28.15	81.31	142.71	7.83	3.66	72.75	1.34	0.05	0.0008	0.0006	tr	22.47	36.35	41.18

Lampiran 1. Lanjutan

No. Lapang	IKM-ITSL-22	IKM-ITSL-24	IKM-ITSL-25	Olsen	IKM-ITSL-02	HCI25%	IKM-ITSL-05					KB	IKM-ITSL-09				DTPA					IKM-ITSL-11		
	pH 1:5	Walkley & Black	Kjeldahl		HCI25%		NH ₄ OAc pH 7.0						DTPA				DTPA					Tekstur (Metode Pipet)		
	H ₂ O	C-org	N-Total	P*	P	K*	Ca	Mg	K	Na	KTK	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb*	Cd*	As**	Hg**	Cr*	Pasir	Debu	Liat	
		..(%)..	..(%)..	...(ppm)...(cmol(+) /kg).....					..(%)..(ppm).....												(ppm).....
BA 25	6.53	1.48	0.14	84.83	75.08	106.21	14.54	9.51	0.21	0.91	29.19	86.23	98.62	6.62	2.04	55.88	0.89	0.05	0.0023	0.0002	tr	16.90	34.72	48.38
BA 26	6.69	0.70	0.23	118.23	375.22	168.44	10.55	5.45	0.31	0.30	17.42	95.35	216.20	7.40	1.30	48.23	0.26	0.05	0.0029	0.0008	tr	43.57	31.71	24.72
BA 27	6.25	1.10	0.18	100.55	191.51	79.95	13.53	6.75	0.18	0.46	29.29	71.44	86.69	9.03	2.65	77.43	1.86	0.04	0.0002	tr	tr	25.80	29.02	45.17
BA 28	6.25	1.91	0.19	177.53	259.27	840.11	10.38	5.26	4.45	0.36	25.13	81.34	555.15	15.15	5.06	59.68	4.27	0.06	0.0025	0.0004	tr	36.65	30.88	32.47
BA 29	5.78	1.75	0.24	128.41	403.65	240.73	13.91	6.38	0.72	0.88	31.09	70.41	236.24	11.00	2.35	91.13	3.80	0.04	0.0026	0.0006	tr	18.74	42.14	39.12
BA 30	6.25	1.59	0.18	169.46	206.85	158.34	14.35	8.01	0.43	0.63	33.60	69.72	161.77	11.87	1.80	84.01	0.69	0.04	0.0004	0.0006	tr	21.84	41.40	36.75
BA 31	6.37	1.05	0.28	125.60	175.47	212.17	14.79	8.74	0.44	0.44	35.02	69.68	108.29	7.37	1.86	83.99	0.87	0.05	0.0015	0.0006	tr	18.77	36.12	45.10
BA 32	6.94	0.96	0.30	151.01	136.42	213.62	16.66	10.92	0.49	0.92	40.33	71.87	59.78	6.05	1.86	64.45	1.60	0.05	0.0028	0.0004	tr	12.65	23.79	63.56
BA 33	6.65	1.33	0.23	97.73	70.49	132.28	13.99	10.24	0.31	1.14	29.29	87.70	84.12	6.38	16.00	88.59	1.51	0.05	0.0011	tr	tr	19.25	34.01	46.74
BA 34	6.14	1.20	0.18	103.44	250.13	157.83	13.21	7.58	0.38	0.40	26.22	82.28	117.11	8.03	4.10	113.92	0.54	0.05	0.0015	tr	tr	32.07	28.67	39.25

Lampiran 2. Lampiran Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air

PARAMETER	SATUAN	KELAS				Keterangan
		I	II	III	IV	
FISIKA						
Temperatur	°C	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 5	Deviasi temperatur dari keadaan alamiahnya
Residu Terlarut	mg/L	1000	1000	1000	2000	
Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, residu tersuspensi \leq 5000 mg/L
KIMIA ANORGANIK						
pH		6 - 9	6 - 9	6 - 9	5 - 9	Apabila secara alamiah di luar rentang tersebut, maka ditentukan berdasarkan kondisi alamiah
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	4	3	0	Angka batas minimum
Total fosfat sbg P	mg/L	0,2	0,2	1	5	
NO ₃ sebagai N	mg/L	10	10	20	20	
NH ₃ -N	mg/L	0,5	(-)	(-)	(-)	Bagi Perikanan, kandungan amonia bebas untuk ikan yang peka \leq 0,02 mg/L sebagai NH ₃
Arsen	mg/L	0,05	1	1	1	
Kobalt	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
Barium	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
Boron	mg/L	1	1	1	1	
Selenium	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
Kadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
Khrom (VI)	mg/L	0,05	0,05	0,05	1	
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Cu \leq 1 mg/L
Besi	mg/L	0,3	(-)	(-)	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Fe \leq 5 mg/L
Timbal	mg/L	0,03	0,03	0,03	1	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Pb \leq 0,1 mg/L

Lampiran 2. Lanjutan

PARAMETER	SATUAN	KELAS				Keterangan
		I	II	III	IV	
FISIKA						
Mangan	mg/L	0.1	(-)	(-)	(-)	
Air Raksa	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
Seng	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Zn ≤ 5 mg/L
Klorida	mg/L	600	(-)	(-)	(-)	
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	(-)	
Fluorida	mg/L	0.5	1,5	1,5	(-)	
Nitrit sebagai N	mg/L	0,06	0,06	0,06	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, NO ₂ -N ≤ 1 mg/L
Sulfat	mg/L	400	(-)	(-)	(-)	
Klorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	(-)	Bagi ABAM tidak dipersyaratkan
Belerang sebagai H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, S sebagai H ₂ S < 0,1 mg/L
MIKROBIOLOGI						
- Fecal coliform	Jml/100 ml	100	1000	2000	2000	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, fecal coliform ≤ 2000 jml/100 mL dan Total coliform ≤ 10000 jml/100 mL
- Total coliform	Jml/100 ml	1000	5000	10000	10000	
RADIOAKTIVITAS						
- Gross- A	Bq/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
- Gross- B	Bq/L	1	1	1	1	
KIMIA ORGANIK						
Minyak dan Lemak	ug/L	1000	1000	1000	(-)	
Detergen sebagai MBAS	ug/L	200	200	200	(-)	
Senyawa Fenol sebagai fenol	ug/L	1	1	1	(-)	
BHC	ug/L	210	210	210	(-)	
Aldrin /Dieldrin	ug/L	17	(-)	(-)	(-)	
Chlordane	ug/L	3	(-)	(-)	(-)	
DDT	ug/L	2	2	2	2	