

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Prasetyo (2013) telah melakukan penelitian tentang perbandingan penggunaan arang aktif kulit kacang tanah-biosand filter dan Mn-Zeolit-Biosand Filter untuk menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dalam air limbah industri farmasi. Reaktor biosand filter terdiri dari 3 komponen, yaitu kerikil (lapisan bawah), pasir kasar (lapisan tengah) dan Mn-zeolit/arang aktif (lapisan atas). Hasil analisis kadar COD dan BOD menggunakan pasir kasar dan kerikil, penurunan kadar COD sebesar 13,28% dan penurunan kadar BOD sebesar 17,39%. Hasil analisis kadar COD dan BOD menggunakan Mn-zeolit terjadi penurunan kadar COD sebesar 43,75% dan BOD 37,68%. Sedangkan menggunakan arang aktif kulit kacang tanah, penurunan kadar COD sebesar 34,38% dan BOD sebesar 31,88%. Hasil analisis kadar COD dan BOD menggunakan Mn-zeolit-biosand filter terjadi penurunan kadar COD sebesar 58,59% dan BOD sebesar 43,47%. Sedangkan menggunakan arang aktif kulit kacang tanah-biosand filter, penurunan kadar COD 42,96% dan BOD 33,33%.

Mazlan, dkk (2016) melakukan penelitian tentang karbon aktif dari serbuk gergaji kayu karet melalui metode aktivasi fisik dengan menggunakan karbon dioksida. Sebelum proses aktivasi, bahan dikarbonisasi dengan aliran N₂ gas 600 ml/menit selama 1 jam pada suhu yang sesuai untuk menghasilkan arang. Pengaruh suhu aktivasi (700, 720, 740, dan 760 °C) dan waktu (60, 90, dan 120 menit) pada hasil massa dan karakteristik karbon aktif. Hasil dari penelitian, karbon aktif menurun ketika dipanaskan pada suhu aktivasi yang lebih tinggi dan meningkat pada waktu yang lebih lama. Pada suhu yang lebih tinggi, luas permukaan dan volume pori meningkat tetapi pemanasan yang berlebihan bisa memecahkan struktur pori. Kinerja karbon aktif diuji dalam

hal kapasitas adsorpsi untuk gas dan cair yang diwakili oleh benzena dan trichloroethylene. Hasilnya yaitu menunjukkan arang aktif mampu menyerap kedua senyawa tersebut secara efisien.

Kulkarni, dkk (2013) melakukan studi karbon aktif dari tempurung kelapa yang digunakan sebagai adsorben. Pada penelitian ini fenol dari air limbah akan diadsorpsikan menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa di *fluidized bed*. Pengaruh pada proses adsorpsi berbagai parameter seperti konsentrasi, laju aliran fluida dan ukuran partikel adsorben. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa adanya peningkatan presentase saturasi dengan peningkatan konsentrasi awal fenol dan laju aliran. Konsentrasi inlet fenol dan aliran secara bertingkat memiliki pengaruh yang signifikan pada proses adsorpsi.

Pudyastawan (2014) telah melakukan penelitian arang aktif dari limbah serbuk gergaji kayu jati dan mengetahui efektifitas arang aktif mesh 60 dalam menyerap polutan kromium (Cr), timbal (Pb), cadmium (Cd) dan zat warna yang terkandung dalam limbah cair batik. Hasil penelitian diperoleh nilai rendemen sebesar 11,29%, nilai kadar air sebesar 3,58%, nilai kadar mudah menguap sebesar 14,39%, nilai kadar abu 12,62%, dan nilai kadar karbon terikat 72,99%. Sebelum proses adsorpsi limbah cair batik mengandung kadar Cr 2,03 mg/l, kadar Pb 0,189 mg/l, kadar Cd 0,213 mg/l dan zat warna sebesar 12600 TCU. Sebesar proses adsorbs menggunakan arang aktif maksimal mampu menurunkan kadar Cr menjadi 0,0126 mg/l, kadar Pb kurang dari 0,0093 mg/l, kadar Cd kurang dari 0,0015 mg/l dan gradasi warna sebesar 13 TCU.

Mupa (2015) telah melakukan penelitian tentang adsorben (arang aktif) yang berasal dari sekam padi yang diperoleh dari petani di Mutoko North (Zimbabwe) dengan aktivasi kimia menggunakan asam fosfat dan digunakan dalam adsorpsi aspirin, parasetamol dan ibuprofen dari limbah rumah sakit. Karakteristik karbon aktif sekam padi dilakukan dengan menggunakan metode berikut: SEM, XRD, FT-IR. Analisis FT-IR menunjukkan adanya berbagai gugus fungsi yaitu seperti C=O, C=C, -OH

dan CH pada permukaan adsorben, sedangkan SEM mikrograf menunjukkan bahwa permukaan eksternal dari sekam padi yang diaktifkan karbon penuh dengan teratur berongga. Pola XRD menunjukkan puncak luas yang menunjukkan bahwa karbon aktif sekam padi yang dihasilkan memiliki struktur amorf. Studi kinetik menunjukkan bahwa adsorpsi ibuprofen, aspirin dan parasetamol mematuhi kinetika orde dua semu. Aspirin, parasetamol, dan ibuprofen terdeteksi pada dua limbah rumah sakit pada konsentrasi $0,117 \pm 0,0058$ mg/l, masing-masing $0,100$ mg/l dan $0,010 \pm 0,0006$ mg/l. Studi menunjukkan bahwa senyawa farmasi yang diteliti dapat dihilangkan dari air limbah menggunakan karbon aktif yang berasal dari sekam padi.

Goncalves, dkk (2012) melakukan studi mikro mesopori karbon aktif dari kulit kopi sebagai biomassa limbah untuk aplikasi lingkungan. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa bahan-bahan ini menunjukkan jumlah tinggi kelompok oksigen dan luas permukaan yang spesifik tinggi dengan mesopori mikro. Dari hasil SEM dapat terlihat bahwa terbentuk pori-pori setelah diaktivasi. Hasil adsorpsi karbon aktif dari kulit kopi sangat menjanjikan, dengan kapasitas adsorpsi tinggi untuk senyawa metilen biru (MB). Dengan demikian, penggunaan kulit kopi untuk karbon aktif dengan perkembangan porositas menunjukkan sebagai alternatif yang baik untuk transformasi limbah.

Borhan, dkk (2013) melakukan penelitian tentang karakterisasi karbon aktif dari serbuk gergaji kayu yang diaktivasi kimia menggunakan kalium hidroksida. Penelitian ini menggunakan tiga parameter yang berbeda, kondisi aktivasi optimal ditemukan pada suhu 500 °C, waktu aktivasi 60 menit dan impregnasi rasio 1:3. Hasil penelitian ini membuktikan kelayakan mempersiapkan karbon aktif dengan luas dan volume pori permukaan yang relative tinggi dari limbah serbuk kayu gergaji dengan aktivasi kimia menggunakan KOH. Nitrogen adsorpsi analisis desorpsi isotherm membuktikan mesopori di karbon aktif yang dihasilkan, menunjukkan bahwa hal itu dapat efektif digunakan sebagai bahan adsorpsi.

Maria (2017) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh konsentrasi klorin terhadap penurunan kadar (NH_3) pada cairan limbah domestik. Pengukuran data dilakukan dengan pengukurah pH, suhu dan kadar amoniak sebelum dan sesudah perlakuan dengan klorin. Analisis yang digunakan uji paired t test dan uji Anova. Hasil uji paired t test menunjukkan ada pengaruh pemberian klorin terhadap penurunan kadar amoniak (NH_3) pada air limbah domestik IPAL Kartika RSPAD Gatot Subroto, yaitu pada konsentrasi klorin 2,5 mg/l rata-rata kadar amoniak 14,72 mg/l, pada konsentrasi klorin 5 mg/l rata-rata kadar amoniak 12,92 mg/l dan pada konsentrasi klorin 7,5 mg/l rata-rata kadar amoniak 11,16 mg/l. Uji Anova menunjukkan nilai signifikan 0,000 yang berarti ada pengaruh pemberian klorin terhadap penurunan kadar amoniak.

Putri, dkk (2017) telah melakukan penelitian untuk mengetahui efektivitas penggunaan karbon aktif dan karang jahe sebagai filtrasi untuk mengurangi kadar limbah cair ammonia Rumah Sakit Semen Gresik dengan kadar ammonia sebelum penelitian ialah 0,51 mg/l. Penelitian ini menggunakan variasi 60 cm media karbon aktif, 60 cm karang jahe dan kombinasi karbon aktif dan karang jahe masing-masing 30 cm. Hasil tes Post Hoc menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antar variasi dalam mengurangi tingkat amoniak air limbah ($p \leq 0,05$). Efisiensi amoniak rata-rata setelah perlakuan karbon aktif adalah penurunan amoniak tertinggi yaitu 88,2 % atau dapat menurunkan kadar amoniak hingga 0,134 mg/l.

Omar dan Issa (2015) melakukan penelitian untuk menghasilkan karbon aktif dari daun kurma dan mempelajari karakteristik fisik dan morfologi. Karbon aktif dibuat dari limbah pertanian daun kurma dengan aktivasi menggunakan kalium hidroksida (KOH) pada 400 °C. Daun kurma dikarbonisasi dalam keadaan inert kemudian dicampur dengan KOH. Campuran itu kemudian diaktifkan secara termal dengan selanjutnya dicuci dan dikeringkan untuk memperoleh karbon aktif. Analisis dari hasil SEM menunjukkan bahwa karbon aktif tampak lebih berpori dari sebelum aktivasi menggunakan KOH serta terdapat pori-pori pada permukaan yang berguna

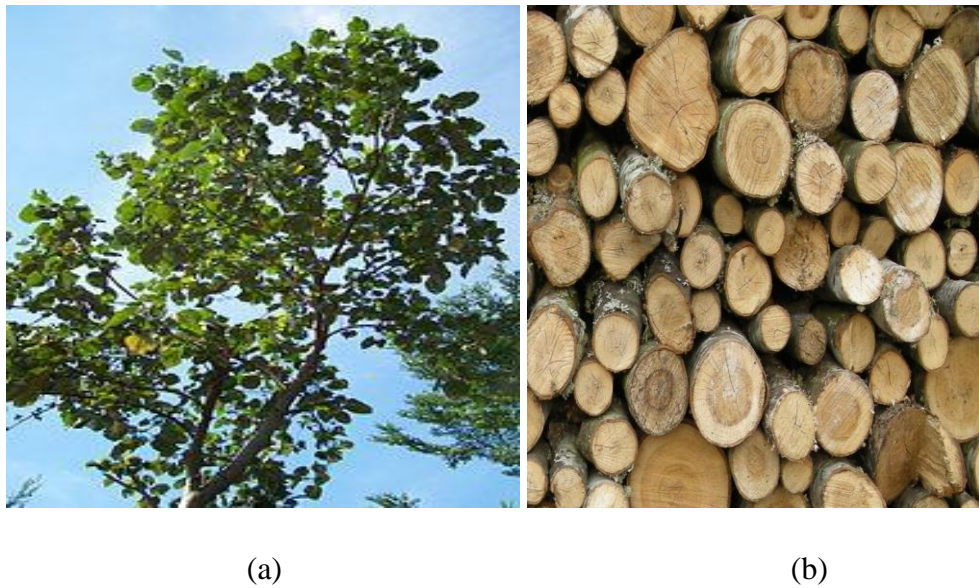
sebagai adsorben polutan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa daun kurma yang diaktifkan dengan KOH dapat digunakan sebagai bahan baku dalam produksi karbon aktif.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Kayu Waru

Dikutip dari laman *Wikipedia*, waru atau baru (*Hibiscus tiliaceus*, suku kapas-kapasan atau *Malvaceae*), telah lama dikenal sebagai pohon peeneduh tepi jalan atau tepi sungai dan pematang serta pantai. Walaupun tajuknya tidak terlalu rimbun, waru disukai karena akarnya tidak dalam sehingga tidak merusak jalan dan bangunan di sekitarnya. Waru masih semarga dengan kembang sepatu. Tumbuhan ini asli dari daerah tropika di Pasifik barat namun sekarang tersebar luas di seluruh wilayah Pasifik dan dikenal dengan berbagai nama: *hau* (bahasa Hawaii), *purau* (bahasa Tahiti), *beach Hibiscus*, *Tewalpin*, *Sea Hibiscus*, atau *Coastal Cottonwood* dalam bahasa Inggris. Di Indonesia tumbuhan ini memiliki banyak nama seperti: *baru* (Gayo, Belitung, Madura, Makassar, Sumba, Halmahera); *baru dowongi* (Ternate, Tidore); *waru* (Sunda, Jawa, Bali, Bugis, Flores); *haru*, *halu*, *faru*, *fanu* (aneka bahasa di Maluku).

Pohon yang bisa tumbuh 5- 10 meter ini tersebar luas di Asia Tenggara, Oceania dan Australia utara dan timur, Afrika bagian selatan, serta Hawaii. Di Indonesia sendiri kayu waru banyak dimanfaatkan sebagai bahan bangunan ataupun perahu, gagang perkakas, ukiran, serta kayu bakar. Daun dan bunganya dapat dijadikan obat karena daun waru mengandung saponin, flavonoida dan polifenol, sedangkan akarnya mengandung saponin, flavonoida serta tanin.



Gambar 2.1. (a) Pohon waru; (b) Kayu waru

2.2.2. Pengertian Zeolit

Zeolit merupakan senyawa alumino silikat hidrat terhidrasi dari logam alkali dan alkali tanah (terutama Ca dan Na), dengan rumus $L_m Al_x Si_y O_{2n} H_2O$ ($L = \text{logam}$). Sifat umum zeolit adalah merupakan Kristal yang agak lunak, berat jenis 2-2,4, warna putih kecoklatan atau kebiru-biruan. Kristalnya terwujud dalam struktur tiga dimensi tidak terbatas dan mempunyai rongga-rongga yang berhubungan dengan yang lain membentuk saluran kesegala arah dengan ukuran saluran tergantung dari garis tengah logam alkali atau alkali tanah yang terdapat pada strukturnya. Di alam saluran tersebut akan terisi oleh air yang disebut sebagai air kristal. Air kristal ini mudah dilepas dengan menggunakan pemanasan, mudah melakukan pertukaran ion-ion dari logam alkali atau alkali tanah dengan ion-ion elemen lain. Di Indonesia terdapat beberapa tambang zeolit yang sudah diketahui keberadaannya yaitu Jawa Barat, Jawa Tengah, Yogyakarta, Jawa Timur serta Nusa Tenggara Timur (sukandarrumidi, 2017).

Oleh Breck (dalam Inglezakis dan Antonius, 2012) dilaporkan bahwa telah ditemukan puluhan *spesies* zeolite, tetapi dari sekian banyak jenis hanya 9 jenis yang sering terdapat dalam mineral seperti tabel di bawah ini.

Tabel 2.1. *Spesies* zeolit yang umum didapatkan dalam batuan (Inglezakis dan Antonius, 2012)

Zeolit	Tahun Penemuan	Komposisi Unit Sel
Khabasit	1772	$\text{Ca}_2[(\text{AlO}_2)_4 (\text{SiO}_2)_8] 18 \text{ H}_2\text{O}$
Analsim	1784	$\text{Na}_{16}[(\text{AlO}_2)_{16} (\text{SiO}_2)_{32}] 16 \text{ H}_2\text{O}$
Heulandit	1785	$\text{Ca}_4 \text{ Al}_8 \text{ Si}_{16} \text{ O}_{48} 16 \text{ H}_2\text{O}$
Leumontit	1801	$\text{Ca}_4(\text{al}_8 \text{ Si}_{28} \text{ O}_{72}) 24 \text{ H}_2\text{O}$
Phillipsit	1824	$(\text{K},\text{Na})_{10} [(\text{AlO}_2)_{10} (\text{SiO}_2)_{22}] \text{ H}_2\text{O}$
Mordenit	1864	$\text{Na}_8 [(\text{AlO}_2)_8 (\text{SiO}_2)_{40}] 24 \text{ H}_2\text{O}$
Klinoptilotit	1890	$\text{Na}_6 [(\text{AlO}_2)_6 (\text{SiO}_2)_{30}] 24 \text{ H}_2\text{O}$
Erionit	1890	$(\text{Ca Mg K}_2 \text{ Na})_{4,5} [(\text{AlO}_2)_9 (\text{SiO}_2)_{27}] 27 \text{ H}_2\text{O}$
Ferrierit	1918	$(\text{K},\text{Na})_2 (\text{Ca Mg})_2 [(\text{Al}_6 \text{ Si}_{30} \text{ O}_{12})] 18 \text{ H}_2\text{O}$

Tabel 2.2. Sifat-sifat dari zeolit (Inglezakis dan Antonius, 2012)

Zeolit	Sistem Kristal	Void Volume %	Berat Jenis	Dimensi Saluran	Stabilitas Termal	Kapasitas Pertukaran Ion Meq/s
Khabasit	Hexagonal	47	2,05-2,10	3,7x4,2	Tinggi	3,81
Analsim	Kubik	18	2,24-2,29	2,6	Tinggi	4,54
Heulandit	Monoklinik	39	2,10-2,20	4,0x5,5 4,1x4,7	Rendah	2,23
Leumontit	Monoklinik	34	2,20-2,30	4,6x6,3	Rendah	4,25
Phillipsit	Ortorombik	31	2,15-2,20	4,2x4,4 2,8x4,8	Rendah	3,87
Mordenit	Ortorombik	28	2,12-2,15	2,9x5,7	Tinggi	2,29
Klinoptilotit	Monoklinik	397	2,16	3,9x5,4	Tinggi	2,54
Erionit	Heksagonal	35	2,02-2,08	3,6x5,2	Tinggi	3,12
Ferrierit	Ortorombic	-	2,14-2,21	4,3x5,5 3,4x4,8	Tinggi	2,23

2.2.2.1. Pengolahan dan Pemanfaatan Zeolit

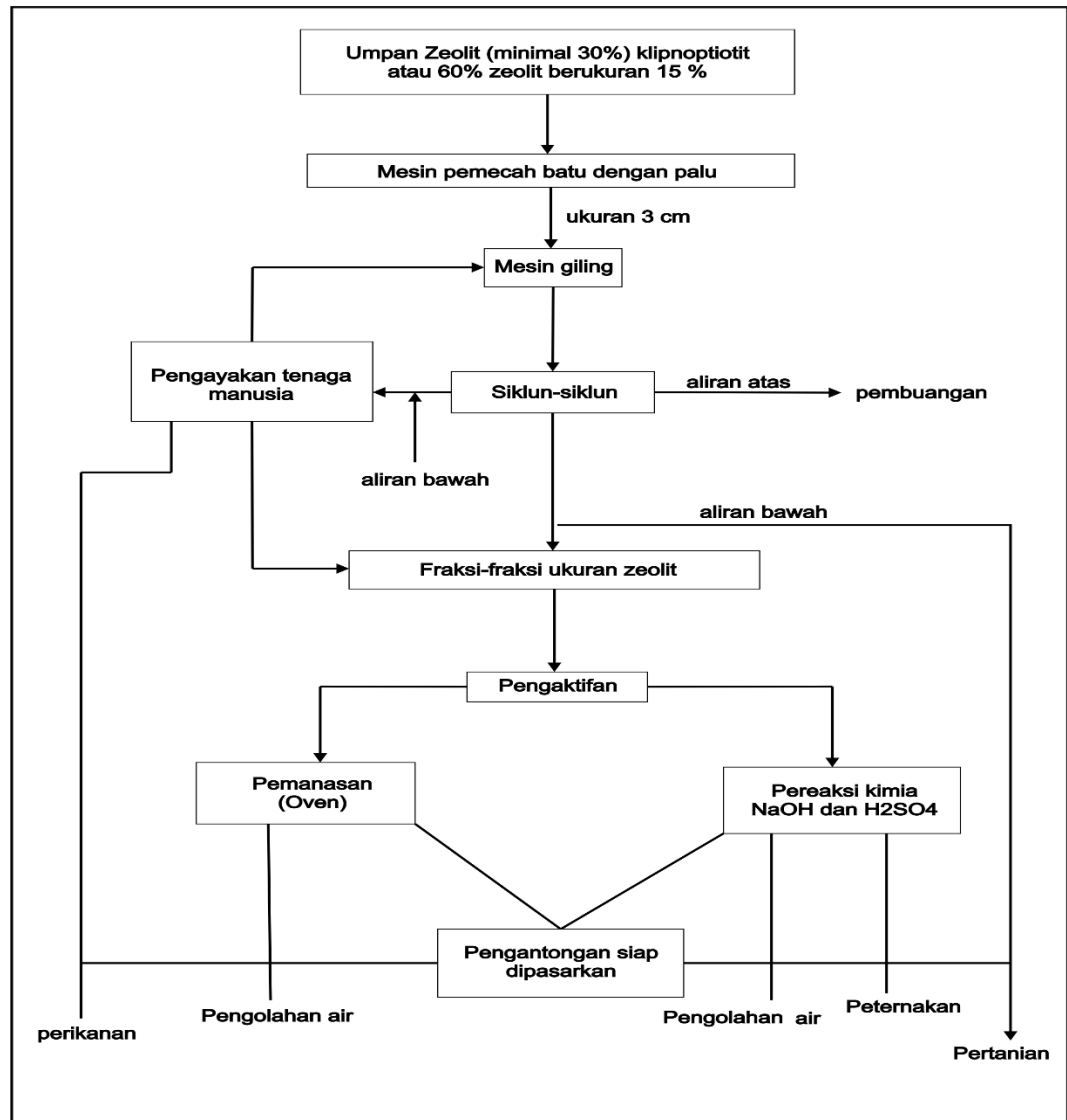
Menurut Sukandarrumidi (2017) pengolahan zeolit bertujuan untuk meningkatkan nilai tambah. Pada prinsipnya pengolahan dilakukan dengan 2 tahap yaitu :

➤ Tahap preparasi

Dengan mempertimbang zeolit mempunyai tingkat kekerasan yang rendah maka preparasi dengan menggunakan mesin giling yang mampu memproduksi sampai ukuran lebih kecil 100 mesh dan mengkombinasikan dengan sistem siklon untuk dapat mengelompokkan hasilnya menjadi fraksi-fraksi. Pemecahan batu secara manual juga dapat dilakukan, tetapi harus dilakukan proses pengayakan agar mendapatkan hasil yang sama rata.

➤ Proses aktivasi

Proses ini dilakukan dengan pemanasan dan atau dengan pereaksi yang dipergunakan sebagai pereaksi adalah NaOH dan H₂SO₄.



Gambar 2.2. Bagan alir pengolahan mineral zeolit (Sukandarrumidi, 2017)

Pemanfaatan zeolit cukup bervariasi antara lain :

- Bahan bangunan fisik
Zeolit yang dibentuk sebagai blok/balok dapat dipergunakan sebagai dinding rumah. Pekerjaan tambahan dalam bentuk pemolesan akan

memperjelas struktur dan tekstur sedimen lebih menarik. Akan tetapi, zeolite mudah lapuk dan mudah tererosi oleh air hujan karena mempunyai tingkat kekerasan rendah. Oleh karena itu pemakaian zeolite harus dihindarkan langsung dari sinar matahari dan air hujan.

- Bidang pertanian

Pemanfaatan zeolit dari jenis klinoptilolit pada tanah pertanian dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Biasanya pada pemupukan tanah zeolit dicampur dengan kapur untuk meningkatkan sifat kimia pada tanah tersebut sebelum masa tanam.

- Bidang perikanan

Pemberian zeolit pada kolam ikan bertujuan untuk menyerap ataupun mengontrol ammonium yang biasa dikeluarkan oleh ikan atau akibat pembusukan sisa makanan.

- Bidang peternakan

Pada bidang peternakan zeolit digunakan sebagai penambah atau campuran makanan ternak seperti unggas, babi, domba, sapi, dan binatang ternak lainnya. Zeolit akan menambah cepat pertumbuhan dan menambah berat badan ternak.

- Bidang lingkungan

Dalam bidang lingkungan, zeolit dapat dimanfaatkan untuk bahan penghilang bau, sebagai penangkal ion Ca^{+2} (dalam air), penyerap gas N_2 , O_2 , dan CO_2 , pengolahan limbah radioaktif, sebagai penyerap logam berat serta cukup bagus untuk pengolahan air buangan.

- Bidang industri

Contoh penggunaan zeolit pada bidang industri adalah sebagai bahan penjernih pada industri kelapa sawit.

2.2.3. Arang dan Arang Aktif

Arang adalah suatu bahan padat berpori yang mengandung 80 – 90 % karbon yang dihasilkan dari pembakaran pada suhu tinggi (karbonisasi),

sehingga bahan hanya terkarbonisasi dan tidak teroksidasi menjadi karbondioksida (Siahaan dkk, 2013).

Arang aktif atau karbon aktif didefinisikan sebagai produk serbuk, granular atau karbon pellet yang diperoleh dengan mengaktifkan dengan panas dan uap dengan berbagai bahan yang mengandung karbon yang dimasukkan tetapi tidak terbatas pada batubara (termasuk bitumen, lignit, dan antrasit), kayu, tempurung kelapa, batu zaitun, dan gambut. Perlakuan panas dan uap bertujuan untuk menghilangkan bahan organik dan membuat struktur pori internal dalam bahan karbon agar dapat menyerap kontaminan pada cairan ataupun gas (Pearson dkk, 2017).

Arang aktif adalah porositas (ruang) yang dikelilingi oleh atom karbon. Porositas memiliki ukuran molekul dan mungkin berbentuk celah. Arang aktif dapat dibuat dari kayu, batok kelapa, batu buah, batu bara dan sistem makromolekul sintetis yang diaktifkan dengan gasifikasi selektif dari atom karbon (aktivasi termal) dengan melibatkan asam fosfat. Arang aktif dapat digunakan untuk pemurnian air, udara serta pemisahan campuran gas (Marsh dan Francisco, 2006).



Gambar 2.3. Bentuk arang aktif

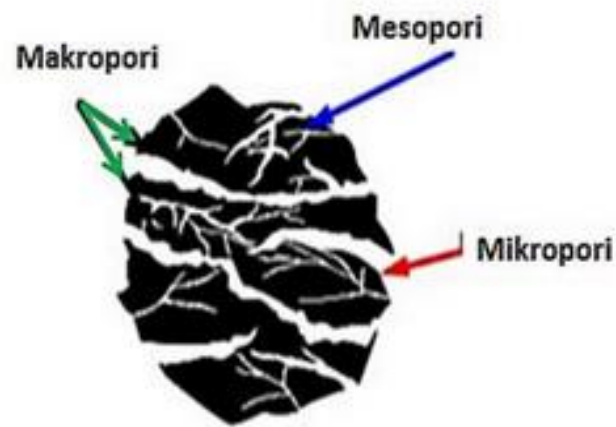
(<https://publicinsta.com/hashtag/washwatertreatment>, diakses pada

22/08/2019)

Menurut Jamil (2013) ada tiga bentuk arang aktif yang banyak dipasarkan dan digunakan :

1. Karbon aktif berbentuk serbuk dengan ukuran lebih kecil dari 0,18 mm. terutama digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Banyak digunakan pada industri pengolahan air minum, industri farmasi terutama untuk pemurnian glutamat, bahan tambahan makanan, penghilang warna asam furan, pengolahan pemurnian jus buah, penghalus gula, pemurnian asam sitrat, asam tartarik, pemurnian glukosa dan pengolahan zat pewarna kadar tinggi.
2. Karbon aktif bentuk granular/tidak beraturan dengan ukuran 0,2-5 mm. jenis umumnya digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Beberapa aplikasi dari jenis ini digunakan untuk pemurnian emas, pengolahan air, air limbah dan air tanah, pemurni pelarut dan penghilang bau busuk.
3. Karbon aktif bentuk pellet dengan diameter 0,8-5 mm. kegunaan utamanya adalah untuk aplikasi fasa gas karena mempunyai tekanan rendah, kekuatan mekanik tinggi dan kadar abu rendah. Jenis ini banyak digunakan untuk pemurnian udara, kontrol emisi, tromol otomotif, penghilang bau kotoran dan pengontrol emisi pada gas buang.

Oleh Buekens dkk (dalam Aisyah, 2019) membagi besarnya ukuran pori arang aktif ke dalam tiga kategori yaitu : makropori, mesopori, dan mikropori. Kondisi makropori, mesopori dan mikropori pada arang aktif dapat dilihat pada Gambar 2.5.

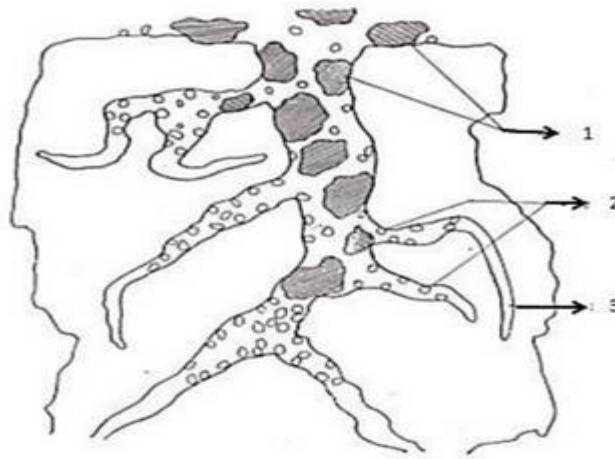


Gambar 2.4. Ukuran pori arang aktif (Aisyah, 2019)

- a. **Makropori** adalah ukuran pori arang aktif yang mempunyai diameter >50 nm dengan volume $0,8$ mL/g serta permukaan spesifik antara $0,5$ - 2 m²/g.
- b. **Mesopori** adalah pori-pori arang aktif yang diameternya berkisar antara 2 - 50 nm dengan volume sebanyak $0,1$ mL/g serta permukaan spesifik antara 20 - 70 m²/g.
- c. **Mikropori** adalah arang aktif dengan ukuran diameter lebih kecil dari 2 nm dan terbagi atas tiga bagian, yaitu, makro mikropori, meso mikropori, dan mini mikropori. Makro mikropori adalah pori dengan diameter pori antara 1 - 2 nm yang sangat baik dalam penyerapan pigmen tanaman dan sangat baik untuk adsorpsi molase. Meso mikropori adalah pori dengan diameter $0,5$ - 1 nm, sangat baik untuk menyerap zat warna terutama metilen biru. Mini mikropori adalah pori dengan diameter lebih kecil dari $0,5$ nm dan dapat digunakan dengan baik untuk penyerapan yodium dan fenol.

Banyaknya variasi ukuran pori merupakan salah satu parameter yang penting dalam hal kemampuan daya serap arang aktif terhadap molekul yang ukurannya bervariasi. Pori-pori yang berbentuk silinder lebih mudah tertutup dan dapat menyebabkan tidak aktifnya bagian

permukaan dari arang aktif tersebut. Jika arang aktif digunakan untuk penjernihan air, maka dibutuhkan lebih banyak pori-pori yang terbuka karena air sebagian besar mengandung macam-macam partikel.



Gambar 2.5. Pengaruh ukuran pori pada penyerapan fasa cair (Aisyah, 2019)

Keterangan :

- 1) Daerah yang memungkinkan pelarut dan bahan yang akan diserap dapat masuk
- 2) Daerah yang memungkinkan pelarut dan bahan yang lebih kecil yang akan diserap dapat masuk
- 3) Daerah yang hanya dimasuki pelarut

2.2.3.1. Proses Pengarangan

Pengarangan atau karbonisasi adalah proses mengubah bahan baku asal menjadi hitam melalui pembakaran dalam ruangan tertutup dengan udara yang terbatas dengan kapasitas udara yang seminimal mungkin. Prinsip proses pengarangan adalah pembakaran biomassa tanpa adanya kehadiran oksigen, sehingga yang terlepas hanya bagian zat terbang (*volatile matter*) sedangkan karbonnya tetap tinggal didalamnya.

Proses pembakaran dikatakan sempurna jika hasil pembakaran berupa abu berwarna keputihan dan seluruh energi didalam bahan organik dilepaskan. Apabila proses pembakaran dihentikan secara tiba-tiba ketika bahan masih dalam keadaan membara, bahan tersebut akan kurang sempurna bahkan arang yang dihasilkan berwarna kehitaman. Lamanya proses pengarangan ditentukan oleh jumlah dari volume bahan baku, ukuran parsial bahan, kerapatan bahan, tingkat kekeringan bahan, jumlah oksigen yang masuk dan asap yang keluar dari pembakaran (Saleh, 2013).

Secara umum pembakaran didefinisikan sebagai reaksi kimia atau reaksi persenyawaan bahan bakar dengan oksigen yang diikuti oleh sinar dan panas. Mekanisme pembakaran sangat dipengaruhi oleh keadaan dari keseluruhan proses pembakaran pada saat atom-atom dari komponen yang dapat bereaksi dengan oksigen dan membentuk produk yang berupa gas (Saputro dkk, 2015).



Gambar 2.6. Proses pengarangan menggunakan *retort*

Menurut Himawanto (2005) mekanisme pembakaran terdiri dari tiga tahap yaitu :

a. Pengeringan (*drying*)

Proses dimana bahan bakar mengalami kenaikan temperatur yang menyebabkan kadar air yang terkandung pada bagian luar sampel

menguap, sedangkan kadar air yang berada di bagian dalam sampel akan menguap melalui celah kecil atau pori-pori dari sampel tersebut.

b. Devolatisasi (*devolatization*)

Devolatisasi adalah tahapan saat sampel mulai terurai atau terdekomposisi. Yaitu terpisahnya ikatan kimia secara termal dan zat terbang (*volatile matter*) akan keluar dari partikel.

c. Pembakaran arang (*char combustion*)

Pada proses ini sampel akan menghasilkan sisa dari pembakaran berupa arang (*fixed carbon*) dan abu, lalu partikel pada sampel akan melewati proses oksidasi yang membutuhkan 70-80 % dari total waktu pembakaran. Laju pembakaran arang tergantung pada konsentrasi oksigen, temperatur gas, bilangan Reynold, ukuran dan porositas arang.

2.2.3.2. Proses Aktivasi

Proses aktivasi bertujuan untuk meningkatkan volume dan memperbesar luas permukaan atau diameter pori-pori sesudah proses karbonisasi/pengarangan berakhir. Dengan demikian, proses ini akan meningkatkan penyerapan komponen kimia yang akan melalui pori-pori tersebut (Winarno, 2014). Proses aktivasi juga bertujuan untuk memperluas diameter pori yang sudah terbentuk pada proses karbonisanu serta membentuk pori baru (Himma dan Dwi, 2018). Proses aktivasi ini dapat dilakukan dengan menggunakan dua cara yaitu :

a. Aktivasi Fisika

Aktivasi fisika atau dapat disebut juga sebagai aktivasi termal, dilakukan dengan mengalirkan uap atau gas (CO_2 , *steam*, udara, nitrogen dll) pada suhu tinggi 700-1100 °C (Himma dan Dwi, 2018). Tujuan utama aktivasi dengan uap panas adalah untuk menciptakan dan memperluas pori arang. Jadi jelas bahwa dengan uap panas tidak hanya memindahkan material yang tidak dikelola tetapi juga cukup efektif dalam membentuk dan melebarkan mikropori arang aktif dengan naiknya suhu (Aisyah, 2019).

b. Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia dilakukan dengan menggunakan bahan kimia yang merupakan bahan pengoksidasi maupun penghidrasi tertentu. Aktivasi kimia dilakukan dengan cara merendam arang dalam larutan pengaktifasi selama 24 jam, lalu ditiriskan dan dipanaskan pada suhu 600-900 °C selama 1-2 jam. Tujuan perendaman dengan aktivator adalah untuk meningkatkan daya serap arang aktif. Bahan kimia kimia yang dapat digunakan sebagai pengaktif adalah H_3PO_4 (asam fosfat), NH_4Cl (amonium klorida), AlCl_3 (aluminium klorida), HNO_3 (asam nitrat), KOH (kalium hidroksida), NaOH (natrium hidroksida), H_3BO_3 (asam borat), KMnO_4 (kalium permanganat), SO_2 (belerang dioksida), H_2SO_4 (asam sulfat), K_2SO_4 (kalium sulfat), ZnCl_2 (seng klorida), CaCl_2 (kalsium klorida), dan MgCl_2 (magnesium klorida).

Sebagai contoh adalah aktivasi kimia menggunakan H_3PO_4 (asam fosfat). Asam fosfat merupakan salah satu bahan kimia yang telah banyak digunakan untuk proses aktivasi kimia pada pembuatan arang aktif. Hal ini didasarkan pada beberapa keunggulan yang dimiliki oleh asam fosfat, diantaranya adalah mudah untuk di-*recovery*, biaya energy yang rendah dan menghasilkan *yield* karbon yang tinggi (Hambali dkk, 2016).

2.2.3.3. Syarat Mutu Arang Aktif

Arang bisa digunakan atau diterima di industry, jika memenuhi standar mutu. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk mutu arang aktif No 06-3730-1995 dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2.3. Tabel Standar Nasional Indonesia untuk mutu arang aktif No 06-3730 (Aisyah, 2019)

No	Uraian	Butiran	Serbuk
1	Zat volatil	Maks 15%	Maks 25%
2	Kadar air	Maks 4,4%	Maks 15 %
3	Kadar abu	Maks 2,5%	Maks 10%
4	Daya serap terhadap I ₂	Min 750 mg/g	Min 750 mg/g
5	Karbon aktif murni	Min 80%	Min 65%
6	Daya serap terhadap benzena	Min 25%	-
7	Kerapatan jenis curah	0,45-0,55 g/L	0,30-0,35 g/mL
8	Daya serap biru metilana	Min 60 mL/g	Min 120 mL/g
9	Kekerasan	80%	-

2.2.4. Polutan

Polutan adalah makhluk hidup, zat, energi, atau komponen penyebab pencemaran disebut polutan. Polutan makhluk hidup atau polutan biologi contohnya bakteri pada sampah dan kotoran. Polutan zat disebut juga polutan kimia, contohnya limbah yang mengandung logam merkuri (Hg), gas CO₂, gas CFC, debu asbes, dan pestisida. Sedangkan polutan energi disebut juga polutan fisik, misalnya panas dan radiasi (Aryulina dkk, 2004).

Menurut Effendi (2003) bahan pencemar (polutan) adalah bahan-bahan yang bersifat asing bagi alam atau bahan yang berasal dari alam itu sendiri yang memasuki suatu tatanan ekosistem sehingga mengganggu peruntukan ekosistem tersebut. Berdasarkan cara masuknya ke dalam lingkungan, polutan dikelompokkan menjadi dua, yaitu polutan alamiah dan polutan antropogenik. Polutan alamiah adalah polutan yang memasuki suatu lingkungan (misalnya badan air) secara alami, misalnya akibat letusan gunung berapi, tanah longsor, banjir, dan fenomena alam yang lain. Polutan yang memasuki ekosistem secara alamiah sukar dikendalikan.

Polutan antropogenik adalah polutan yang masuk ke badan air akibat aktivitas manusia, misalnya kegiatan domestik (rumah tangga), kegiatan urban (perkotaan), maupun kegiatan industri. Intensitas polutan antropogenik dapat dikendalikan dengan cara mengontrol aktivitas yang menyebabkan timbulnya polutan tersebut.

2.2.5. Limbah

Limbah adalah suatu benda atau zat yang mengandung berbagai bahan yang membahayakan kehidupan manusia, hewan, serta makhluk hidup lainnya. Limbah umumnya muncul sebagai hasil perbuatan manusia, termasuk industrialisasi. Kegiatan manusia lainnya, seperti kegiatan rumah tangga juga menghasilkan limbah. Masuknya limbah rumah tangga dan industri ke dalam sungai menyebabkan pencemaran atau polusi air sungai. Dalam pengertian lebih luas, pencemaran adalah perubahan yang tidak diinginkan pada lingkungan yang meliputi udara, daratan, dan air, baik secara fisik, kimia, ataupun biologi (Aryulina dkk, 2004).

2.2.6. Pengertian Limbah Cair

Limbah cair merupakan gabungan atau campuran dari air dan bahan-bahan pencemar yang dibawa oleh air, baik dalam keadaan terlarut maupun tersuspensi yang terbuang dari sumber domestik (perkantoran, perumahan, dan perdagangan), sumber industri, dan pada saat tertentu tercampur dengan air tanah, air permukaan, atau air hujan. Air tanah, air permukaan, dan air hujan pada kondisi tertentu masuk sebagai komponen limbah cair, karena pada keadaan sistem saluran pengumpulan limbah cair sudah rusak atau retak, air alam itu dapat menyatu dengan komponen limbah cair lainnya dan harus diperhitungkan upaya penanganannya (Soeparman dan Suparmin, 2001).

Peraturan pemerintah No. 20 tahun 1990 mengelompokkan kualitas air menjadi beberapa golongan menurut peruntukannya. Adapun penggolongan air menurut peruntukannya adalah sebagai berikut.

1. Golongan A, yaitu air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung, tanpa pengolahan terlebih dahulu.
2. Golongan B, yaitu air yang dapat digunakan sebagai baku air minum.
3. Golongan C, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan.
4. Golongan D, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian, usaha di perkotaan, industri, dan pembangkit listrik tenaga air.

2.2.7. Pengolahan Limbah Cair

Pengolahan limbah bertujuan untuk menetralkan air dari bahan-bahan tersuspensi dan terapung, menguraikan bahan organik biodegradable, meminimalkan bakteri patogen, serta memperhatikan estetika dan lingkungan (Arief, 2016). Pengolahan air limbah dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

1. Secara Alami

Pengolahan air limbah secara alami dapat dilakukan dengan membuat kolam stabilisasi. Dalam kolam stabilisasi, air limbah diolah secara alamiah untuk menetralkan zat-zat pencemar sebelum dialirkan ke sungai. Kolam stabilisasi yang umum digunakan adalah kolam anaerobik, kolam fakultatif (pengolahan air limbah yang tercemar bahan organik pekat), dan kolam maturasi (pemusnahan mikroorganisme patogen). Karena biaya yang dibutuhkan murah, cara ini direkomendasikan untuk daerah tropis dan sedang berkembang.

2. Secara Buatan

Pengolahan air limbah dengan buatan alat dilakukan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pengolahan ini dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu :

➤ *Primary Treatment* (Pengolahan Pertama)

Primary treatment merupakan pengolahan pertama yang bertujuan untuk memisahkan zat padat dan zat cair dengan menggunakan filter

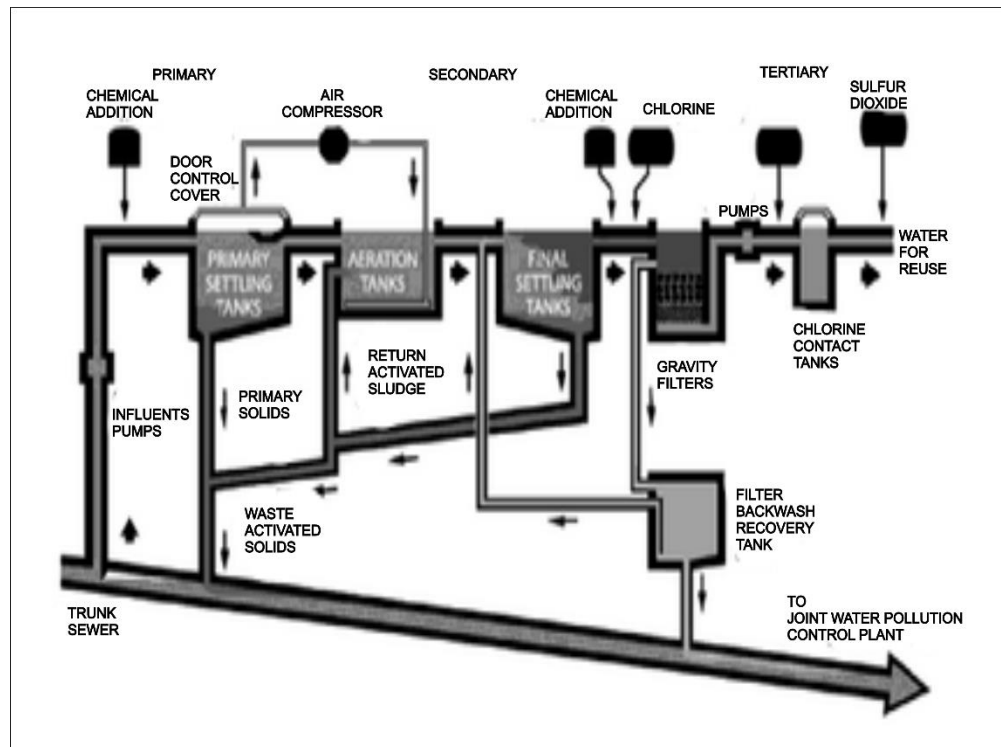
(saringan) dan bak sedimentasi. Beberapa alat yang digunakan adalah saringan pasir lambat, saringan pasir cepat, saringan multimedia, percoal filter, mikrostaining, dan vacuum filter.

➤ *Secondary Treatment* (Pengolahan Kedua)

Bertujuan untuk mengkoagulasikan, menghilangkan koloid, dan menstabilkan zat organik dalam limbah. Sedangkan pengolahan limbah rumah tangga bertujuan untuk mengurangi kandungan bahan organik, nutrisi nitrogen, dan fosfor. Penguraian bahan organik ini dilakukan oleh makhluk hidup secara aerobik (menggunakan oksigen) dan anaerobik (tanpa oksigen). Secara aerobik, penguraian dilakukan mikroorganisme dengan bantuan oksigen sebagai *electron acceptor* dalam air limbah. Selain itu, aktivitas aerobik ini dilakukan dengan bantuan lumpur aktif (*activated sludge*) yang banyak mengandung bakteri pengurai. Secara anaerobik, penguraian dilakukan tanpa menggunakan oksigen. Hasil dari aktivitas ini berupa biogas, uap air, dan *excess sludge*.

➤ *Tertiary Treatment* (Pengolahan Lanjutan)

Merupakan lanjutan dari pengolahan kedua, yaitu penghilangan nutrisi atau unsur hara khususnya nitrat dan fosfat, serta penambahan klor untuk memusnahkan mikroorganisme patogen.



Gambar 2.7. *Wastewater Treatment* (Arief, 2016)

2.2.8. Pemilihan Teknologi Pengolahan Limbah Cair

Pemilihan proses yang tepat didahului dengan mengelompokkan karakteristik kontaminan dalam air limbah dengan menggunakan indikator parameter yang ditampilkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Proses pengolahan dan peralatan yang diperlukan (Edy & Metcalf dalam Arief, 2016)

No	Jenis Kegiatan	Peralatan	Tujuan Pengolahan
1	Penyaringan	Barscaren dan Macks kasar	Untuk menyaring bahan kasar dan padat
2	Menangkap pasir	Grit Chamber	Menghilangkan pasir dan jcoral
3	Menagkap lemak dan buih	Skimer dan Greasetrap	Memisahkan bahan-bahan terapung
4	Perataan air	Tangki ekualikasi	Meratan konsentrasi
5	Netralisasi	Bahan kimia	Menetralkan air
6	Pengendapan	Tangki pengendap	Mengendapkan lumpurdengan bahan kimia
7	Pengapungan	Tangki pengapung	Menghilangkan senyawa terlarut dengan bantuan udara
8	Lumpur aktif	Bak (kolom)	Menghilangkan larutan organik biologis
9	Tricking filter	Saringan	Menghilangkan larutan organik biologis
10	Aerasi	Tangki dan Scompresor	Menghilangkan larutan organic
11	Karbon aktif	Saringan karbon aktif	Menghilangkan senyawa organik yang tidak dapat berurai
12	Pengendapan kimia	Tangki pengendap dan bahan kimia	Mengendapkan bahan kimia
13	Nitrifikasi	Menara	Menghilangkan nitrat
14	chlorinasi	Bahan kimia	Menghancurkan bakteri pathogen

Setelah kontaminan dikarakterisasikan, diadakan pertimbangan secara detail mengenai aspek ekonomi, aspek teknis, keamanan, kehandalan, dan kemudahan. Teknologi yang dipilih haruslah yang tepat guna sesuai karakteristik limbah yang akan diolah. Setelah pertimbangan-pertimbangan detail, perlu juga dilakukan studi kelayakan atau bahkan percobaan skala laboratorium yang bertujuan untuk:

- a. Memastikan bahwa teknologi yang dipilih untuk mengolah limbah sesuai dengan karakteristik limbah yang akan diolah.
- b. Mengembangkan dan mengumpulkan data yang diperlukan untuk menentukan efisiensi pengolahan.
- c. Menyediakan informasi untuk penerapan skala sebenarnya.

2.2.9. Limbah Layanan Kesehatan

Limbah layanan kesehatan mencakup semua hasil buangan yang berasal dari instalasi kesehatan, fasilitas penelitian, dan laboratorium. Sekitar 75-90 % limbah yang berasal dari instalasi kesehatan merupakan limbah yang tidak mengandung risiko atau limbah umum dan menyerupai limbah rumah tangga. Limbah tersebut kebanyakan berasal dari aktivitas administratif dan keseharian instalasi, di samping limbah yang dihasilkan selama pemeliharaan bangunan instalasi tersebut (Prüss dan Rushbrook, 1999).

Menurut Rikomah (2007) secara umum limbah rumah sakit berdasarkan konsistensinya terdiri dari 3 kelompok yaitu :

1. Limbah padat

Limbah padat rumah sakit terdiri atas sampah membusuk, sampah mudah terbakar ataupun limbah sisa kegiatan kesehatan yang dapat menyebabkan penyebaran gangguan atau penyakit bagi petugas, pasien maupun masyarakat.

2. Limbah cair

Limbah cair rumah sakit dapat mengandung bahan organik dan anorganik yang umumnya diukur dengan parameter sebagai berikut :

a. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan organisme hidup untuk memecah atau mengoksidasi bahan buangan dalam air atau merupakan suatu nilai empiris yang mendekati secara global terjadinya proses penguraian bahan-bahan yang terdapat dalam air dan sebagai hasil dari proses oksidasi tersebut akan berbentuk CO₂, air, dan NH₃.

b. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan (misal: Kalium Dikromat) untuk menguraikan bahan organik. Uji COD sebagai alternative uji penguraian beberapa komponen yang stabil terhadap reaksi biologi atau tidak dapat diurai/dioksidasi oleh mikroorganisme.

c. *Total Suspended Solid (TSS)*

Total Suspended Solid (TSS) adalah besaran total dari seluruh padatan dalam cairan atau banyaknya partikel yang berukuran lebih besar dari 1 µm yang tersuspensi dalam suatu kolam air.

d. pH

Derajat keasaman merupakan suatu ukuran konsentrasi ion hydrogen dan menuju suasana air tersebut bereaksi asam/basa. Baku mutu limbah cair rumah sakit untuk parameter pH adalah berkisar antara 6,0-9,0.

e. NH₃N (Amonia Bebas)

Amonia di perairan berasal dari hasil dekomposisi nitrogen organik (protein dan urea) dan nitrogen anorganik yang terdapat dalam tanah dan air, yang berasal dari dekomposisi bahan organik (tumbuhan dan biota akuatik yang telah mati) oleh mikroba dan jamur (Effendi dalam Rikomah, 2007).

f. Fosfat

Fosfat adalah bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan. Merupakan salah satu unsur penting yang dibutuhkan oleh makhluk hidup, manusia, binatang maupun tumbuhan walaupun dalam kadar

yang berbeda satu sama lainnya. Secara alami fosfat juga diproduksi dan dikeluarkan oleh manusia/binatang dalam bentuk air seni dan tinja, sehingga fosfat juga akan terdeteksi pada air limbah yang dikeluarkan rumah sakit (Suriawiria dalam Rikomah, 2003).

g. Total Bakteri

Kelompok bakteri *coliform* merupakan kelompok bakteri yang dapat digunakan untuk mengukur kadar pencemaran perairan karena memenuhi sebagian besar kriteria bakteri indikator yang ditetapkan oleh *National Academy of Sciences USA*. Baku mutu limbah cair rumah sakit untuk parameter kuman golongan koli adalah maksimum 10.000 koloni / 100 ml air limbah.

h. Logam Berat

Rumah sakit pada umumnya menggunakan beberapa unit kerja di rumah sakit sebagai bahan pemeriksaan atau bahan penunjang lainnya seperti adanya kandungan bahan perak dan bromium pada proses pencucian film X-Ray/roentgen.

i. Ikan

Penggunaan ikan sebagai bioindikator untuk memantau efektivitas kinerja IPAL.

3. Limbah gas

Limbah gas adalah semua materi berbentuk gas/materi partikulat yang terbawa gas yang apabila berada di udara dapat bersifat sebagai polutan. Contohnya adalah karbon monoksida, sulfur oksida, nitrogen oksida, dan hidrokarbon.

2.2.10. Limbah Cair Rumah Sakit

Aktivitas rumah sakit yang menggunakan bahan beracun, infeksius, bahaya atau membahayakan menghasilkan limbah medis cair kecuali dilakukan pengamanan tertentu (KepMenKes, 2014). Semua buangan dari rumah sakit dari

berbagai sumber termasuk tinja yang kemungkinan membahayakan kesehatan manusia merupakan limbah cair (KepMenKes RI No. 1204/MenKes/SK/X/2004). Ada beberapa parameter limbah yang perlu diolah, yaitu TSS, BOD, COD, NH₃_N, pH, dan PO₄ (KepMenKes, 2004).

Limbah B3 adalah sisa suatu kegiatan yang mengandung bahan berbahaya yang karena sifat atau konsentrasinya atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan, merusakkan, membahayakan lingkungan hidup, kesehatan dan kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain (Peraturan pemerintah No. 18 Tahun 1999). Menurut Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999 sumber pencemaran yang dihasilkan oleh rumah sakit adalah sebagai berikut.

Tabel 2.5. Sumber limbah B3 yang dihasilkan dari rumah sakit (PP No. 85 Tahun 1999)

Kode Limbah	Jenis Kegiatan / Industri	Kode Kegiatan	Sumber Pencemaran	Asal / Uraian Limbah	Pencemaran Utama
D227	Rumah Sakit	7511 9390	Seluruh RS dan laboratorium kimia	- Limbah klinis - Produk farmasi kadaluarsa - Peralatan laboratorium terkontaminasi - Kemasan produk farmasi - Limbah laboratorium - Residu dari proses insinerasi	- Limbah terinfeksi - Residu produk farmasi - Bahan-bahan kimia

2.2.11. Baku Mutu Limbah Cair Rumah Sakit

Baku mutu air limbah bagi usaha dan atau kegiatan fasilitas pelayanan kesehatan diatur oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Parameter yang diatur adalah sebagai berikut.

A. Fasilitas pelayanan kesehatan yang melakukan pengolahan limbah domestik

Tabel 2.6. Baku mutu air limbah pelayan kesehatan dengan pengolahan limbah domestik (PerMen RI No. 5 Tahun 2014)

Parameter	Konsentrari Paling Tinggi	
	Nilai	satuan
Fisika		
Suhu	38	°C
Zat padat terlarut	2000	mg/L
Zat padat tersuspensi	200	mg/L
Kimia		
pH	6-9	
BOD	50	mg/L
COD	80	mg/L
TSS	30	mg/L
Minyak dan Lemak	10	mg/L
MBAS	10	mg/L
Amonia Nitrogen	10	mg/L
Total Coliform	5000	(MPN/100 ml)

B. Fasilitas pelayanan kesehatan yang melakukan pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun

Fasilitas kesehatan yang melakukan pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun, yang hasil pengolahannya disalurkan ke IPAL, maka wajib memenuhi baku mutu air limbah domestik sebagaimana bagian A, dan baku mutu air limbah dengan parameter tambahan sebagai berikut.

Tabel 2.7. Parameter tambahan untuk baku mutu air limbah bahan berbahaya dan beracun (PerMen No. 5 Tahun 2014)

Parameter	Konsentrasi Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
Kimia		
pH	6-9	
Besi, terlarut (Fe)	5	mg/L
Mangan, terlarut (Mn)	2	mg/L
Barium, (Ba)	2	mg/L
Tembaga, (Cu)	2	mg/L
Seng, (Zn)	5	mg/L
Krom valensi enam, (Cr6+)	0,1	mg/L
Krom total, (Cr)	0,5	mg/L
Kadmium, (Cd)	0,05	mg/L
Merkuri, (Hg)	0,002	mg/L
Timbal, (Pb)	0,1	mg/L
Stanum, (Sn)	2	mg/L
Arsen, (As)	0,1	mg/L
Selenium, (Se)	0,05	mg/L
Nikel, (Ni)	0,2	mg/L
Kobal, (Co)	0,4	mg/L
Sianida, (CN)	0,05	mg/L
Sulfida, (S=)	0,05	mg/L
Flourida, (F-)	2	mg/L
Klorin bebas, (Cl ₂)	1	mg/L
Amoniak bebas, (NH ₃ -N)	1	mg/L
Nitrat (NO ₃ -N)	20	mg/L
Nitrit (NO ₂ -N)	1	mg/L
Senyawa aktif biru metilen, (MBAS)	5	mg/L
Fenol	0,5	mg/L
AOX	0,5	mg/L
PCBs	0,005	mg/L
PCDFs	10	mg/L
PCDDs	10	mg/L

Tabel 2.8. Standar baku mutu air limbah rumah sakit (Perda DIY No. 7 Tahun 2016)

Parameter	Konsentrasi
Fenol	0,5 mg/L
MBAS (<i>Methylene Blue Active Surfactant</i> / Senyawa Biru Metilen)	5 mg/L
TSS	30 mg/L
COD	80 mg/L
BOD	30 mg/L
pH	6-9
TDS	2000 mg/L
Suhu	38 °C

2.2.12. Dampak Limbah Cair Rumah Sakit

1. Bahaya akibat limbah infeksius

Limbah infeksius dapat mengandung berbagai macam mikroorganisme patogen. Di fasilitas kesehatan, keberadaan bakteri yang resisten terhadap antibiotik dan desinfektan juga dapat memperbesar bahaya yang muncul akibat layanan kesehatan yang buruk pengelolaannya. Contoh, plasmid dari strain laboratorium yang terkandung dalam limbah layanan kesehatan ternyata dapat berpindah ke dalam bakteri di alam melalui sistem pembuangan limbah limbah. Selain itu, bakteri *Escherichia coli* yang resisten antibiotic ternyata dapat bertahan hidup dalam kolam lumpur aktif walaupun pada kondisi normal pembuangan dan pengelolaan limbah cair, perpindahan organisme tersebut tampaknya tidak signifikan (Prüss dkk, 1999).

Tabel 2.9. Contoh infeksi yang disebabkan layanan kesehatan (Prüss dan Rushbrook, 1999)

Jenis Infeksi	Organisme Penyebab	Media Penularan
Infeksi gastroenteritis	Entetobakteria, mis, <i>salmonella, shigella</i>	Tinja dan atau muntahan
Infeksi saluran pernafasan	<i>Mycobacterium tuberculosis</i> , virus campak, <i>streptococcus pneumoniae</i>	Sekret yang terhirup, air liur
Infeksi kulit	<i>Streptococcus spp</i>	Nanah
Meningitis	<i>Neisseria meningitidis</i>	Cairan serebsopinal
AIDS	<i>Human immunodeficiency virus (HIV)</i>	Darah, sekret alat kelamin
Demam berdarah	Virus junin, lassa, ebola, dan Marburg	Seluruh cairan tubuh
septikimia	<i>Staphylococcus spp</i>	Darah
Bakteriemia	<i>Staphylococcus spp</i> , koagulase negatif, <i>staphylococcus aureus, enterobacter, enterococcus, klebsielle</i>	Darah
Kandidemia	<i>Candida albicans</i>	Darah
Hepatitis virus A	Virus hepatitis A	Tinja
Hepatitis B dan C	Virus hepatitis B dan C	Darah dan cairan tubuh

2. Bahaya Kimia dan Farmasi

Banyak zat kimia dan bahan farmasi berbahaya digunakan dalam pelayan kesehatan. Kuantitas zat tersebut umumnya rendah di dalam limbah kesehatan, kuantitas yang lebih besar dalam limbah umumnya ditemukan

jika instansi membuang zat kimia atau bahan farmasi yang sudah tidak terpakai lagi atau sudah kadaluarsa. Kandungan zat itu di dalam limbah dapat menyebabkan intoksikasi atau keracunan (baik akibat terpapar secara akut maupun kronis). Intoksikasi dapat terjadi akibat diadsorpsinya zat kimia atau bahan farmasi melalui kulit atau membrane mukosa, atau melalui pernapasan atau pencernaan.

Pestisida kadaluarsa yang disimpan dalam drum atau kantong-kantong kemasan, secara langsung maupun tidak langsung dapat mempengaruhi siapa saja yang berkontak dengan bahan tersebut. Ketika hujan, kontainer yang bocor dapat menyebabkan pestisida meresap ke dalam tanah dan mencemari air tanah. Keracunan dapat terjadi akibat kontak langsung dengan produk, menghirup uapnya, dan meminum air yang terkontaminasi. Residu zat kimia yang dibuang ke dalam saluran air kotor dapat menimbulkan efek yang merugikan pada pengoperasian pengelolaan limbah biologis dan efek toksik pada ekosistem lingkungan yang menampung air tersebut. Masalah yang sama juga dapat disebabkan oleh residu bahan farmasi yang mungkin mengandung antibiotik serta obat lainnya, logam berat seperti merkuri, fenol dan turunannya, serta desinfektan dan antiseptik (Prüss dkk, 1999).

3. Implikasi Klinik Akibat Tercemar oleh Logam Berat Timbal (Pb)

Menurut Sudarmaji, dkk (2006) ada beberapa gangguan pada organ tubuh akibat terpapar bahan tercemar Pb sebagai berikut:

- Gangguan neurologi
- Gangguan terhadap fungsi ginjal
- Gangguan terhadap sistem reproduksi
- Gangguan terhadap sistem hemopoetik
- Gangguan terhadap sistem syaraf

4. Implikasi Klinik Akibat Tercemar oleh Kadmium (Cd)

Gejala akut dan kronis akibat keracunan Cd (Kadmium) menurut Sudarmaji, dkk (2006) adalah sebagai berikut:

Gejala akut:

- Sesak dada
- Kerongkongan kering dan dada terasa sesak (*constriction of chest*)
- Nafas pendek
- Nafas terengah-engah, distress dan bisa berkembang kearah penyakit radang paru-paru
- Sakit kepala dan menggigil, mungki dapat menimbulkan kematian

Gejala kronis:

- Nafas pendek
- Kemampuan mencium bau menurun
- Berat badan turun
- Gigi terasa ngilu dan bewarna kuning keemasan

Selain menyerang pernafasan dan gigi, keracunan yang bersifat kronis menyerang juga saluran pencernaan, ginjal, hati, dan tulang.

5. Implikasi Klinik Akibat Tercemar oleh Kromium (Cr)

Keracunan tubuh manusia terhadap kromium (Cr) dapat berakibat buruk terhadap saluran pernafasan, kulit, pembuluh darah, dan ginjal. Efek Cr terhadap sistem saluran pernafasan berupa kanker paru-paru dan ulkus kronis atau perforasi pada septum nasal. Pada kulit, berupa ulkus kronis pada permukaan kulit. Pada pembuluh darah, berupa penebalan oleh plak pada pembuluh aorta (*Atherosclerotic aortic plaque*). Sedangkan pada ginjal, kelainan berupa nekrosis tubulus ginjal (Sudarmaji dkk, 2006).

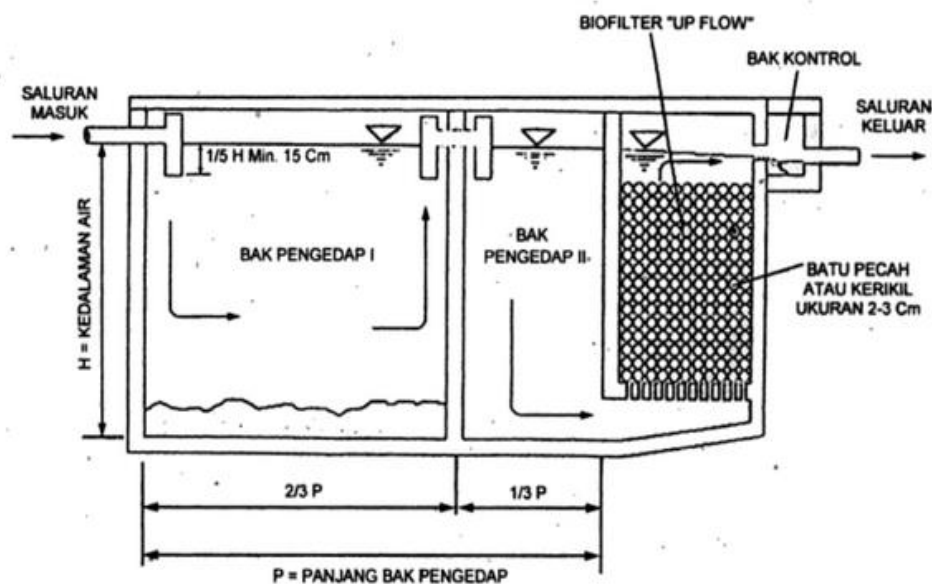
2.2.13. Teknologi Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit

Prinsip dasar yang melatarbelakangi sistem pengelolaan limbah cair yang efektif adalah batasan-batasan tegas yang diperbolehkan untuk cairan berbahaya yang dibuang ke selokan (Prüss dkk, 1999). Terdapat berbagai macam teknologi yang telah dikembangkan oleh para peneliti dan ahli di bidang pengolahan limbah cair rumah sakit. Teknologi tersebut diharapkan

dapat ikut mengurangi permasalahan limbah cair. Beberapa paket teknologi tersebut antara lain:

1. Sistem Tangki Septik-Filter *Up Flow*

Prinsip kerja tangki septik dengan filter “*up flow*” ini pada dasarnya sama dengan tangki septik biasa, yakni terdiri dari bak pengendap, ditambah dengan suatu filter yang diisi dengan kerikil atau pecahan batu. Penguraian zat organik dalam limbah cair dilakukan oleh bakteri anaerobic. Bak pengendap terdiri dari ruangan, yang pertama berfungsi sebagai pengendap pertama, pengurai lumpur (*sludge digestion*) dan penampung lumpur. Sedangkan ruang kedua berfungsi sebagai pengendap kedua dan penampung lumpur yang tidak terendapkan di bak pertama dan luapan air dari bak pengendap dialirkan ke media filter dengan arah aliran dari bawah ke atas (Soeparman dan Suparmin, 2001).



Gambar 2.8. Skema tangki septik yang dilengkapi dengan filter “*up flow*”
(Soeparman dan Suparmin, 2001)

Tangki septik ini digunakan untuk menampung dan mengolah air limbah yang berasal dari wc, kamar mandi, ruang bersalin, ruang perawatan,

dan lain-lain. Sebaiknya limbah cair medis dan limbah cair nonmedis dipisahkan dengan mempergunakan *sewerage system* untuk memudahkan pengelolaannya dan agar tidak mencemari lingkungan (Chandra, 2005).

2. Pengolahan Lumpur

Lumpur yang berasal dari instalasi pengolahan limbah perlu menjalani proses pengolahan anaerob dahulu untuk memastikan musnahnya sebagian besar patogen melalui metode pemanasan. Cara lain adalah dengan menghamparkan lumpur tersebut dalam kolam-kolam pengeringan kemudian dimasukkan dalam incinerator bersama limbah layanan kesehatan yang infeksius. Pengolahan limbah cair rumah sakit di tempat akan menghasilkan lumpur yang mengandung cacing dan patogen lain dalam konsentrasi yang cukup tinggi (Prüss dan Rushbrook, 1999).

3. Sistem Biologi Aerobik

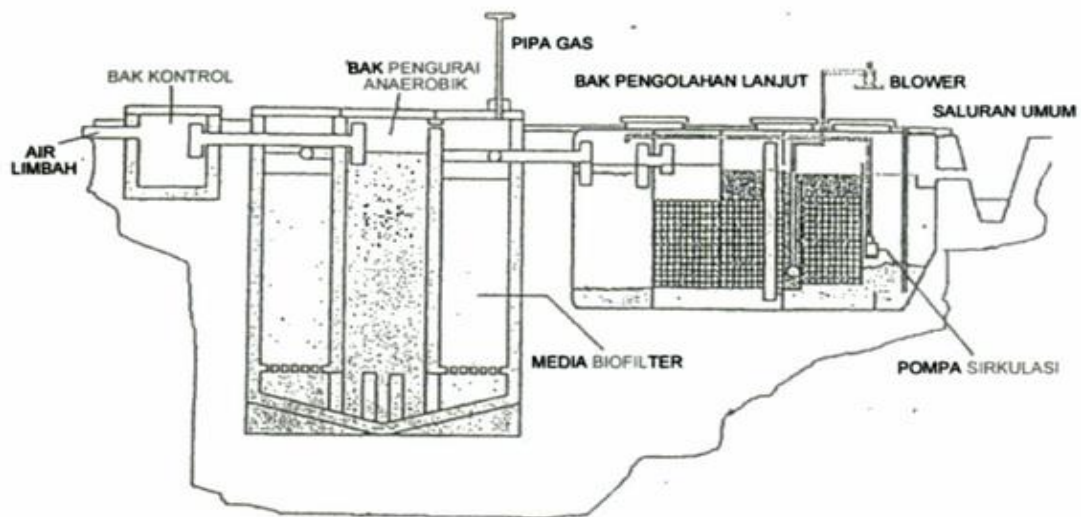
Sistem biologi aerobik yang dapat digunakan untuk limbah cair rumah sakit adalah sistem *waste oxidation ditch treatment* (kolam oksidasi air limbah). Sistem ini digunakan untuk mengolah air limbah dari rumah sakit yang terletak di tengah kota karena tidak memerlukan lahan yang luas. Kolom oksidasinya sendiri dibuat bulat atau elips. Dalam sistem ini, air limbah dialirkan secara berputar ke kolam-kolam oksidasi agar ada kesempatan lebih lama berkontak dengan oksigen dari udara. Setelah itu, air limbah dialirkan ke dalam *sedimentation tank* untuk pengendapan benda-benda padat dan lumpur lainnya.

Air yang sudah jernih dialirkan ke bak klorinasi sebelum dibuang ke dalam sungai atau badan air lainnya. Lumpur yang mengendap diambil dan dikeringkan pada *sludge drying bed*. Ada beberapa komponen di dalam sistem kolam oksidasi ini, antara lain *pump* (pompa air kotor), *oxidation ditch* (kolom oksidasi), *sedimentation tank* (bak pengendapan), *chlorination tank* (bak klorinasi), *sludge drying bed* (tempat mengeringkan lumpur, biasanya 1-2 petak), dan *control room* (ruang pengendali) (Chandra, 2005).

4. Sistem Anaerobik-Aerobik

Proses ini merupakan pengolahan limbah dengan pengembangan proses biofilter anaerob dengan proses aerasi kontak. Pengolahan ini terdapat beberapa bagian, yakni bak pengendap awal, biofilter anaerob (*anoxic*), biofilter aerob, bak pengendap akhir dan jika perlu dilengkapi bak kontak klor. Pada proses awal limbah cair masuk dalam bak kontrol, selanjutnya dialirkan ke bak pengurai anaerob. Terdapat tiga ruangan pada bak pengurai anaerob, yakni bak pengendapan (bak pengurai awal), biofilter anaerob serta bak stabilisasi.

Selanjutnya, dari bak stabilisasi limbah cair dialirkan ke unit pengolahan lanjut yang terdiri dari beberapa ruangan yang berisi media untuk pengembangbiakan mikroorganisme yang akan meragikan senyawa polutan. Proses akhir pengolahan, limbah cair dialirkan ke bak klorinasi dan selanjutnya dapat dibuang ke lingkungan ataupun media lainnya (Soeparman dan Suparmin, 2001).



Gambar 2.9. Diagram proses pengolahan air limbah rumah sakit (Soeparman dan Suparmin, 2001)

Rumah Sakit PKU Muhammadiyah Gamping Yogyakarta merupakan rumah sakit yang pengelolaan air limbahnya menggunakan teknologi biofilter anaerob-aerob. Karena itu, RS PKU Gamping termasuk rumah sakit tipe B. Limbah yang diolah di IPAL berasal dari kamar mandi, *laundry*, limbah medis cair non-radioaktif, dan bangsal. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan No. 10 Tahun 2017, Limbah cair medis yang mengandung zat radioaktif harus dikelola terpisah sesuai aturan yang diberlakukan Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).



Gambar 2.10. IPAL RS PKU Muhammadiyah Gamping