

**DURIANGKANG WATER PROCESSING, PENGELOLAAN AIR WADUK
DURIANGKANG DENGAN PERMEABLE REACTIVE BARRIER SEBAGAI
UPAYA MENGURANGI KRISIS AIR BERSIH DI KOTA BATAM**

Izza Nur Ibrahim¹, Hana Salsabila², dan Indriyani³

¹S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia.

²S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia.

³S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia.

¹izzaibrahim31@gmail.com, ²hanasalsabila2821@gmail.com,

³indrilesmana0412@gmail.com

Abstract

Clean water is water that has good quality for use in daily life. According to PT Adya Tirta Batam (2020), Batam City has been experiencing a clean water crisis since 2018 because the amount of clean water in existing reservoirs has decreased. The main reservoir in Batam City is Duriangkang Reservoir. In providing water, 80 percent or 228,900 citizens there depend on this reservoir. The benefit of this paper is to take advantage of the existing regional potential. The method that can be used for water remediation is the Permeable Reactive Barrier (PRB). The application of PRB is to treat acid mine drainage (AMD). The research method that the author uses is a literature review, by looking for research on the problem of water availability, and the condition of reservoirs in Indonesia and then looking for solutions to these problems. Water management efforts use a Permeable Reactive Barrier (PRB), namely by flowing reservoir water into a smaller stream and installing PRB at the end of the stream to remove pollutants carried by reservoir water. PRB contains limestone, carbon, phosphate, aquifer material, ZVI that can remediate water. However, this water cannot be used as consumption water. Therefore, it is also necessary to sterilize water using electricity by utilizing the potential energy from the water itself. After the author's ideas are applied, it is hoped that the water in Duriangkang Reservoir can be utilized optimally and can become a clean water solution in Batam City.

Keyword: PRB, water sterilization, water potential

Pendahuluan

A. Latar Belakang

Kota Batam merupakan salah satu kota di Indonesia yang mengalami perubahan yang sangat pesat. Hal inilah yang menyebabkan Batam disebut juga sebagai kota industri. Oleh karena itu, pembangunan serta pemenuhan fasilitas terus dilakukan. Guna menjadikan daya tarik tersendiri bagi pendatang, baik yang datang untuk mencari pekerjaan ataupun hanya ingin menikmati suasananya saja.

Pada tahun 1971 Batam merupakan pulau sunyi dengan jumlah penduduknya yang masih sedikit, dan bermata pencaharian sebagai nelayan. Seiring dengan berjalannya waktu jumlah penduduknya semakin bertambah, yakni mengalami pertambahan penduduk sebesar 12% pertahun. Kemudian, pada tahun 1968 Kota Batam dijadikan sebagai pangkalan logistik dan operasional yang berhubungan dengan eksplorasi dan eksploitasi minyak lepas pantai oleh Pertamina. Pada tahun 1974 Kota Batam berkembang dan berubah menjadi Kawasan *Bonded Warehouse*, sebagai tempat penyimpanan barang impor yang tidak dikenai pungutan bea masuk berdasarkan Keppres No.33 Tahun 1974. Selanjutnya pada tahun 1978, Kota Batam ditetapkan sebagai Kawasan industri yang bertujuan untuk menampung kelebihan kapasitas dari Singapura, yang dilanjutkan dengan MoU antara Indonesia dan Singapura untuk bersama-sama mengembangkan Kota Batam.

Memasuki tahun 1980-an, Batam memulai babak barunya dengan pertumbuhan industri manufaktur terutama di bidang elektronika, prasarana infrastruktur jalan, dam, pembangkit tenaga listrik, dan telekomunikasi yang telah dibangun. Dam adalah prasarana yang sangat penting bagi Kota Batam, karena kondisi tanah sekitar yang memiliki permeabilitas rendah menyebabkan tanah sulit untuk menyerap air. Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan air bersih bagi penduduk, dibuatlah dam sebagai tempat penampungan air hujan. Mengingat Kota Batam termasuk daerah dengan curah hujan yang tinggi

Kota Batam memiliki 6 (enam) dam atau waduk yang baru pertama dioperasikan pada tahun 1978 yaitu Dam Baloi dan yang terakhir adalah Dam Duriangkang yang dioperasikan pertama kali pada tahun 2001. Dam Duriangkang adalah dam terbesar di antara 6 (enam) dam yang ada, mempunyai daya tampung sebesar $78,18 \times 10^6 \text{ m}^3$ yang digunakan untuk memenuhi 78% kebutuhan air baku penduduk kota Batam. Dam ini berfungsi sebagai penampung air hujan yang mengalir melalui DAS dari hutan lindung di sekelilingnya ditambah yang berasal dari aliran drainase kota. Aliran drainase kota ini bertujuan untuk mengantisipasi banjir di Kota Batam. Aliran drainase ini mengalir di perumahan-perumahan yang ada di sekeliling Dam Duriangkang seperti perumahan Mediterania, Legenda Malaka, Taman Duta Mas, Kurnia Djaya Alam dan Bida Asri. Karena banyaknya pengaliran, maka berdampak pada penurunan kualitas dam, berupa pencemaran yang disebabkan oleh banyaknya polutan berupa limbah domestik yang ikut terbawa aliran drainase yang masuk ke dalam dam. Pencemaran dam yang berasal dari limbah domestik terlihat dari hasil pengujian laboratorium yang dilakukan PT. Adhya Tirta Batam, menunjukkan adanya peningkatan parameter *E Coli* dalam kurun waktu 4 (empat) tahun yaitu dari tahun 2003 sebesar 107.33 MPN/100 ml hingga akhir tahun 2006 sebesar 129.58 MPN/100ml.



Gambar Waduk Duriangkang

Air bersih merupakan air yang memiliki kualitas dan mutu baik untuk digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Air bersih memiliki peranan penting bagi keberlangsungan hidup, Profesor biologi dari *George Washington University*, menyebut manusia dapat bertahan tanpa air maksimal selama tujuh hari. Kita harus menghargai, menghemat, dan menjaga kebersihan air sebagai upaya dalam menjaga tanah air. Kerja sama yang dilakukan oleh masyarakat dan pemerintah dalam penggunaan dan pengolahan air sangat penting dilakukan untuk mewujudkan kehidupan yang sejahtera di tanah air tercinta.

Banyak faktor yang menyebabkan krisis air bersih di Batam yang mengakibatkan kurangnya pasokan air untuk memenuhi kebutuhan warga sehari-hari. Wakil Direktur PT Adhya Tirta Batam, Denny Adrianto menjelaskan ada beberapa hal yang mempengaruhi terjadinya krisis air bersih, pertama karena kurang terawatnya sejumlah bendungan (dam). Perawatan diperlukan untuk menjaga agar kualitas air bersih di Batam tetap terjaga kualitasnya. Penyebab selanjutnya adalah terjadinya pematangan lahan yang tidak memperhatikan lingkungan sekitar. Kondisi lahan sangat berpengaruh terhadap kualitas kebersihan air. Tetapi banyak terjadi pemotongan lahan resapan untuk pembangunan rumah warga.

Waduk Duriangkang memiliki luas (2400 ha) memiliki daya tampung air sekitar 62.000.000 m³, dengan ketinggian muka air sekitar 7 meter (pada pintu air yang berfungsi sebagai inlet WTP Duriangkang). Penggunaan lahan untuk wilayah industri dan kawasan perumahan tentu berdampak bagi DAS Waduk Duriangkang yang semakin meningkat pesat. Tingginya pembukaan lahan untuk kawasan industri tidak sebanding dengan pengadaan lahan konservasi. Pembukaan lahan yang semakin tidak terkendali ini menyebabkan meningkatnya laju pendangkalan Waduk Duriangkang. Pembukaan lahan juga menyebabkan banyak terjadi pencemaran. Dari sektor industri yang mayoritas adalah industri elektronika, komponen elektronika (komputer, TV, AC, refrigerator) pada tahun 2010 prediksi menghasilkan beban pencemaran sebesar 2162,06 kg COD/hari (778,32 COD/tahun) (Haryadi, 2006). Selain limbah industri,

pembukaan lahan untuk perumahan juga menghasilkan limbah domestik. Kebutuhan air pada lahan domestik meliputi kebutuhan air bersih untuk sektor pemukiman, perkantoran, dan fasilitas umum. Oleh karena itu semakin banyak pemukiman di wilayah sekitar waduk maka semakin banyak air bersih yang dibutuhkan. Meningkatnya beban pencemaran domestik berdampak bagi meningkatnya debit air limbah domestik. Semakin tinggi jumlah limbah air domestik maka semakin tinggi permintaan air bersih.

Dari permasalahan diatas diperlukan solusi untuk mengatasi krisis air bersih di Batam. *Permeable Reactive Barrier* (PRB) dapat menjawab permasalahan tersebut. *Permeable Reactive Barrier* adalah dinding *permeabel* di bawah tanah yang dibuat untuk membersihkan air yang telah terkontaminasi oleh zat berbahaya dapat diolah pada PRB tersebut menjadi air yang lebih bersih. Penggunaan PRB untuk membersihkan air terkontaminasi tergolong murah karena tidak memerlukan banyak energi, PRB mengandalkan aliran alami air. Bahan yang digunakan dan biaya perawatan yang dikeluarkan juga tergolong murah karena setelah dipasang alat dapat langsung digunakan.

Pemulihan air tanah dari bahan yang terkontaminasi sangat mahal. Pada saat ini, sedang dikembangkannya suatu sistem perbaikan air tanah yaitu *Permeable Reactive Barrier* sebagai alternatif dari proses pengembangan *pump and treat* untuk memaksimalkan kegunaannya dalam industri ini. PRB yang digunakan memiliki bahan material seperti PO_4^{3-} dengan tebal 0,6 m; 6% Ca oksida, 9% batu kapur, 85% bahan akuifer; NO_3^- setebal 1,2 m. Terdapat juga penggunaan besi bervalensi nol / *zero valent iron* (ZVI) untuk meremediasi air pada waduk Duriangkang yang tercemar oleh limbah industri dan limbah rumah tangga. (Painter, 2004)

B. Landasan Teori

Pengelolaan air bersih dengan sistem *Permeable Reactive Barrier* ini adalah suatu sistem untuk meningkatkan kualitas air bersih dengan menggunakan teknologi inovatif. Banyak keuntungan yang didapatkan oleh pengguna, selain untuk meningkatkan kualitas air yang ada, sistem *Permeable Reactive Barrier* juga memiliki harga yang terjangkau dan penggunaan yang mudah. Pada bab ini akan dipaparkan mengenai teori-teori dan penelitian sebelumnya yang kami kutip dari artikel dan jurnal mengenai pengelolaan sistem air.

Pada penelitian sebelumnya yang menggunakan teknologi konvensional untuk memulihkan air tanah adalah dengan menggunakan sistem *Pump and Treat*. Dengan menggunakan sistem ini air tanah dipompa dan dialirkan menuju sistem perawatan di atas tanah untuk membersihkan air dari kontaminan. Metode *Pump and Treat* memerlukan banyak sumur untuk mengekstraksi air tanah yang terkontaminasi. Pompa air tanah dimulai dari sumur ekstraksi menuju ke tangki pengolahan atau tangki penampungan. Dalam proses ini, air tanah yang terkontaminasi dipompa langsung dari permukaan. Pengolahan harus dilakukan di atas tanah, kemudian air tanah bersih dibuang ke sistem saluran pembuangan atau disuntikkan kembali ke dalam tanah. Selama bertahun-tahun, *Pump and Treat* telah beroperasi di banyak lokasi. Sayangnya, data yang dikumpulkan dari situs-situs ini menunjukkan bahwa meskipun pemompaan dan pemeliharaan mungkin berhasil pada tahap awal penerapan, kinerja akan turun secara signifikan kemudian. Akibatnya, sejumlah besar polusi sisa tetap tidak terpengaruh oleh pemrosesan selanjutnya. Karena keterbatasan ini, pompa dan metode pemeliharaan sekarang terutama digunakan untuk daur ulang produk gratis dan pengendalian migrasi bulu polutan. Pemompaan dan perawatan adalah metode yang aman untuk menghilangkan air tanah yang terkontaminasi dan mencegahnya mengalir ke area lain yang dapat mempengaruhi pasokan air minum, habitat satwa liar, atau sungai dan danau rekreasi. Perhatikan *Pump and Treat* untuk memastikan bahwa sumur ekstraksi dan unit pemrosesan beroperasi seperti yang dirancang. Selain itu, air tanah

diambil sampelnya untuk memastikan konsentrasi asap berkurang dan tidak menyebar. Tetapi metode ini memiliki beberapa kekurangan yaitu memerlukan waktu yang lama untuk membersihkan air jika air tersebut memiliki kontaminan tinggi, aliran air yang lambat dan jalur alirannya yang rumit. (Henderson and Demond, 2007).

Penelitian selanjutnya adalah *Containment*, teknologi umum untuk menampung air tanah yang terkontaminasi pada suatu tempat kejadian atau mentransfer air tanah atau air permukaan dari tempat yang terkontaminasi, Untuk membatasi kontak mereka dengan orang, ekosistem di situs, dan Meminimalkan kemungkinan kontaminasi lebih lanjut. Tujuan *Containment* dicapai melalui permeabilitas rendah atau struktur permeabilitas Dinding pemisah yang tidak bisa ditembus. Sebagian besar dinding dibangun dengan tanah, bentonit, dan air campuran. Dinding dengan komposisi ini memberikan penghalang dengan permeabilitas, sifat kimiawi rendah, dan resistensi biaya rendah. Komponen dinding lainnya mungkin termasuk semen, bentonite, dan air. Kekuatan struktural tambahan diperlukan jika terjadi ketidakcocokan bahan kimia bentonit dan polutan. Permeabilitas yang dibutuhkan untuk dinding adalah 1×10^{-3} cm/s sampai 1×10^{-6} . Di dalam dinding komposit terdapat pembatas tambahan yaitu geomembrane alur untuk meningkatkan impermeabilitas dan ketahanan kimia. Geomembrane plastik terdiri dari tumpukan polietilen berdensitas tinggi. Membran mudah dipasang dan memiliki masa pakai yang lama, tahan terhadap hewan dan tumbuhan invasi dan mikroba. Gabungkan membran dengan bubur bentonit dinding kombinasi paling efektif. Metode yang biasanya efektif adalah menyiapkan semen bentonit, kemudian memasang membran di tengah dinding. Namun, dinding tidak menghilangkan sumber polusi atau mengurangi toksisitasnya. Teknologi lain diperlukan untuk menghilangkan atau mengurangi kontaminan tersebut. (Zhang X, 2009).

Encapsulation disebut juga dengan metode dinding penahan merupakan perbaikan dengan penutup permukaan. Teknologi ini mencakup tanah yang terkontaminasi dalam sistem penghalang fisik yang dirancang secara baik, yang terdiri

dari lapisan penutup permeabilitas rendah yang menutupi penghalang bawah tanah, dan dalam kasus yang jarang terjadi juga mencakup lapisan penghalang. Situs yang terkontaminasi diisolasi dan polutan ditutup, sehingga menghilangkan penyebaran polutan di luar lokasi dan paparan biologis polutan di lokasi (Meuser, 2013). Penutup permeabilitas rendah (lembaran tekstil sintetis atau lapisan tanah liat) meminimalkan penetrasi air permukaan, sehingga mencegah kontaminan masuk ke dalam air tanah. Penghalang kedap bawah tanah mencegah polutan ke sumber area sekitarnya melalui difusi dan hambatan aliran permukaan.

Tantangan utama metode *Encapsulation* adalah pembangunan dinding potong vertikal bawah tanah di lokasi yang terkontaminasi. Berbagai metode konstruksi telah dikembangkan, antara lain *slurry walls*, *thinwalls*, *sheet pile walls*, dan *injection walls* (Bradl dan Xenidis, 2005). Dalam metode dinding bubur, pemotong atau penjepit parit pertama kali digunakan untuk menggali parit di tanah hingga kedalaman yang diinginkan. Tuang bubur semen bentonit air ke dalam kunci inggris dan padatkan hingga ketebalan dinding 0,4-1 m. Untuk meningkatkan kekuatan dan kedap dinding, gunakan HDPE (High Density Polyethylene), tumpukan lembaran dan batu bata kaca dapat dicampur ke dalam bubur cair. Dinding dapat dibangun dalam panel yang berurutan pada waktu yang berbeda, tetapi kontak kedap air antar panel harus dipastikan untuk menjaga keutuhan dinding. Dalam struktur berdinding tipis, jet bertekanan digunakan untuk menggetarkan balok baja berat ke tanah untuk membuat alur yang sempit. Kemudian bubur tanah liat-semen-air diinjeksikan ke dalam parit untuk membuat ketebalan dinding 0,15 m. Pemadatan tanah selama persiapan parit memberikan tambahan impermeabilitas pada struktur. Selain itu, panel baja / aluminium, panel beton prefabrikasi atau papan kayu juga dapat didorong ke dalam tanah untuk membentuk tumpukan lembaran tahan air, dan kolom yang berdekatan dapat dihubungkan dengan kunci. Secara lebih umum, selubung berputar digunakan untuk mendorong lubang bor ke dalam tanah hingga kedalaman yang dibutuhkan (National Research Council, 1997).

Di kota-kota besar sudah jarang dijumpai sumber air bersih yang dipakai sebagai bahan baku air bersih yang bebas dari pencemaran. Hal ini disebabkan karena air banyak digunakan pada kegiatan industri untuk menunjang proses produksinya. Di sisi lain, tanah yang berfungsi sebagai penyedia air sudah banyak ditutup untuk berbagai keperluan manusia seperti konstruksi perumahan, dan berbagai industri tanpa memperdulikan akibat yang ditimbulkan di masa yang akan datang.

Jumlah air yang terdapat di muka bumi ini relatif konstan. Meskipun air mengalami pergerakan arus, tersirkulasi karena pengaruh cuaca dan juga mengalami perubahan bentuk. Sirkulasi dan perubahan bentuk tersebut antara lain melalui air permukaan yang berubah menjadi uap (evaporasi), air yang mengikuti sirkulasi dalam tubuh tanaman (transpirasi) dan air yang mengikuti sirkulasi dalam tubuh manusia dan hewan (respirasi). Air yang menguap akan terkumpul menjadi awan kemudian jatuh sebagai air hujan. Air hujan ada yang langsung bergabung di permukaan, ada pula yang meresap masuk ke dalam celah batuan dalam tanah, sehingga menjadi air tanah. Air tanah dangkal akan diambil oleh tanaman, sedangkan air tanah dalam akan keluar sebagai mata air. Sirkulasi dan perubahan fisis akan berlangsung terus sampai akhir zaman (ROSS, 1970).

Pengolahan air bersih dengan sistem *Permeable Reactive Barrier* adalah teknologi berkembang yang telah diakui sebagai teknologi hemat biaya untuk remediasi air tanah *in situ* (di lokasi). Ada berbagai cara agar membran reaktif permeabel dapat digunakan untuk memulihkan air tanah. Dua proses utama adalah imobilisasi (sekuestrasi AKA) dan transformasi.

Imobilisasi kontaminan dapat terjadi melalui penyerapan bahan penghalang atau pengendapan dari keadaan terlarut. Senyawa organik cenderung mengalami penyerapan karena pengusiran hidrofobik dari air di sekitarnya. Logam, bagaimanapun, cenderung menyerap melalui gaya tarik elektrostatis atau reaksi kompleksasi permukaan. Penyerapan dan presipitasi berpotensi dapat dibalik dan oleh karena itu

mungkin memerlukan pembuangan media reaktif dan produk yang dikumpulkan untuk melanjutkan remediasi.

Transformasi melibatkan pengambilan kontaminan dan mengubahnya menjadi bentuk yang tidak terlalu berbahaya atau tidak beracun. Salah satu manfaat utama dari transformasi adalah bahwa hal itu tidak selalu memerlukan pengangkatan media reaktif (kecuali media reaktif harus diganti karena penurunan efektivitas atau terjadi penyumbatan). Transformasi paling sering mengambil bentuk reaksi redoks yang ireversibel. Media dapat langsung memasok elektron untuk mereduksi atau merangsang mikroorganisme untuk memfasilitasi transfer elektron.

PRB biasanya dipasang dengan cara menggali parit panjang di jalur aliran air tanah yang tercemar. Parit tersebut kemudian diisi dengan bahan reaktif (biasanya besi, karbon, atau batu kapur). Pasir dapat dicampur dengan bahan reaktif untuk membantu memungkinkan air mengalir melalui bahan tersebut. Terkadang, akan ada tembok yang mengarahkan air tanah ke bagian reaktif penghalang. Setelah parit diisi dengan material reaktif, tanah biasanya akan digunakan untuk menutupi PRB, sehingga menghilangkan visibilitas dari permukaan.

C. Pemecahan Masalah yang Pernah Digunakan

Air merupakan kebutuhan yang ada di setiap sisi kehidupan manusia, seperti: minum, mandi, cuci, masak dan lainnya. Oleh karena itu kuantitas maupun kualitas air harus memenuhi standar yang telah ditetapkan. Jika kebutuhan air belum terpenuhi secara kuantitas maupun kualitas, maka akan menimbulkan dampak yang besar terhadap kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat. Penggunaan air dapat dikategorikan dalam dua kategori, yaitu air rumah tangga dan air industri yang masing-masing mempunyai persyaratan tertentu. Persyaratan tersebut meliputi persyaratan fisik, kimia, dan bakteriologis (Mulyana, 2019). Salah satu upaya untuk meningkatkan kuantitas air bersih adalah dengan menggunakan waduk. Keberadaan waduk dapat

digunakan sebagai salah satu solusi yang digunakan menjadi cadangan air di suatu wilayah. Pada saat musim hujan, waduk akan menjadi tempat penampungan air hujan, sedangkan pada musim kemarau air yang ditampung saat musim hujan dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti: irigasi, air baku air minum, industri, hingga PLTA (Akhmad et al., 2012).

Upaya pemurnian air juga telah dilakukan antara lain metode membran. Pemurnian dengan menggunakan membran merupakan penyaringan dengan gaya pemicu berupa perbedaan tekanan, konsentrasi, potensial listrik maupun suhu dan selaput semipermeabel yang tipis. Pori-pori membran, terutama ultrafiltrasi memiliki pori-pori yang cukup kecil untuk mencegah mikroba dan virus. Membran biasanya dibuat dengan konsep *dead-end* yang biasa digunakan pada aplikasi industri seperti pembuatan *beer* dan penyaringan oli. Upaya pemurnian air menggunakan membran efektif untuk penyaringan pada konsentrasi rendah dan *pressure drop* yang kecil. Untuk penyaringan air, biasanya ditemukan konsentrasi pengotor tinggi desain membrane didesain menurut sifat aliran. Bahan yang digunakan dapat berupa tubular, lembaran, gulungan atau *hollow fiber*, tergantung dari tujuan proses. Bahan membran yang efektif dan murah adalah polimer dengan kestabilan kimia yang tinggi. Membran yang dapat digunakan pada skala desentralisasi adalah: Reverse Osmosis. Reverse Osmosis saat ini menjadi 60% metode pemurnian air yang digunakan di seluruh dunia. Reverse osmosis juga memerlukan *pre-treatment* untuk menghindari terjadinya *fouling*, diantaranya pemisahan dari sedimentasi, mikrofiltrasi, dan filter karbon aktif sebagai post-treatment. Reverse osmosis, hampir sama dengan ultrafiltrasi, hampir tidak membutuhkan beda tekan yang besar, cukup dengan tekanan *feed water* saja. Reverse osmosis lazim digunakan pada keran rumah tangga pada negara maju, namun membutuhkan perawatan secara berkala sehingga ada biaya maintenance yang harus dikeluarkan. Reverse osmosis unggul dan banyak digunakan pada desalinasi air laut pada kondisi darurat (Sitanggang, 2016).

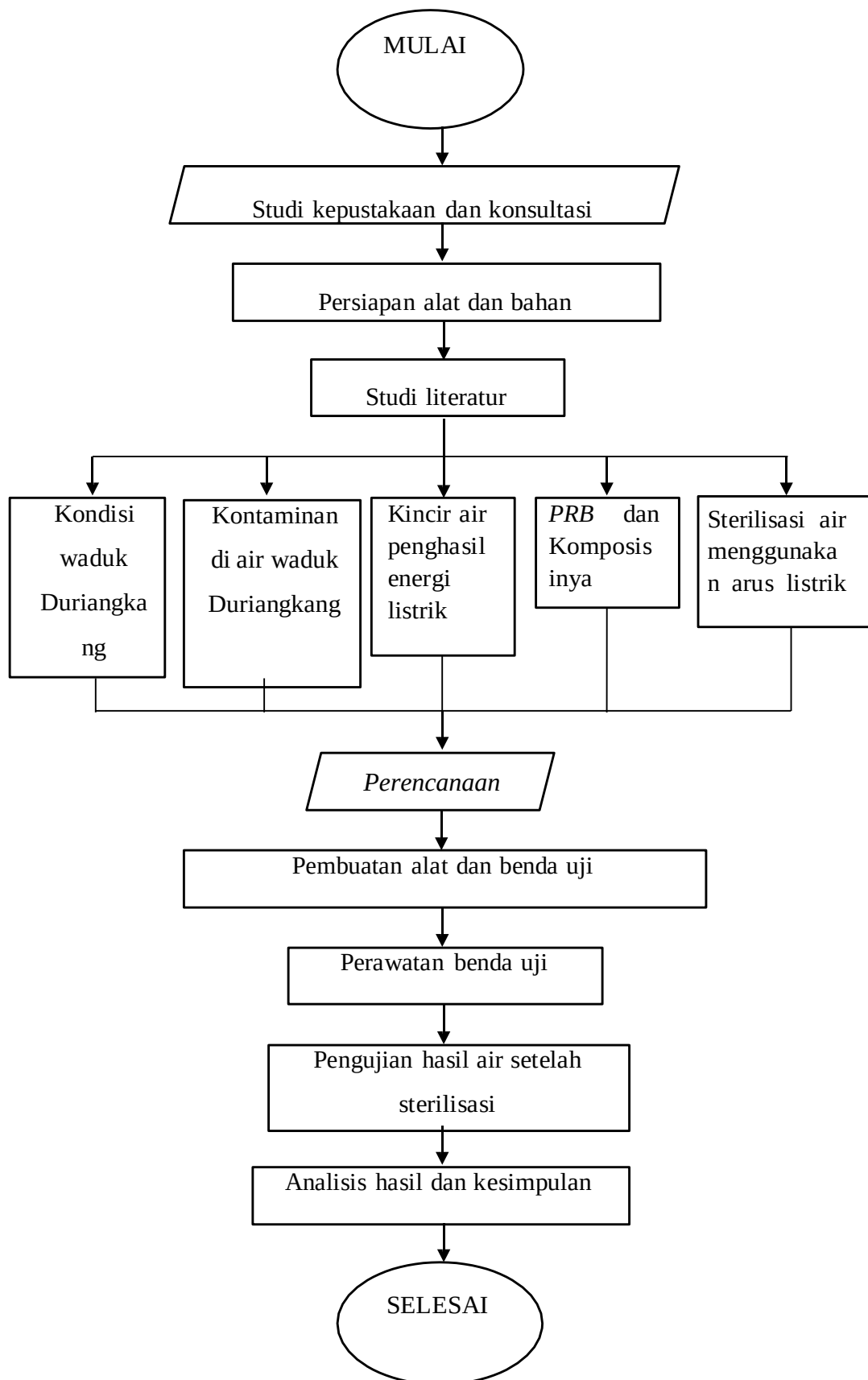
Metode Penulisan

A. Metode Penulisan

Karya tulis ilmiah ini dibuat dengan menggunakan metode penulisan *literatur review*, yaitu dengan mencari jurnal dan penelitian mengenai permasalahan air bersih di Kota Batam serta pemecahan masalahnya yaitu dengan menggunakan metode *Permeable Reactive Barrier*. Referensi yang dicari dan digunakan dalam penulisan ini adalah referensi yang diterbitkan mulai dari tahun 1999 sampai tahun 2021 dari berbagai sumber jurnal baik nasional maupun internasional.

B. Metode Penelitian

Berikut adalah diagram alir metode pembuatan benda uji sterilisasi air dalam penelitian ini.



Hasil dan Pembahasan

A. Komposisi *Permeable Reactive Barrier* (PRB)

Permeable Reactive Barrier dibangun dengan menggali saluran panjang (jalur aliran air tanah yang tercemar). PRB menggunakan bahan seperti *limestone* (batu kapur), karbon, untuk menghilangkan kontaminan. Memiliki presentasi sebagai berikut $Po4^{3-}$ dengan tebal 0,6 m; 6% Ca oksida, 9% batu kapur, dan 85% bahan akuifer (Painter, 2004). Terdapat juga penggunaan besi bervalensi nol / *zero valent iron* (ZVI) untuk meremediasi air pada waduk Duriangkang yang tercemar oleh limbah industri dan limbah rumah tangga. Bahan reaktif yang dipilih untuk PRB akan bergantung pada jenis kontaminan yang ada pada air tanah. Bahan ini bisa dicampur dengan pasir untuk membuat dinding lebih permeabel, sehingga lebih mudah air tanah yang terkontaminasi melaluinya supaya dapat tersaring sehingga mengeluarkan air dengan kualitas lebih baik. Dinding samping diisi dengan bahan kedap air (seperti tanah liat) dapat dimiringkan ke PRB untuk membantu mengarahkan air tanah yang terkontaminasi ke bahan reaktif disebut juga dengan *funnel and gate*.

Pada proses penyaringan air di waduk Duriangkang kami menggunakan *zero valent iron* (ZVI) sebagai bahan reaktif. Kami menggunakan ZVI dalam bahan reaktif dalam PRB ini karena pada waduk Duriangkang terdapat pencemaran air oleh limbah logam berat dan limbah masyarakat. ZVI sendiri memiliki fungsi untuk membersihkan logam berat, metalloid, radionuklida (Li dan Zhang, 2007), *chlorinated hydrocarbons* (Handerson dan Demond, 2007). Biasanya, ZVI yang digunakan berukuran mulai dari 0,25 mm hingga 2 mm.

Penggunaan ZVI sebagai bahan reaktif sudah banyak ditemui dan digunakan baik dalam laboratorium studi, maupun dalam prakteknya langsung di lapangan. Menurut laporan ITRC (*Information Technology Research Center*) tahun 2005 menyebutkan bahwa pada tahun 2004 penggunaan ZVI sebagai bahan reaktif PRB lebih dari 60%, dan itu digunakan di seluruh dunia. ZVI sendiri memiliki potensi reduksi yang cukup tinggi, yakni sebesar -440 mV (Simon dan Meggyes, 2000). Hal inilah yang

menyebabkan ZVI digunakan sebagai reduktor di sebagian besar sistem. Tingkat penghilangan kontaminan sangat tergantung pada ukuran butir dan luas permukaan spesifik dari besi dan kondisi geokimia akuifer yang ada.

Berikut akan dijelaskan secara lebih terperinci mengenai bahan-bahan yang dipakai pada PRB. Pertama, ZVI juga banyak digunakan untuk menghilangkan klorinasi pelarut seperti TCE dan PCE. Kontaminan ini sebagian besar adalah sebagai oksidan. Sehingga dengan mudah dapat direduksi oleh ZVI melalui transfer elektron dalam kondisi anaerobik. Kemampuan ZVI untuk membersihkan logam berat bergantung pada kemampuannya dalam menetralkan asam pada saat kondisi redoksnya. Adanya spesies anorganik dalam akuifer juga akan mempengaruhi kereaktifan ZVI dan penghilangan kontaminan (sterilisasi).

Kedua, karbon memiliki banyak kegunaan untuk PRB. Sistem penyaringan menggunakan karbon pada dasarnya sangat sederhana. Karbon dihasilkan dari pemanasan tempurung kelapa yang menghasilkan arang. Karbon adalah material yang memiliki pori-pori yang sangat banyak dan lebar. Lubang-lubang ini berfungsi untuk menyerap kontaminan yang melewatinya, maka karbon menyerap kandungan yang kurang baik. Jika karbon digunakan untuk menyaring air, maka kontaminan di dalam air akan masuk ke pori-pori dan terperangkap. Fungsinya adalah untuk menyerap bau pada air tercemar, menjernihkan air, dan menyerap klorin supaya menghasilkan air yang lebih bersih.

Ketiga, kapur (*Limestone*) ($CaCO_3$) adalah endapan dari cangkang/rumah kerang dan siput, foraminifera atau ganggang, atau berasal dari kerangka binatang koral/kerang. Batu kapur dapat berwarna putih susu, abu muda, abu tua, coklat bahkan hitam. Penggunaan batu kapur tergolong aman untuk mengikat, mengendapkan kotoran, dan menetralkan pH air. Pembersihan endapan batu gamping dari dasar tempat penampungan air harus dilakukan secara berkala untuk menjaga kejernihan air.

Keempat, fosfat merupakan salah satu bentuk dari senyawa fosfor yang dapat dijadikan sebagai faktor penentu kualitas air. Fosfat terdapat di air alam atau limbah sebagai senyawa polifosfat, fosfat organik dan ortofosfat. Bila kadar fosfat dalam air alam sangat rendah (Alaerts 1984).

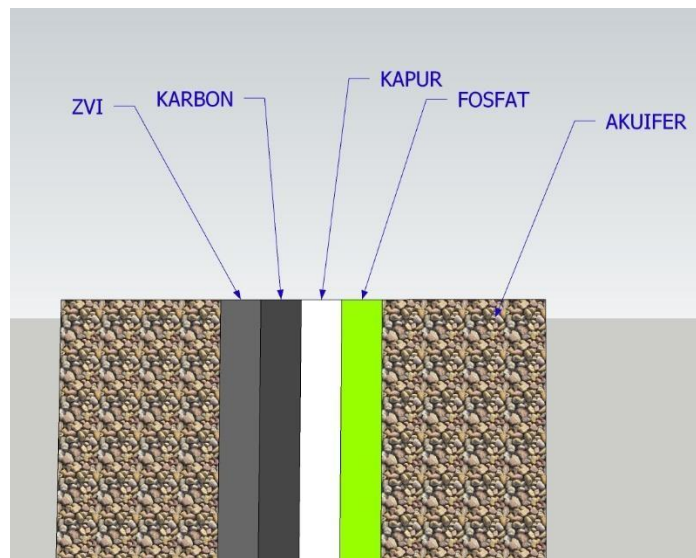
Kandungan fosfat dalam perairan pada umumnya berasal dari pupuk pada pertanian, kotoran manusia maupun hewan, industri dan rumah tangga. Detergen dalam rumah tangga juga menjadi penyumbang kadar fosfat yang signifikan dalam perairan. Biota air membutuhkan fosfat untuk hidup, namun jika dalam konsentrasi yang berlebih akan menimbulkan dampak yang berbahaya. Jumlah fosfat yang tinggi akan menimbulkan pertumbuhan alga yang sangat besar dan mengakibatkan kurangnya sinar matahari yang masuk ke perairan. Ketika alga mati, bakteri akan memecahnya dengan bantuan oksigen terlarut dalam air sehingga dapat mengurangi kadar oksigen dalam air (Green, 2018).

Kadar fosfat limbah dapat diatasi dengan baik bila melakukan pengendapan setempat yaitu dengan cara menyalurkan limbah tersebut di suatu area khusus untuk limbah. Pengendapan fosfat tersebut dapat dilakukan dengan berbagai bahan kimia seperti, kapur, alum dan garam feri.

Kelima, Akuifer adalah lapisan bawah tanah yang mengandung air dan mampu mengalirkan air. Hal ini disebabkan karena lapisan tersebut bersifat permeable yang mampu mengalirkan air baik karena adanya pori-pori pada lapisan tersebut ataupun memang sifat dari lapisan batuan tertentu. Contoh batuan pada lapisan akuifer adalah pasir, kerikil, batu pasir, batu gamping rekahan.



Gambar Aquifer



Gambar Komposisi PRB

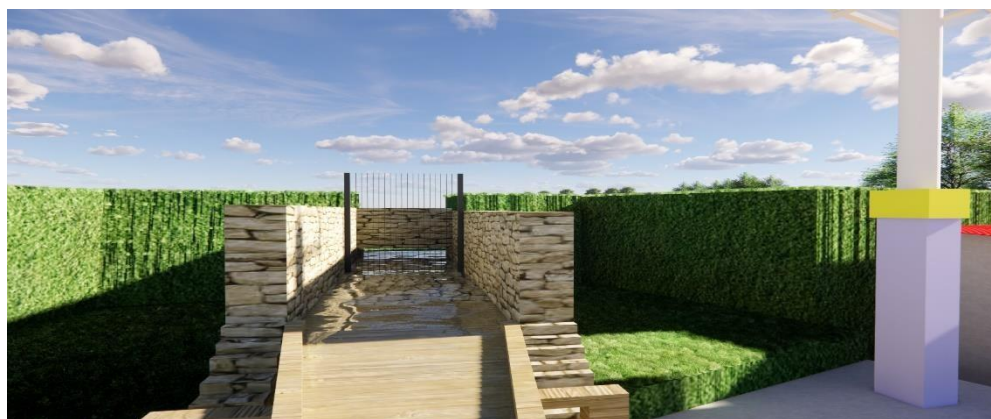
B. Proses Penyaringan *Permeable Reactive Barrier* (PRB)

Ketika air dari waduk dialirkan melalui saluran yang lebih kecil, saluran dipasang penghalang untuk mencegah limbah biologis seperti ranting dan dedaunan masuk proses sterilisasi. Setelah itu, air akan melalui kincir air dan menggerakkan kincir air sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Setelah melalui kincir air, air akan melewati *Permeable reactive Barrier* (PRB). PRB dipasang secara melintang di saluran masuk air. Kontaminan yang terdapat di dalam air diharapkan berkurang setelah melewati PRB. Kontaminan akan bereaksi dengan bahan aktif yang ada di dalam PRB. Ketika PRB sudah dipakai dalam jangka waktu yang lama maka bahan reaktif tersebut

akan terisi dengan kontaminan, sehingga alat PRB menjadi kurang efektif dalam penggunaannya. Maka dari itu, diperlukan penggantian bahan reaktif secara berkala sehingga PRB dapat digunakan secara efektif. Penggantiannya dapat dilakukan dengan cara digali dan diganti dengan bahan yang baru.



Gambar Ilustrasi mekanisme kerja alat



Gambar Saringan

C. Sterilisasi air menggunakan arus listrik

Penerapan sistem sterilisasi air menggunakan arus listrik dapat didapatkan dari pengolahan energi potensial air itu sendiri. Cara yang akan kami lakukan adalah dengan membuat kincir air. Jenis kincir air yang digunakan adalah kincir air *overshot*. Kincir air *overshoot* adalah kincir yang akan bekerja bila air yang mengalir jatuh ke dalam sela-sela bagian atas, dan karena gaya berat air roda kincir berputar pada porosnya. kincir air *over-shot* merupakan kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain karna mudah dalam penerapannya dan perawatannya lebih mudah (Sule *et al.*, 2018).

Setelah air melalui proses penyaringan, air tidak dapat langsung menjadi air yang layak konsumsi. Maka dari itu perlu adanya proses sterilisasi. Energi listrik yang dihasilkan akan disimpan lalu dijadikan sebagai alat sterilisasi air. Sterilisasi air dilakukan dengan membuat arus listrik dengan besar tertentu selama waktu yang ditentukan. Salah satu faktor penghambat pertumbuhan mikroba adalah adanya arus listrik, karena listrik dapat mengakibatkan terjadinya elektrolisis bahan penyusun medium pertumbuhan, selain itu arus listrik arus listrik dapat menghasilkan panas sehingga dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba sel. Arus listrik bertegangan tinggi yang melewati cairan dapat menyebabkan terjadinya *shock* terutama disebabkan oleh oksidasi, ionisasi radiasi, dan mulai terbentuk ion logam yang dapat mematikan mikroba. Semakin besar tegangan arus listrik maka semakin besar jumlah penurunan mikroorganisme dalam air, dengan kata lain penurunan jumlah mikroorganisme sebanding lurus dengan besar tegangan arus listrik (Analís, Delima and Gresik, 2016).



Gambar Kincir Air



Gambar Alat Penjernih



Gambar Penyimpanan Tenaga Listrik



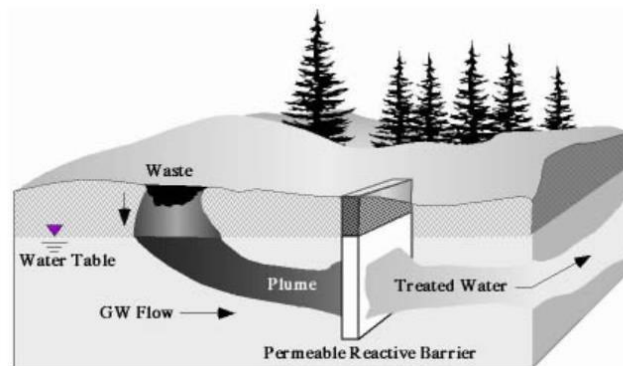
Gambar View Keseluruhan

D. Penggunaan PRB

Penggunaan PRB pertama dilakukan di Canadian Forces Base, (O'Hannesin and Gillham, 1998). Teknologi ini digunakan untuk meremediasi air tanah yang terkontaminasi dengan TCE (*trichloroethylene*) dan *vinyl chloride* (VC). Setelah terbukti efektif dalam mengurangi kontaminan, penggunaan PRB ditambah dengan bahan aktif lainnya agar memaksimalkan sistem pemulihan air tanah. Kontaminan yang dapat diremediasi selanjutnya adalah *halogenated aliphatic hydrocarbons*, *metals*, *metalloids*, *radionuclides*, *pesticides*, *petroleum hydrocarbons*, dan *nutrients emanating from agricultural system*.

Terdapat dua jenis konfigurasi pada PRB yang telah digunakan *the funnel-and-gate* dan *the continuous gate designs* (Powell et al., 1998; Thiruvenkatachari et al., 2008). Bentuknya terdiri atas dua struktur, corong yang terdiri dari *cut-off walls* untuk mengalirkan air ke area perawatan air dan *treatment zone* untuk penjernihan air dari bahan bahan kontaminan. Tetapi konfigurasi tipe ini membutuhkan biaya yang mahal, diperlukan penghalang kontaminan dan pengobatan disetiap jalur kontaminan. Kelebihan dari jenis ini adalah mudah dibuat tetapi hanya cocok untuk penggunaan pada saluran air tanah yang berukuran tidak terlalu lebar.

Bahan reaktif yang digunakan dalam PRB akan bervariasi tergantung pada kontaminan yang terdapat pada daerah yang akan menggunakan PRB. Media reaktif yang paling umum adalah Zero Valence Iron (ZVI), mewakili sekitar 55% dari instalasi PRB pada tahun 2002. Pada PRB ini mencakup penggunaan ZVI, *Granular Activated Carbon* (GAC), *Limestone* dan *Oxygen-Releasing Compounds* (ORC).



Gambar Desain tata letak dasar PRB. (University of Newcastle Australia, 2012)

Kesimpulan

Penggunaan *permeable reactive barrier (PRB)* merupakan salah satu solusi yang tepat untuk penyediaan air bersih. PRB digunakan untuk pengobatan berbagai kontaminan, termasuk pengobatan AMD dan perbaikan sungai yang tercemar berat logam. PRB memiliki biaya perawatan yang relatif rendah karena memanfaatkan potensi daerah yang ada, dan memerlukan masukan energi yang rendah, dan alternatif yang lebih berkelanjutan untuk metode pompa dan perawatan tradisional.

Besi bervalensi nol (*Zero Valent Iron*) saat ini merupakan bahan reaktif yang paling umum digunakan dalam PRB, tetapi dapat diolah dan diperluas, karena jenis media lainnya yang telah diimplementasikan di PRB seperti zeolit, batugamping, organik, substrat, dan karbon aktif.

Pemilihan bahan reaktif sangat penting untuk dilakukan. Karena harus mampu menghilangkan kontaminan (bakteri) dan harus tetap memperhatikan permeabilitas yang memadai aliran melalui PRB. Untuk mengevaluasi kesesuaian bahan reaktif yang akan digunakan, uji laboratorium harus dilakukan. Hal yang diuji adalah nilai keefektifan dan tingkat penghilangan polutan dari penghalang potensial bahan, serta mengevaluasi produk reaksi yang terbentuk dalam proses remediasi dan toksisitas, dan memperkirakan waktu kerja reaktor. Meskipun banyak penelitian berbasis laboratorium sudah dilakukan pada teknologi PRB, penelitian lebih lanjut masih diperlukan untuk menentukan kinerja jangka panjang PRB, yang dapat mempengaruhi akseptabilitas dan skala penuh mereka di dalam penerapan.

Daftar Pustaka

- Akhmad, A. H., Bayuadji, G., Bina, D., Sumber, P., Air, D., Jenderal, D., & Daya, S. (2012). (*Tmc*) *Dalam Rangka Meningkatkan Ketersediaan Air Di Waduk Untuk Mengatasi Krisis Air 1. April*, 1–13.
- Analís, A., Delima, K. and Gresik, H. (2016) ‘PENGUNAAN KUAT ARUS LISTRIK DALAM PROSES STERILISASI AIR Nur Yaqin *) , Miftakhul Anissa *)’, 6(12), pp. 1–4.
- Guatam C. Ijoor, (1999), ‘*Modeling of A Permeable Reactive Barrier*’, New Jersey, Institute of Technology.
- Hariyadi, R. (2006). Pengaruh Pencemaran Limbah Industri dan Domestik Terhadap Kualitas Air Waduk Duriangkang. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 7(3), 271–276. <http://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JTL/article/view/390>
- James, (2020), ‘Remediation technologies’, *Chemistry and technology*, hh. 263-303.
- Karl Ernst Roehl, Kurt Czurda, Tamas Meggyes, Franz-Georg Simon and D.I. Stewart, C (2005), *Long-term Performance of Permeable Reactive Barriers*, Elsevier BV, Amsterdam.
- Liu, L. Wei, (2018), ‘Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability’, *Science of the total environment*, vol. 633, hh. 206-219.
- Meilita T.S, Tuti S.S, (2003), ‘*Arang aktif(pengenalan dan proses pembuatannya)*’, Jurusan teknik industri, Fakultas teknik, Universitas sumatera utara, www.library.usu.ac.id.
- Muliyana, R. (2019). Upaya penurunan kadar logam berat air menggunakan metode elektrokoagulasi untuk menghasilkan air bersih. *Skripsi. Fakultas Sains Dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Sumatera Utara. Medan*.
- Sitanggang, P. Y. (2016). Sistem Pengolahan Air Minum Terdesentralisasi dengan Teknologi Membran. *Teknik Kimia ITB*, 10.

- Obiri, Franklin, (2014) 'An overview of permeable reactive barriers for in situ sustainable groundwater remediation', *Journal of Environmental Management*, vol. 111, hh. 243-259.
- O'Hannesin, S.F., Gillham, R. W., 1998. Long-term performance of an in situ "Iron Wall" for remediation of VOCs. *Ground Water* 36 (1), 164 – 170.
- Painter, B. D. M, (2004), 'Reactive barriers: Hydraulic performance and design enhancements'. *Ground Water*, vol. 42, no. 4, hh. 609–617.
- Robby Apramana Ginting, (2002), 'Penentuan Kadar Fosfat (PO₄) Pada Air Limbah Menggunakan Spektrometer Uvvisible Pada PT. Sucofindo Medan', Program studi D-3 Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara.
- R. Thiruvengkatachari, S. Vigneswaran, R. Naidu, C (2008), 'Permeable reactive barrier for groundwater remediation', *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 14, no. 2, hh. 145-156.
- Sitanggang, P. Y. (2016). Sistem Pengolahan Air Minum Terdesentralisasi dengan Teknologi Membran. *Teknik Kimia ITB*, 10.
- Sule, L. et al. (2018) 'Kinerja Roda Air Sudu Lengkung Arus Bawah Untuk Pembangkit Listrik', 4(November), pp. 449–460.
- Willy, Robertus W. Triweko, Bambang A.Riyanto, Wanny K. Adidarma, Doddi Yudianto, (2020), 'Analisis Kapasitas Waduk Mukakuning dan Duriangkang Dalam Memenuhi Kebutuhan Air Baku Kota Batam', *Jurnal Sumber Daya Air*, Vol. 16, no. 2.
- Zhang, (2009), 'Point sources of pollution: local effects and its control', *Journal of Remediation techniques for soil and groundwater*, Vol. II, hh. 514.