



Desentralisasi Pengolahan Air Lestari dengan Menggunakan Adsorben Biochar Lokal bagi Komunitas Pedesaan yang Sedang Berkembang

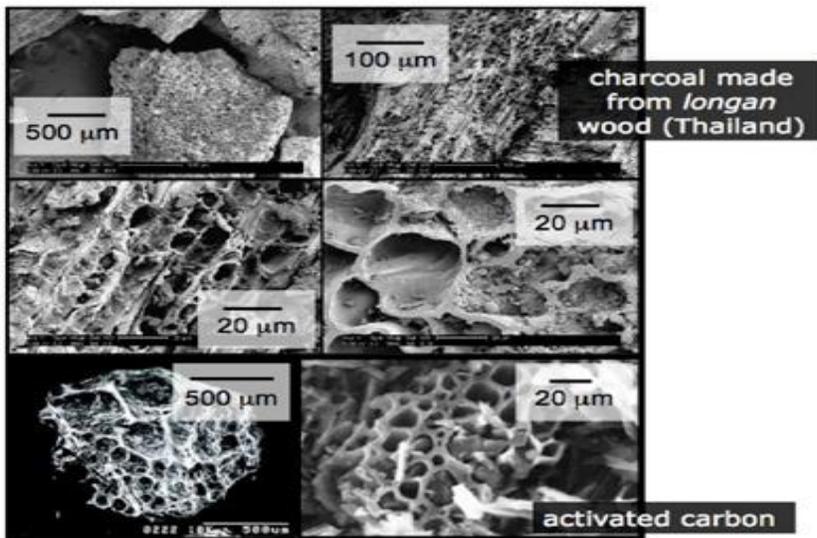
Oleh Josh Kearns, MS

Disunting oleh Rick dan Ellen Burnette

Kontaminan kimia sintetis pada air: tantangan yang sering diabaikan dalam pembangunan komunitas berkelanjutan di dunia internasional.

Kontaminasi sumber-sumber air minum oleh senyawa- senyawa organik sintetis berbahaya (SOC) seperti pestisida, merupakan masalah besar di seluruh dunia. Pencemaran pestisida muncul dua kali dalam urutan sepuluh besar *The World's Worst Toxic Pollution Problems Report 2011*¹ oleh Blacksmith Institute, dan telah diindikasikan dalam setiap laporan tahunan mereka sejak publikasi awal tahun 2006. Namun, masih sangat sedikit teknologi hijau (teknologi ramah lingkungan) yang efektif, terjangkau dan terukur untuk menghilangkan SOC, yang dapat diakses oleh berbagai komunitas di negara berkembang atau di daerah-daerah terpencil di negara-negara maju.

Baru-baru ini, sebuah tinjauan yang dilakukan oleh *The Science*² menunjukkan bahwa



setiap tahunnya diproduksi 300 juta ton SOC, di antaranya terdapat lima juta ton pestisida, yang mengakibatkan kerusakan kualitas air pada skala global. Laporan ini menyoroti tantangan-tantangan khusus di negara-negara berkembang, termasuk penggunaan pestisida yang berlebihan, ketidaktahuan umum akan bahayanya bagi lingkungan dan kesehatan, serta

Gambar 1. Hasil scan mikroskop elektron (SEM)

Gambar arang longan (*charcoal made from longan wood*) dan karbon komersial teraktivasi (*activated carbon*) menunjukkan kemiripan morfologis

(Gambar-gambar arang hasil SEM dipakai seijin Carl Saquing North Carolina State Universit.)



meluasnya penggunaan bahan- bahan kimia tidak sah di pasar gelap. Misalnya, 75 persen dari pestisida yang digunakan di Thailand sekarang ini, sudah dilarang atau sangat dibatasi penggunaannya di negara-negara Barat karena efeknya yang sangat merusak terhadap kesehatan ekologi dan manusia³. Para penulis *The Science* menyatakan bahwa "teknik penanganan limbah skala kecil, berbasis rumah tangga sering menjadi satu-satunya strategi mitigasi yang memungkinkan karena kurangnya infrastruktur terpusat," dan ada kebutuhan dikembangkannya sebuah "sistem yang sederhana, terjangkau dan handal, yang bisa diterapkan oleh penduduk lokal meskipun hanya melalui sedikit pelatihan."

Sayangnya, SOC belum 'tertangkap radar' para aktor utama sektor pembangunan internasional yang menerapkan WASH (*water-sanitation-hygiene*/air-sanitasi-kebersihan). Tujuan-tujuan Pembangunan Milenium PBB/ *The UN Millennium Development Goals*, misalnya, hanya mempedulikan mitigasi agen biologis dari penyakit yang ditularkan oleh media air.⁴ Baru-baru ini, saya menghadiri sebuah konferensi besar berskala internasional tentang air dunia dan kesehatan di komunitas-komunitas yang sedang berkembang.⁵ Presentasi saya adalah satu-satunya yang mengungkapkan adanya SOC dalam air minum dan apa

teknologi penanganan yang berpotensi dapat mengatasi keadaan ini.⁶ Memang dibenarkan untuk berfokus pada mikroba patogen karena mereka mendatangkan ancaman langsung

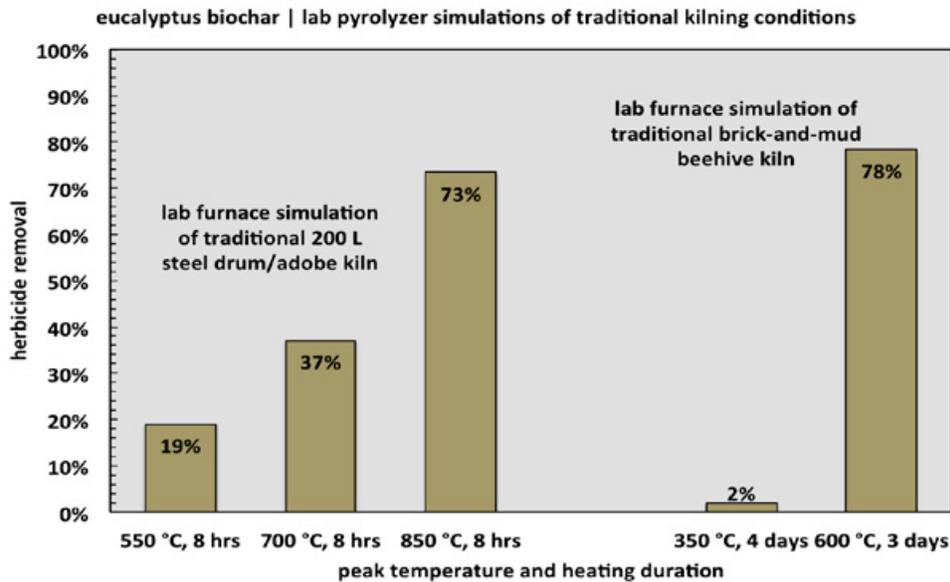
bagi kesehatan manusia (misalnya diare). Meskipun demikian, kita tidak boleh mengabaikan ancaman akumulasi-biologis dari racun kimia semacam pestisida. Skala dan kesegeraan dari masalah ini benar-benar menjadi sorotan, misalnya dalam survei yang dilakukan atas perempuan suku Hmong di desa Mae Sa Mai, Provinsi Chiang Mai, Thailand.

Fitur dalam AN kali ini

1. Desentralisasi Pengolahan Air Lestari dengan Menggunakan Adsorben Biochar Lokal bagi Komunitas Pedesaan yang Sedang Berkembang
2. Artikel Rick
3. 2013 ECHO Asia Agriculture and Community Development Conference
4. **The ECHO Asia Impact Center** bergerak di bawah naungan ECHO, sebuah organisasi Kristen nirlaba yang membantu Anda menolong mereka yang menderita kemiskinan sehingga dapat menghasilkan makanan di wilayah-wilayah negara sedang berkembang.

ECHO Asia Impact Center
 PO Box 64
 Chiang Mai 50000 Thailand
 echoasia@echonet.org
 www.ECHOcommunity.org

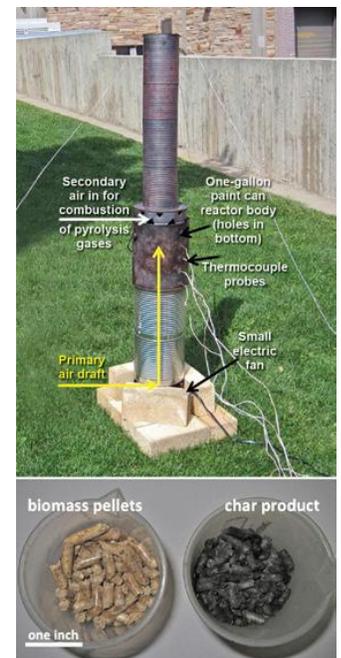
Laporan survei ini menunjukkan terdeteksinya DDT sebanyak 100 persen di sampel susu ibu. Selain itu juga sering terdeteksi adanya sejumlah *biocides*(substansi beracun) lainnya. Para bayi terpapar berbagai substansi beracun ini dengan tingkat mencapai lebih dari 20 kali asupan harian yang dapat diterima sesuai rekomendasi lembaga-lembaga PBB yaitu FAO dan WHO.⁷



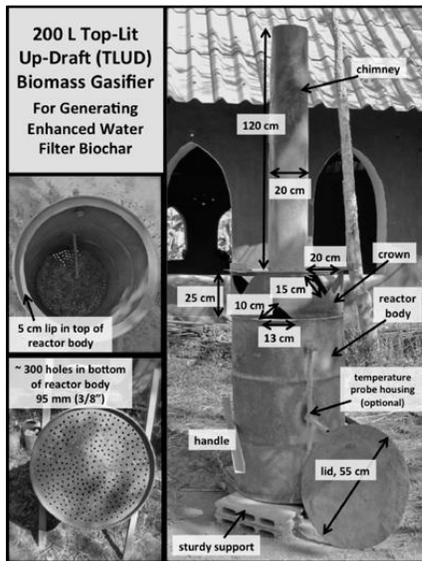
Gambar 3. Kisaran Pembuangan Herbisida menurut simulasi tungku arang tradisional

Penyaringan menggunakan Arang/*biochar*: opsi penanganan air terdesentralisasi yang tepat-guna, hemat-biaya dan berkelanjutan?

Penyaringan menggunakan arang telah digunakan untuk menangani air minum selama ribuan tahun,⁸ dan sampai sekarang masih dipraktikkan secara meluas - terutama di daerah pedesaan negara-negara penghasil utama arang seperti Brazil, India, China, Thailand dan di seluruh wilayah Asia Tenggara. Penyaringan menggunakan arang yang dikelola secara lokal mungkin merupakan penghambat paling efektif terhadap paparan SOC di rumah tangga dan komunitas-komunitas daerah miskin dan terpencil di dunia karena arang dapat menunjukkan sifat-sifat yang mirip dengan karbon aktif.¹⁰ Meskipun demikian sampai saat ini, belum ada penelitian yang secara kuantitatif menghitung seberapa efektifnya arang dalam pengolahan air.¹¹



Gambar 4. Unit produksi arang gasifier biomasa berskala tungku (untuk teori dan catatan konstruksi terinci lihat Anderson et.al.2007, 27 Anderson 2010 28 dan McLaughlin 2010 29 dan 2011 30.) (alat pengujian thermocouple probes ditujukan untuk kepentingan penelitian dan bisa tidak diikutsertakan.)



Gambar 5. Unit produksi biomass gasifier arang 200 liter (55 gal.) bagi usaha pertanian



Gambar 6 dan 7. Sistem produksi gasifier biochar yang terbuat dari dua unit drum berukuran 200 liter (55 galon) dan besi bekas (foto oleh Lyse Kong)

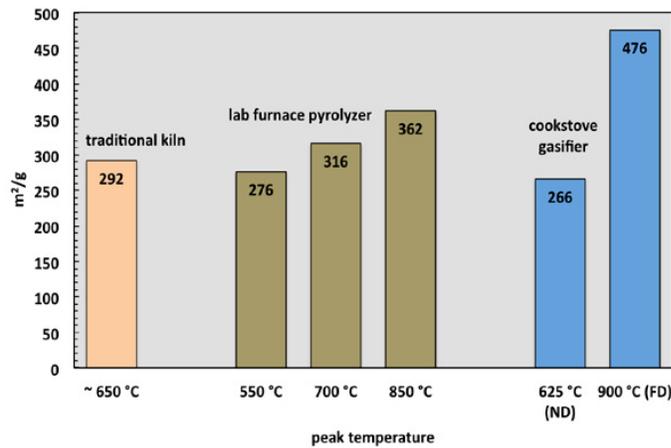
Ringkasan dan diskusi hasil-hasil penelitian lapangan dan laboratorium

Bagian ini menguraikan hasil penelitian lapangan terbaru dan berbagai percobaan laboratorium yang ditujukan untuk menyelidiki keefektifan potensi arang tungku tradisional dan arang gasifier untuk pengolahan air. Sistem tungku tradisional

digunakan untuk memproduksi arang yang dihasilkan oleh bahan baku kayu yang biasanya dipakai sebagai bahan bakar untuk memasak. Proses pembakaran menggunakan tungku ini sering mengakibatkan polusi, inefisiensi energi, serta menghabiskan banyak waktu dan tenaga. Sedangkan unit memasak menggunakan gasifier menghasilkan yang biasanya digunakan untuk memasak dan menghangatkan ruangan menghasilkan pembakaran yang bersih, hemat energi, menghasilkan arang residu, lebih mudah dan lebih menyenangkan dalam pengoperasiannya serta bisa memanfaatkan bahan baku biomassa yang beragam, termasuk di dalamnya limbah dan hasil sampingan pertanian dan kehutanan. Rincian lebih mendalam tentang latar belakang konsep gasifikasi biomassa untuk produksi arang bisa dilihat di www.aqsolutions.org.

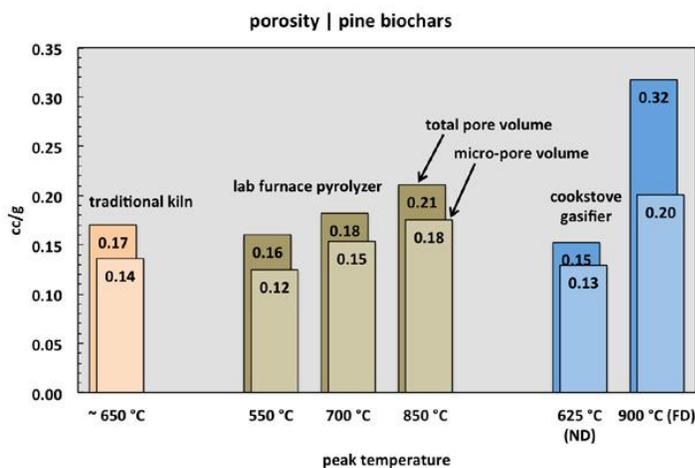
Arang yang dihasilkan oleh sistem tungku tradisional

Berbagai percobaan pendahuluan menunjukkan bahwa arang yang dihasilkan oleh pembakaran tungku tradisional di wilayah pedesaan Asia (misalnya yang menggunakan drum horizontal berukuran 200 L¹² dan model tungku sarang lebah dari batu bata-dan-lumpur) menunjukkan kapasitas *adsorpsi* herbisida yang lumayan. Namun penelitian menunjukkan sangat beragamnya penyerapan SOC oleh arang-arang yang dihasilkan teknologi tradisional.¹³ Meskipun hasil awal ini menjanjikan, namun sistem manufaktur arang tradisional ini tidak hemat energi dan sangat menghasilkan polusi serta memberikan kontribusi cukup besar pada emisi gas rumah kaca, dan sering memanfaatkan bahan baku yang tidak berkelanjutan dan diambil secara ilegal.^{14,15,16}



Gambar 8. Permukaan biochar pinus

Jika kita membahas pengolahan air, maka perlu disadari bahwa tidak semua arang tradisional dihasilkan dalam bentuk yang sama. Dalam kerjasama dengan petani dan penduduk desa di wilayah utara Thailand dan *Thai Royal Forestry Department Wood Energy Research Centre* di Provinsi Saraburi, kami telah mengamati produksi arang tradisional yang dilakukan dalam drum logam 200 L/tungku *adobe* dan tungku sarang lebah yang dibuat dari batu bata-dan-lumpur.



Gambar 9. Porositas biochar pinus

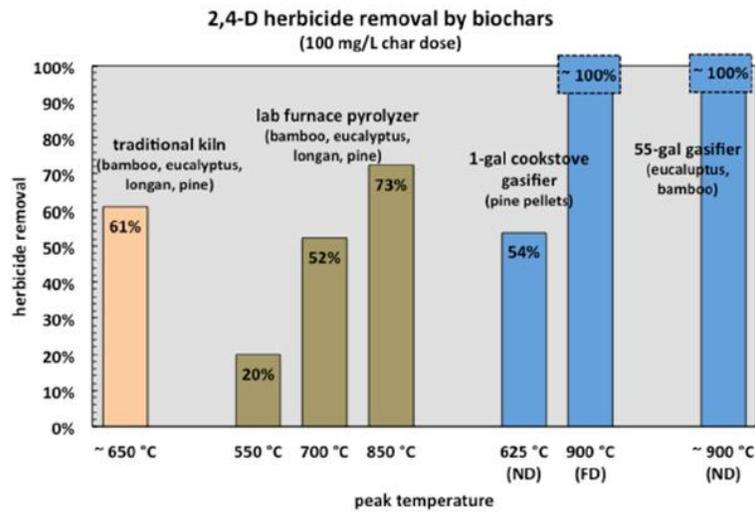
Pengamatan menggunakan unit pirolisis laboratorium yang dapat diprogram untuk menghasilkan arang eksperimental ini, menunjukkan simulasi berbagai suhu puncak dan karakteristik durasi pemanasan dari berbagai sistem produksi arang tradisional. Gambar 3 menunjukkan beragamnya variabilitas kapasitas penyerapan herbisida oleh arang yang diproduksi di bawah berbagai kisaran kondisi. Di bawah berbagai kondisi percobaan ini, arang yang dipamerkan menunjukkan data tidak menyerap/menghapuskan

herbisida sampai ke~ 80-persen. (Metode eksperimen dan data tambahannya disajikan dan dibahas di bawah ini.) Dengan demikian, potensi efektifitas arang untuk mengolah air sangat dipengaruhi oleh berbagai kondisi pembuatan dan kualitas produk arang yang dihasilkan.

Arang yang dihasilkan dari biomasa gasifier

Produksi arang dalam skala besar, yang mempunyai daya serap konsisten tinggi, hemat energi, efisien dan berkelanjutan bisa dihasilkan menggunakan gasifikasi biomasa. Penyebaran tungku gasifier biomasa untuk keperluan memasak di rumah tangga- rumah tangga di berbagai komunitas yang sedang berkembang berlangsung cepat karena gasifier biomasa menghasilkan energi pembakaran yang efisien serta pengurangan emisi^{17,18}

sekaligus dalam skala kecil memproduksi arang sebagai hasil sampingan bahan bakar pertanian dan kehutanan selama pemakaian normal gasifier sehari-hari.^{19,20} Sistem gasifier skala menengah dan besar juga sedang dikerahkan di seluruh dunia sebagai generasi



Gambar 10. Penghapusan herbisida umum 2,4-D (2,4 dichlorophenoxyacetic acid) dari dalam larutan oleh berbagai arang yang dipakai dalam percobaan

biochar untuk perbaikan kualitas tanah pertanian guna meningkatkan hasil panen dan menghilangkan karbon.^{21,22,23} Dari sudut pandang lingkungan dan energi maka produksi arang yang dihasilkan dengan sistem gasifier lebih disukai bila dibandingkan dengan produksi arang tradisional, karena gas pirolisis terbakar di dalam unit gasifier itu sendiri dan bukannya dipancarkan sebagai polutan,^{24,25} sehingga dapat menghasilkan energi yang mendorong pirolisis serta menghapus kebutuhan

akan sumber energi panas dari luar/eksternal. Gasifier biomasa juga dapat digabungkan dengan unit proses lainnya untuk mengumpulkan bahan bakar biologis/*bio-fuel* dan memanfaatkan limbah panas.²⁶

Sampai sekarang, penelitian-penelitian menunjukkan bahwa arang gasifier, terutama jika dioperasikan dalam moda *high-draft* (misalnya, dengan menggunakan kipas atau blower untuk memperbesar aliran udara jika diperlukan) akan secara konsisten mengembangkan karakteristik fisik-kimiawi/*physico-chemical* seperti area permukaan, porositas-mikro, dan kapasitas serap herbisida yang tinggi jika dibandingkan dengan tungku arang tradisional.^{31,32} Oleh sebab itu arang gasifier mungkin merupakan pilihan optimal untuk meningkatkan kualitas air karena potensi arang ini dalam menghilangkan pestisida, senyawa industrial dan senyawa bahan bakar, kontaminan dari manusia dan ternak serta SOC lainnya.

Gambar 8 dan 9 menunjukkan area permukaan N₂ BET (atas) dan porositas (bawah) arang yang dibuat dari (1) bilah-bilah kayu pinus dalam sebuah drum logam tradisional berukuran 200 L dan tungku adobe/tanah liat, (2) bilah-bilah kayu pinus berukuran seragam dalam sebuah *pirolizer* laboratorium yang bisa diprogram dan yang digunakan untuk pembuatan arang dibawah suhu terkontrol dan kondisi atmosferik, dan

(3) dari sebuah gasifier TLUD berukuran tungku masak yang menggunakan pelet pinus. (area permukaan dan porosimetri digunakan dengan seijin David Rutherford, USGS.)

2,4-D dipilih sebagai senyawa uji sebab relevansi lingkungannya sebagai herbisida yang dipakai secara meluas di seluruh dunia dan sebagai salah satu pestisida paling terdeteksi di lingkungan air,³³ demikian juga pengaruhnya terhadap kesehatan manusia sebagai karsinogen potensial dan diduga sebagai pengganggu endokrin.³⁴ Kandungan kimia 2,4-D juga membuatnya menjadi senyawa yang menantang untuk dihilangkan melalui adsorpsi—dengan demikian jika 2,4-D dapat diserap oleh arang tertentu maka kemungkinan besar berbagai pestisida lainnya juga akan bisa diserap secara efektif.

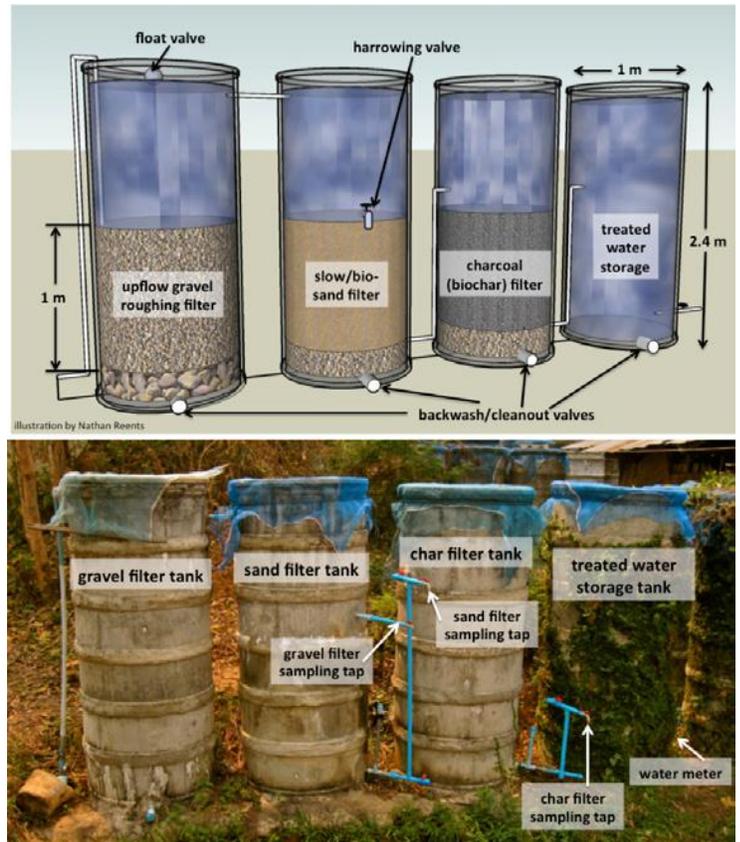
Kumpulan eksperimen dilakukan menggunakan masing-masing 100 mg/L arang yang dihaluskan dengan lesung dan alu/alat penumbuk sehingga kehalusannya lulus penyaring berstandar Amerika (*US Standard Sieve*). Arang halus ini kemudian dimasukkan ke dalam larutan bahan organik dengan konsentrasi total karbon organik sebesar 4 mg/L (simulasi air alami). Ke dalam larutan ini dicampurkan 100 µg/L 2,4-D (US EPA MCL 70 µg/L; WHO *Guideline* 30 µg/L). Untuk mencapai kesetimbangan maka dalam dua minggu, botol percobaan digoyang-goyangkan/dikocok. Data tungku tradisional adalah nilai rata-rata dari tiga jenis arang yang terbuat dari bambu, bilah-bilah kayu putih dan potongan kayu pinus di dalam drum baja berukuran 200 L/tungku *adobe*. Data *pirolizer* laboratorium yang ditampilkan adalah nilai rata-rata dari empat jenis arang yang terbuat dari bambu, kayu putih, sejenis kayu leci dan kayu pinus yang dipotong dengan ukuran seragam (15 cm x 10cm x 1cm) dan dipirolisasi di bawah suhu terkontrol dan kondisi atmosferik. Data gasifier tungku masak yang ditampilkan adalah nilai rata-rata dari beberapa angkatan arang pelet pinus yang dibuat dalam unit TLUD 1-galon di bawah kondisi aliran udara alami (ND/*Natural Draft*) dan aliran udara buatan (FD/*Forced Draft*) menggunakan kipas angin listrik). Arang Gasifier tungku masak -FD dan 55-galon gasifier-ND menghilangkan 2,4-D sampai di bawah batas deteksi (2 µg/L), karenanya “setara dengan ~ 100 persen”.

Kesimpulan terbaru dari berbagai laboratorium dan penelitian lapangan

Singkatnya, dibandingkan dengan produksi arang tradisional, produksi arang gasifier terbukti lebih hemat energi dan memancarkan jauh lebih sedikit polusi atmosferik. Lagipula, gasifier dapat dioperasikan menggunakan produk sampingan dan residu pertanian, atau kehutanan serta cocok dengan bahan bakar biomasa yang berbentuk butiran, kepingan atau pelet. Gasifier mudah dihubungkan dengan berbagai proses dan aplikasi lainnya untuk menangkap dan memanfaatkan limbah panas. Penelitian telah menunjukkan bahwa baik *pirolizer* skala kecil (tungku masak) dan skala menengah (200 L / drum 55-galon) juga secara konsisten mencapai suhu tinggi (650-950 ° C/1,202-1,742 °F) yang diperlukan untuk perkembangan substansial dari area permukaan dan porositas produk arang, serta peningkatan kinerja penyerapan herbisida dalam angkatan eksperimen yang dilakukan.

Oleh karena itu, gasifier *bio-char* adalah sesuatu yang menjanjikan, tepat, murah dan merupakan teknologi berkelanjutan untuk desentralisasi pengolahan air yang terjangkau bagi masyarakat pedesaan dan komunitas yang sedang berkembang.

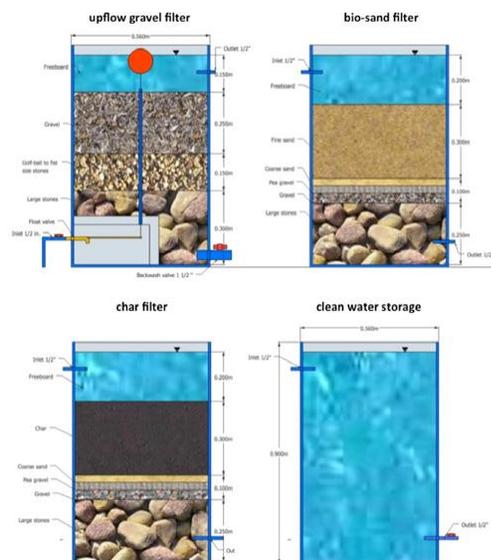
Selain itu, penggunaan *biochar* untuk pengolahan air tidak menghalangi aplikasi akhirnya sebagai peningkat kualitas tanah pertanian yang menguntungkan dan sebagai strategi penghilangan karbon. Bahkan, kami menyarankan pembuatan kompos³⁵ dan aplikasi tanah sebagai modus yang lebih disukai untuk mengolah arang penyaring yang sudah terpakai/*spent filter char*. Strategi terbaik bagi masyarakat pedesaan dan petani kecil untuk memanfaatkan arang penyaring yang sudah terpakai, cukup dengan membiarkannya begitu saja dalam waktu yang cukup lama dan dalam kondisi yang menguntungkan bagi mikroorganisme lingkungan untuk secara biologis menguraikan kontaminan apa saja yang terserap oleh arang tersebut. Meningkatnya suhu yang dihasilkan oleh proses pengomposan organik, misalnya dalam mengomposkan tinja-- akan meningkatkan aktivitas mikrobial dan proses biodegradasi. Selain itu, berdasarkan penelitian terbaru tentang adsorben karbon, tidak dikuatirkan adanya pelepasan kontaminan dalam jumlah signifikan ke dalam tanah dan tanaman melalui pencucian dari arang penyaring yang sudah digunakan.³⁶ Sebuah pendekatan konservatif untuk penggunaannya di lahan dilakukan dengan mencampurnya dalam tingkat yang rendah ~ 100 kg arang per hektar.



Gambar 11. 3000L/hari-- sistem pengolahan air "off-drid/ note: this is the original english text—mungkin yang dimaksud adalah "off-grid?" dengan penyaring-berganda

Studi kasus mengintegrasikan filtrasi *biochar* ke dalam penanganan penyaring berganda untuk sebuah sistem yang terdesentralisasi

Gambar 11 menggambarkan sistem pengelolaan air berskala menengah (sampai ke 3000L/hari) dengan aliran pasif melalui penyaring berganda yaitu sederetan kerikil, pasir biologis aktif dan filter arang. Untuk membangun sistem yang bisa digunakan selama bertahun-tahun ini, biaya yang dibutuhkan kurang dari \$ 500 (USD, bahan dan tenaga kerja lokal) dan hanya memerlukan perawatan berkala untuk mengganti filter pasir-biologis dan arang setiap 2-3 tahun.



Sistem di atas sudah dibangun sejak Februari 2008 dan telah melayani masyarakat pertanian di Thailand utara yang ber-populasi musiman beragam antara 10-100 orang (rata-rata 40). Sistem ini digunakan untuk mengelola seluruh air yang digunakan di pertanian tersebut sehingga bisa langsung diminum, digunakan di dapur dan di berbagai warung makan (untuk mempersiapkan makanan dan minuman serta mencuci piring).

Untuk rumah tangga dan komunitas di daerah-daerah yang sangat terpencil, pengelolaan air terdesentralisasi berbiaya rendah untuk menghilangkan kontaminan biologi dan kimia dapat diwujudkan dengan menggunakan media filter yang dihasilkan/diperoleh secara lokal. Gambar 12 dan 13 menggambarkan pengolahan air minum portabel dengan aliran pasif

yang dapat menyediakan sampai 300 L/hari (cukup untuk memenuhi kebutuhan minimum air minum sehari-hari bagi 100 orang) menggunakan penyaring berupa serangkaian kerikil, pasir biologis aktif dan arang. Wadah yang digunakan adalah empat buah drum 200 L yang bebas BPA (*BPA-free*) terbuat dari polietilen berdensitas tinggi (HDPE). Dalam keadaan kosong, empat drum tersebut beratnya kurang dari 10 kg dan dapat diusung ke komunitas terpencil dengan berjalan kaki. Drum-drum ini dihubungkan dengan beberapa pipa PVC, kemudian diisi dengan media yang dihasilkan atau diperoleh dari tempat sekitar.

Gambar 12 dan 13 Ilustrasi konfigurasi media dalam sistem pengolahan air portabel yang menghasilkan 300L/hari (Diagram oleh Nathan Reents)

Sistem ini dibangun dengan biaya sekitar \$125, dan dirakit dengan peralatan sederhana (misalnya *Leatherman multi-tool*) dan bisa digunakan selama bertahun-tahun serta hanya memerlukan perawatan periodik filter pasir biologis dan penggantian arang sekali per tahun. Sistem yang ada di Gambar 12 telah dimanfaatkan di sebuah sekolah ber-asrama untuk anak-anak migran/pengungsi dari etnik Karen di perbatasan Thailand-Burma.

Panduan instruksional gratis dan video yang menggambarkan rincian desain, konstruksi dan pengoperasian sistem pengolahan air dan unit gasifier berbiaya rendah untuk memproduksi filter air *biochar* yang menggunakan surplus biomassa lokal ini, dapat diakses di website Aqueous Solutions (www.aqsolutions.org).

DAFTAR PUSTAKA

1. Harris, J. and McCarty, A. The World's Worst Toxic Pollution Problems Report 2011: The Top Ten of the Toxic Twenty. Blacksmith Institute, 2011. (www.worstpolluted.org/).
2. Schwarzenbach, R.P.; Escher, B.I.; Fenner, K.; Hofstetter, T.B.; Annette Johnson, C.A.; von Gunten, U. and Wehrli, B. 2006. The Challenge of Micropollutants in Aquatic Systems. *Science*, Vol. 313, p. 1072.
3. PAN-NA. Pesticide Use in Thailand. Pesticide Action Network North America Updates Service (PANUPS). Pesticides News, March 1997. Diakses online 03/21/07. www.panna.org/panna/.
4. World Health Organization and UNICEF 2010, Progress on Sanitation and Drinking Water, 2010 Update.
5. <http://whconference.unc.edu/index.cfm>
6. Kearns, J.P.; Nyer, B.; Mansfield, E.; McLaughlin, H.; Rutherford, D.; Knappe, D.R.U. and Summers, R.S. Top-Lit

Up-Draft (TLUD) Cookstove Biochar:
Appropriate Technology for Sustainable
Low-Cost Household Clean Energy, Water
Treatment, Agronomic Enhancement, and
Distributed CO₂ Sequestration. Poster
presentation at Global Water and Health
Conference, University of North Carolina,
Chapel Hill, NC October 2011.

7. Stuetz, W.; Prapamontol, T.; Erhardt, J.G. and Classen, H.G. Organochlorine
pesticide residues in human milk of aHmong hill tribe living in Northern Thailand.
The Science of the Total Environment,
273, 2001. [Halaman 53.](#)

8. ["Sangat bagus untuk menyimpan air dalam wadah tembaga, membiarkannya terkena sinar matahari dan menyaringnya menggunakan arang."](#) Terjemahan oleh FE Place dari Sanskrit Ousruta Sanghita, ditulis sekitar
.2000 S.M.

9. United Nations Energy Statistics Database, United Nations Statistics Division,
<http://data.un.org/Browse.aspx?d=EDATA>,
accessed 11/5/2011.

10. Chen, J.; Zhu, D. and Sun, C. 2007. Effect of heavy metals on the sorption of
hydrophobic organic compounds to wood charcoal. Environmental Science & Technology,
41(7), 2536–2541.

11. Inilah [tujuan utama penelitian Aqueous Solutions \(www.aqsolutions.org\)](#) dan subyek disertasi doktoral Josh Kearns di
[environmental engineering/engineering for developing communities](#) di the University of Colorado-Boulder.

12. Burnette, R. Charcoal production in 200-liter horizontal drum kilns. ECHO Asia Notes, No. 7, October 2010. Hugill, B. Biochar—An
organic house for soil microbes. ECHO Asia Notes, No. 9, April
2011.

13. Keams, J.P.; Wellborn, L.S.; Summers, R.S. and Knappe, D.R.U. Removal of 2,4-D herbicide from water by indigenous charcoal
carbons (biochar). Submitted to
Journal of Water and Health ([dalam kajian](#)).

14. Smith, K.R.; Pennise, D.M.; Khummongkol, P.; Chaiwong, V.; Ritgeen, K.;

Zhang, J.; Panyathanya, W.; Rasmussen, R.A. and Khalil, M.A.K. Greenhouse Gases from Small-Scale Combustion Devices in Developing Countries: Charcoal-Making Kilns in Thailand; Report EPA-600/R-99-109; 1999. Office of Air and Radiation and Policy and Program Evaluation Division, US EPA: Washington, DC.

15. Foley, G. Charcoal Making in Developing Countries. 1986. Earthscan: London.

Figures 12 and 13. Illustrations showing configuration of media in a 300-L/day, multibarrier portable drinking water treatment system (Diagrams by Nathan Reents)

Water Conditioning & Purification October 2012

16. UNDP, UNEP. Bio-Carbon Opportunities in Eastern and Southern Africa: Harnessing Carbon Finance to Promote Sustainable Forestry, Agro-Forestry and Bio-Energy. 2009.

17. Grieshop, A.P.; Marshall J.D. and Kandlikar, M. Health and climate benefits of cookstove replacement options. Energy Policy, 2011.

18. Johnson, M.; Lam, N.; Brant, S.; Gray, C. and Pennise, D. 2011. Modeling indoor air pollution from cookstove emissions in developing countries using a Monte Carlo single-box model. Atmospheric Environment, Vol. 45, Issue 19, p. 3237.

19. International Biochar Initiative, 2011. www.biochar-international.org/technology/stoves, accessed 11/5/2011.

20. Inyenyeri Rwandan Social Benefit Company, <http://inyenyeri.org/business-model>, accessed 11/5/2011.

21. Lehmann, J.; Gaunt, J. and Rondon, M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*, 11, 395–419.
22. Bracmort, K.S. Biochar: examination of an emerging concept to mitigate climate change. 2009. Congressional Research Service. 7-5700, CRS Report No. R40186. Available at: <http://ncseonline.org/NLE/CRs/abstract.cfm?NLEid=2216>
23. UNDP, UNEP 2009, op. Cit.
24. UNDP, UNEP 2009, op. Cit.
25. Grieshop et al. 2011, op. Cit.
26. Biochar for Environmental Management: Science and Technology. 2009. Lehmann, J. and Joseph, S. eds. Earthscan, UK and USA.
27. Anderson, P.S.; Reed, T.B. and Wever, P.W. Micro-gasification: What it is and why it works. *Boiling Point*, No. 53, HEDON Energy Network, 2007. (www.hedon.info/docs/BP53-Anderson-14.pdf).
28. Anderson, P. Making biochar in small gasifier cookstoves and heaters. Chapter 11 in *The Biochar Revolution: Transforming Agriculture & Environment*, Taylor, P. ed. 2010.
29. McLaughlin, H. 1G Toucan for Biochar. January 2010. Bioenergy Lists web archive. (<http://biochar.bioenergylists.org/content/1g-toucan-tlud-biochar-jan-2010>).
30. McLaughlin, H. How to make high and low adsorption biochars for small research studies. Bioenergy Lists web archive. (<http://biochar.bioenergylists.org/content/how-make-high-and-low-adsorption-biochars>).
31. Keams, J.P.; Shimabuku, K.; Wellborn,

L.S.; Knappe, D.R.U. and Summers, R.S.
Biochar production for use as low-cost
adsorbents: Applications in drinking water
treatment serving developing communities.
Presentation to 242nd national meeting of
the American Chemical Society, Denver,
CO, August 2011.

32. Keams, J.P.; Nyer, B.; Mansfield, E.;
McLaughlin, H.; Rutherford, D.; Knappe, D.
and Summers, R.S. Top-lit up-draft (TLUD)
cookstove biochar: appropriate technology
for sustainable low-cost household
clean energy, water treatment, agronomic
enhancement, and distributed CO₂
sequestration. Poster presentation: Global
Water and Health Conference, University
of North Carolina, Chapel Hill, NC, October
2011.

33. Gilliom, R.J.; Barbash, J.E.; Crawford,
C.G.; Hamilton, P.A.; Martin, J.D.;
Nakagaki, N.; Nowell, L.H.; Scott, J.C.;
Stackelberg, P.E.; Thelin, G.P. and Wolock,
D.M. 2006. The quality of our nation's
waters: pesticides in the nation's streams
and ground water, 1992-2001. US Geological
Survey Circular, 1291.

34. PAN Pesticides Database (www.pesticideinfo.org). Online database of pesticide
information, Pesticide Action Network.
Accessed 11/4/10.

35. Joyce, J. Conditioning biochar for
application to soils. Chapter 15 in The
Biochar Revolution: Transforming Agriculture
& Environment, Taylor, P. ed. 2010.

36. Corwin, C.J. and Summers, R.S. 2011.
Adsorption and desorption of trace organic
contaminants from granular activated
carbon adsorbents after intermittent loading

and throughout backwash cycles. Water

Research, 45, 417-426.

Tentang Penulis

Josh Kearns adalah *Co-founder* dan Direktur *Science at Aqueous Solutions*. Pada saat makalah ini ditulis, Josh adalah kandidat PhD di bidang *environmental engineering for developing communities* di University of Colorado-Boulder. Dia mendapatkan gelar MS di bidang *environmental biogeochemistry* dari UC-Berkeley, gelar BS di bidang Chemistry dari Clemson, dan telah memiliki 6 tahun pengalaman kerja di bidang pembangunan pedesaan berkelanjutan di Asia Tenggara. Anda bisa menjalin kontak dengan Kearns di (720) 989 3959 atau josh@aqolutions.org, joshua.kearns@colorado.edu dan di Skype (“joshkearns”).

Tentang Perusahaan

Aqueous Solutions (www.aqolutions.org) adalah sebuah konsorsium nirlaba berbasis relawan para ilmuwan-peneliti, insinyur teknik /*field engineers*, dan para desainer ekologi yang bekerja bersama mengupayakan terwujudnya mata pencaharian yang mapan, kelestarian lingkungan dan ekonomi, dan kemandirian lokal melalui desain ekologi dan teknologi tepat-guna dalam hal pengelolaan air, sanitasi, dan kebersihan (*water, sanitation, and hygiene/WASH*).

Kami melakukan penelitian laboratorium dan penelitian lapangan tentang pengolahan air skala kecil yang terdesentralisasi dan sistem sanitasi ekologis. Kami juga menyediakan jasa konsultasi teknis pelayanan manajemen proyek untuk pembangunan infrastruktur WASH yang lestari, secara kolaboratif bersama berbagai komunitas di pedesaan/masyarakat terpencil, masyarakat adat, dan komunitas-komunitas yang secara ekonomi terpinggirkan di kawasan Asia Tenggara.

Penelitian kami bertujuan untuk menunjukkan ketepatangunaan/bisa diterapkannya penggunaan arang lokal untuk pengelolaan air terdesentralisasi bagi komunitas kecil di negara-negara yang sedang berkembang. Karya ini didasarkan pada kesadaran akan adanya tiga rangkaian manfaat bagi kesehatan manusia, kelestarian lingkungan, dan ekonomi lokal: (1) untuk menawarkan pengolahan air yang bisa diakses secara ekonomis dan teknologis di tempat-tempat yang sekarang ini belum mempunyai akses tersebut (2) untuk mengimbangi produksi arang yang mengakibatkan polusi dan boros energi dengan cara menggunakan teknologi gasifier yang ramah lingkungan; dan (3) untuk mendukung usaha –usaha mikro di tingkat pedesaan dalam pembuatan sorben/penyerap yang lebih baik. Melalui kemitraan dengan pemerintah, usaha kecil, dan LSM lokal dan internasional, kami menyebarkan hasil-hasil penelitian ini melalui penggunaan teknologi tepat guna yang bermanfaat bagi lingkungan serta kehidupan manusia.