

WATER FOOTPRINT PRODUKSI GULA TEBU

Mochamad Eka Budiman S.

**Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Pertanian
Jl. Jangari km 14, Sukajadi, Karangtengah, Cianjur**

Telp/Fax.

e-mail :

kayra.a3ka@gmail.com

ABSTRAK

Kebutuhan gula terus meningkat dari tahun ke tahun, sementara produksi gula masih tetap kurang dalam memenuhi permintaan yang ada. Masalah ini memicu produsen gula yang dikelola pemerintah atau swasta untuk terus meningkatkan produksi gula. Peningkatan produksi gula ini juga ikut meningkatkan penggunaan sumber daya alam yang ada, khususnya air. Jumlah penggunaan air pada proses produksi gula perlu dibatasi sebagai langkah antisipasi untuk melindungi sumber air yang ada. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung besarnya *water footprint* pada proses produksi gula dan mengetahui *virtual water flow* serta nilai *virtual watertrade* dari produk gula yang dihasilkan PT Gunung Madu Plantations. Penelitian ini dilakukan di PT Gunung Madu Plantations dengan menggunakan metode penelitian pendekatan kuantitatif *less* dominan kualitatif. Data dikumpulkan melalui wawancara semi-terstruktur dengan informan kunci dan observasi terhadap proses budidaya dan proses produksi. Berdasarkan hasil penelitian, Nilai *water footprint* untuk produksi gula di PT. Gunung Madu Plantations sebesar 2030,12 m³/ton, dengan rincian nilai *greenwater footprint* sebesar 1718,22m³/ton, *bluewater footprint* sebesar 176,36 m³/ton, dan *greywater footprint* sebesar 135.54m³/ton. Sedangkan untuk *Virtual water flow* gula dari PT. Gunung Madu terdistribusi ke beberapa wilayah yaitu : Jawa, Sumatera, Sulawesi, Kalimantan, Bali, Papua, dan Maluku. Nilai *Virtual watertrade* pada produksi gula tahun 2009 berkisar dari 4.618.323 (m³/tahun) – 245.338.895 (m³/tahun). *Virtual watertrade* per-tahun pada tahun 2002 – 2009 berkisar dari 299.063.068 (m³/tahun) – 446.626.400 (m³/tahun). Berdasarkan hasil penelitian, produksi gula sangat berkaitan dengan ketersediaan air. Saat ketersediaan air menurun, produksi gula juga ikut menurun. Sehingga memang perlu dikembangkan berbagai teknik konservasi air dan tanah serta perlunya *update* teknologi ramah lingkungan sehingga penggunaan air dalam proses tersebut dapat menjadi lebih efisien.

Kata kunci : budidaya tebu, produksi gula, *water footprint* gula

ABSTRACT

Sugarcane Production Water Footprint. *The needed of sugar has improved year by year, meanwhile sugar production is still not fullfil the needed. This problem caused the sugar producer to improve the production of sugar. Sugar production improvement also caused the natural resources improvement especially water. The using of water inside the process of sugar production must be limited as an anticipated to protect the water resources. The objectives of this research are to calculate the water footprint of sugar production and calculate virtual water flow of sugar in PT Gunung Madu Plantations. The research is done using a quantitative – less dominant qualitative approach. Data is collected through semi-structured interview and observation on the agricultural and production stages. Based on the research, the mean value of water footprint of sugar in PT Gunung Madu Plantations is 2030,12 m³/ton with details the mean value of green water footprint is 1718,22 m³/ton, blue water footprint is 176,36 m³/ton, and grey water footprint is 135,54 m³/ton. While virtual water flow of sugar is distributed to Java, Sumatra, Sulawesi, Kalimantan, Bali, Papua, and Maluku. Virtual watertrade value of sugar in 2009 ranged from 4.618.323 m³/years – 245.338.895 m³/years. Virtual watertrade/year in 2002-2009 ranged from 299.063.068 m³/years -*

446.626.400 m³/year. Based on this research, sugar production is depending to water availability. When the water is decreased, the sugar production also decreased. So, it's important to update the technology that caused the efficiency of water use.

Keywords : *sugarcane cultivation, sugar production, waterfootprint of sugar*

1. LATAR BELAKANG

Gula merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi sebagian besar penduduk dunia yang berfungsi sebagai sumber energi atau kalori bagi yang mengkonsumsinya. Selain sebagai barang konsumsi untuk minuman, gula juga merupakan komponen utama pada hampir semua jenis makanan seperti kue, roti, aneka panganan dan masakan. Dalam Perkembangannya, industri gula selalu menghadapi berbagai masalah, sehingga produksinya belum mampu mengimbangi besarnya permintaan masyarakat (rumah tangga) dan industri. Meningkatnya konsumsi gula dari tahun ke tahun disebabkan oleh pertambahan penduduk, peningkatan pendapatan penduduk dan bertambahnya penduduk yang memerlukan bahan baku berupa gula. Di Indonesia, tebu banyak dibudidayakan di pulau Jawa dan Sumatra. Di pulau Sumatera, Provinsi Lampung memiliki areal tanaman atau perkebunan tebu cukup luas yaitu ± 108.921 ha yang dikembangkan dengan metode budidaya tebu di lahan kering. Pengembangan tebu lahan kering merupakan pilihan yang sangat menjanjikan untuk mempercepat proses pencapaian kuantitas, kualitas, dan keberlanjutan produksi gula menuju kemandirian gula nasional yang sudah dicanangkan oleh pemerintah. Agar produktivitas tebu lahan kering tidak kalah dengan tebu lahan sawah di Jawa seperti yang terjadi selama ini. Maka penyediaan air menurut ruang (*spatial*) dan waktu (*temporal*) perlu dilakukan dengan baik.

Terkait dengan isu kelangkaan sumber daya air baik lokal, nasional, maupun global, maka ketersediaan sumber daya air akan menjadi sangat penting demi keberlanjutan industri gula dan perkebunan tebu. Walaupun dapat diargumentasikan bahwa secara umum air masih tersedia untuk saat ini dan masa yang akan datang, akan tetapi hal tersebut masih memerlukan pengelolaan yang tepat. Salah satu pendekatan atau analisis yang dapat digunakan untuk menentukan penggunaan sumber daya air adalah *virtual water* dan *water footprint*. Konsep *virtual water* yang diperkenalkan oleh Allan pada awal tahun 90-an relevan dalam konteks ini. *Virtual water* adalah air yang terkandung di dalam sebuah produk, bukan dengan pandangan air yang terlihat namun dalam pandangan *virtual* atau maya (Hoekstra, 2003). Pengertian kandungan *virtual water* tersebut sangat berkaitan erat dengan istilah *water footprint* yang

digunakan oleh Hoekstra dan Chapagain (2007) sebagai analogi dari konsep *ecological footprint* yang diperkenalkan pada tahun 1990-an (Wackernagel dan Rees, 1996). *Water footprint* dihitung berdasarkan penjumlahan dari penggunaan *blue water*, *green water*, dan *greywater*.

Analisis *water footprint* produksi gula penting dilakukan untuk mengetahui total volume air tawar yang dikonsumsi selama proses produksi gula. Nilai *water footprint* yang dihasilkan dapat digunakan untuk memprediksi jumlah air yang dikonsumsi untuk memproduksi gula ditengah kemungkinan adanya peningkatan produksi yang ditargetkan oleh perusahaan maupun pemerintah. Penggunaan konsep *virtual water* dan *water footprint* ini juga sangat penting dalam membangun kesadaran dalam penggunaan dan pengelolaan air. Hal ini didapat dari pengetahuan tentang penggunaan air dalam memproduksi suatu produk dan hubungannya dengan dampaknya terhadap lingkungan (Hoekstra, 2003). Berdasarkan konsep ini dapat dilihat pula bagaimana produksi suatu produk berhubungan dengan besarnya dampak terhadap ketersediaan air dan penghematan yang mungkin dapat dilakukan dari kegiatan produksi yang dilakukan. Pada akhirnya akan dapat ditemukan suatu pengelolaan penggunaan air yang tepat dalam memproduksi suatu barang atau jasa.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung besarnya *water footprint* pada proses produksi gula dan menghitung *virtual water flow* dari produk gula yang dihasilkan PT Gunung Madu Plantation. Selain untuk mengetahui nilai *water footprint* produksi gula, penelitian ini juga akan mencari dan menghitung aliran *virtual water* yang terkandung dalam gula tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Water footprint

Secara umum, sumber air menjadi sangat langka seiring dengan peningkatan populasi penduduk yang berakibat pada penurunan kualitas air (Pawitan, 2008). Dampak dari konsumsi air pada sumber air secara global dapat digambarkan dalam konsep *water footprint* yang diperkenalkan oleh Hoekstra tahun 2002 dan kemudian dielaborasi oleh Chapagain dan Hoekstra tahun 2004.

Madrid *et al.*, (2007) menyatakan bahwa *Water footprint* dapat merepresentasikan jumlah volume air tawar yang dibutuhkan untuk menjaga keberlanjutan suatu populasi. *Water footprint* juga merupakan indikator dari penggunaan air bukan hanya penggunaan air secara langsung oleh konsumen namun juga penggunaan air secara tidak langsung. Konsep *water footprint* merupakan analogi dari *ecological footprint* yang diperkenalkan pada tahun 90-an. *Ecological footprint* menggambarkan luas area lahan (ha) sementara *water footprint* menggambarkan volume air (m^3 /tahun) (Hoekstra *et al.*, 2009).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengungkapkan *water footprint* pada berbagai produksi barang dan juga *water footprint* suatu daerah atau negara. Contohnya, *water footprint* produksi kapas (Chapagain *et al.*, 2005) bahkan *water footprint* yang dibutuhkan untuk membuat segelas kopi di Belanda (Chapagain and Hoekstra, 2003). Selain contoh tersebut, *water footprint* juga dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan air pada suatu daerah maupun Negara. Beberapa negara yang telah menghitung *water footprint* antara lain Cina (Liu and Savenije, 2008) dan India (Kampman *et al.*, 2008), dan Indonesia khusus untuk produk pertanian (Bulsink *et al.*, 2009). Pengukuran *water footprint* dapat dilakukan pada level konsumsi produk oleh individu, kelompok, bisnis dan negara (Hoekstra and Chapagain, 2004) dan dapat dikategorikan berdasarkan sumber air yang digunakan, yakni (1) *bluewater footprint*; (2) *greenwater footprint*; dan (3) *greywater footprint* (Chapagain and Orr, 2009).

Penelitian mengenai *water footprint* juga telah dilakukan di Indonesia. Perhitungan *water footprint* konsumsi pangan pada responden perkotaan dan pedesaan di Kota Kupang berdasarkan konsumsi pangan sehari-hari (Nugrahanto, 2009), dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa besarnya *water footprint* konsumsi pangan rumah tangga di Kota Kupang adalah sebesar 11.881,68 liter atau $11,9 m^3$ per hari untuk responden rumah tangga di perkotaan dan 4.888,29 liter atau $4,9 m^3$ per hari untuk responden rumah tangga di pedesaan. Perbedaan besarnya *water footprint* antara responden rumah tangga perkotaan dengan responden rumah tangga pedesaan cukup besar, dengan rasio lebih dari 2 (dua). Kondisi sosial ekonomi keluarga (pendapatan keluarga) berpengaruh terhadap besarnya *water footprint* konsumsi pangan rumah tangga di Kota Kupang. Responden perkotaan pada pendapatan kategori I besarnya *water footprint* adalah $9,07 m^3$ per hari, kategori II adalah $12,31 m^3$ per hari, kategori III adalah $12,70 m^3$ per hari, kategori IV adalah $13,19 m^3$ per hari dan kategori V sebesar $15,06 m^3$ per hari. Sedangkan *water*

footprint responden pedesaan pada pendapatan kategori I adalah sebesar $4,70 m^3$ per hari, kategori II sebesar $4,41 m^3$ per hari, dan kategori III adalah sebesar $6,60 m^3$ per hari.

Penelitian tentang *water footprint* dari suatu produk juga telah dilakukan. Contohnya Analisis *Water footprint* Produksi Kain Serat Rami di Kabupaten Garut. Berdasarkan penelitian Septiarani (2010), diketahui bahwa nilai *water footprint* aktual untuk kain rami-kapas sebesar $16970 m^3$ /ton. Dari keseluruhan hasil, persentase terbesar ada *greywater footprint*, di ikuti oleh *greenwater footprint*, dan *bluewater footprint* secara berurutan. Respon yang dilakukan oleh peneliti terhadap masing-masing karakter *water footprint* aktual menghasilkan nilai *water footprint sustainable* yang lebih kecil.

Selain itu, Penelitian Analisis *Water footprint* Produksi Beras Organik di Kabupaten Tasikmalaya dilakukan di Desa Mangunreja dan Desa Salebu, Kecamatan Mangunreja. Perhitungan nilai *water footprint* dilakukan pada proses budidaya dan proses produksi beras organik di kedua desa. Nilai *water footprint* beras organik sebesar $822,2 m^3$ /ton lebih kecil dibandingkan nilai *water footprint* beras non-organik yang mencapai $2.304,6 m^3$ /ton. Penghematan konsumsi sumber daya air merupakan implikasi dari produksi beras organik berpotensi memberi dampak positif terhadap pemanfaatan sumber daya air. Dampaknya berupa pendayagunaan sumber daya air menjadi lebih optimal dan mengurangi potensi munculnya konflik antar pengguna air. Hal ini dapat menjadi indikasi bahwa pemanfaatan sumber daya air di Kabupaten Tasikmalaya dapat berkelanjutan (Pratiwi, 2010).

Dari berbagai hasil penelitian tersebut, menunjukkan bahwa pola konsumsi dan penggunaan teknologi yang berbeda-beda, ternyata menghasilkan nilai *water footprint* yang berbeda, contohnya pada beras organik dan non organik yang ternyata menghasilkan nilai *water footprint* yang sangat berbeda.

Komponen Water footprint

Besaran total dari *water footprint* pada dasarnya dibagi atas tiga komponen: *Blue*, *Green* dan *Grey water* (Hoekstra *et al.*, 2009). *Bluewater footprint* merupakan volume air yang berasal dari sumber daya air, baik dari air permukaan dan air tanah untuk menghasilkan jasa dan barang-barang. *Bluewater footprint* mengacu pada konsumsi dari sumber *blue water* (air permukaan dan tanah) serta rantai persediaan sumberdaya dari suatu produk. Kata konsumsi mengacu pada hilangnya air dari badan air tanah-permukaan yang tersedia pada daerah tangkapan air, yang terjadi ketika air menguap, kembali lagi ke daerah tangkapan air,

laut, atau masuk ke dalam produk. Istilah “konsumsi air” ditujukan untuk salah satu dari empat kasus dibawah ini yaitu:

- Air yang menguap (evaporasi)
- Air yang terkandung dalam suatu produk
- Dalam daur hidrologi, air tidak kembali ke daerah tangkapan air yang sama, tetapi akan kembali pada daerah tangkapan air lain atau ke laut.
- Dalam daur hidrologi, air tidak kembali pada periode yang sama.

Komponen pertama yaitu evaporasi merupakan komponen yang paling utama. Adanya “konsumsi air” bukan berarti air akan habis, karena air masuk ke dalam daur hidrologi. Air merupakan sumberdaya yang dapat diperbaharui, tetapi bukan berarti ketersediaan air tidak terbatas. Pada musim tertentu akan terjadi kelebihan air, tetapi pada periode berikutnya akan terjadi kekurangan air. *Bluewaterfootprint* diukur berdasarkan pada air yang tersedia yang digunakan pada periode tertentu. Perhitungan berdasarkan pada ketersediaan *bluewater* yang dikonsumsi manusia saja. Air permukaan dan air tanah yang tidak dikonsumsi untuk kebutuhan manusia pada perhitungan diabaikan karena dianggap untuk mendukung keberlanjutan ekosistem (Hoekstra *et al.*, 2009).

Blue water dari suatu produk adalah volume air permukaan atau air tanah yang menguap sebagai konsekuensi dari produksi produk tersebut. Dalam hal produksi tanaman, kandungan *blue water* dari suatu tanaman tertentu didefinisikan sebagai jumlah evaporasi air irigasi dari lapangan ditambah evaporasi air dari saluran irigasi dan waduk penampungan air dari upaya buatan. Dalam hal produksi industri dan suplai air domestik, kandungan *blue water* dari suatu produk atau jasa adalah sama dengan bagian dari air yang diambil dari tanah atau air permukaan yang menguap dan dengan demikian tidak kembali ke sistem di mana air itu berasal.

Greenwater footprint adalah jumlah volume air yang menguap dari sumber *greenwater* (air hujan yang tersimpan di dalam partikel tanah sebagai kandungan kapiler air tanah) yang menguap selama proses produksi berlangsung. Hal ini hanya relevan dengan produk pertanian, dimana dinyatakan sebagai total air hujan yang menguap dari lahan selama musim pertumbuhan dari tanaman tersebut (termasuk transpirasi tanaman dan bentuk-bentuk evaporasi lainnya). Perbedaan *Bluewater footprint* dan *greenwater footprint* sangat penting karena hidrologi, lingkungan, dan dampak sosial serta nilai ekonomi dari penggunaan air *bluewater* dan *greenwater* memberikan hasil produksi yang berbeda (Falkenmark and Rockstorm, 2004; Hoekstra and Chapagain, 2008).

Greywater footprint merupakan tahapan proses sebagai indikator konsentrasi air tercemar yang bergabung dalam proses produksi suatu barang atau jasa. *Greywater* ini diperhitungkan sebagai volume air yang diperlukan untuk mengencerkan limbah tercemar sedemikian rupa, dengan demikian kualitas air dapat tetap berada di atas ambang standar kualitas air yang diperkenankan. *Grey water* dari suatu produk adalah volume air yang tercemar selama proses produksi. Hal ini dapat dikuantifikasikan dengan menghitung jumlah air yang dibutuhkan untuk mengencerkan polutan yang kembali ke sistem air alamiah, proses produksinya dilakukan sedemikian rupa sehingga kualitas air buangan tetap berada sama atau di atas standar kualitas air yang disepakati atau diperkenankan (Hoekstra *et al.*, 2009).

Perhitungan *water footprint* pada proses produksi tebu

Untuk komoditas pertanian, konsumsi air terutama mengacu pada konsumsi air tanaman selama masa pertumbuhan dan pencemaran air yang terutama berkaitan dengan terucunya pupuk dan pestisida yang digunakan pada lahan (Hoekstra dan Chapagain, 2008). Hoekstra dan Hung (2003) telah membuat estimasi pertama dari air tawar yang diperlukan untuk memproduksi tanaman di hampir semua negara dunia; Chapagain dan Hoekstra (2004) menghasilkan dataset ditingkatkan untuk rentang yang lebih luas dari produk pertanian, lagi di seluruh dunia. Studi selanjutnya untuk produk tertentu, misalnya untuk kapas Chapagain *et al.*, 2006.), untuk kopi dan teh (Chapagain dan Hoekstra, 2007) dan untuk bioenergi (Gerbens-Leenes *et al.*, 2009.) memberikan informasi lebih rinci tentang WF spesifik tanaman dan produk tanaman. Chapagain dan Hoekstra (2004) menghitung WF tanaman gula dan pati untuk semua negara-negara produsen, tapi mereka tidak membuat perbedaan antara air hijau, biru dan abu-abu, dan tidak mengambil produksi etanol.

Hoekstra and Chapagain (2008) menjelaskan metode penghitungan nilai *water footprint* dalam produk pertanian adalah dengan membagi nilai total penggunaan air oleh tanaman (*Crop Water Use*) pada lahan budidaya dengan hasil panen yang diperoleh. Nilai *crop water use* (CWU) harus dihitung dalam kondisi ideal dimana tanaman dapat tumbuh dengan baik dan hasil panennya pun optimal karena kebutuhan air selalu terpenuhi dengan baik.

Perhitungan *water footprint* terdiri dari tiga kelompok berdasarkan asal mula air tersebut berasal. Ketiga kelompok tersebut adalah *green water* yang berasal dari air hujan, *blue water* yang

berasal dari air permukaan atau air tanah dan *grey water* air yang tercemar selama dan atau setelah proses produksi. Dalam penghitungan *waterfootprint*, komponen *grey water* dapat diabaikan seandainya dalam proses budidaya tidak menghasilkan polutan atau tidak mencemari badan air atau ekosistem perairan (Hoekstra and Chapagain, 2008). Hal ini sangat bergantung dengan metode budidaya yang digunakan di lokasi penelitian.

Hoekstra *et al.*, (2009) mendefinisikan *green water* sebagai total presipitasi air hujan yang terjadi pada suatu luasan daerah tertentu yang merupakan air kapiler dalam tanah dan menjadi air yang tersedia dalam tanah yang menentukan kelembaban tanah (*soil moisture*). Berdasarkan definisi tersebut diketahui bahwa air hujan merupakan sumber *green water* untuk penghitungan *water footprint* produk pertanian yang dihitung pada masa budidaya atau masa tanam tanaman tersebut. Konsumsi *greenwater* pada pertanian dapat diukur dengan formula empiris untuk menghitung evapotranspirasi berdasarkan data iklim, tanah dan karakteristik tanaman. *Greenwater* dapat memicu pertumbuhan tanaman, tetapi tidak semua *greenwater* (air hujan) dapat diambil oleh tanaman karena akan selalu terjadi proses evaporasi tanah dan tidak setiap tahun atau setiap lahan cocok untuk pertumbuhan tanaman (Hoekstra *et al.*, 2009). Maka nilai curah hujan yang digunakan adalah nilai curah hujan efektif. Perhitungan curah hujan efektif dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan. CROPWAT 8.0 memberikan empat pilihan pendekatan yang dapat digunakan untuk menghitung nilai curah hujan efektif, yakni, 1) pendekatan *fixed percentage*, 2) pendekatan *dependable rainfall* menggunakan persamaan yang dibuat oleh *water service of* FAO, 3) pendekatan menggunakan rumus empiris (*empirical formula*), dan 4) pendekatan USDA *Soil Conservation Service* (FAO, 2006; FAO, 2008). Pendekatan untuk perhitungan nilai curah hujan efektif yang direkomendasikan dalam perhitungan nilai *water footprint* adalah perhitungan curah hujan efektif menggunakan pendekatan USDA *Soil Conservation Service* (Chapagain and Orr, 2009; Hoekstra *et al.*, 2009).

Perhitungan *bluewater footprint* memberikan gambaran mengenai total air yang ter-evapotranspirasi, air tersebut masuk ke dalam bagian dari proses produksi, dan air tersebut tidak kembali pada daerah tangkapan air (*catchment area*) yang sama. Sumber air untuk *blue water* dapat berasal dari air yang tersedia di permukaan, air tanah yang terbaharui (*renewable-groundwater*), dan air tanah purba (*fossil-groundwater*). Perhitungan *bluewater footprint* dapat dibatasi pada salah satu jenis sumber *blue*

water tersebut (Hoekstra *et al.*, 2009). Hoekstra and Chapagain (2008) membatasi perhitungan *bluewater footprint* untuk produk pertanian pada jumlah konsumsi air irigasi yang dihitung berdasarkan jumlah air irigasi dari lahan budidaya yang dievapotranspirasikan selama proses budidaya tanaman. Nilai konsumsi *blue water* (*blue water use*) dihitung dari nilai kebutuhan air irigasi minimum (*minimum irrigation requirement*) yang diperoleh dari selisih nilai curah hujan efektif (P_{eff}) dengan nilai laju evapotranspirasi aktual (ETc) (Chapagain and Orr, 2009).

Konsep mengenai *grey water* dalam penghitungan *water footprint* pertama kali diperkenalkan oleh Hoekstra and Chapagain (2008). *Greywater footprint* awalnya didefinisikan sebagai jumlah air yang tercemar akibat dari proses produksi. Seiring dengan banyaknya penelitian mengenai *water footprint*, definisi *greywater footprint* bergeser menjadi jumlah air yang dibutuhkan untuk mengencerkan jumlah polutan yang masuk ke dalam badan air hingga jumlah polutan yang masuk ke dalam badan air sama dengan nilai ambang batas polutan yang dapat diterima badan air tanpa menyebabkan penurunan kualitas air. Sumber polutan untuk proses produksi produk pertanian umumnya berasal dari penggunaan pupuk kimia sintetik dan/atau pestisida selama proses budidaya tanaman (Hoekstra *et al.*, 2009). Contoh penelitian *water footprint* memasukkan perhitungan *greywater footprint* untuk produk pertanian, diantaranya, perhitungan *water footprint* kapas yang dilakukan oleh Chapagain *et al.*, (2006) dan *water footprint* berbagai produk pertanian di Indonesia yang dilakukan oleh Bultink *et al.*, (2009). Selain itu penghitungan nilai *water footprint* juga harus disertai dengan penghitungan nilai *product fraction* terutama untuk produk yang mengalami pengolahan lebih lanjut dari produk primer menjadi produk jadi.

Virtual water

Virtual water sebagaimana diperkenalkan untuk pertama kalinya oleh Tony Allan di awal tahun 1990-an didefinisikan secara umum sebagai jumlah volume air yang dibutuhkan untuk memproduksi barang atau jasa. Jadi jika terjadi perpindahan hasil produk atau jasa, dari satu tempat ke tempat lainnya, hanya sedikit air yang secara fisik ikut berpindah (namun akan sangat signifikan bila dikonversikan dalam volume air yang digunakan untuk memproduksi, terlepas dari kandungan air dari produk itu sendiri). Awalnya Tony Allan menggunakan istilah "*embedded water*" untuk menjelaskan jumlah air yang dibutuhkan untuk memproduksi suatu produk, namun karena konsep tersebut sulit untuk

dimengerti, maka ia menggantinya dengan istilah “*virtual water*” (Allan, 2003 dalam Hoekstra and Chapagain, 2008).

Definisi air yang dibutuhkan (*water needed*) tidak sama dengan jumlah air yang memang digunakan secara langsung dalam proses produksi. Penggunaan istilah *virtual* bertujuan untuk memberikan gambaran bahwa pada kenyataannya kebanyakan air yang digunakan dalam untuk memproduksi suatu produk tidak terkandung dalam produk itu sendiri (Hoekstra and Chapagain, 2008). Kandungan air nyata yang terkandung dalam suatu produk biasanya nilainya sangat kecil bila dibandingkan dengan nilai *virtual water*-nya (Hoekstra and Chapagain, 2007).

Kandungan *virtual water* dari suatu produk (komoditas, barang atau jasa) tidak lain dari volume air tawar yang digunakan untuk memproduksi produk, diukur dari tempat di mana produk tersebut diproduksi secara aktual (lokasi tempat produksi). Kandungan *virtual water* dari suatu produk dapat juga didefinisikan sebagai volume air yang akan dibutuhkan untuk memproduksi produk pada lokasi di mana produksi tersebut dikonsumsi (lokasi tempat konsumsi). Dalam kaitan ini direkomendasikan untuk menggunakan definisi ‘lokasi tempat-produksi’.

Konsep *virtual water* dapat berperan penting dalam pengelolaan sumber daya air khususnya dalam kajian mengenai kelangkaan air (*water scarcity*). Hal ini karena dengan pengetahuan mengenai *virtual water*, suatu negara dapat tetap memenuhi kebutuhan masyarakatnya akan produk-produk yang boros air meskipun negara tersebut memiliki sumber daya air yang sangat terbatas. Hal tersebut terwakili dalam konsep *virtual water flows*. Pada dasarnya, komponen suatu produk *virtual water*, juga terdiri dari tiga komponen, yakni, *Green*, *Blue* dan *Grey water*.

Pertanyaan yang berkembang selanjutnya adalah bagaimana caranya menghitung *virtual water* yang terkandung dalam suatu produk khususnya produk hasil pertanian. Hoekstra and Chapagain (2008) menjelaskan metode penghitungan nilai *virtual-water content* dalam produk pertanian adalah dengan membagi nilai total penggunaan air oleh tanaman (*Crop Water Use*) pada lahan budidaya dengan hasil panen yang diperoleh. Nilai *crop water use* (CWU) harus dihitung dalam kondisi ideal dimana tanaman dapat tumbuh dengan baik dan hasil panennya pun optimal karena kebutuhan air selalu terpenuhi dengan baik.

Nilai CWU sangat dipengaruhi oleh nilai evapotranspirasi tanaman (*Crop evapotranspiration*, ETc) yang diperoleh dari nilai evapotranspirasi (*reference evapotranspiration*, ETo) yang dikalikan dengan nilai koefisien

tanaman pada setiap tahap pertumbuhan (*crop coefficient*, Kc). Estimasi nilai ETo dapat dilakukan menggunakan berbagai metode, diantaranya metode Blaney-Criddle yang mengestimasi nilai ETo berdasarkan besarnya suhu udara (Asdak, 2007), metode radiasi yang memerlukan data suhu udara, panjang hari dan radiasi (Runtunuwu *et al.*, 2008) dan metode Penman-Monteith yang mengestimasi ETo berdasarkan data mengenai letak geografis, suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin dan radiasi (Allen *et al.*, 1998). Metode estimasi ETo yang paling direkomendasikan untuk digunakan saat menghitung *water footprint* adalah metode FAO Penman-Monteith yang dilakukan menggunakan program CROPWAT (Chapagain and Orr, 2009; Hoekstra and Chapagain, 2008). Hal ini karena metode tersebut adalah metode yang dapat merepresentasikan faktor-faktor fisik dan fisiologis yang terjadi pada proses evapotranspirasi secara sederhana dan nilai yang dihasilkan dianggap paling mendekati nilai ETo yang terjadi di lapangan (Allen *et al.*, 1998).

Perhitungan *virtual water content* akan dikelompokkan kedalam tiga kelompok berdasarkan asal mula air tersebut berasal. Ketiga kelompok tersebut adalah *green water* yang berasal dari air hujan, *blue water* yang berasal dari air permukaan dan atau air tanah dan *grey water* air yang tercemar selama dan atau setelah proses produksi. Dalam penghitungan *virtual-water content* total, komponen v_{grey} (*virtual-water* untuk *grey water*) dapat diabaikan seandainya dalam proses budidaya tebu tidak menghasilkan polutan atau tidak mencemari badan air atau ekosistem perairan (Hoekstra and Chapagain, 2008). Selain itu penghitungan nilai *virtual water content* harus disertai penghitungan nilai produk *fraction* terutama untuk produk yang mengalami pengolahan lebih lanjut dari produk primer menjadi produk jadi misalnya tebu hasil panen menjadi gula. Nilai produk *fraction* menjadi penting karena dalam tahap pengolahan lanjutan. Produk primer dapat mengalami perubahan bobot ketika menjadi sebuah produk jadi. Selain itu, produk jadi biasanya hanya sebagian dari produk primer. Nilai ini dapat memberikan gambaran mengenai distribusi *virtual water* produk primer pada setiap jenis produk akhir dan hasil sampingannya.

Hoekstra dan Hung (2003) dalam artikelnya menyatakan suatu daerah yang memiliki masalah kelangkaan air cenderung melindungi sumber airnya dengan mengimpor barang dari daerah lain yang memiliki ketersediaan air yang cukup melimpah. Dengan cara ini, daerah tersebut dapat mengurangi konsumsi penggunaan air di daerah mereka yang memang sudah langka. Sebaliknya

daerah yang memiliki air yang cukup, cenderung untuk mengeksport suatu barang untuk meningkatkan perekonomian mereka. Jika suatu Negara atau daerah mengirim/mengekspor barang keluar, secara tidak langsung mereka juga mengirimkan air dalam bentuk maya (*virtual*). Dengan jalan ini, suatu daerah yang memiliki kelebihan air membantu daerah yang mengalami kelangkaan air. Penjualan air secara nyata antar dua daerah antar dua negara tidak mungkin dilakukan karena masalah jarak dan harga yang tinggi, tetapi penjualan air dalam suatu barang (*virtual*) masih mungkin dilakukan. *Virtual watertrade* antara suatu daerah atau negara merupakan salah satu hal yang dapat meningkatkan penggunaan air secara efisien dan menjaga ketersediaan air pada negara yang mengalami kelangkaan air.

Jumlah *virtual water* yang tertransfer dari satu tempat ke tempat lainnya akibat adanya perdagangan barang disebut *virtual water flows*. Beberapa studi dilakukan dengan menghitung aliran *virtual water* pada beberapa level geografis (Hoekstra and Hung, 2003; Yang *et al.*, 2003; Oki and Kanae, 2004; Zimmer and Renault, 2003; Fraiture *et al.*, 2004; Hoekstra and Hung, 2003). *Virtual waterflows* berkaitan erat dengan *virtual watertrade*.

Secara umum, *virtual water flow* antara dua daerah berkisar sekitar 1000 km³/tahun pada setiap abad (berdasarkan pandangan dari kota pengekspor). Dari nilai *virtual water flows* tersebut, sekitar 650 km³/tahun merupakan *virtual water flows* dari perdagangan pertanian. Variasi dalam *virtual water flows* dalam level global sama dengan variasi dalam level antar kota. Variasi ini utamanya disebabkan karena adanya ketidakpastian dalam empat hal berikut ini, Yang (2008):

- 1) Nilai dari *virtual water* yang digunakan dalam perhitungan *virtual water flows*.
- 2) Jumlah hasil panen
- 3) Jangka waktu panen
- 4) Sumber data perdagangan.

Ketika kelangkaan air menjadi inti dalam diskusi mengenai *virtual water*, ini harus diakui bahwa tidak semua *virtual water* dikendalikan oleh kelangkaan air (Yang *et al.*, 2003; Fraiture *et al.*, 2004; dan Kanae, 2004). *Virtual water import* secara nyata mengurangi jumlah penggunaan air untuk produksi makanan pada kota importing. Untuk kota importing yang memiliki sumber air sedikit, *virtual water imports* membantu meringankan tekanan air. Bagi sebagian kota tersebut, kegiatan ini terhitung lebih murah dan secara ekologis mengurangi jumlah kerusakan lingkungan, seperti halnya untuk irigasi pertanian gandum, dibanding dengan menggunakan air untuk

menghasilkan komoditas yang sama sendiri (Qadir *et al.*, 2003). Selama lebih dari 30 tahun sampai tahun 2006, Harga untuk pertanian gandum menurun sekitar 50% (Yang *et al.*, 2003). Kota yang mengalami kekurangan air akan mencari cara untuk mengakses *virtual water* dengan harga yang menguntungkan. Walaupun, selama beberapa tahun terakhir terjadi kenaikan harga yang signifikan pada harga makanan. Ekspansi yang cepat dari industri bioenergi menyebabkan adanya kenaikan harga makanan. Dapat disimpulkan bahwa untuk kedepan, kebijakan untuk kota pengekspor makanan utama akan mendapat efek yang lebih signifikan dalam hal harga makanan dan perdagangan makanan di dunia.

Untuk Negara miskin dengan ketersediaan air yang cukup melimpah, mengimpor barang dengan pandangan untuk menghemat air bukan merupakan tindakan yang tepat. Untuk kota-kota seperti itu, pertanian merupakan sector ekonomi yang penting dan memiliki proporsi yang besar sebagai mata pencaharian andalan. Dumping makanan ke kota-kota miskin menyebabkan harga barang lokal menjadi rendah dan mengurangi produksi domestik (Rosegrant *et al.*, 2002). Petani kecil yang miskin akan mengalami kerugian. Peningkatan produksi makanan dengan praktek pertanian yang lebih baik dan manajemen teratur termasuk penggunaan air yang tepat, merupakan hal yang penting untuk kota-kota yang ingin meningkatkan pendapatan dan kehidupan mereka (Rockstorm, 1999; Rosegrant *et al.*, 2002).

Kota yang mengeksport makanan merupakan inti dari *virtual water*. Mereka merupakan pemain utama dalam *virtual watertrade* ini. Walaupun studi sebelumnya memfokuskan pada kota pengimpor, sedangkan kota pengekspor hanya mendapat perhatian yang kecil.

Produktivitas pertanian pada kota pengekspor umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan Negara pengimpor. Negara pengekspor biasanya menggunakan input pertanian seperti pupuk dan pestisida. Di USA contohnya, penggunaan pupuk rata-rata mencapai 140 kg/ha, sementara rata-rata penggunaan di Negara berkembang hanya 100 kg/ha (FAO., 2004). Pada banyak kota pengekspor, penggunaan berlebih dari pupuk dan pestisida menjadi perusak lingkungan utama (Zehnder *et al.*, 2003). Oleh sebab itu, tingginya produktivitas pertanian pada kota pengekspor sebaiknya dibarengi dengan manajemen yang baik dan penggunaan sumber air yang efisien.

Eksplotasi berlebih terhadap sumber air biasanya terjadi pada kota pengekspor. Akibatnya sumber air berkurang dan degradasi lingkungan, walaupun di lain pihak terjadi peningkatan pendapatan dari *virtual watertrade* tersebut.

3. METODE PENELITIAN

Rancangan penelitian dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif less dominan kualitatif. Pendekatan studi secara kuantitatif dilakukan dengan menghitung besaran *water footprint* melalui setiap tahapan proses produksi gula tebu yang dimulai sejak tahap budidaya sampai dengan tahap produksi yang menghasilkan gula kristal putih yang siap untuk dikonsumsi atau dipasarkan. Sementara itu, metode kualitatif digunakan untuk menggali informasi lebih dalam mengenai metode budidaya tebu, penggunaan air dalam proses produksi, dan mendukung penjelasan mengenai besaran *water footprint* produksi gula di lokasi peneliti.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Water Footprint Produksi Gula

Perhitungan nilai *water footprint* (WF) produksi gula diawali dengan perhitungan nilai *product fraction* (f_p) dan *value fraction* (f_v) setiap produk primer yang dihasilkan disetiap tahapan proses produksi, mulai dari preparasi tebu sampai menjadi produk gula. Nilai *product fraction* (f_p) diperoleh berdasarkan hasil susut massa produk pada setiap tahapan proses pengolahan gula. Nilai produk fraksi dan value fraksi pada setiap tahapan pengolahan gula. Pada setiap tahapan dapat dilihat bahwa adanya susut massa. Sepanjang proses tersebut, penggunaan air terbatas. Penggunaan air tersebut berasal dari tebu itu sendiri. Selama proses produksi, kandungan air tersebut ikut masuk dalam proses produksi tersebut. Tahapan pada proses tersebut menghasilkan nilai susut massa yang semakin besar. Semakin besar susut massa atau fraksi produknya, maka nilai *water footprint* yang dihasilkan nantinya akan semakin besar. Konsep *product fraction* berasal dari kenyataan bahwa dalam memproduksi suatu produk melalui suatu tahapan produksi, tidak seluruh bagian dari produk awal terpakai dalam produk akhir yang dihasilkan (Hoekstra and Chapagain, 2008).

Dari nilai produk fraksi tersebut dapat dipastikan bahwa ada peningkatan nilai *water footprint* untuk setiap produk primer yang dihasilkan dari setiap tahapan pengolahan gula. Hal tersebut dikarenakan dalam konsep perhitungan *water footprint* sebuah produk yang berasal dari produk primer yang dihasilkan melalui beberapa tahapan produksi dan mengalami susut massa dalam setiap tahapan produksinya, maka nilai *water footprint* produk akhir merupakan hasil pembagian nilai *water footprint* produk asal dengan nilai *product fraction* produk akhir tersebut (Hoekstra *et al.*, 2009; Hoekstra and Chapagain, 2008). Hasil perhitungan *water footprint* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan *Water Footprint* (WF) Produksi Gula

Produk Primer	Green		
	WF (i)	WF Proses	WF(p) m ³ /ton
Tebu		137,46	137,46
Nira	137,46		202,14
Clear Juice	202,14		763,65
Syrup	763,65		1145,48
Cane Sugar	1145,48		1718,2

Produk Primer	Blue		
	WF (i)	WF Proses	WF(p) m ³ /ton
Tebu		25,52	14,11
Nira	14,11		20,75
Clear Juice	20,75		78,38
Syrup	78,38		117,57
Cane Sugar	117,57		176,36

Produk Primer	Grey		
	WF (i)	WF Proses	WF(p) m ³ /ton
Tebu		10,84	10,84
Nira	10,84		15,95
Clear Juice	15,95		60,24
Syrup	60,24		90,36
Cane Sugar	90,36		135,54

Produk primer	f_p	f_v	Total WF
Tebu	1	1	162,41
Nira	0,7	1	238,84
Clear Juice	0,3	1	902,28
Syrup	0,7	1	1353,41
Cane Sugar	0,7	1	2030,12

Sumber : Data Primer, 2012

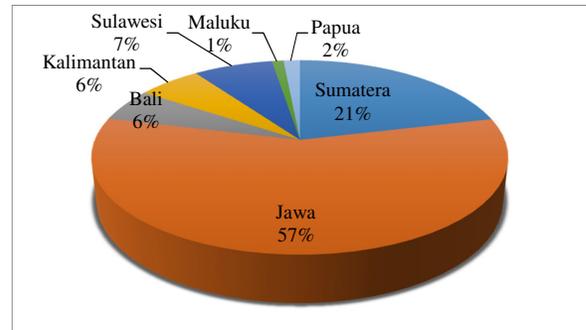
Tabel diatas menunjukkan bahwa setiap produk turunan gula yang dihasilkan dari input sebelumnya, nilai *water footprint* semakin besar, yaitu dari 162,41 m³/ton untuk tebu, 238,84 m³/ton untuk nira, 902,28 m³/ton untuk *clear juice*, 1353,41 m³/ton untuk *syrup*, dan 2030,12 m³/ton untuk gula tebu. Semakin besarnya nilai *water*

footprint disebabkan adanya kehilangan massa pada setiap tahap pengolahan produk turunan.

Selain itu, data tersebut menunjukkan total nilai *water foot print* produksi gula sebesar 2030,12 m³/ton dengan rincian *green water footprint* sebesar 1718,2 m³/ton, *blue water footprint* sebesar 176,36 m³/ton, dan *grey water footprint* sebesar 135,54 m³/ton. Nilai dari *green water footprint* cukup tinggi karena tebu yang digunakan sebagai bahan baku produksi gula mengandalkan curah hujan dalam proses pertumbuhannya (budidaya tebu lahan kering). Penggunaan *bluewater* hanya sebagai penopang pada saat tebu tersebut kekurangan air pada masa pertumbuhan dan produksinya. Dengan nilai *blue water footprint* yang lebih kecil daripada *green water footprint*, dapat dikatakan bahwa kondisi penanaman memang telah sesuai dengan iklim karena kebutuhan air tanaman tercukupi oleh air hujan. Hoekstra *et al.*, (2009) menyatakan bahwa kesesuaian iklim menjadi salah satu faktor yang dapat dijadikan ukuran dalam mengurangi dampak yang mungkin ditimbulkan dari adanya keperluan untuk menambah air irigasi (*blue water footprint*) dalam jumlah yang besar. Sementara nilai *grey water footprint* cukup kecil karena proses produksi ini tidak menggunakan bahan kimia yang berbahaya dan mudah mencemari lingkungan serta jumlah penggunaannya hanya sedikit yaitu pada proses pemupukan awal di budidaya dan proses pengendapan di proses pengolahan gula. Selain itu, limbah cair dari hasil produksi gula tidak dihitung ke dalam nilai *grey water* karena limbah cair tersebut masih dalam batas baku mutu untuk dibuang ke badan air.

Virtual Water Flow

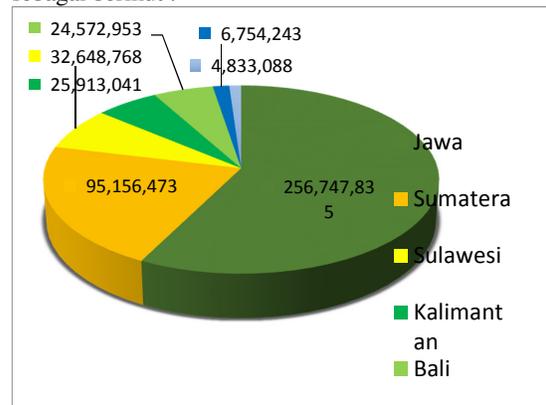
Nilai *virtual water footprint* produk gula di peroleh dari perhitungan *virtual water footprint* yang sebelumnya sudah dilakukan oleh peneliti yaitu sebesar 2030,12 m³/ton. Untuk data kebutuhan gula nasional dan juga per-wilayah serta data sebaran/distribusi produk gula dari PT. Gunung Madu Plantations diperoleh dengan melakukan asumsi. Untuk memperoleh data kebutuhan gula nasional dan juga kebutuhan gula per-wilayah di Indonesia, Asumsi yang dilakukan yaitu dengan menggunakan perhitungan kebutuhan perkapita dikalikan dengan data jumlah penduduk Indonesia. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari BPS dan juga P3GI, bahwa jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2010 adalah 237.641.326 jiwa dan kebutuhan gula rata-rata perkapita penduduk Indonesia pada tahun 2010 adalah sebanyak 12 kg perkapita/tahun. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan asumsi tersebut di atas, diperoleh kebutuhan gula nasional yaitu sebesar 2.851.696 ton.



Gambar 2. Grafik Persentase Kebutuhan Gula Per wilayah berdasarkan asumsi(Asumsi dan Olahan data sekunder 2012)

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa Pulau Jawa memiliki kebutuhan gula terbesar berdasarkan asumsi, mengingat Pulau Jawa memiliki jumlah penduduk terbanyak. Selain itu pola konsumsi gula juga menentukan persentase kebutuhan gula. *Virtual water flow* Produk Gula PT. Gunung Madu Plantations berhubungan dengan penjualan produk gula yang dihitung dari produk gula yang di jual (ton/tahun) dan nilai *virtual water content* produk tersebut (m³/ton).

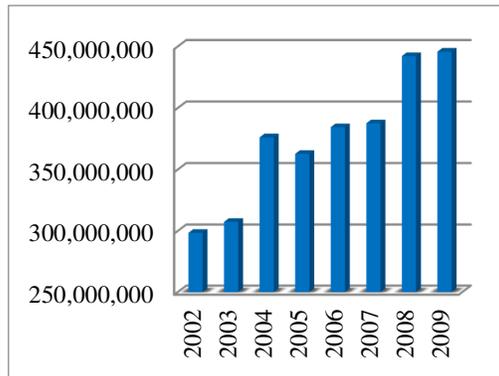
Berdasarkan asumsi di atas, diperoleh grafik sebagai berikut :



Gambar 3. Grafik Virtual waterTrade Flow per-wilayah PT. Gunung Madu Plantations (m³/tahun) tahun 2009

Dari gambar di atas dapat di lihat bahwa *virtual water trade flow* terbesar adalah ke Pulau Jawa, diikuti Pulau Sumatera, Pulau Sulawesi, Pulau Kalimantan, Pulau Bali, Papua dan Maluku. Distribusi ini sesuai dengan proporsi kebutuhan gula dimana Pulau Jawa memiliki kebutuhan gula terbesar. Ini artinya, aliran *virtual water* terbesar adalah ke Pulau Jawa. Pulau Jawa memang merupakan provinsi yang paling banyak mengimpor air dalam bentuk *virtual water*, terutama untuk produk pertanian dan perkebunan (Bulsink *et.al.*, 2009). *Virtual water* untuk gula

tebu pada beberapa tahun berakhir bersifat fluktuatif, artinya selalu terus berubah tergantung



dari jumlah produksi gula yang dihasilkan PT Gunung Madu Plantations. *Virtual water trade* produksi gula dari PT Gunung Madu Plantations selama tahun 2002-2009 disajikan pada gambar dibawah ini.

Gambar 4. Grafik *Virtual water Trade* produksi gula PT. Gunung Madu Plantations dari tahun 2002 – 2009

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa nilai *virtual water trade* bersifat fluktuatif dari waktu ke waktu. Nilai ini bergantung pada jumlah produksi gula yang dihasilkan PT Gunung Madu Plantations. Pada tahun 2008-2009, PT Gunung Madu Plantations mencapai targetnya dalam memproduksi gula.

Perhitungan nilai *water footprint* gula tersebut pada tahun 2009 mencapai 445.720.000 m³/tahun. Nilai tersebut cukup signifikan dan dapat mengancam sumber daya air yang ada di daerah Lampung mengingat PT Gunung Madu Plantation berlokasi di Lampung. Menurut penelitian Bulsink *et al.*, (2009), Lampung merupakan salah satu provinsi yang menggunakan sumber daya airnya sendiri dalam memproduksi berbagai tanaman pertanian atau perkebunan. Hampir 95% sumber daya airnya digunakan untuk memproduksi barang dan jasa, alokasi terbesar adalah untuk pertanian dan perkebunan. Artinya jika sumberdaya air tidak dikelola secara baik, maka kekurangan air akan terjadi di daerah tersebut.

PT Gunung Madu Plantations sudah menerapkan beberapa kegiatan yang dilakukan untuk melindungi sumber air yang ada, seperti pembuatan tendon air untuk menampung air hujan dan digunakan untuk irigasi saat tanaman kekurangan air, menanam berbagai jenis tanaman disekitar tendon air dan menerapkan teknologi budidaya yang ramah lingkungan. Kelangkaan air (*water scarcity*) sangat menghambat proses produksi pertanian khususnya di lahan kering.

Saat ini, konservasi air yang dilakukan PT Gunung Madu adalah dengan membangun tendon

air. Konservasi air ini cukup membantu dalam mengatasi kekurangan air saat musim kemarau. Namun dalam 3 tahun terakhir, konservasi air dengan teknologi tendon air ini dirasa kurang untuk memenuhi kebutuhan air. Kekurangan air ini menyebabkan produksi gula yang terus menurun, sementara kebutuhan gula terus meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisewojo, R. S. (1971). *Bercocok Tanam Tebu*. Sumur Bandung. Bandung.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. (1998). *Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage paper 56*. ISBN 92-5-104219-5. Media Release (<http://www.fao.org>)
- Asdak, C. (2007). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: GadjahMada University Press.
- BPS. 2009. *Luas Tanaman Perkebunan Besar Menurut Jenis Tanaman*, Indonesia. Publikasi BPS. (<http://www.bps.go.id>)
- Bulsink, F., A. Y. Hoekstra, M. J. Booij. (2009). *The Water Footprint of Indonesian Provinces Related to The Consumption of Crop Products. Value of Water Research Report Series No. 37*. 1-49. Media Release (<http://www.waterfootprint.org>).
- Cakti. (2012). *Pengolahan Gula Tebu*. Politeknik LPP Nusantara. Yogyakarta
- Chapagain, A. K., and A. Y. Hoekstra. (2003). *The Water Needed to have The Dutch Drink Coffee*. Value of Water. Research No. 14. Media Release (<http://www.waterfootprint.org>)
- Chapagain A.K. and A.Y.Hoekstra. (2004). *Water footprints of nations: : Water use by people as a function of their consumption pattern* Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE. Media release (<http://www.waterfootprint.org/2008>).
- Chapagain, A. K., A. Y. Hoekstra, H. H. G. Savenije and R. Gautam. (2005). *The Water Footprint of Cotton Consumption*. Value of Water. Research Report No. 18. Media Release (<http://www.waterfootprint.org>)
- Chapagain, A. K., and S. Orr. (2009). *An Improved Water Footprint Methodology Linking Global Consumption to Local Water Resources: A Cases of Spanish Tomatoes*. Journal of Environmental Management. 90 (2009): 1219-1228. Media Release (<http://www.waterfootprint.org>)
- Deptan. (2004). *Pedoman Teknologi Budidaya Tebu Lahan Kering*. Direktora Jendral Bina

- Produksi Perkebunan, Departemen Pertanian. Jakarta. 71 hal
- Erwin dan M. Sastromito. (1995). *Evaluasi Kesuburan Tanah dan Pemupukan di areal Kebun Konversi PG Kuala Madu PT Perkebunan IX Medan*. Dalam : Risalah hasil penelitian Areal kebun konversi PG Kuala Madu PT Perkebunan IX Medan. Medan.
- Gerbens-Leenes, P.W., & A. Y. Hoekstra. (2009). *The Water Footprint of Sweeteners and Bio-Ethanol from Sugar Cane, Sugar Beet and Maize*. Value of Water Research Report Series No. 38, Media Release (<http://www.waterfootprint.org>)
- Gunung Madu Plantations. (2009). *Profil PT. GunungMadu Plantations*. Website Resmi PT. GunungMadu Plantations. (<http://www.gunungmadu.co.id>)
- Hardjowigeno, S. (1995). *Ilmu Tanah*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Hoekstra, A.Y. (2003). *Virtual water: An introduction*, In: Hoekstra, A.Y. (ed.) *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*, Value of Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands. Media release (<http://www.waterfootprint.org/2008>).
- Hoekstra, A.Y., and Hung, P.Q. (2003). *Virtual Water Trade: a quantification of virtual water flows between nations in relationship to international crop trade*. Value Of Water Research Series No. 12. (<http://www.waterfootprint.org>)
- Hoekstra, A. Y., and A. K. Chapagain. (2004). *Water Footprint of Nations*. Media Release (<http://www.waterfootprint.org>)
- Hoekstra, A. Y., and A. K. Chapagain. (2008). *Globalization of Water Sharing the Planet's Freshwater Resources*. Blackwell Publishing. Media Release (<http://www.waterfootprint.org>)
- Hoekstra, A.Y., A. K. Chapagain., M. M. Aldaya and M. M. Mekonnen. (2009). *Water Footprint Manual. State of the Art 2009*. Media Release (<http://www.waterfootprint.org>)
- Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q. (2000). *Virtual Water Trade: a quantification of virtual water flows between nations in relationship to international crop trade*. Value Of Water Research Series
- Hoekstra, A. Y. (2007). *Water Footprints of Nations: Water Use by People as a Function of Their Consumption Pattern, Water Resources Management*. Media Release (<http://www.waterfootprint.org>)
- Hoekstra, A. Y. 2008. (2008). *Human Appropriation of Natural Capital: Comparing Ecological Footprint and Water Footprint Analysis*. Media Release (<http://www.waterfootprint.org>)
- Hoekstra, A. Y. (2008). *The water footprint of food*, In: Förare, J. (ed.) *Water for food*, The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning (Formas), Stockholm, Sweden, pp. 49-60. Media Release (<http://www.waterfootprint.org>)
- Inskipp, C. (2009). *Masa Depan Lingkungan: Pelestarian Air Bersih*. Alih bahasa: Inik B. Utami. Solo: PT. Tiga Serangkai Pustaka Mandiri bekerja sama dengan WWF.
- Liu, J. and H.H.G. Savenije. (2008). *Food consumption patterns and their effect on water requirement in China*, *Hydrology and Earth System Sciences*. Media release (<http://www.waterfootprint.org/2008>).
- IPTEKnet. (2010). *Tebu*. Sentra Informasi IPTEK. IPTEKnet. (<http://www.iptek.net.id>)
- Irianto, G. (2003). *Tebu Lahan Kering dan Kemandirian Gula Nasional*. Artikel. Publikasi Badan Litbang Pertanian. (<http://www.litbang.deptan.go.id/artikel/one/28/>)
- Kampman, D.A., A. Y. Hoekstra, M. S. Krol. (2008). *The Water Footprint of India*. Media Release. (<http://www.waterfootprint.org>)
- Liu, J. and H. H. G. Savenije. (2008). *Food Consumption Patterns and Their Effect on Water Requirement in China*. Value of Water. Research Report No. 30. Media Release (<http://www.waterfootprint.org>)
- Madrid, C., A. R. Hoekstra, Vincent A. non date. *Input Output Model for Assessing The Water Footprint. The Case of Spain*. Media Release
- Nugrahanto, G. (2009). *KAJIAN WATER FOOTPRINT KONSUMSI PANGAN: Studi Kasus Kota Kupang*. Tesis Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Padjadjaran. Bandung
- Pawitan, H. (2008). *Hidrologi Sumber Daya Air Dalam Perspektif Pembangunan Pertanian Indonesia*. Pemikiran Guru Besar Institut Pertanian Bogor. Penebar Swadaya. Jakarta
- Pratiwi, F, D. (2010). *Analisis Water Footprint Produksi Beras Organik di Kabupaten Tasikmalaya. Studi Kasus di Desa Salebu dan Desa Mangunreja, Kecamatan Mangunreja*. Tesis Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Padjadjaran. Bandung
- Radjaguguk, B. (1985). *Ketenggangan Tanaman Budidaya Terhadap Kemagaman Tanah Dengan Penekanan Khusus Pada Tebu*.

- Seminar Hasil Mingguan P3GI (Balai Penelitian Perusahaan Perkebunan Gula). Pasuruan
- Richard, M. J. (2005). *Sugarcane Yield, Sugarcane Quality and Soil Variability in Louisiana*. *Agronomy Journal*. 97(3) :760-771.
- Runtuuwu E., H. Syahbuddin, dan A. Pramudia. (2008). *Validasi Model Pendugaan Evapotranspirasi: Upaya Melengkapi Database Iklim Nasional*. *Jurnal Tanah dan Iklim*. ISSN 1410-7244.
- Sekretariat Negara Indonesia (SNRI). (2009). *Revitalisasi Industri Gula*. Website Resmi Sekretariat Negara Indonesia. (<http://www.setneg.go.id>)
- Septiarani, A. (2010). *Analisis Water Footprint Produksi Kain Serat Rami : Studi Kasus Koppondren Darussalam, Kecamatan Wanaraja, Kabupaten Garut*. Tesis Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Padjadjaran. Bandung
- Shiklamanov IA. (1998). *World water Resources: A new Appraisal and Assesment for the 21st century*. Paris:IHP Unesco.
- Soepardiman. (1996). *Bercocok Tanam Tebu*. LPP. Yogyakarta.
- Sri Nuryanti. (2003). *Usahatani Tebu pada Lahan Sawah dan Tegalan di Yogyakarta dan Jawa Tengah*. Pusat Analisis Analisis Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian. Bogor.
- Sutawan, Y. (2001). *Pengelolaan Sumberdaya Air untuk Pertanian Berkelanjutan: Masalah dan Kebijakan*. Makalah Seminar Optimalisasi Pemanfaatan Sumberdaya Tanah dan Air yang Tersedia untuk Keberlanjutan Pembangunan. Media Release (<http://ejournal.unud.ac.id>)
- Wackernagel, M. and W. Rees. (1996). *Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth* New Society Publishers, Gabriola Island, B.C., Canada.
- Yang, H. (2008). *Globalization of Water Resources through Virtual Water Trade*. Swiss Federal Institute for Aquatic Science and Technology, Media Release (<http://www.rosenberg.ucanr.org>)
- Yang, H., Reichert, P., Abbaspour, K.C., and Zehnder, A.J.B. (2003). *A Water Resources Treshold and Its Implications For Food Security*. *Environmental Science and Technology*. Hal 3048-3054