

Identifikasi Potensi Produksi Biogas dari Limbah Cair Tahu dengan Reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB)

Identification of Potential Biogas Production from Tofu Wastewater with Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASB)

WAGIMAN

Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM
Yogyakarta 55284.

Diterima: 2 Pebruari 2006. Disetujui: 5 April 2006.

ABSTRACT

Limah cair tahu mengandung bahan organik sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku produksi biogas. Sebagai produk samping sistem pengolahan limbah secara anaerobik, biogas masih belum banyak dikaji nilai tambahnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi limbah cair tahu sebagai bahan baku produksi biogas dengan menggunakan reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB). Dari aspek teknik dilihat laju produksi biogas dan laju degradasi bahan organik (COD), sedangkan dari sisi ekonomis dihitung nilai finansial kalor yang dikandung biogas. Penelitian menunjukkan bahwa biogas yang dapat diproduksi sebesar 0,13 L/g COD dengan waktu tinggal 4 hari dan volume reaktor 8,5 L. Nilai tambah yang dihasilkan adalah 0,24 rupiah/l limbah/hari. Hasil lainnya adalah peningkatan pH dari 3-4 menjadi 7,0-7,5 (netral) yang berarti juga meningkatkan keamanan efluen.

Keywords: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), Biogas, Chemical Oxygen Demand (COD).

♥ **Alamat korespondensi:**
Jl. Colombo, Karangmalang
Yogyakarta 55281.
Tel. & Fax.: +62-274- 586168

PENDAHULUAN

Industri tahu telah berkembang secara turun temurun di berbagai wilayah Indonesia khususnya Jawa pada skala mikro dengan proses produksi secara tradisional. Kondisi tersebut menyebabkan limbahnya sangat besar yaitu 12 m³/ton kedelai (Zamroni, 2004) dan kandungan bahan organiknya juga tinggi (COD: 5.000-8.000 mg/L, Wagiman, 2001). Sebagian besar limbah dibuang langsung ke lingkungan, misalnya di DIY industri tahu yang memiliki IPAL hanya 17,65% dengan pengoperasian yang tidak maksimal.

Beberapa penyebab industri tahu tidak melakukan pengolahan limbah cairnya antara lain: (i) keterbatasan dana untuk membangun

dan mengoperasikan IPAL, (ii) tidak tersedia teknologi pengolahan limbah untuk industri kecil, (iii) pengusaha tidak melihat kemanfaatan pengolahan limbah cair, (iv) tingkat kesadaran masyarakat terhadap lingkungan hidupnya masih rendah, (v) dampak pembuangan limbah terhadap lingkungan tidak muncul spontan sehingga masyarakat seakan resisten.

Untuk mengatasi masalah tersebut maka diperlukan pengembangan teknologi yang mengedepankan aspek nilai tambah bagi pengusaha. Polutan di dalam limbah cair tahu terdiri dari air 90,74%, protein 1,8%, lemak 1,2%, serat kasar 7,36% dan abu 0,32% (Rahardjo dalam Trismila *et al.*, 2001). Komposisi tersebut memungkinkan pengembangan biogas dari limbah cair tahu menjadi alternatif untuk

industri kecil-menengah. Biogas dapat dikonversi menjadi energi yang sangat dibutuhkan pada proses produksi tahu, ramah lingkungan dan termasuk kategori energi terbarukan. Dengan demikian, ada keuntungan ganda produksi biogas yaitu menghasilkan energi bagi industri bersangkutan dan menurunkan tingkat bahaya limbah cair.

Produksi biogas di atas menggunakan UASB dengan pertimbangan alat termasuk *high-rate reactor* dan efisiensinya tinggi yaitu 70-90%, waktu tinggal hidrolik rendah, kebutuhan energi kecil, tidak memerlukan media, dan teknologi telah teruji. Teknologi UASB sudah tersebar di seluruh dunia dan banyak dipakai untuk penanganan berbagai macam limbah khususnya limbah industri pertanian seperti industri gula, pengolahan kentang, pengalengan daging, kertas, sari buah, dan industri makanan (Laubscher *et al.*, 2001). UASB juga sudah dipakai pada industri tahu di Indonesia dengan hasil yang cukup memuaskan (Sujarwo, 2004).

Pengolahan limbah secara anaerobik akan menghasilkan biogas yang terdiri dari CO₂ dan CH₄. Fraksi metana bervariasi tergantung substrat yang terkandung di dalam limbah (Marchaim, 1992), tetapi pada umumnya berkisar antara 0,2-0,7 (Anonim, 2004). Produksi gas juga tergantung pada kinerja bakteri metanogen yang dipengaruhi oleh pH, suhu, kandungan nutrisi, keberadaan faktor penghambat dan waktu retensi. Menurut Mulligan *et al.* (1993), untuk pembebanan 36,5 kg COD/m³/hari dapat menghasilkan gas sebesar 12,0 m³/m³/hari.

Produksi biogas juga mulai dikembangkan pada skala industri seperti di Finlandia pada tahun 2000 ada 15 pabrik penghasil biogas dari limbah domestik maupun industri, pada tahun yang sama di Jerman berkembang 5 perusahaan biogas sejenis (Leinonen dan Kuittinen, 2001).

Anaerobik sangat cocok untuk mengolah limbah cair yang mengandung bahan organik kompleks seperti limbah dari industri makanan, minuman, bahan kimia dan obat-obatan (Anonim, 2003). Bahan organik tersebut didegradasi menjadi senyawa sederhana dan stabil melalui empat tahap yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis (Beteau, 1997). Senyawa kompleks seperti lemak, polisakarida dan protein dihidrolisis menjadi asam lemak, monosakarida, dan asam amino. Pada tahap asidogenesis, senyawa hasil hidrolisis dirubah menjadi senyawa bermassa molekul sedang seperti propionat, butirat, laktat dan etanol. Metanogenesis sebagai tahap akhir,

merupakan konversi senyawa bermassa molekul sedang menjadi metana dan karbondioksida. Pembentukan metana dapat melalui konversi hidrogen dan karbondioksida, dan konversi asetat menjadi metana dan karbondioksida. Metana merupakan hasil akhir proses anaerobik sehingga dapat digunakan sebagai parameter atau indikator keberhasilan proses tersebut (Michaud *et al.*, 2002)

Biogas merupakan hasil akhir dari proses anaerobik dengan komponen utama CH₄ dan CO₂, H₂, N₂, dan gas lain seperti H₂S. Nilai kalor biogas lebih tinggi dibandingkan sumber energi lainnya, seperti batubara (586 K.cal/m³) ataupun uap air (302 K.cal/m³), tetapi lebih rendah dari gas alam yaitu 967 K.cal/m³. Setiap satu meter kubik biogas setara dengan setengah kilogram gas alam cair (*liquid petroleum gases*), atau setengah liter bensin atau setengah liter minyak diesel. Biogas sanggup membangkitkan tenaga listrik sebesar 1,25-1,50 kilo watt hour (kwh).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi limbah cair tahu sebagai bahan baku produksi biogas dengan menggunakan reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB).

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan utama untuk produksi biogas ini berupa limbah cair dari salah satu tahap di dalam pembuatan tahu yaitu proses penggupalan. Bahan ini dikenal dengan sebutan *whey* dan mempunyai karakteristik pH 4-5, COD 6.000-10.000 mg/L.

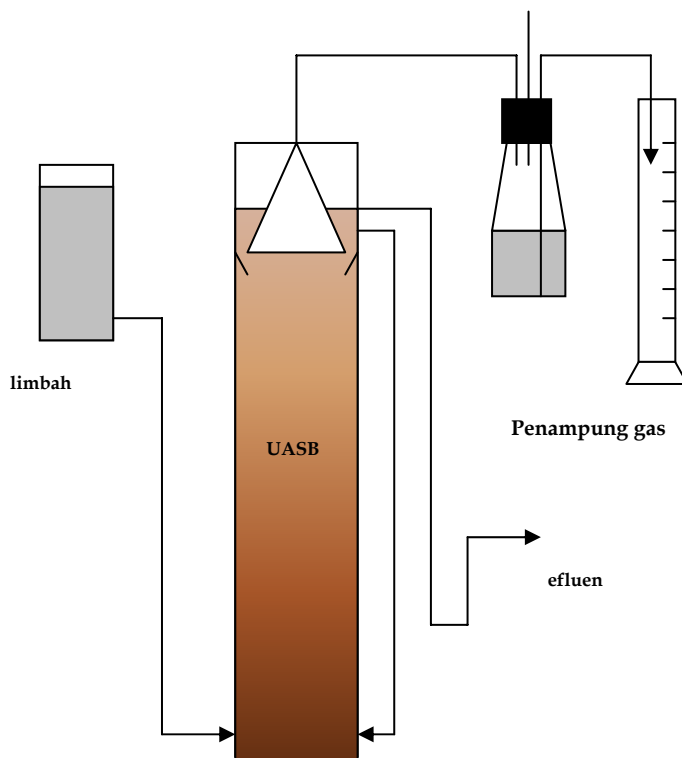
Alat

Reaktor didesain dalam bentuk UASB (Gambar 1) dengan volume operasional 8,5 L, dibuat dari bahan paralon. Alat ini dilengkapi dengan sistem sirkulasi dan penampung gas berupa erlenmeyer.

Cara kerja

Empat liter massa mikroorganisme yang telah tumbuh (granular) kemudian dimasukkan ke reaktor untuk *start-up* dan biasanya membutuhkan waktu yang lama. Waktu *start-up* dianggap cukup bila laju degradasi bahan organik dan gas yang terbentuk sudah stabil.

Limbah dari industri tahu ditentukan COD-nya berada pada kisaran 5000-8000 mg/l, pH dijaga 4-5 kemudian dimasukkan ke reaktor anaerobik mengikuti aliran seperti pada gambar



Gambar 1. Skema konfigurasi UASB

di atas. Ada dua sistem yang dilakukan yaitu Sistem *Batch* Tanpa Sirkulasi (SBTS) dan Sistem *Batch* Dengan Sirkulasi (SBDS). Sampel diambil baik pada influen maupun efluen anaerobik kemudian diuji kandungan bahan organik (COD), dan nilai pHnya. Demikian juga volume biogas dicatat setiap hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

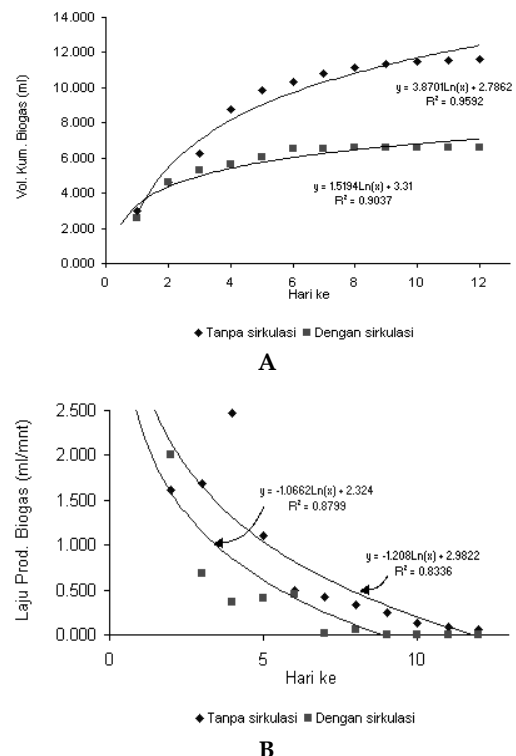
Produksi biogas untuk SBTS dan SBDS

SBTS adalah metode yang memperlakukan limbah cair tertampung dalam reaktor selama waktu tertentu tanpa dilakukan sirkulasi. Untuk SBDS menggunakan sirkulasi dengan tujuan memperbesar frekuensi kontak antara bakteri dengan bahan organik. Bahan organik kontak paling banyak dengan mikroba saat pemasukan influen ke dalam reaktor yang sudah berisi lumpur mikroba sebanyak setengah reaktor.

Produksi biogas pada SBTS ternyata lebih tinggi dibanding SBDS (Gambar 2A) meskipun pada awalnya sama dan mencapai kondisi konstan setelah hari ke-8 dengan total produksi masing-masing 11,115 L dan 6,575 L atau ada selisih 5.063 L. Perbedaan tersebut menunjukkan

bahwa sirkulasi justru menurunkan produksi biogas karena total sirkulasi menjadi sangat tinggi. Dengan terbentuknya biogas maka sirkulasi secara alamiah sudah cukup sehingga tidak perlu penambahan sirkulasi eksternal.

Sistem tanpa sirkulasi dapat menghasilkan biogas tertinggi terjadi pada hari pertama yaitu 2,979 l/hari (Gambar 2B). Produksi biogas pada hari kedua tidak berbeda jauh dibandingkan hari pertama. Penurunan laju produksi biogas pada hari ketiga dan seterusnya sangat signifikan yaitu 66,67-90,32% dan 41,39-86,25%. Penurunan tersebut disebabkan oleh kandungan bahan organik tinggal sedikit yang ditandai dengan nilai COD yang rendah.



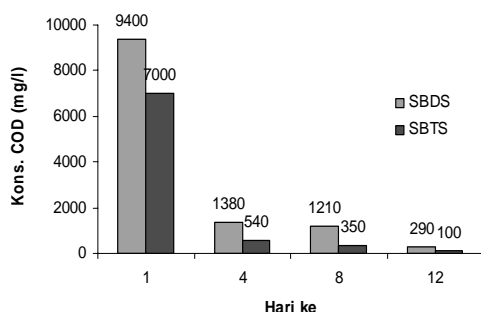
Gambar 2. Produksi biogas dengan UASB untuk SBTS dan SBDS. Keterangan: (A) Produksi kumulatif biogas, (B) Laju produksi biogas.

Volume biogas secara kumulatif bertambah dalam jumlah besar sampai hari kedelapan kemudian laju produksi hanya 0,335 l/hari. Setelah 8 hari tersebut, total biogas yang dihasilkan sebesar 11,115 L atau 95,48% dari total biogas yang dihasilkan selama 12 hari. Menurut Yuli (2005), biogas mempunyai komposisi gas metana sebesar 54-70%. Sehingga jumlah metana yang dihasilkan selama 8 hari berkisar 6,286-8,149 L.

Pada sistem pengolahan dengan sirkulasi laju produksi biogas tinggal 0,056 l/hari dalam rentang waktu 8 hari. Produksi biogas sampai dengan hari kedelapan ini adalah 6,575 L atau 99,96% dan metana yang dihasilkan 3,551-4,603 L. Waktu 8 hari merupakan waktu efektif untuk menghasilkan biogas tetapi peningkatan laju produksi dari hari keempat sampai dengan hari kedelapan relatif kecil sehingga hari keempat dapat digunakan sebagai dasar penentuan waktu tinggal hidrolis untuk produksi biogas.

Penyisihan bahan organik

Penurunan COD yang sangat besar dari hari pertama sampai hari kedelapan yaitu 87,13% dan 95,00% (Gambar 3) menunjukkan bahwa dalam rentang waktu tersebut banyak bahan organik yang dirombak oleh bakteri. Setelah 12 hari, sistem dengan sirkulasi dapat merombak 77,88 kg bahan organik, sedangkan sistem tanpa sirkulasi hanya sebesar 58,99 kg. Dengan demikian, meskipun dilihat dari persentase penurunan, sistem tanpa sirkulasi lebih baik tetapi dari jumlah bahan organik yang dirombak maka sistem dengan sirkulasi jauh lebih baik.



Gambar 3. Penyisihan bahan organik (COD).

Menurut Wilkie (2003), setiap kilogram COD akan dikonversi menjadi 0,35 m³ CH₄ atau ekuivalen dengan 12.000 BTU. Berdasarkan konversi tersebut, untuk sistem dengan sirkulasi dihasilkan 27,257 m³ CH₄ dan pada sistem tanpa

sirkulasi sebanyak 20,645 m³. Tidak semua asam-asam volatil hasil asedogenesis dikonversi menjadi biogas tetapi sebagian menjadi bagian atau komponen efluen (Leggett *et al.*, 2005). Penyebab sedikitnya bahan organik menjadi biogas kemungkinan terkait dengan sifat bakteri pembentuk metana yang sangat peka dengan asam (pH rendah).

Perubahan pH

Produksi metana oleh bakteri metanogenik terjadi dengan baik pada kisaran pH 5,5-8,3 (Lettinga, 1980). Apabila pH limbah dalam reaktor anaerobik kurang dari 5,5 maka aktivitas mikrobia dalam mendegradasi bahan organik dan mengubah menjadi biogas kurang optimum (Anonim, 1994). Oleh karena itu bila limbah yang diolah terlalu asam maka dinaikkan dahulu pHnya dengan larutan kapur pada permukaannya saja sampai kondisi *steady state*, setelah itu biasanya pH akan stabil (Djarwanti *et al.*, 1994).

Pada kedua sistem, pH limbah cair meningkat masing-masing sebesar 98,23% dan 84,75% sampai hari keempat, kemudian relatif stabil sampai hari keduabelas. Peningkatan tersebut karena senyawa hasil fermentasi maupun asetogenesis sudah dikonversi menjadi H₂, CO₂, H₂O, dan CH₄, serta pemecahan protein menjadi NH₄⁺ yang kemudian mudah membentuk senyawa yang bersifat basa. Menurut FAO (1996), pH pada sebuah digester biogas juga merupakan fungsi waktu tinggal. Pada periode awal cenderung rendah lalu naik pada periode berikutnya yang menunjukkan bahwa proses asidogenesis dan metanogenesis berlangsung secara terpisah (Bell dan Buckley, 2003).

Bakteri pembentuk metana mengkonsumsi asam asetat dan mengubahnya menjadi metana dan CO₂ (Boone, 1985) sehingga konsentrasi asam asetat dalam air limbah turun dan pH naik (Anonim, 1994). Proses digesti yang berlanjut menyebabkan konsentrasi NH₄⁺ meningkat sehingga dapat menaikkan nilai pH di atas 8 (FAO, 1996). Ion NH₄⁺ ini akan membentuk senyawa basa dan sekaligus menaikkan alkalinitas dan pH sehingga pH dalam reaktor menjadi netral (Suryandono, 2004). Produksi biogas optimum tercapai saat nilai pH input dalam digester berkisar antara 6 dan 7 (FAO, 1996). Penelitian ini menunjukkan bahwa produksi biogas mencapai maksimal pada hari pertama atau beberapa jam setelah penambahan influen, berarti proses hidrolisis dan asidifikasi

berlangsung cepat dan kenaikan pH menjadi 6 dan 7 terjadi pada hari itu juga. McLean (1995) menyatakan bahwa waktu tinggal limbah dalam UASB selama 8,5 jam dengan efisiensi penurunan COD sebesar 70-90%. Reaksi metanogenik tersebut dapat dideteksi dengan timbulnya biogas beberapa jam setelah penambahan influen.

Potensi produksi biogas

Berdasarkan faktor laju produksi biogas, laju degradasi bahan organik, nilai pH maka waktu 4 hari dan sistem tanpa sirkulasi (SBTS) merupakan pilihan terbaik untuk analisis potensi produksi biogas. Data-data yang digunakan dalam perhitungan antara lain: waktu tinggal 4 hari, volume reaktor UASB 8,5 L, COD terolah 55,220 gram, biogas yang dihasilkan 8,754 L. Dengan data tersebut maka dapat diketahui efisiensi reaktor yaitu 92,81% dan biogas yang dihasilkan sebanyak 0,13 L/g COD. Nilai tersebut masih dibawah hasil penelitian Wilkie (2003) yaitu 0,21 L/g COD dengan asumsi kandungan CH₄ sebesar 60%.

Jika suatu industri tahu mengolah 100 kg kedelai per hari dan setiap kg kedelai menghasilkan 75-150 L limbah cair (Damanhuri *et al.*, 1997), maka dalam waktu 4 hari akan diperoleh nilai tambah sebesar Rp. 16.615,00. Gambaran tersebut menunjukkan bahwa limbah tahu sangat potensial digunakan sebagai bahan baku biogas baik dari sisi teknis maupun ekonomis.

KESIMPULAN

Limbah tahu, sebagai salah satu produk samping proses pengolahan tahu, dapat dipakai untuk bahan baku produksi biogas. Dengan menggunakan reaktor UASB tanpa sirkulasi, biogas yang dihasilkan sebesar 0,13 L/g COD limbah cair tahu. Nilai tambah yang diperoleh dengan sistem tersebut adalah 0,24 rupiah/L COD/hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Fakultas Teknologi Pertanian UGM Yogyakarta

yang telah mendanai penelitian ini melalui Dana Masyarakat Tahun Anggaran 2005.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajit, P.A. and P.L. Amatya. 2000. UASB treatment of tapioca starch wastewater. *Journal of Environmental Engineering* (December 2000): 1149-1152
- Amatya, P.L. 1996. *Anaerobic Treatment of Tapioca Starch Industry wastewater by Bench Scale Upflow anaerobic Sludge Blanket (UASB)*. [Thesis]. Bangkok: AIT Thailand.
- Anonim. 2003. *Dampak dari Sentra Industri terhadap Lingkungan Hidup*. www.bi.go.id/sipok/lm/md/tempe_tahu/dampak_lingkungan.htm. (11 April 2003).
- Damanhuri, T.P., N. Halim, and S. Nurtiono. 1997. *The Role of Effluent recirculation in Increasing Efficiency of Anaerobic and Aerobic Wastewater Treatment of Tofu Industry*. Proceedings of the Indonesian Biotechnology Conference, Jakarta.
- Horn, M.A., C. Matthies, K. Kusel, A. Schramm, and H.L. Draken. 2003. Hydrogenotrophic methanogenesis by moderately acid-tolerant methanogens of a methane-emitting acidic peat. *Applied Environmental Microbiology* 29 (1): 74-83.
- Lay, J.J., Y.Y. Li, T. Noike, J. Endo, and S. Ishimoto. 1997. Analysis of environmental factors affecting methane production from high-solids organic waste. *Water Science and Technology* 36(6-7): 493-500.
- Leggett, J., R.E. Graves, and L.E. Lanyon. 2005. *Anaerobic Digestion: Biogas Production and Odor Reduction from Manure*. College of Agricultural Science, Amerika. <http://server.age.psu.edu>. (24 Oktober 2005).
- Leinonen, S and V. Kuittinen. 2001. *Finnish Biogas Register IV*. Joensuu: Karelian Institute, University of Joensuu.
- Marchaim, U. 1992. *Biogas Processes for Sustainable Development*. Shmona: MIGAL, Galilee Technological Centre Kiryat Shmona, Israel.
- Moo-Young, M. 1985. *Comprehensive Biotechnology*, vol. 4. Oxford: Pergamon Press.
- Sujarwo, A. 2004. *Aplikasi Teknologi Pengolahan Limbah Cair. Pelatihan Dasar Teknologi Tepat Guna Pengolahan Limbah Cair*. Pusteklim, Yogyakarta, 7-16 Juni 2004.
- Suryandono dan Wagiman. 2004. *Laju produksi Biogas dari Limbah Cair Tahu*. Yogyakarta: Lembaga Penelitian UGM.
- Wagiman dan Suryandono. 2004. *Kajian Kombinasi Anaerobic Baffled Reactor (ABR) dan Sistem Lumpur Aktif untuk Pengolahan Limbah Cair Tahu*. Yogyakarta: Lembaga Penelitian UGM.
- Wagiman, S. Atris, dan Jumeri. 2001. *Optimasi Kebutuhan Lumpur Aktif untuk Proses Pengolahan Limbah Cair pada Sentra Industri Tahu "Ngudi Lestari"*. Yogyakarta: Lembaga Penelitian UGM.
- Wilkie, A.C. 2003. Anaerobic digestion of flushed dairy manure. *Proceeding Anaerobic Digester Technology Application in Animal Agriculture*. Virginia: Water Environment Ferderation.
- Wiloso, E.I, T. Basuki, dan S. Aiman. 1995. Utilization of agricultural wastes for biogas production in Indonesia. *Proceeding of the UNESCO-University of Tsukuba International Seminar on Traditional Technology for Environmental Conservation and Sustainable Development in the Asia-Pacific Region*. Tsukuba-Japan, 11-12 December 1995.