

Studi Aplikasi Gasifikasi Di Industri Gerabah Perancangan Sistem Gasifikasi Pada Tungku Pembakaran Gerabah Konvensional

Adi Surjosaty¹⁾, Alvin Maulana¹⁾

Departemen Teknik Mesin – Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok, Jawa Barat, 16424, Indonesia
E-mail: adisur@eng.ui.ac.id

Abstrak

Kota Plered merupakan kota yang terkenal akan produksi keramik atau gerabahnya sejak dahulu. Namun saat ini produksi gerabah tersebut semakin menurun dan para pengrajinnya pun sudah semakin berkurang seiring jalananya waktu. Salah satu penyebabnya adalah harga bahan bakar yang semakin lama semakin tinggi sehingga harga gerabah ikut harus terdongkrak naik dan akhirnya kalah bersaing dengan produk plastik berasal dari cina yang memiliki harga jauh lebih murah dan lebih menarik konsumen. Teknologi tersebut adalah Gasifikasi yang dapat menghasilkan gas mampu bakar hanya dengan berbahan bakar biomass. Akan tetapi alat ini masih cukup sulit diterima oleh masyarakat pengrajin karena rata-rata desainnya cukup memakan tempat sehingga dibutuhkan ruang yang cukup luas. Proses gasifikasi adalah suatu proses thermokimia yang mengkonversikan bahan biomass padat menjadi gas mampu bakar. Gas mampu bakar ini dapat dipergunakan untuk bahan bakar mesin pembakaran dalam dan luar, pemanas, pembangkit energi listrik dan lainnya. Reaksi-reaksi dasar dari proses gasifikasi biomass ataupun biomass sangat terkait erat dengan kadar karbon yang terdapat dalam bahan bakar tersebut. Sesuai dengan jenis biomass yang ada, maka terdapat pula unsur H, O, N, dan S dalam persentase tertentu[1]. Reaksi-reaksi dasar dan penting gasifikasi antara lain: Gasifikasi dengan oksigen dan udara (pembakaran parsial), Gasifikasi dengan karbon dioksida (reaksi Boudouard), Gasifikasi dengan uap (reaksi gas-air), Reaksi pergeseran gas-air, Methanasi, dan Hidrogasifikasi.

Kata kunci: Gasifikasi, Fix Bed Downdraft, Tungku gerabah, gas mampu bakar, pembakar gas,

Pendahuluan

Plered merupakan salah satu kecamatan yang letaknya berada di Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat. Lokasi ini merupakan salah satu lokasi yang terkenal akan produksi keramiknya di Indonesia. Berdasarkan sejarah yang tertulis pada situs kabupaten purwakarta, kerajinan keramik ini sudah dimulai bahkan sejak jaman kolonial Belanda. Disitu tertulis, kerajinan ini berawal dari keberadaan lio-lio (tempat pembuatan genteng dan batu bata) yang terletak disekitar Citalang. Barulah disekitar tahun 1935, produk gerabah tersebut dihasilkan oleh industri rumah tangga yang akhirnya berkembanglah produk kerajinan keramik-keramik hias.

Akan tetapi pada akhir-akhir ini sejak sekitar satu dekade lalu, industri kerajinan ini semakin surut. Terimbang dari kemajuan teknologi yang semakin berkembang pesat dan adanya perdagangan bebas yang mengakibatkan masuknya berbagai barang pengganti keramik seperti benda-benda berbahan plastik. Plastik ini sangat diterima oleh masyarakat karena sifatnya yang tidak mudah rusak, modelnya

yang sangat menarik, serta harganya yang cukup jauh lebih murah dibanding dengan keramik. Faktor ini ikut terbantu pula dengan adanya krisis ekonomi yang mengakibatkan daya beli masyarakat berkurang sehingga masyarakat lebih memilih barang-barang yang "murahan". Sedangkan para pengrajin keramik justru terpaksa menaikkan harga keramiknya akibat biaya produksi yang ikut melonjak. Terutama akibat biaya BBM dan juga semakin sempitnya lahan kayu yang biasa dijadikan bahan bakar produksi oleh pengrajin. Seperti yang dikutip dari situs kompas senin, 7 juni 2010, Ada sebanyak 140 pabrik genteng yang telah tutup karena bangkrut dalam kurun waktu 5 tahun.

Program CEG's merupakan salah satu bentuk kegiatan pengabdian kepada masyarakat di Universitas Indonesia, yang diterapkan diharapkan mampu membantu para produsen keramik tersebut dengan menggunakan sistem gasifikasi sekam padi yang nantinya dipadu dengan sistem tungku semi continuous. Proses teknologi untuk menghasilkan energi dari sekam padi disebut proses Gasifikasi. Proses gasifikasi adalah suatu proses thermokimia

yang mengkonversikan bahan biomassa padat menjadi gas mampu bakar. Gas mampu bakar ini dapat dipergunakan untuk bahan bakar mesin pembakaran dalam dan luar, pemanas, pembangkit energi listrik dan lainnya. Hasil dari gasifikasi adalah producer gas serta unsur pengotor seperti tar dan ash. Dengan menggunakan Gas Burner, gas mampu bakar tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas dalam tungku bakar gerabah.

Produser gas adalah campuran antara gas tidak mampu bakar dan gas mampu bakar. Jumlah unsur – unsur dalam produser gas tergantung dari jenis biomassa dan kondisi operasionalnya. Produser gas mengandung gas yang dapat dipergunakan seperti CO, H₂, CH₄, dan gas yang tidak mampu bakar seperti N₂, CO₂, serta tar dan ash.

Gasifikasi ini sebetulnya bukan merupakan suatu hal yang baru. Bahkan menurut sejarah, sejak kurang lebih 18 abad yang lalu, gasifikasi telah digunakan untuk memproduksi gas kota. Bukan waktu yang sebentar tentunya, namun untuk diIndonesia sendiri, teknologi ini sepertinya belum termanfaatkan dengan baik. Hal ini dikarenakan publikasi tentang gasifikasi sendiri yang masih kurang baik, pengoperasian yang masih cukup rumit, serta dimensinya yang rata-rata masih memakan lahan yang cukup besar.

Dasar Teori

Prinsip Dasar Proses Pembakaran

Pembakaran adalah proses atau reaksi oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar dan oksidator dengan menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan dari pembakaran ini berasal dari energi ikatan-ikatan kimia yang terputus dan terbentuk dari reaksi oksidasi tersebut. Terjadinya proses pembakaran disebabkan adanya ketiga komponen penting yaitu :

Bahan bakar : elemen mampu bakar yang signifikan pada bahan bakar secara umum yaitu karbon (C) dan hidrogen (H). Sedangkan sulfur (S) biasanya merupakan sumber panas yang kurang signifikan, menjadi debuah kontributor yang berperan besar pada korosi dan polusi.

Oksidator (udara / oksigen murni).

Panas sebagai energi awal : untuk mencapai batas dimana suatu bahan bakar dapat melanjutkan proses / reaksi sendiri. Motor pembakaran dalam pada umumnya menggunakan percikan listrik.

Keberhasilan proses pembakaran dapat dilihat dari tiga aspek yang dikenal dengan "3-T's of Good Combustion", yaitu:

Time, waktu persentuhan yang cukup bagi reaktan yaitu bahan bakar dan oksidator untuk saling menyatu dalam kesempurnaan pencampuran.

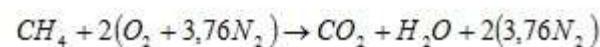
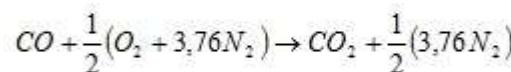
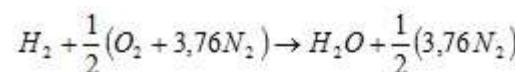
Temperature, temperatur dari campuran bahan bakar dan oksidator yang cukup untuk dapat dilakukan ignition/ pemantikan agar dapat timbul nyala api.

Turbulence, aliran yang turbulen dapat menyempurnakan pencampuran bahan bakar dengan oksidator.

Stoikiometri Pembakaran

Persamaan kimia yang seimbang untuk proses pembakaran ideal bahan bakar yang sempurna disebut sebagai persamaan stoikiometri atau pembakaran teoritis, dimana jumlah dari tiap-tiap unsur pada reaktan sama dengan jumlah dari tiap-tiap unsur pada produk. Koefisien stoikiometri menandakan proporsi mol dimana tidak ada kelebihan dari semua unsur pokok yang ada.

Berikut adalah beberapa contoh persamaan kimia untuk pembakaran stoikiometri beberapa bahan bakar dengan udara sebagai oksidator :



Parameter Kondisi Pembakaran

Rasio udara-bahan bakar adalah nilai yang menunjukkan perbandingan antara jumlah bahan bakar yang dibakar dengan jumlah udara yang disuplai. Nilai rasio udara-bahan bakar ini dapat dinyatakan dalam basis massa/berat dan volume/mol. Berikut adalah persamaan yang menyatakan rasio udara-bahan bakar dalam basis massa/berat :

$$(AFR_m)_{stoic} = \frac{m_u}{m_{bb}} = \frac{M_u N_u}{M_{bb} N_{bb}}$$

Dan dalam basis volume/mol :

$$(AFR_V)_{stoic} = \frac{V_u}{V_{bb}}$$

Sedangkan Rasio Ekivalensi adalah nilai yang menunjukkan perbandingan antara rasio udara-bahan bakar stoikiometrik dengan rasio udara-bahan bakar aktual. Berikut adalah persamaan Rasio Ekivalensi :

$$\phi = \frac{(AFR)_{stoic}}{(AFR)_{actual}}$$

Dimana :

$\Phi < 1$: campuran miskin bahan bakar (fuel lean mixture).

$\Phi > 1$: campuran kaya bahan bakar (fuel rich mixture).

$\Phi = 1$: campuran stoikiometri.

Prinsip Dasar Gasifikasi

Dalam gasifikasi total, biomassa bereaksi dengan pereaksi yang berupa udara, oksigen, uap air, karbondioksida atau campuran dari gas-gas tersebut. Bahan-bahan organik dari biomassa diubah seluruhnya menjadi produk gas sehingga yang tersisa dalam reaktor adalah abu. Reaksi utama yang terjadi pada proses gasifikasi yang menggunakan pereaksi udara adalah pembakaran tidak sempurna (partial combustion) terhadap biomassa. Produk gas yang terbentuk disebut producer gas yang terutama mengandung gas karbon monoksida dan nitrogen serta sedikit gas hidrogen, metana dan karbondioksida dan memiliki nilai kalor kurang dari 1780 kalori/liter sehingga disebut juga gas berkalori rendah (low calorie gas). Komposisi dari gas yang dihasilkan dalam proses gasifikasi ini terutama tergantung pada:

- Biomassa yang digunakan
- Temperatur operasi
- Pengaruh dari uap air.

Pada temperatur tinggi, gas yang dihasilkan banyak mengandung karbondioksida, sedangkan pada temperatur rendah banyak dihasilkan gas karbon monoksida.

Air (moisture) dalam biomassa atau uap air yang ditambahkan ke dalam reaktor dapat meningkatkan proporsi hidrogen dan karbon monoksida dalam produk gas dan selanjutnya akan menaikkan nilai kalor gas. Apabila digunakan air atau uap air berlebih, maka temperatur proses turun dan terbentuk

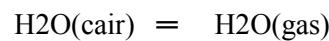
lebih banyak karbon dioksida sehingga nilai kalor dari gas akan turun.

Tahapan Proses Gasifikasi

Adapun beberapa tahapan proses yang terjadi pada gasifikasi yaitu pengeringan, pirolisa, pembakaran, serta oksidasi. Proses gasifikasi ini membutuhkan panas serta oksidator pada tiap-tiap tahapan prosesnya. Adapun reaksi-reaksi yang terjadi pada masing-masing tahapan adalah[3] :

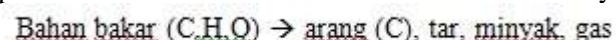
Pengeringan / drying ($25^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$)

Pada tahapan ini bahan bakar akan mengalami pengeringan akibat panas dari tahap oksidasi, kadar air yang terkandung di dalam bahan bakar (biomassa) akan dipisahkan ke dalam bentuk uap tanpa penguraian secara kimiawi dari bahan bakar.



Pirolisa / pyrolysis ($150^{\circ}\text{C} - 800^{\circ}\text{C}$)

Pada tahapan ini terjadi dekomposisi termal tanpa adanya oksigen. Hal ini terjadi ketika bahan bakar yang turun lebih ke bawah mengalami pemanasan pada temperatur yang lebih tinggi lagi sehingga struktur alami dari bahan bakar akan terpecah menjadi arang (C), tar, minyak, gas, dan produk pirolisa lainnya.



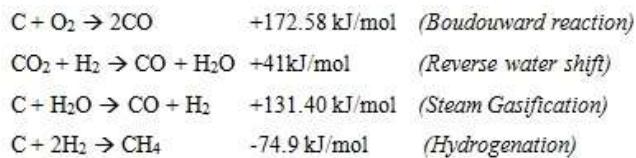
Pembakaran / combustion ($800^{\circ}\text{C} - 1400^{\circ}\text{C}$)

Pada tahapan ini arang (C), tar, minyak, gas hasil tahap pirolisa kemudian akan teroksidasi oleh oksigen yang berasal dari udara(oksidator). Panas yang dihasilkan dari reaksi ini digunakan untuk proses pengeringan, seta reaksi endoterm lainnya.

$\text{C} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}$	-110.7 kJ/mol	(partial oxidation)
$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$	-393.79 kJ/mol	(total oxidation)
$\text{CO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$	-283 kJ/mol	(CO oxidation)
$\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	-241.820 kJ/mol	(Hydrogen oxidation)

Reduksi / reduction ($600^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$)

Daerah reduksi terletak di bawah daerah oksidasi, pada tahapan ini terjadi beberapa reaksi yaitu reaksi reduksi, reaksi tukar dan metanasi. Pada daerah tahapan ini juga dihasilkan producer gas yang bernilai kalor.



Metodologi Penelitian

Studi Lapangan

Melakukan kegiatan observasi terhadap suatu sistem dari industri gerabah yang membutuhkan producer gas dari proses gasifikasi sebagai sumber energi, yaitu sistem tungku. Flame yang dihasilkan oleh Gas producer kemudian dimasukkan ke dalam tungku untuk memanaskan dan membakar gerabah.

Sistem tungku yang ada menggunakan sistem tradisional, yaitu menggunakan bahan bakar kayu bakar untuk proses pemanasan dan pembakaran gerabah. Adapun ilustrasi foto lokasi industri hasil dari survei lapangan dapat dilihat pada Gambar 1.

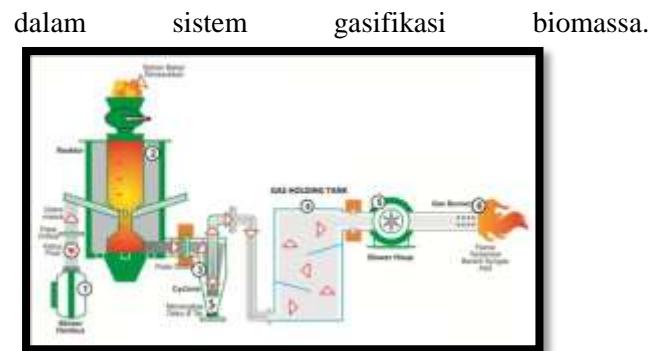


Gambar 1.Sistem tungku tradisional

Tungku dengan sistem konvensional tersebut memiliki bentuk yang sederhana, yaitu berbentuk empat persegi panjang dengan ukuran 3m x 3m x 3m. Tungku tersebut terbuat dari susunan bata. Di bagian keempat sudut dari tungku tersebut terdapat lubang untuk tempat pembakaran kayu bakar. Gas panas yang dihasilkan dari proses pembakaran kayu bakar tersebut diarahkan ke dalam tungku untuk proses pemanasan dan pembakaran gerabah.

Persiapan Alat

Berikut ini, di Gambar 2, merupakan skema dan instalasi perangkat downdraft gasifier pada Laboratorium Thermodinamika Proyek Gasifikasi Biomassa. Dalam skematik alat pengujian ini akan menggambarkan susunan alat pengujian yang ada



Gambar 2. Skema dan instalasi perangkat downdraft gasifier pada Laboratorium Thermodinamika

Uji Coba

Uji Coba Persentase Bahan Bakar Terbaik

Pada uji coba ini dilakukan 3 trial seperti sebagai berikut.

- 1.Percobaan 90% Cangkang Kelapa dan 10% Sekam Padi.
 - 2.Percobaan 80% Cangkang Kelapa dan 20% Sekam Padi.
 - 3.Percobaan 70% Cangkang Kelapa dan 30% Sekam Padi.

Dari hasil percobaan ini, akhirnya ditentukan bahwa campuran 90% cangkang kelapa dan 10% sekam padi merupakan persentase terbaik dibanding 2 trial lainnya. Namun dari hasil percobaan tersebut dapat terlihat disekitar menit ke 4 sampai dengan 8, terdapat kenaikan temperatur pada termokopel 1 dan 2. Disinilah api pada burner pun biasanya mati.

Uji Coba Burner Terbaik

Ada 3 variasi burner yang diuji pada percobaan yang dilakukan oleh Sdr. Sigit Prasetyo dan tim CEG's ini.

1. Burner dengan 20 lubang
 2. Burner dengan 15 lubang
 3. Burner dengan 10 lubang

Dari 3 variasi tersebut, dapat terlihat bahwa api pada burner jenis pertama memiliki rata-rata temperatur yang lebih tinggi. Selain itu, pergerakan grafiknya pun lebih stabil sehingga dapat diputuskan bahwa burner dengan 20 lubang menjadi yang terbaik diantara 2 variasi lainnya.

Perancangan dan Perhitungan

Reaktor

Gasifier ini merupakan gasifier bertipe downdraft berkapasitas 10 kg/h. Berdasarkan hasil uji coba di Laboratorium Termodinamika Proyek Gasifikasi

Universitas Indonesia, ditemukan suatu permasalahan dari jenis gasifier ini. Permasalahan tersebut adalah terjadinya tidak terproduksinya gas disaat bahan bakar dalam gasifier belum habis.

Masalah tersebut diperkirakan terjadi akibat salah satu sifat dari sifat sekam padi yang tidak dapat terbakar habis dan menyisakan abu seperti yang terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Sekam padi yang tidak dapat terbakar habis. Sehingga diperkirakan abu tersebut menyebabkan penyumbatan yang akhirnya zona oksidasi bergeser ke atas dan hasil pembakaran tidak dapat terhisap oleh blower hisap.

Layout

Berdasarkan kebutuhan di lokasi, sistem gasifikasi ini diarahkan yang memiliki desain kompak, karena akan diserahkan kepada industri kecil gerabah. Seperti yang terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 5, dimana posisi instalasi gasifikasi tidak ditempatkan jauh dari tungku pembakaran. Sehingga ruangan yang dimiliki cukup kecil.

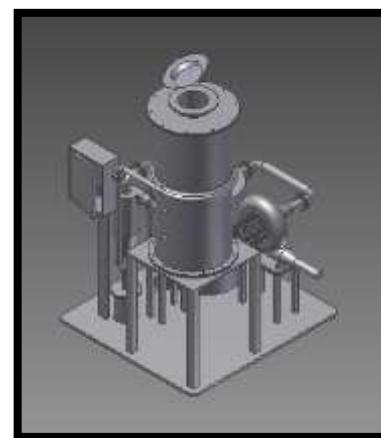


Gambar 4. Layout system gasifikasi



Gambar 5. Lokasi dimana sistem gasifikasi akan ditempatkan

Berikut Gambar 6, hasil rancangan yang diusulkan untuk dibuat. Pada layout ini hanya membutuhkan luas 1.8271 m² atau 1.21 m x 1.51 m.



Gambar 6. Desain sistem gasifikasi yang dioptimasi sehingga lebih kompak

Perhitungan

Karakteristik Bahan Bakar

Berikut hasil analisa ultimate dan proximate bahan bakar yang diuji oleh Laboratorium Pengujian Tekmira dan PT. Bukit Asam (Persero) Tbk, Palembang.

Tabel 1. Properties bahan gasifikasi

Kandungan (%)	Parameter Proximate				LHV (KJ/Kg)
	Moisture Content	Volatile Matter	Ash Content	Fixed Carbon	
7,69	57,71	7,86	24,82	7965.67	
Parameter Ultimate					
Kandungan (%)	C	H	O	N	S
	47,59	6,00	45,52	0,22	0,09

Heat Balance

Neraca kalor digunakan untuk mengetahui jumlah kalor yang dihasilkan oleh bahan bakar sebagai penghasil kalor serta jumlah kalor yang diserap oleh air sehingga diketahui besar efisiensinya pembakaran di combustor. Dengan analisis neraca kalor ini, dapat diketahui jumlah kalor yang masuk ke dalam combustor dan kehilangan kalor akibat gas buang, konduksi dan lain – lain. Heat loss ini merupakan jumlah kalor yang hilang tanpa diketahui.

Tabel 4.2.Energi kalor masuk dan keluar

Qin	Jumlah (kJ/s)	Jumlah (kJ/s)	Jumlah (kJ/s)
Kalor Pembakaran	12,22		
Kalor Udara	0,028		
Total			12,248
Qout			
Heat Release Rate		11,15	
Kalor Gas Buang		0,64	
Total			11,79
Kerugian Kalor			0,458

Kesimpulan

Berdasarkan analisa dari data yang diperoleh maka penulis dapat menyimpulkan beberapa hal yaitu :

1. Dibutuhkan grate yang dapat bergerak agar tidak terjadi penumpukan ash dari sekam padi.
2. Perubahan layout Gasifikasi sehingga ukurannya menjadi lebih kompak 1,8 m x 1,3 m x 2,1 m (p x l x t).

Referensi

- [1] Koestoyer, R.A, et al., Studi Biomassa Indonesia, Potensi, Teknologi, dan Pemanfaatannya (Depok: Laboratorium Perpindahan Kalor DTM FTUI,1997)
- [2] Luby,Peter. Advanced System in Biomass Gasification-Comercial Reality and Outlook. Paper, the III International Slovak Biomass Forum, Bratislava, February 3-5, 2003
- [3] Manurung, Robert.,"Gasification and Pyrolytic Conversion of Agriculture and Forestry Wastes", Renewable Energy Review Journal : Vol. 3 No. 1, June 1981
- [4] Bridgwater,AV., "Thermal Processing of Biomass for Fuels and Chemical", Paper,.6th Asia-

Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization, Paper May 2002

- [5] Kaup, A., Gross, J.R., "State of The Art Report for Small Scale (to 50 KW) Gas Producer Engine System" Department of Agricultural Engineering University of California, March, 1981
- [6] ZA, Zainal., Rifau, Ali., GA,Quadir., KN,Seetharamu., "Experimental Investigation of a Downdraft Biomass Gasifier", Paper, Biomass & Bioenergi Journal, Januari 2003
- [7] Jain, Anil Kr., Goss Jhon R., "Determination of Reactor Scaling Factor for Throatless Risk Husk Gasifier", Paper, Biomass & Bioenergi Journal, 18, 2000
- [8] Steven, D.J. "Hot Gas Conditioning: Recent Progress With Larger-Scale Biomass Gasification Systems Update and Summary of Recent Progress". National Renewable Energy Laboratory, USA (2001)
- [9] Lecfort, Malcolm D. Gasification / Two-Stage Combustion Of Sawmill Wood Waste And The Pending Ban On Beehive Burners By The BC Ministry Of Environtment. Vancouver, BC Canada. 1997.
- [10] Statistik Biomassa dan Mineral, Ditjen GSM Per 1 Januari 2004
- [11] Outlook Energi Indonesia 2011, Energi Masa Depan di Sektor Transportasi dan Ketenagalistrikan, Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi, BPPT, 2011
- [12] Perry, Robert H., "Perry's Chemical Engineers Handbook 7th Edition International Edition ", McGraw-Hill. 1997
- [13] Cengel, Yunus A, Michael Boles., "Thermodynamic an Engineering Approach". McGraw-Hill. 1994