

## KEGAGALAN ALAT FLUE GAS DESULPHUR TERHADAP TEGANGAN LEWAT DENYAR ISOLATOR DI GARDU INDUK PEMBANGKITAN TANJUNG JATI B JEPARA

Tedy Juliandhy<sup>1</sup>, T. Haryono<sup>2</sup>, Suharyanto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa, Universitas Gadjah Mada

<sup>2,3</sup>Dosen Pembimbing, Universitas Gadjah Mada

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada, Jl Grafika No.2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281 INDONESIA (telp: (0274) 547506; fax: 510983 ;

[thrharyono@gmail.com](mailto:thrharyono@gmail.com) ; [suharyanto@te.ugm.ac.id](mailto:suharyanto@te.ugm.ac.id)

### Abstrak

Tegangan lewat denyar (*flashover*) adalah fenomena pelepasan muatan bersifat merusak yang melintasi seluruh bagian permukaan isolator. Pelepasan muatan ini disebabkan pembebanan medan listrik pada permukaan isolator yang melebihi harga ketahanan elektriknya. Penyebab terjadinya tegangan lewat denyar adalah pengotoran permukaan isolator, hujan asam, surja hubung dan surja petir. Tegangan lewat denyar atau *flashover* ini berupa loncatan api yang terjadi antara isolator atau komponen listrik tegangan tinggi. Hal ini dapat terjadi akibat gagalannya isolasi sistem tegangan tinggi tersebut. Salah satu penyebab kegagalan isolasi pada isolator tegangan tinggi di Gardu induk Tanjung Jati B Jepara adalah timbulnya hujan asam akibat kondensasi asap yang keluar dari cerobong PLTU Tanjung Jati B. Hujan asam timbul karena kegagalan peralatan *Flue Gas Desulphur* (FGD) yang dipasang di PLTU untuk mengurangi gas emisi sebagai persyaratan pembangkit listrik ramah lingkungan yang diprogramkan pemerintah melalui Kementerian Lingkungan Hidup. Tindakan nyata ini dilakukan untuk menepis anggapan bahwa PLTU dengan bahan bakar batubara merupakan salah satu industri yang mengeluarkan gas emisi SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> yang tinggi pada proses operasionalnya. Efek gas emisi ini merupakan salah satu penyebab terjadinya hujan asam pada lingkungan. Banyaknya kadar keasaman hujan asam yang terjadi di daerah industri akan selalu berpengaruh terhadap jaringan listrik tegangan tinggi yang sedang beroperasi menyalurkan daya listrik. Adakalanya fungsi peralatan tegangan tinggi seperti isolator di gardu induk yang menyalurkan daya listrik pada jaringan SUTET 500 kV pada jaringan JAMALI di Pulau Jawa terganggu dalam sistim operasinya karena polutan yang menempel di isolator. Hujan dengan pH antara 4 – 5 dikategorikan sebagai hujan asam dan pada pengujian ini mempengaruhi penurunan tegangan saat terjadinya *flashover* sebesar 145,5 kV – 142,5 kV dari tegangan kerja, hal ini menyebabkan isolator sebagai bahan isolasi dapat diperkecil jarak rayap permukaan isolatornya sehingga dapat berpengaruh terhadap ketahanan suatu isolator dalam menjalankan fungsinya sebagai alat untuk menahan terjadinya kegagalan tegangan lewat denyar (*Flashover*) dari bagian-bagian yang bertegangan.

**Kata Kunci:** kondensasi, FGD, PLTU, Hujan asam, SUTET, JAMALI, pH

### 1. PENDAHULUAN

Isolator berfungsi secara mekanik untuk menahan beban kawat saluran udara, secara elektrik mengisolasi saluran yang bertegangan dengan menara atau saluran dengan saluran sehingga tidak terjadi kebocoran arus dan dalam gradien medan tinggi terjadi lompatan listrik baik lewat denyar atau percikan (*sparkover*) [1], [2], [6], [11], [12], [15], [16].

Kegagalan alat Flue Gas Desulphur (FGD) sebagai alat penyerap gas buang pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) modern [3, 18] yang dipasang di PLTU Tanjung Jati B, mengakibatkan peningkatan gas buang seperti NH<sub>4</sub>Cl, HNO<sub>3</sub>, MgSO<sub>4</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> [1], [2], [5], [13]. Akibat kegagalan ini maka kondisi lingkungan di sekitar Pembangkitan Tanjung Jati B terjadi hujan asam yang timbul dari proses kondensasi dari gas buang yang dikeluarkan cerobong (*chimny*) PLTU.

Hujan asam [4], [13], [14], [16] yang terjadi dilingkungan Gardu Induk (GI) Tanjung Jati B menimbulkan tegangan lewat denyar, corona, percikan dan arus bocor [9], [10], [15], [16]. Kondisi ini dapat mengakibatkan gangguan dan menurunkan keandalan (*reliability*) pada PLTU Tanjung Jati B dalam menyalurkan daya listrik pada sistem transmisi 500 kV dan transmisi 150 kV.

Untuk mengetahui efek dari kegagalan alat FGD maka dilakukan pengujian terhadap isolator rantai type single tension di Laboratorium Listrik Tegangan Tinggi Universitas Gadjah Mada. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan lewat denyar, arus bocor dan pengaruh derajat keasaman (pH) larutan kontaminasi pada isolator.

Dari hasil pengujian laboratorium diharapkan data dan informasi yang berguna bagi manajemen PLTU Tanjung Jati B untuk mengantisipasi terjadinya gangguan lewat denyar, arus bocor dan corona yang terjadi pada peralatan di Gardu induk. Dengan data yang didapat juga diharapkan dapat

meningkatkan keandalan PLTU Tanjung Jati B dalam mengirim daya listrik pada jaringan 500 kV dan 150 kV [7,17]. Selain itu ikut sertanya partisipasi manajemen PLTU Tanjung Jati B dalam program pemerintah yaitu Langit biru dan Go green dapat terwujud dengan baik.

## 2. EKSPERIMEN

### 2.1 Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolator gantung tipe rantai, seperti dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Isolator rantai 50 kV

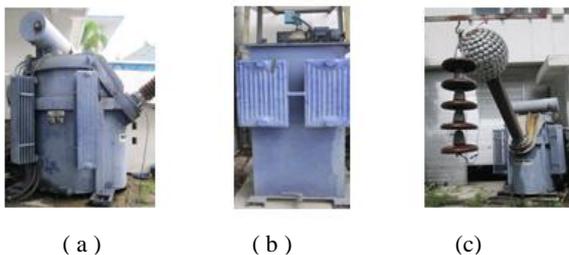
Spesifikasi isolator yang dipakai :

Type : Single tension  
Working Voltage : 50 kV

### 2.2 Peralatan.

Peralatan pengujian tegangan lewat denyar (*flashover voltage*) dan arus bocor (*leakage current*) terdiri :

- Trafo uji : 380 V / 400 kV, 400 kVA, 1 Phasa
- Regulator : 220V/0-380V, 60 kVA, 1 Phasa dan Reaktor : 380V, 50 kVAR, 131.5 A yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Trafo uji ( a ), Regulator dan reaktor trafo ( b ), rangkaian uji ( c )

### 2.3 Pengujian tegangan lewat denyar (*flashover voltage*) dan arus bocor (*leakage current*)

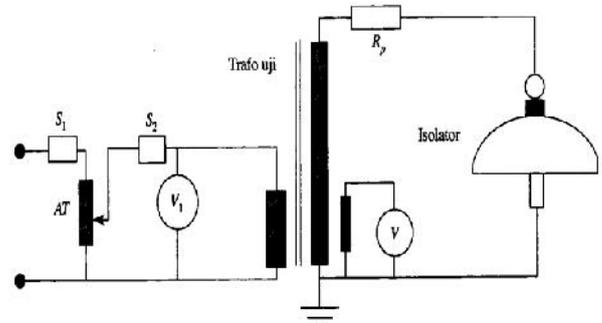
Pengujian tegangan lewat denyar (*flashover voltage*) dan arus bocor (*leakage current*) dilakukan masing-masing 5 tahapan pengujian isolator yaitu :

- Pengujian kondisi kering
- Pengujian kondisi basah dengan pH 6.0
- Pengujian kondisi basah dengan pH 5.0
- Pengujian kondisi basah dengan pH 4.0

### 5. Pengujian kondisi basah dengan pH 3.5

### 2.4 Sistem Pengujian

Gambar 3 berikut menunjukkan sistem pengujian di Laboratorium Tegangan Tinggi Universitas Gadjah Mada.



Gambar 3. Rangkaian pengujian

Isolator rantai diberi simulasi curah hujan asam dengan tingkat keasaman ( pH ) yang berbeda-beda sesuai dengan tahapan pengujian. Tegangan masing-masing pengujian isolator tersebut dinaikan secara bertahap dimulai dari tegangan 55 kV dan dinaikan sampai terjadi tegangan kritis lewat denyar (*flashover*). Sedangkan untuk pengukuran arus bocor (*leakage current*) dilakukan dengan mengukur arus bocor pada saat isolator uji diberi tegangan awal 55 kV dan dinaikkan secara bertahap sampai 100 kV untuk keamanan peralatan ukur listrik laboratorium.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Tegangan Lewat Denyar (Vb)

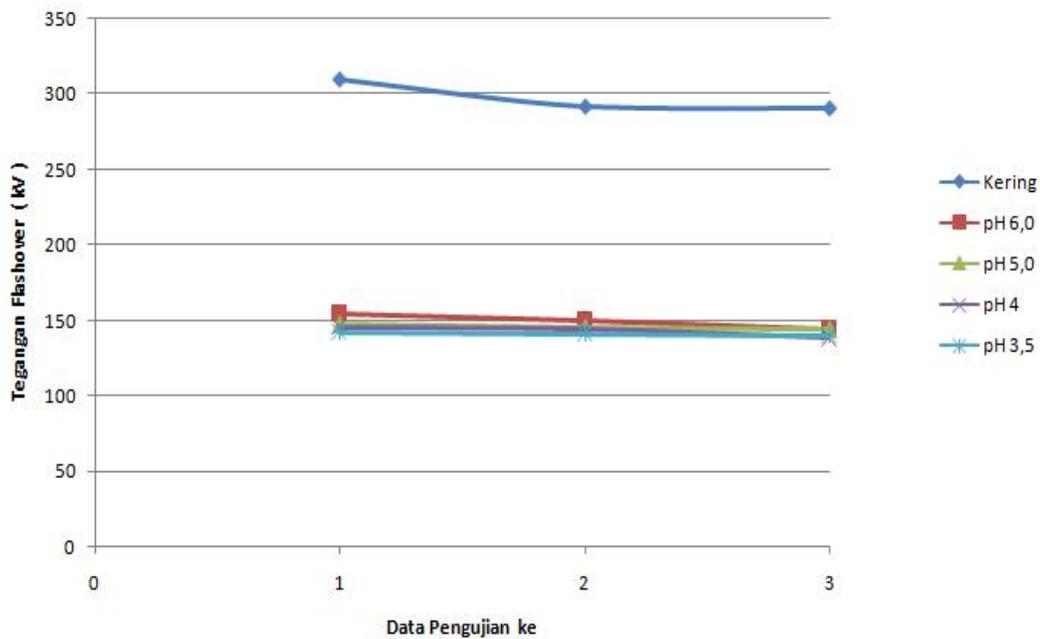
Besarnya nilai tegangan lewat denyar merupakan hasil rata-rata dari tiga kali percobaan, hasilnya dapat dilihat pada tabel 1 dan grafiknya seperti pada gambar 4.

Tabel.1 Hasil pengujian tegangan flashover pada berbagai kondisi pengujian

Data Pengujian ke	Vb Kering (kV)	Vb Basah pH 6.0 (kV)	Vb Basah pH 5.0 (kV)	Vb Basah pH 4.0 (kV)	Vb Basah pH 3.5 (kV)
1	310.4	154.6	147.5	145.9	142.5
2	292.4	150.2	145.2	144.6	141.3
3	290.8	144.8	143.8	138.3	139.8
Rata-rata Vb	297.87	149.87	145.5	142.93	141.2

Ket : Vb adalah Flashover Voltage ( Tegangan lewat denyar ) yang terjadi.

Dari data di atas dapat diketahui bahwa semakin tinggi derajat keasaman ( pH ) larutan yang mengkontaminasi isolator, semakin kecil/menurun nilai tegangan lewat denyarnya (*flashover voltage*).



Gambar 4. Grafik hasil pengujian tegangan flashover pada kondisi pengujian yang berbeda-beda

Pada pengujian satu sampai ke tiga dengan kondisi pengujian tertentu terlihat penurunan tegangan lewat denyar, ini disebabkan karena pada isolator saat pengambilan data ke satu saat terjadi flashover muncul jalur pita kering corona. Jalur pita kering corona semakin menurunkan tegangan flashover pada pengujian berikutnya dalam kondisi pengujian yang sama. Pita kering corona semakin menurunkan tegangan flashover pada saat pengujian dalam kondisi basah dengan larutan kontaminasi yang memiliki derajat keasaman ( pH ) semakin tinggi.

Pengujian kategori hujan asam pada pH 5 – 4, tegangan flashover rata-rata semakin turun dari 145.5 kV menjadi 142.93 kV. Apabila kondisi ini diabaikan tanpa adanya condition monitoring akan menimbulkan turunnya tingkat keandalan (reliability) PLTU dalam menyalurkan energi listrik pada jaringan transmisi karena adanya force outage (perawatan diluar jadwal) isolator yang mengalami flashover dan corona.

Menurut IEC 815 jarak rambat minimum dari isolator adalah [8] :

$$I_n = J_{RS} \times V \times k_d \dots\dots\dots ( 1 )$$

dengan :

- $I_n$  = Jarak rambat nominal minimum ( mm )
- $J_{RS}$  = Jarak rambat spesifik minimum ( mm/kV )
- $V$  = Tegangan sistim tertinggi fasa ke fasa ( kV )
- $K_d$  = faktor koreksi yang tergantung pada diameter isolator.

### 3.2 Arus bocor ( Ib )

Besarnya nilai arus bocor merupakan hasil yang diambil pada saat pengujian dengan memberikan isolator uji dengan tegangan mulai 55 kV dan

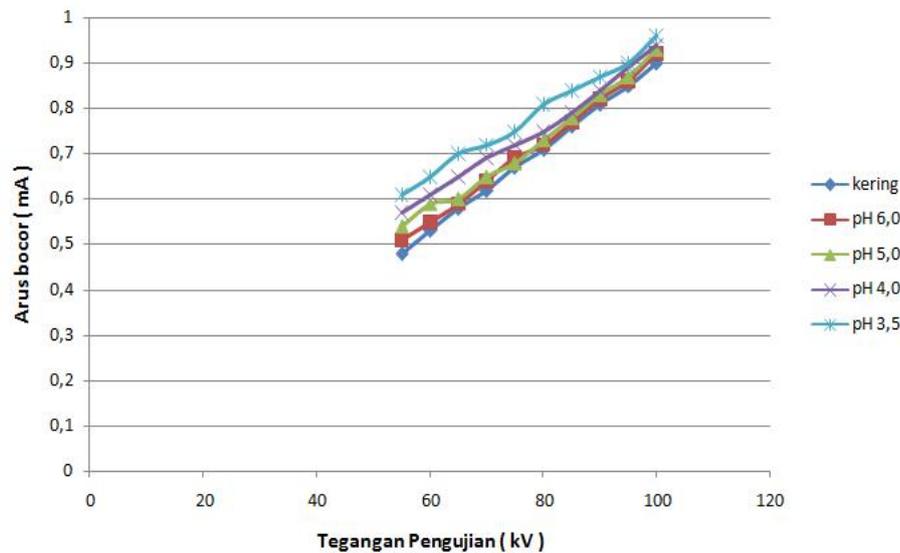
dinaikan secara bertahap sampai tegangan maksimal 100 kV untuk keamanan peralatan ukur listrik yang digunakan. Pada setiap kenaikan tegangan 5 kV, data arus bocor yang diambil hasilnya dapat dilihat pada tabel 2 dan grafiknya pada gambar 5.

Tabel.2 Arus bocor ( Ib ) pada berbagai kondisi dengan tegangan 55 – 100 kV

Tegangan Pengujian ( kV )	Ib kondisi Kering ( mA )	Ib kondisi Basah pH 6.0 ( mA )	Ib kondisi Basah pH 5.0 ( mA )	Ib kondisi Basah pH 4.0 ( mA )	Ib kondisi Basah pH 3.5 ( mA )
55	0.48	0.51	0.54	0.57	0.61
60	0.53	0.55	0.59	0.61	0.65
65	0.58	0.59	0.60	0.65	0.70
70	0.62	0.64	0.65	0.69	0.72
75	0.67	0.69	0.68	0.72	0.75
80	0.71	0.72	0.73	0.75	0.81
85	0.76	0.77	0.78	0.79	0.84
90	0.81	0.82	0.83	0.84	0.87
95	0.85	0.86	0.87	0.89	0.90
100	0.90	0.92	0.93	0.94	0.96

Ket :  
IEC = International Electrotechnical Commission  
Ib = Arus bocor

Dari data pengujian arus bocor ini dapat diketahui bahwa semakin tinggi derajat keasaman (pH) larutan yang mengkontaminasi isolator, semakin besar nilai arus bocor ( Ib ) yang terjadi pada isolator uji.



Gambar 5. Grafik arus bocor (  $I_b$  ) pada berbagai kondisi pengujian

Arus bocor akan mengalir ke bagian yang bersifat konduktif pada permukaan isolator saat isolator terdapat beda tegangan. Bila isolator dalam keadaan lembab dengan bagian permukaan isolator berpolutan atau terkontaminasi maka yang paling konduktif sehingga arus bocor akan mengalir melaluinya. Mengalirnya arus bocor yang terus menerus akan menimbulkan tegangan *flashover*. Tegangan ini bila terjadi berulang akan menimbulkan panas pada permukaan bahan isolator. Nilai tahanan pada bahan isolator terhadap arus bocor berbanding terbalik sehingga semakin besar nilai tahanan maka besarnya arus bocor semakin kecil. Hal ini menyebabkan sifat gaya tarik menarik antara molekul-molekul di permukaan bahan isolator dengan kontaminan polutan semakin tinggi. Semakin tinggi sifat *adhesivitas* antara molekul kedua bahan akan menyebabkan kontaminan polutan semakin mudah untuk mengalir dari elektroda bertegangan tinggi sampai elektroda pentanahan dan akan cepat ter-*absorpsi* ke dalam permukaan bahan isolator.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Kegagalan alat *Flue Gas Desulphur* sebagai teknologi untuk menyaring gas buang mengakibatkan hujan asam pada proses kondensasi di PLTU Tanjung Jati B yang merupakan larutan kontaminasi yang bersifat konduktif dan dapat menurunkan nilai tahanan isolasi pada isolator. Dengan menurunnya nilai tahanan isolasi pada isolator yang terpasang di Gardu Induk Tanjung Jati B Jepara maka keandalan gardu induk untuk mengirim energi

listrik yang dihasilkan PLTU Tanjung Jati B menjadi turun.

2. Semakin tinggi tingkat keasaman ( derajat pH ) suatu larutan kontaminasi yang mengenai isolator maka tegangan lewat denyar ( *flashover voltage* ) akan semakin menurun.
3. Pada klasifikasi hujan asam dengan tegangan kerja 150 kV di Gardu Induk Tanjung Jati B terjadi penurunan tegangan lewat denyar. Untuk kondisi basah dengan pH 5.0 terjadi tegangan lewat denyar pada tegangan 145 kV dan pada pH 4.0 terjadi tegangan lewat denyar pada tegangan 142.5 kV.
4. Penurunan tegangan lewat denyar ( *flashover* ) dalam kondisi hujan asam akibat gagalnya peralatan FGD dalam menyaring gas buang mempengaruhi keandalan sistim Pembangkitan Tanjung Jati B.
5. Peningkatan suhu dan pemanasan pada isolator akibat kontaminasi hujan asam menyebabkan peningkatan arus bocor dan penurunan tegangan lewat denyar / gagal isolator.
6. Adanya cairan kontaminasi pada isolator menyebabkan fenomena tegangan gagal/lewat denyar berupa *sparkover* ( percikan ) dan *corona*.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada segenap jajaran Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada yang telah mengizinkan penelitian ini.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Vosloo, WL. *A Comparison of the Performance of High Voltage Insulator Materials in a Severity Polluted Coastal Environment*. PhD Dissertataion, Departement of Electrical and Electronic Engineering, University of Stellenbosch, South Africa. 2002.
- [2] Chuyan Zhang, Liming Wang, Zhicheng Guan, Fuzeng Zhang. *Pollution Flashover Performance of Full-scale 800 kV Converter Station Post insulators at High Altitude Area*. IEEE: 1070-9878/13. 2013.
- [3] Richard D.Tabors. *Coal to Natural Gas Seasonal Fuel Switching; An Option for Acid Rain Control*. IEEE : 0885-8950/89/0500-0457. 1989
- [4] Paul McGarth. *Accelerated Aging of Insulators Under Acid Rain Condition*. IEEE : 0-7803-5931-3/00. 2000.
- [5] Mohammed Amin, Raji Sundararajan. *Performace of Silicone Rubber Insulators under Acid Rain and Multistress Condition*. IEEE: 978-1-4244-8286-3/10. 2010.
- [6] BX. Du, T. Han, X. Cheng, Jie Lie. *Characterization of Surface Discharge as Indicator for Hydrophobicity Evaluation of Silicone Rubber Insulators*. IEEE : 1070-9878/12. 2012.
- [7] Diklat PLN. *Basic Trainee Transmission and Protection for 500 kV/ 150 kV*. Ungaran – Semarang 2006.
- [8] Bonggas L. Tobing. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Edisi kedua. Penerbit Erlangga 2002.
- [9] Nurlailati. *Analisis Degradasi Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi Karena Proses Penjejakan Dan Erosi*. Tesis Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.2011.
- [10] Ika Novia Anggraini. *Pengaruh Komposisi Bahan Isolasi Resin Epoksi Dengan Bahan Pengisis Silicone Rubber Terhadap Proses Tracking Dan Erosi*. Tesis Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.2010.
- [11] Gorur, R. S. Et.al. *A Laboratory Test for Tracking and Erosion Resistance of HV Outdoor Insulation*”, IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol 4 No 6. 1997.
- [12] Kugami, S dan Yoshimura, N. *Tracking and Erosion of HTV Silicone Rubber and suppression Mechanism of ATH ”*, IEEE Transactions on Dielectric and Electrical insulation, Vol 8 No.2. 2001
- [13] Hartono. *Acid Rain*. Paper Pasca Sarjana Universitas Indonesia 2005.
- [14] Raji Sundararajan. *Long Term Acid Rain Multistress Performance of Thermoplastic and Thermoset Polymeric Insulators*. IEEE : 978-1-4244-6653-5/10. 2010.
- [15] Valdi Rizki Yandri, Nurhatisyah. *Fenomena Flashover Akibat Arus Bocor Pada Isolator Keramik dan Resin Epoxy*. Jurnal Teknik Elektro ITP Vol.2 no. 2, Juli 2012.
- [16] Lanto M. Kamil Amali. *Analisis Pengujian Arus Bocor Line Post Insulator 70 kV Yang Terkontaminasi Polutan Industri*. Jurnal ilmiah FORISTEK Vol. 2 no.1, Maret 2012.
- [17] Diklat Pembangkitan Tanjung Jati B. *Basic Trainee for power Plant*. Oktober 2006.
- [18] Paul Breeze. *Power Generation Technologies*. Page 29-30. First published 2005.