

**ANALISIS PENGARUH KEADAAN SUHU TERHADAP
TEGANGAN TEMBUS AC DAN DC PADA
MINYAK TRANSFORMATOR**

Sugeng Nur Singgih, Hamzah Berahim

Abstrak

Tegangan tembus (*breakdown*) merupakan suatu peristiwa apabila medan magnet dinaikkan (tegangan terus-menerus dinaikkan), atom-atom akan terionisasi dan sampai batas kemampuan isolator tersebut menahan tegangan maka isolator tersebut akan berubah menjadi konduktor. Saat kritis ini disebut *breakdown*. Pengujian terhadap tegangan tembus diperlukan untuk mengetahui titik kritis dari isolasi minyak transformator.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya tegangan tembus pada minyak transformator setelah diberikan tegangan tinggi AC dan DC dengan suhu minyak 50°C, 70°C dan 90°C. Pengujian juga untuk mengetahui apakah minyak transformator bekas masih layak dipakai atau tidak.

Pengujian tegangan tembus pada minyak transformator baru dibandingkan dengan tegangan tembus pada minyak transformator bekas dimana terdapat perbedaan yaitu pada besarnya nilai tegangan tembus. Besarnya nilai tegangan tembus pada tegangan AC juga dibandingkan terhadap nilai tegangan tembus DC.

Kata kunci : Tegangan Tembus, Minyak Transformator, Kekuatan Dilektrik.

PENDAHULUAN

Saat sekarang ini kebutuhan akan energi semakin meningkat, khususnya bidang industri dan lain-lain yang sangat memerlukan tenaga listrik tegangan tinggi. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan adanya tegangan tinggi tersebut, maka mulai bermunculan persoalan-persoalan baru yang harus dihadapi oleh para teknisi listrik khususnya tegangan tinggi. Persoalan-persoalan yang muncul dan harus dihadapi merupakan masalah-masalah yang perlu dilakukan penelitian untuk menjawabnya.

Masalah yang paling sering dihadapi dalam teknik tegangan tinggi adalah mengenai kegagalan isolasi. Kegagalan isolasi khususnya minyak transformator akan sangat mempengaruhi kesinambungan penyaluran listrik dalam jaringan kerja di PLN. Kegagalan pada minyak transformator akibat terjadinya tegangan tembus, hal ini terjadi karena minyak

transformator sudah tidak mampu lagi untuk menahan tegangan tinggi yang melaluinya. Agar tidak terjadi kegagalan minyak transformator pada saat sedang bekerja maka perlu diketahui terlebih dahulu kemampuan kerja dari minyak transformator. Untuk mengetahuinya maka perlu dilakukan pengujian tegangan tembus pada minyak transformator.

Berdasarkan uraian di atas, maka permasalahan yang akan diteliti adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana hasil pengujian untuk tegangan tembus AC pada minyak transformator dengan kondisi suhu tertentu.
2. Bagaimana hasil pengujian untuk tegangan tembus DC pada minyak transformator dengan kondisi suhu tertentu.
3. Bagaimana minyak transformator bekas masih layak dipakai atau tidak.

Berdasarkan permasalahan maka dapat diuraikan tujuan penelitian sebagai berikut.

1. Mengetahui hasil pengujian untuk tegangan tembus AC pada minyak transformator dengan kondisi suhu tertentu.
2. Mengetahui hasil pengujian untuk tegangan tembus DC pada minyak transformator dengan kondisi suhu tertentu.

Mengetahui minyak transformator bekas masih layak dipakai atau tidak.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode penelitian eksperimen, yaitu suatu penelitian dimana peneliti sengaja membangkitkan suatu kejadian atau keadaan, kemudian diteliti bagaimana akibatnya. Dengan kata lain eksperimen adalah suatu cara untuk mencari hubungan sebab akibat (hubungan kausal) antara dua faktor yang sengaja ditimbulkan oleh peneliti dengan menyisihkan faktor-faktor lain yang bisa mengganggu. Eksperimen selalu dilakukan dengan maksud untuk melihat akibat dari suatu perlakuan.

Tempat penelitian yaitu di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Gajah Mada. Waktu penelitian yaitu mulai tanggal 23 sampai dengan 27 Agustus 2005.

Teknik Pengujian

Pengujian bahan isolasi dilakukan dengan pengambilan contoh (sampling), yaitu dengan menilai karakteristik dari pengujian sejumlah kecil bahan yang disebut sample. Dalam pengujian dengan cara ini, hasil pengujian sangat dipengaruhi oleh caranya memilih sampel dan kondisi sampel yang diuji. Oleh karena itu kondisi sampel yang dipakai harus diketahui terlebih dahulu.

Tegangan tembus minyak transformator didefinisikan sebagai tegangan pelepasan dari dua elektroda yang dicelup dalam minyak transformator yang diuji. Bentuk dan dimensi daripada elektroda. Permukaan elektroda harus benar-benar bersih sebab lapisan udara,

gelembung udara, goresan dan sebagainya pada permukaan elektroda dapat mempengaruhi hasil pengujian. Pengujian harus dilakukan sementara waktu sesudah elektroda dicelup dalam minyak transformator dengan maksud agar kotoran dan gelembung hilang.

Prosedur pelaksanaan pengujian tegangan tembus minyak transformator menggunakan standar IEC (*International Electrical Council*) dengan jarak sela elektroda 2,5 mm dan diletakkan dalam wadah minyak (*oil tank*).

Pengujian tegangan gagal bahan dilakukan dengan variasi suhu, sehingga pada percobaan ini suhu bahan yang diuji berbeda-beda mulai dari suhu 50°C hingga suhu 90 °C dengan kenaikan 20 °C. Proses pemanasan dilakukan diluar tabung penguji dengan menggunakan alat *heater*. Suhu bahan selalu dipantau dengan menggunakan *thermometer*, sehingga saat pengetesan suhu bahan turun maka dilakukan proses pemanasan kembali. Tetapi apabila suhu bahan terlalu tinggi, maka bahan ditunggu beberapa saat hingga suhunya sama dengan yang ditentukan.

Peralatan Pengujian

Alat-alat yang digunakan untuk pengujian dengan tegangan tinggi AC adalah sebagai berikut :

1. Satu set pembangkit tegangan tinggi AC, untuk menghasilkan tegangan tinggi AC yang diperlukan untuk menguji tingkat isolasi bahan. Alat ini terdiri dari :
 - a) Transformator penaik tegangan
Tegangan primer: 100/220 Volt
Tegangan sekunder : 50 kV
 - b) Regulator, yaitu peralatan untuk mengatur besarnya tegangan keluaran transformator.
 - c) Voltmeter, yaitu mengukur besarnya tegangan pada sisi sekunder dan primer.

Peralatan di atas dibuat oleh Tokyo Transformator Co. LTD Jepang.

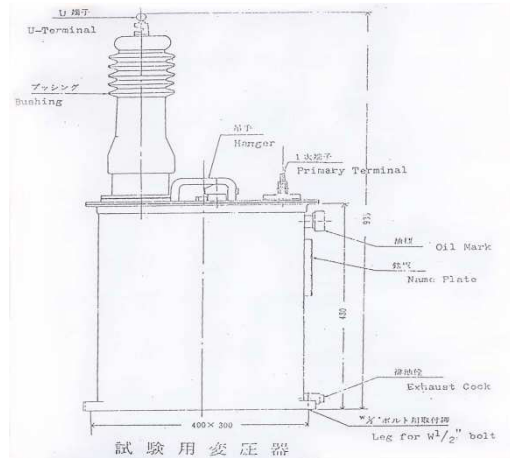
2. Tabung pengujian yang terbuat dari *fiber glass*, untuk menguji bahan terhadap kemampuannya menahan tegangan AC. Pada tabung terdapat dua elektroda dengan diameter 12,5 mm. Jarak elektroda adalah 2,5 mm.
3. Barometer dan hygrometer untuk mengukur tekanan dan kelembaban udara.
4. Thermometer suhu.

Alat-alat yang digunakan untuk pengujian dengan tegangan tinggi DC adalah sebagai berikut.

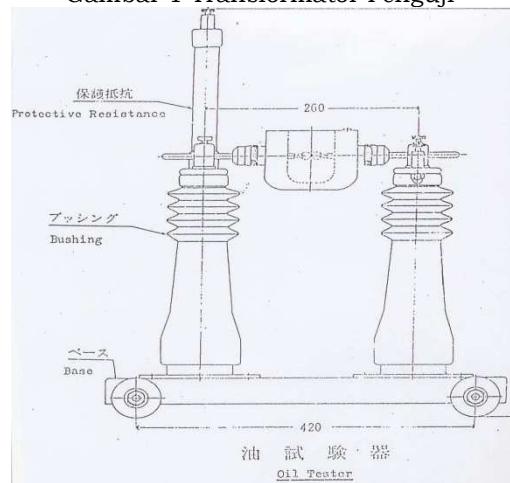
1. Satu set pembangkit tegangan tinggi DC, untuk menghasilkan tegangan tinggi DC yang diperlukan untuk menguji tingkat isolasi bahan. Alat ini terdiri dari :
 - a) Transformator penaik tegangan
 Tegangan primer : 100/220 Volt
 Tegangan sekunder : 50 kV
 - b) Regulator, yaitu peralatan untuk mengatur besarnya tegangan keluaran transformator.
 - c) Voltmeter, yaitu mengukur besarnya tegangan pada sisi sekunder dan primer.
 - d) Dioda, yaitu peralatan yang digunakan untuk menyearahkan tegangan.
 - e) Multiplier.
 - f) Tongkat pentanah, digunakan untuk menghilangkan tegangan sisa yang masih ada pada rangkaian setelah pengujian dilakukan.

Peralatan di atas dibuat oleh Tokyo Transformator Co. LTD Jepang.

2. Tabung pengujian yang terbuat dari *fiber glass*, untuk menguji bahan terhadap kemampuannya menahan tegangan DC. Pada tabung terdapat dua elektroda dengan diameter 12,5 mm. Jarak elektroda adalah 2,5 mm.
3. Barometer dan hygrometer untuk mengukur tekanan dan kelembaban udara.
4. Thermometer suhu.



Gambar 1 Transformator Pengujian



Gambar 2 Oil Tester Tampak Depan

PEMBAHASAN

Perhitungan kepadatan udara relative (*d*)

$$d = \frac{P_{uji} \cdot 273 + 20}{760 \cdot 273 + T_{uji}} = \frac{0,386 P_{uji}}{273 + T_{uji}}$$

1. Kepadatan udara relative pada suhu 50°C

$$d = \frac{0,386 \times 760}{273 + 50} = \frac{293,36}{323} = 0,91 \text{ nilai } k = 0,92$$

2. Kepadatan udara relative pada suhu 70°C

$$d = \frac{0,386 \times 760}{273 + 70} = \frac{293,36}{343} = 0,86 \text{ nilai } k = 0,87$$

3. Kepadatan udara relative pada suhu 90°C

$$d = \frac{0,386 \times 760}{273 + 90} = \frac{293,36}{363} = 0,81 \text{ nilai } k = 0,82$$

Tegangan tembus standar (V_s) untuk $s = 2,5$ mm dan $D = 12,5$ mm.

Perhitungan tegangan tembus standar (V_s) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$V_s = \frac{V_B}{d}$$

Perhitungan tegangan tembus sebenarnya (V_B) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$V_B = V_s \frac{d}{k}$$

perhitungan kekuatan dielektrik dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kekuatan dielektrik} = \frac{\text{Tegangan tembus (kV)}}{\text{Jarak selubung (cm)}}$$

{Arismunandar, 2001 : 98}

Nilai kekuatan dielektrik hasil pengujian yaitu berupa besar tegangan tembus setiap 2,5 mm diubah menjadi besar tegangan tembus setiap 1 cm. hal ini untuk mengetahui apakah nilai kekuatan dielektrik dari minyak di bawah atau di atas standar yang ditetapkan. Pada analisis ini mengambil standar dari IEC 156/1963.

Teori mengenai kegagalan pada zat cair dewasa ini kurang banyak diketahui dibandingkan dengan teori kegagalan gas dan padat. Hal tersebut disebabkan karena sampai saat ini belum didapatkan teori yang dapat menjelaskan proses kegagalan dalam zat cair yang benar-benar dengan keadaan sebenarnya. Banyak segi kegagalan zat cair telah diselidiki oleh para ahli, tetapi hasil-hasil dan kesimpulannya tidak dapat dipertemukan untuk memperoleh teori umum yang berlaku untuk semua zat isolasi cair, karena data-data yang dihasilkan berbeda dan bahkan bertentangan

satu sama lain. Hal ini disebabkan karena tidak adanya teori yang bersifat komprehensif yang berlaku untuk semua kasus mengenai dasar-dasar fisika keadaan cair untuk digunakan sebagai dasar perbandingan hasil penelitian.

Fenomena fisika lecutan kegagalan dalam zat cair hanyalah sebagian kecil gejala yang sudah banyak dimengerti. Bila suatu tegangan diterapkan pada sepasang elektroda yang dicelup dalam isolasi zat cair, maka terlihat arus konduksi yang kecil. Jika tegangan dinaikkan malar (*continously*), maka pada suatu tegangan kritis tertentu akan terjadi lecutan di antara kedua elektroda tersebut. Lecutan dalam zat cair ini terdiri dari unsur-unsur sebagai berikut.

1. Aliran listrik yang besarnya ditentukan oleh karakteristik rangkaian.
2. Lintasan cahaya yang cerah dari elektroda yang satu ke yang lain.
3. Pembentukan gelembung gas dan butir-butir zat padat hasil dekomposisi zat cair (tergantung dari sifat kimiawi zat cair).
4. Pembentukan lubang pada elektroda.
5. Tekanan impulsif dalam zat cair disertai suara ledakkan.

Sifat-sifat dari proses-proses yang menyebabkan lucutan mulai terjadi yang menentukan tegangan gagal sangat sulit untuk dipahami. Pengelompokan teori kegagalan zat cair meliputi :

1. Menganggap bahwa zat cair sebagai zat yang homogen dan mengabaikan adanya tak murnian.
2. Mencakup kegagalan zat-zat tak murni cenderung mengabaikan kenyataan bahwa pada akhirnya zat isolasi cair itu sendiri mengalami kegagalan.

Tanpa ada tegangan lebih, yang dapat mengakibatkan kegagalan seketika, kegagalan isolasi pada minyak trafo biasanya disebabkan oleh proses pemburukan yang lamban oleh rugi-rugi dielektrik. Dalam medan listrik ada beberapa

jenis pemburukan yang dapat mengakibatkan kegagalan isolasi yaitu :

1. Pemburukan karena pelepasan dalam (*internal discharges*).
2. Pemburukan elektro kimiawi.

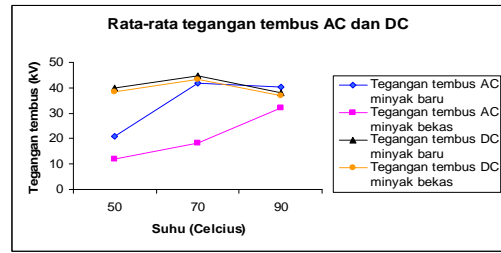
Jika campuran dielektrik isolasi memiliki kekuatan gagal yang berbeda-beda maka bila tekanan listrik dinaikkan, akan terjadi kegagalan zat yang lebih lemah. Jika hal ini tidak mengakibatkan kegagalan sebagian (*partial*) yang terjadi disebut pelepasan. Dalam bahan dielektrik organis, pelepasan mengakibatkan pemburukan perlahan-lahan karena :

1. Disintegrasi dielektrika karena pemboman oleh elektron dan ion yang dihasilkan oleh pelepasan.
2. Aksi kimiawi pada dielektrik dari hasil-hasil ionisasi gas.
3. Suhu tinggi di daerah pelepasan.

Pengujian tegangan tembus yang telah dilakukan diperoleh harga tegangan tembus untuk pengujian dengan tegangan tinggi DC mempunyai nilai yang lebih besar dari pada pengujian dengan tegangan tinggi AC. Hal tersebut terjadi pada pengujian minyak transformator baru dan bekas.

Tabel 1 Rata-rata tegangan tembus minyak transformator

Suhu (°C)	Rata-rata tegangan tembus AC (kV)		Rata-rata tegangan tembus DC (kV)	
	Minyak baru	Minyak bekas	Minyak baru	Minyak bekas
50	21	12,1	40	38,4
70	41,8	18,2	44,6	43,4
90	40,4	32,2	38	37

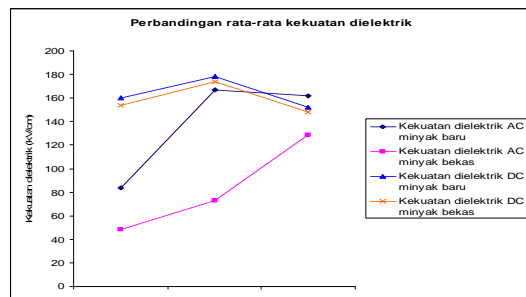


Gambar 3 Perbandingan rata-rata tegangan tembus (*breakdown*) minyak transformator

Tabel 2 Rata-rata *dielectric strength* minyak transformator

Suhu (°C)	Rata-rata Dielectric Strength AC (kV/cm)		Rata-rata Dielectric Strength DC (kV/cm)	
	Minyak baru	Minyak bekas	Minyak baru	Minyak bekas
50	84	48,4	160	153,6
70	167,2	72,8	178,4	173,6
90	161,6	128,8	152	148

Berdasarkan hasil pengujian pada minyak tranformator baru kekuatan dielektrik DC memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada kekuatan dielektrik AC. Berdasarkan tabel 2 kekuatan dielektrik DC mempunyai nilai tertinggi rata-rata yaitu pada suhu 70°C sebesar 178,4 kV/cm, sedangkan kekuatan dielektrik AC mempunyai nilai tertinggi rata-rata yaitu pada suhu 70°C sebesar 167,2 kV/cm dimana kedua diperoleh dari minyak baru.



Gambar 4 Perbandingan rata-rata kekuatan dielektrik minyak transformator Pengujian dengan menggunakan tegangan tinggi AC, proses terjadinya tegangan tembus terjadi secara spontan ketika bahan minyak sudah tidak dapat lagi untuk menahan tegangan yang melewatinya. Pengujian dengan

menggunakan tegangan tinggi DC terjadinya tegangan tembus melalui proses lecutan yang berulang kali sampai akhirnya minyak tidak dapat lagi menahan tegangan yang melewati. Minyak transformator bekas pengujian dengan tegangan tinggi DC akan mengalami kerusakan yang lebih buruk dari pada bekas pengujian tegangan tinggi AC, peristiwa tersebut terjadi karena pada pengujian dengan menggunakan tegangan tinggi DC proses terjadinya tegangan tembus terjadi melalui beberapa kali lecutan sehingga akan menimbulkan lebih banyak karbon yang menyebabkan minyak menjadi berwarna hitam. Hal tersebut terjadi pada pengujian untuk minyak transformator baru dan bekas.

Berdasarkan hasil pengujian baik menggunakan tegangan AC maupun DC kenaikan suhu sampai dengan 50°C akan menyebabkan tegangan tembus naik. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya kadar uap air yang terlarut dalam minyak transformator akibat pemanasan, pada saat terdapat medan listrik yang tinggi molekul uap air yang terlarut memisah dari minyak dan terpolarisasi membentuk *dipole*. Jika jumlah molekul-molekul uap air ini banyak, maka akan terbentuk suatu jembatan yang menghubungkan kedua elektroda, sehingga terbentuk kanal peluahan, kanal ini akan merambat dan memanjang sampai menghasilkan tembus listrik. Dengan penurunan kadar uap air, jembatan akan lebih sulit terbentuk. Hal ini terjadi karena elektron-elektron yang bergerak dari katoda ke anoda akan lebih lambat, sehingga tegangan tembus pun naik.

Dengan melihat data hasil pengujian minyak transformator baru dan bekas, nilai tegangan tembus untuk minyak transformator baru selalu lebih tinggi daripada minyak transformator bekas. Hal ini disebabkan struktur molekul material pada minyak transformator bekas elektron-elektron yang terikat erat pada molekulnya sudah mengalami tekanan akibat

tegangan tinggi. Tegangan yang melalui minyak transformator akan menyebabkan terjadinya perpindahan elektron-elektron dari suatu molekul ke molekul yang lainnya sehingga akan timbul arus konduksi atau arus bocor. Berkurangnya nilai kekuatan dielektrik pada minyak transformator bekas disebabkan faktor ketidakmurnian (*impurity*) antara lain berupa partikel, air dan gelembung.

Medan listrik akan menyebabkan tetesan air tertahan di dalam minyak yang memanjang searah medan dan pada medan yang kritis, tetesan itu menjadi tidak stabil. Kanal kegagalan akan menjalar dari ujung tetesan yang memanjang sehingga menghasilkan kegagalan total.

Gelembung terbentuk karena penguraian molekul cair (minyak transformator). Gaya elektrostatik sepanjang gelembung akan terbentuk dan ketika kekuatan kegagalan gas lebih rendah dari cairan, medan yang ada dalam gelembung melebihi kekuatan uap yang menghasilkan lebih banyak uap dan gelembung, sehingga membentuk jembatan pada seluruh celah yang menyebabkan terjadinya pelepasan secara sempurna.

PENUTUP

Berdasarkan pengujian mengenai pengaruh suhu terhadap tegangan tembus AC dan DC pada minyak transformator baru dan bekas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Tegangan tembus minyak transformator pada suhu kerja yaitu 70 °C memiliki nilai yang paling baik yaitu untuk minyak baru rata-rata tegangan tembus AC sebesar 41,8 kV dan rata-rata tegangan tembus DC terbesar 44,6 kV.
2. Tegangan tembus AC minyak transformator bekas memiliki nilai yang sangat rendah dibandingkan dengan nilai hasil pengujian pada minyak transformator baru. Tegangan

tembus AC minyak transformator bekas paling tinggi pada suhu 90 °C yaitu memiliki rata-rata 32,2 kV.

3. Tegangan tembus DC minyak transformator bekas nilainya hampir sama dengan hasil pengujian pada minyak transformator baru. Tegangan tembus DC pada minyak transformator bekas paling tinggi pada suhu 70 °C yaitu memiliki nilai rata-rata 43,4 kV.
4. Minyak transformator memiliki kemampuan yang lebih baik untuk menahan tegangan tinggi DC dibandingkan dengan kemampuannya untuk menahan tegangan tinggi AC.
5. Minyak transformator akan berubah warnanya menjadi hitam setelah mengalami tegangan tembus, warna hitam yang terjadi disebabkan karena adanya karbon setelah terjadi lecutan pada elektroda yang dicelupkan ke dalam minyak.
6. Berdasarkan pengujian minyak transformator baru dan bekas maka dapat disimpulkan bahwa minyak bekas sudah tidak layak lagi untuk dipakai.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi. 1996. *Prosedur Penelitian*. Jakarta : PT. Rineka Cipta.
- Arismunandar, A. 2001. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta : P.T Pradnya Paramita.
- Arismunandar, A. 1983. *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*. Jakarta : Ghalia Indonesia.
- [http://www. Elektro Indonesia.com/Analisis Kegagalan Minyak Transformator](http://www.ElektroIndonesia.com/AnalisisKegagalanMinyakTransformator).
- Hutauruk, T.S. 1989. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta : Erlangga.
- Kind, Dieter.1993. *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Bandung : ITB.
- Kind Deter. 1985. *High Voltage Insulation Technology*; Firedr. Vieweg & Sohn.

Muhaimin. 1993. *Bahan-bahan Listrik Untuk Politeknik*. Jakarta : P.T Pradnya Paramita.

Neidle, Michael. 1985. *Instalasi Listrik*. Jakarta : Erlangga.

Panduan Praktikum Teknik Tegangan Tinggi. 2000. Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Universitas Gajah Mada.

BIOGRAFI

Sugeng Nur Singgih, mahaia luluhan Teknik Elektro UNNES

Hamzah Berahim, den Teknik Elektro UGM

Ngadirin,doen teknik Elektro UNNE