

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Dalam studi pustaka ini terdapat beberapa referensi-referensi yang menjadi pedoman dalam melakukan penulisan tugas akhir ini. Referensi ini terkait dengan aspek kajian penulisan.

“OPTIMALISASI PENGGUNAAN KAPASITOR BANK PADA JARINGAN 20 KV DENGAN SIMULASI ETAP (Studi Kasus Pada Feeder Srikandi di PLN Rayon Pangkalan Balai, Wilayah Sumatera Selatan)” oleh David Tampubolon dan Masykur Sjani, menurutnya beberapa parameter penting yang harus diperhatikan dalam sistem distribusi listrik guna menjaga kualitasnya antara lain adalah masalah harmonisa, fluktuasi tegangan, frekwensi, faktor daya, jatuh tegangan, dan beberapa faktor lain. Pada penelitian tersebut dilakukan modelasi distribusi listrik menggunakan ETAP dan menambahkan kapasitor bank untuk memperbaiki faktor dayanya dengan memasukkan parameter – parameter sesuai dengan keadaan di lapangan. Setelah modelasi didapatkan pengaruh kapasitor ialah dapat meningkatkan level tegangan pada ujung – ujung jaringan dalam range standar PLN yaitu -10% dan +5% dan terdapat penurunan rugi daya sampai 19,33%

“ANALISA PENGARUH PENEMPATAN KAPASITOR TERHADAP LOSSES DAN PROFIL TEGANGAN PADA GARDU INDUK PASAR KEMIS” oleh Anggit Dwi Febriyana, menurutnya penempatan kapasitor yang baik ialah yang berdekatan dengan beban. Di karenakan kapasitor ialah suatu perlengkapan listrik yang berperan sebagai sumber daya reactive. Apabila kapasitor dipasang pada busbar utama menyebabkan daya reaktif akan mengkonsumsi daya langsung dari trafo menyebabkan trafo bekerja lebih keras sehingga mengurangi lifetime trafo. Berkurangnya daya reactive pada jaringan berdampak juga pada penurunan besarnya arus pada jaringan sehingga luas penampang kabel yang dibutuhkan pada jaringan semakin mengecil.

## **2.2.Landasan Teori**

### **2.2.1. Sistem Transmisi Tenaga Listrik**

Energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit tenaga listrik yang jaraknya berjauhan dengan daerah-daerah dimana energi listrik tersebut dipakai (pusat beban). Karena tegangan yang dihasilkan generator umumnya relatif rendah (berkisar 6 kV hingga 24 kV), maka tegangan ini dinaikkan oleh transformator daya ke tingkat tegangan yang lebih tinggi. Tingkat tegangan yang lebih tinggi ini selain untuk memperbesar daya hantar saluran yang berbanding lurus dengan kuadrat tegangan, juga untuk memperkecil rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran. Penurunan dari tingkat tegangan transmisi pertama-tama dilakukan di gardu induk (GI), di man tegangan di turunkan ke tegangan yang lebih rendah misalnya dari 500 kV ke 150 kV, atau dari 150 kV ke 70 kV, dan sebagainya. Kemudian penurunan kedua dilakukan di gardu induk distribusi 150 kV ke 20 kV atau dari 70 kV ke 20 kV.

### **2.2.2. Tegangan Transmisi**

Jika tegangan transmisi ditingikan maka rugi-rugi transmisi akan dapat diperkecil sehingga efisiensi transmisi akan naik. Akan tetapi kenaikan tegangan pada saluran transmisi berarti juga kenaikan isolasi dan peralatan gardu induk oleh karena itu pemilihan tegangan dilakukan dengan perhitungan daya yang disalurkan, jumlah rangkaian, jenis penyaluran, keandalan, biaya peralatan untuk tegangan tertentu, serta tegangan-tegangan yang sekarang ada dan yang direncanakan.

**Tabel 2. 1** Tegangan Tinggi Yang Berlaku Di Indonesia

Tegangan Nominal (kV)	Tegangan Tertinggi Untuk Peralatan (kV)
30	36
66	72,5
150	170
220	245
380	420
500	525

### 2.2.3. Kawat Penghantar

Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (Cu 7,5%), dan aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%).

Kawat penghantar aluminium terdiri dari berbagai jenis dengan lambang sebagai berikut:

AAC	: <i>All Aluminium Conductor</i> , yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium
-----	--

AAAC	: <i>All Aluminium Alloy Conductor</i> , yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
------	--

ACSR	: <i>Aluminium Conductor Steel Reinforced</i> , yaitu kawat penghantar aluminium berinti baja.
------	--

ACAR	: <i>Aluminium Conductor Alloy Reinforced</i> , yaitu kawat penghantar yang diperkuat dengan campuran logam
------	---

#### **2.2.4. Sistem Distribusi Tegangan Listrik**

Definisi umum, sistem distribusi ialah bagian dari sistem tenaga listrik antara sumber daya besar (*bulk power source, BPS*) dan peralatan hubung pelanggan (*customers service switch*). Berdasarkan definisi tersebut maka sistem distribusi meliputi komponen-komponen berikut :

1. Sistem subtransmisi

Jaringan subtransmisi merupakan jaringan yang berfungsi untuk mengalirkan daya dari GI menuju gardu distribusi. Namun jaringan subtransmisi belum tentu ada diseluruh sistem distribusi, karena jaringan subtransmisi merupakan jaringan dengan tegangan peralihan. Seandainya pada jaringan transmisi tegangan yang dipakai adalah 500 kV, maka setelah masuk GI tegangan menjadi 150 kV (belum termasuk tegangan distribusi). Sehingga jaringan ini dinamakan subtransmisi karena masih bertegangan tinggi.

2. Gardu induk distribusi

Gardu Induk merupakan unit di dalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menerima daya dari sistem transmisi untuk kemudian diteruskan sistem distribusi. Di dalam Gardu Induk ini tegangan dari sistem transmisi (150kV-500kV) akan diubah menjadi tegangan untuk distribusi (20kV).

3. Penyulang distribusi atau penyulang primer

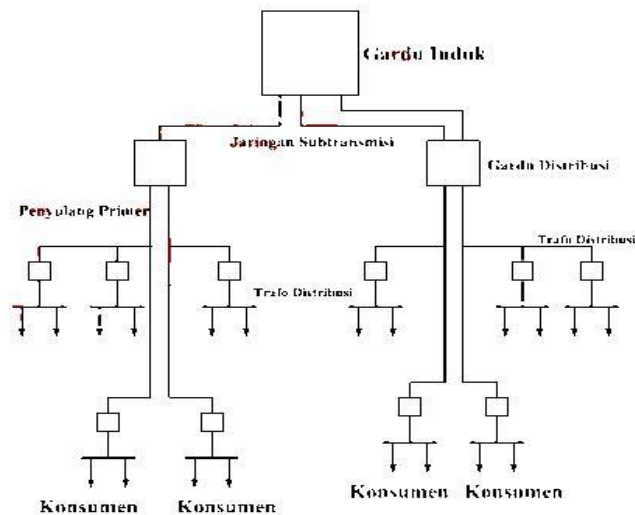
Saluran penyulang utama merupakan saluran atau rangkaian yang berfungsi untuk menghubungkan antara gardu distribusi utama dengan gardu transformator distribusi atau menghubungkan GI dengan gardu transformator distribusi.

4. Transformator distribusi

Transformator distribusi berada di dalam gardu gardu distribusi. Berfungsi untuk mengubah tegangan menengah (20 kV) menjadi tegangan rendah (220/380 V). Kemudian daya dengan tegangan rendah tersebut disalurkan kepada konsumen.

5. Untai sekunder

Rangkaian sekunder merupakan rangkaian yang berasal dari gardu-gardu distribusi yang berfungsi untuk melayani konsumen yang tersebar di sepanjang simpul-simpul distribusi.[4]



**Gambar 2.1** Komponen Penyusun Sistem Distribusi

### **2.2.5. Gardu induk**

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan.

### **2.2.6. Fungsi Gardu Induk**

Mentransformasikan daya listrik :

1. Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 KV/150 KV).
2. Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 KV/ 70 KV).
3. Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 KV/ 20 KV, 70 KV/20 KV).
4. Dengan frekuensi tetap (di Indonesia 50 Hertz).

Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari sistem tenaga listrik. Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi-gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang-penyulang (feeder- feeder) tegangan menengah yang ada di gardu induk. Untuk sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang kita kenal dengan istilah SCADA.

### **2.2.7. Jenis Gardu Induk**

Jenis Gardu Induk bisa dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu :

1. Berdasarkan besaran tegangannya.
2. Berdasarkan pemasangan peralatan
3. Berdasarkan fungsinya.
4. Berdasarkan isolasi yang digunakan.
5. Berdasarkan sistem (busbar).

Dilihat dari jenis komponen yang digunakan, secara umum antara GITET dengan GI mempunyai banyak kesamaan. Perbedaan mendasar adalah :

1. Pada GITET transformator daya yang digunakan berupa 3 buah transformator daya masing – masing 1 phasa (bank transformer) dan dilengkapi peralatan reaktor yang berfungsi mengkompensasikan daya reaktif jaringan.<sup>2</sup>
2. Sedangkan pada GI (150 KV, 70 KV) menggunakan Transformator daya 3 phasa dan tidak ada peralatan reaktor.

Berdasarkan besaran tegangannya, terdiri dari :

1. Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 275 KV, 500 KV.
2. Gardu Induk Tegangan Tinggi (GI) 150 KV dan 70 KV.

### **2.2.8. Berdasarkan Pemasangan Peralatan**

A. Gardu Induk Pasangan Luar :

1. Adalah gardu induk yang sebagian besar komponennya di tempatkan di luar gedung, kecuali komponen kontrol, sistem proteksi dan sistem kendali serta komponen bantu lainnya, ada di dalam gedung.
2. Gardu Induk semacam ini biasa disebut dengan gardu induk konvensional.
3. Sebagian besar gardu induk di Indonesia adalah gardu induk konvensional.
4. Untuk daerah-daerah yang padat pemukiman dan di kota-kota besar di Pulau Jawa, sebagian menggunakan gardu induk pasangan dalam, yang disebut Gas Insulated Substation atau Gas Insulated Switchgear (GIS).

## B. Gardu Induk Pasangan Dalam :

1. Adalah gardu induk yang hampir semua komponennya (switchgear, busbar, isolator, komponen kontrol, komponen kendali, cubicle, dan lain-lain) dipasang di dalam gedung. Kecuali transformator daya, pada umumnya dipasang di luar gedung.
2. Gardu Induk semacam ini biasa disebut Gas Insulated Substation (GIS).
3. GIS merupakan bentuk pengembangan gardu induk, yang pada umumnya dibangun di daerah perkotaan atau padat pemukiman yang sulit untuk mendapatkan lahan.

Beberapa keunggulan GIS dibanding GI konvensional:

1. Hanya membutuhkan lahan seluas  $\pm 3.000$  meter persegi atau  $\pm 6\%$  dari luas lahan GI konvensional.
2. Mampu menghasilkan kapasitas daya (power capacity) sebesar  $3 \times 60$  MVA bahkan bisa ditingkatkan sampai dengan  $3 \times 100$  MVA.
3. Jumlah penyulang keluaran (output feeder) sebanyak 24 penyulang (feeder) dengan tegangan kerja masing-masing 20 KV.
4. Bisa dipasang di tengah kota yang padat pemukiman.
5. Keunggulan dari segi estetika dan arsitektural, karena bangunan bisa didesain sesuai kondisi disekitarnya.

## C. Gardu Induk kombinasi pasangan luar dan pasangan dalam :

Adalah gardu induk yang komponen switchgear-nya ditempatkan di dalam gedung dan sebagian komponen switchgear ditempatkan di luar gedung, misalnya gantry (tie line) dan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) sebelum masuk ke dalam switchgear. Transformator daya juga ditempatkan di luar gedung.

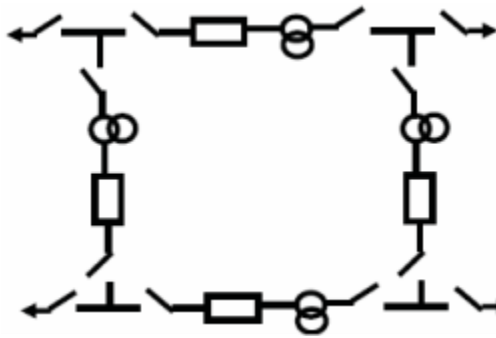


### 2.2.9. Peralatan gardu induk

#### 1. Busbar atau Rel

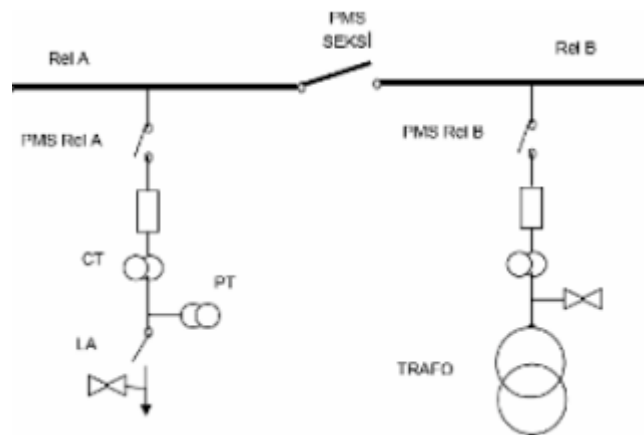
Merupakan titik pertemuan/hubungan antara trafo-trafo tenaga, Saluran Udara TT, Saluran Kabel TT dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik/daya listrik. Ada beberapa jenis konfigurasi busbar yang digunakan saat ini, antara lain:

- Sistem cincin atau ring, semua rel/busbar yang ada tersambung satu sama lain dan membentuk seperti ring/cicin.



**gambar 2.2.** Sistem Cincin atau ring

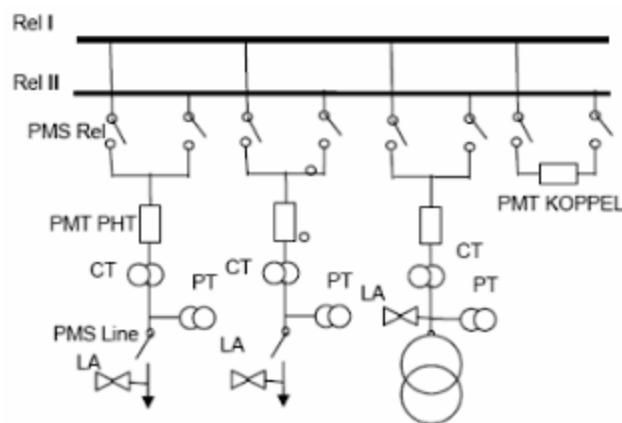
- Busbar Tunggal atau Single busbar, semua perlengkapan peralatan listrik dihubungkan hanya pada satu / single busbar pada umumnya gardu dengan sistem ini adalah gardu induk diujung atau akhir dari suatu transmisi.



**Gambar 2.3.** Sistem busbar tunggal atau single busbar

### 2. Busbar Ganda atau double busbar

Adalah gardu induk yang mempunyai dua / double busbar . Sistem ini sangat umum, hamper semua gardu induk menggunakan sistem ini karena sangat efektif untuk mengurangi pemadaman beban pada saat melakukan perubahan.

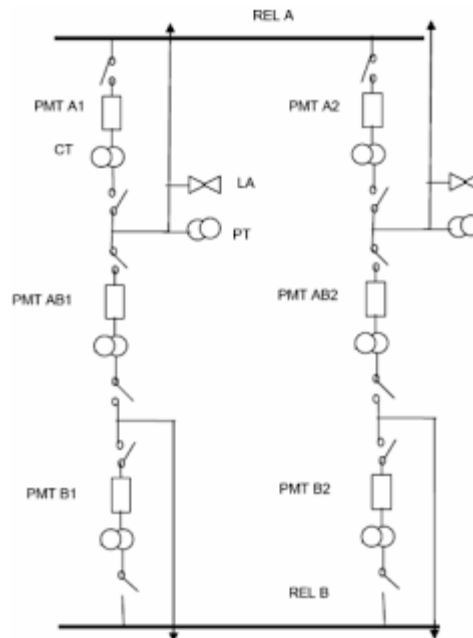


**Gambar 2.4.** Sistem Busbar Ganda atau double Busbar.

### 3. Busbar satu setengah atau one half busbar

Gardu induk dengan konfigurasi seperti ini mempunyai dua busbar juga sama seperti pada busbar ganda, tapi konfigurasi busbar seperti ini dipakai pada Gardu induk Pembangkitan dan gardu induk yang sangat besar, karena sangat efektif dalam segi operasional dan dapat mengurangi pemadaman beban pada saat

melakukan perubahan sistem. Sistem ini menggunakan 3 buah PMT didalam satu diagonal yang terpasang secara seri.



**Gambar 2.5.** Sistem Busbar satu setengah atau one half busbar.

### 2.2.10. Distribusi Tenaga Listrik

Terdapat dua cara dalam distribusi tenaga listrik ke daerah pemukiman, antara lain melalui gardu distribusi atau penyaluran setempat.

#### i. Gardu Distribusi

Penyaluran daya dengan menggunakan gardu distribusi yaitu menggunakan sistem tiga fasa untuk jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan rendah (JTR) dengan transformator tiga fasa dengan kapasitas yang cukup besar. Jaringan tegangan rendah ditarik dari sisi sekunder transformator untuk kemudian disalurkan kepada konsumen. Sistem tiga fasa tersedia untuk seluruh daerah pelayanan distribusi, walaupun sebagian besar konsumen mendapat pelayanan distribusi tenaga listrik satu fasa. Jaringan tegangan menengah berpola radial

dengan kawat udara sistem tiga fasa tiga kawat. Sementara jaringan tegangan rendah berpola radial dengan sistem tiga fasa empat kawat dengan netral.

## **ii. Penyaluran Setempat**

Penyaluran daya dengan menggunakan penyaluran setempat umumnya digunakan pada daerah-daerah dengan kondisi beban perumahan tidak terlalu besar, atau pada suatu daerah dengan tingkat pertumbuhan beban yang tinggi. Untuk jaringan tegangan menengahnya menggunakan sistem tiga fasa dengan percabangan satu fasa. Sementara untuk jaringan tegangan rendahnya menggunakan sistem satu fasa. Transformator yang digunakan memiliki kapasitas yang kecil dan cenderung dekat dengan konsumen. Jaringan tegangan menengah berpola radial dengan kawat udara sistem tiga fasa empat kawat dengan netral. Sementara jaringan tegangan rendah berpola radial dengan sistem tiga fasa tiga kawat dengan netral.

## **iii. Tegangan distribusi**

Berikut adalah beberapa jenis dari tegangan distribusi, yaitu:

### **a. Tegangan Menengah (TM)**

Tegangan menengah adalah tegangan dengan rentang nilai 1 kV sampai dengan 30 kV. Untuk di Indonesia menggunakan tegangan menengah sebesar 20 kV. Tegangan menengah dipakai untuk penyaluran tenaga listrik dari GI menuju gardu-gardu distribusi atau langsung menuju pelanggan tegangan menengah.

### **b. Tegangan Rendah (TR)**

Tegangan rendah adalah tegangan dengan nilai dibawah 1 kV yang digunakan untuk penyaluran daya dari gardu-gardu distribusi menuju pelanggan tegangan rendah. Penyalurannya dilakukan dengan menggunakan sistem tiga fasa empat kawat yang dilengkapi netral. Tegangan rendah di

Indonesia adalah 380/220 V. 380 V merupakan besar tegangan antar fasa sementara tegangan 220 V merupakan tegangan fasa dengan netral.

c. Tegangan Pelayanan

Tegangan pelayanan merupakan ketetapan dari penyedia tenaga listrik kepada pelanggan–pelanggannya. Besarnya tegangan pelayanan di Indonesia pada umumnya sebagai berikut:

- a. 380/220 V      tiga fasa empat kawat
- b. 220 V            satu fasa dua kawat
- c. 6 kV             tiga fasa tiga kawat
- d. 12 kV            tiga fasa tiga kawat
- e. 20 kV            tiga fasa tiga kawat

Selama beberapa tahun terakhir ini sistem distribusi mengarah kepada sistem dengan tegangan yang lebih tinggi. Tegangan sistem distribusi yang lebih tinggi, maka sistem dapat membawa daya lebih besar dengan nilai arus yang sama. Arus yang lebih kecil berarti jatuh tegangan (*drop voltage*) yang lebih kecil, rugi–rugi yang lebih sedikit dan kapasitas membawa daya lebih besar.

**Tabel 2. 2** Perbandingan Keuntungan Kerugian Tegangan Tinggi pada Jaringan

Distribusi

<b>Keuntungan</b>	<b>Kerugian</b>
Jatuh tegangan akan lebih kecil pada sistem dengan tegangan yang lebih tinggi	Rangkaian yang lebih panjang, maka akan lebih sering terdapat gangguan pada pelanggan
Untuk daya yang tetap, sistem dengan tegangan yang lebih tinggi memiliki rugi rugi saluran yang lebih kecil	Perbaikan dan pemeliharaan dilakukan pada sistem bertegangan tinggi lebih berbahaya
Dengan jatuh tegangan yang lebih kecil dan kapasitas yang lebih besar, maka sistem dengan tegangan yang lebih kecil dapat menjangkau daerah yang lebih luas	Biaya perlengkapan untuk sistem dengan tegangan yang lebih tinggi, seperti isolasi kabel sampai pada transformatornya, akan lebih mahal

### 2.2.11. Jenis-jenis Permasalahan Daya Listrik

Permasalahan kualitas daya listrik disebabkan oleh gejala-gejala atau fenomena-fenomena elektromagnetik yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Gejala elektromagnetik yang menyebabkan permasalahan kualitas daya adalah (Roger C.Dugan,1996):

1. Gejala Peralihan (*Transient*), yaitu suatu gejala perubahan variabel (tegangan, arus dan lain-lain) yang terjadi selama masa transisi dari keadaan operasi tunak (*steady state*) menjadi keadaan yang lain.
2. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Pendek (*Short-Duration Variations*), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan dalam waktu yang singkat yaitu kurang dari 1 (satu) menit.
3. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Panjang (*Long-Duration Variations*), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan, dalam waktu yang lama yaitu lebih dari 1 (satu) menit.
4. Ketidakseimbangan tegangan, adalah gejala perbedaan besarnya tegangan dalam sistem tiga fasa serta sudut fasanya.
5. *Distorsi* Gelombang, adalah gejala perbedaan besarnya tegangan dalam sistem tiga fasa serta sudut fasanya.
6. *Fluktuasi* Tegangan, adalah gejala perubahan besarnya tegangan secara sistematis.
7. Gejala Perubahan Frekuensi Daya yaitu gejala penyimpangan frekuensi daya listrik pada suatu sistem tenaga listrik.