



Telkom
University

Pengenalan Teknik Telekomunikasi (PTT)

**Pertemuan 13 : Pengantar ke Sistem
Komunikasi Serat Optik
Oleh : Team Dosen PTT S1-TT**

Versi : Maret 2020

Tujuan yang ingin dicapai pada pertemuan ini

- 1 Mahasiswa mengetahui sejarah perkembangan serat optik pada bidang telekomunikasi
- 2 Mahasiswa mengetahui sumber cahaya utama dalam komunikasi serat optik
- 3 Mahasiswa mengetahui komponen-komponen penyusun dalam serat optik
- 4 Mahasiswa mengetahui peralatan-peralatan diagnosis pada serat optik

Disclaimer:

Gambar-gambar foto dalam slide ini diperoleh dari Internet, dan **copyright** pada **pemiliknya masing-masing**. Pemakaian pada slide ini hanya untuk keperluan ilustrasi.

Daftar Isi

1 Pendahuluan

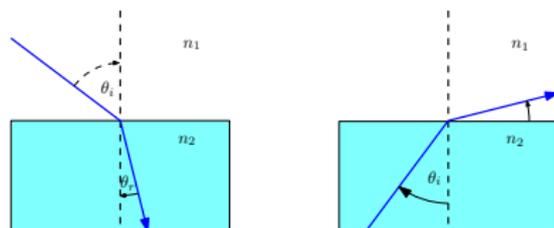
2 Perkembangan

3 Rangkaian

Pendahuluan

Ilmu dasar dari transmisi serat optik adalah ilmu fisika optik khususnya **pembiasan** atau **dispersi**.

- Hukum pembiasan menyatakan bahwa: **I**: Cahaya yang datang dari media dengan indeks bias rendah ke benda yang berindeks bias lebih tinggi akan dibiaskan mendekati garis normal (**Contoh**: cahaya dari udara ke kaca)
- sebaliknya, **II**: Cahaya yang datang dari media dengan indeks bias tinggi ke media yang memiliki indeks bias rendah akan dibiaskan menjauhi garis normal. (**Contoh**: cahaya dari kaca ke udara)

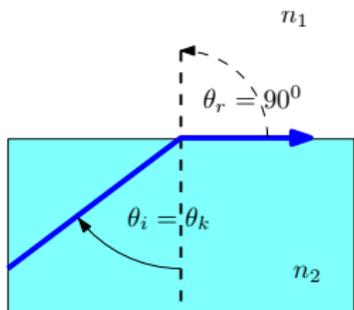


$$n_2 > n_1$$

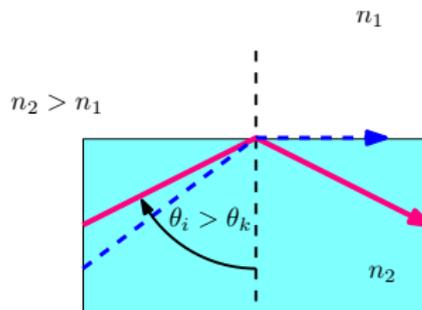
Pendahuluan

- Pada kasus II (transmisi dari kaca ke udara), jika sudut datang diperbesar sedikit demi sedikit, maka suatu saat cahaya tepat dibiaskan **90 derajat**. **Sudut datang** yang menghasilkan sudut bias 90 derajat ini disebut **sudut kritis** θ_k .
- Misalkan sudut kritis adalah 63 derajat, jika sudut datang **semakin diperbesar (melebihi** sudut kritis 63 derajat tersebut), maka cahaya tidak lagi dibiaskan namun **dipantulkan** (ilustrasi pada slide berikutnya)
- Dengan mengirim cahaya dari media pada ke media kurang padat indeks biasanya (misal **dari kaca ke udara**), dan menjaga sudut datang lebih dari sudut kritis, maka cahaya tersebut akan **merambat terbimbing** di dalam kaca.

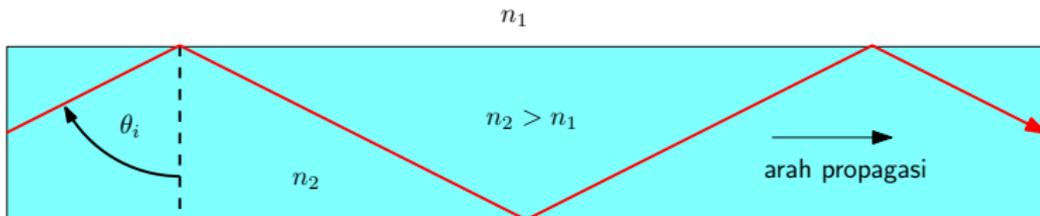
Pendahuluan



Cahaya datang dengan sudut kritis θ_k dibiaskan pada permukaan batas



Cahaya datang dengan sudut data lebih dari sudut kritis θ_k dipantulkan kembali



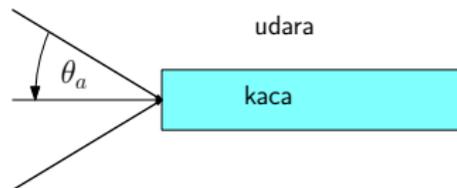
Dengan menjaga sudut datang lebih besar dari sudut kritis maka cahaya dapat dibimbing merambat di dalam media

Pendahuluan

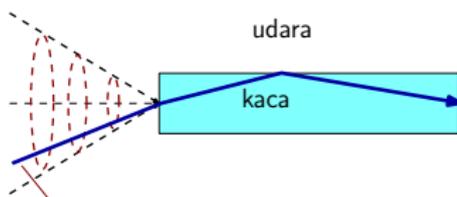
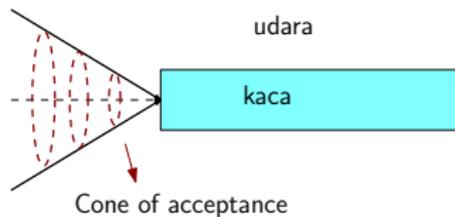
- 1 Jika cahaya ditembakkan ke dalam kaca dari udara misalnya, maka terdapat **batas sudut** (θ_a) yang menyebabkan cahaya yang masuk ke kaca akan mengalami pemantulan oleh dinding kaca.
- 2 Sudut batas ini disebut **Sudut batas penerimaan**. Sinus dari sudut ini ($\sin \theta_a$) disebut dengan **Numerical Aperture**
- 3 Zona sudut yang dibatasi oleh sudut batas penerimaan θ_a disebut sebagai **Cone of Acceptance**
- 4 Jika n_2 adalah **indeks bias kaca**, dan n_1 adalah **indeks bias udara**, maka **sinus** sudut batas penerimaan θ_a :

$$\sin \theta_a = \sqrt{n_2^2 - n_1^2}$$

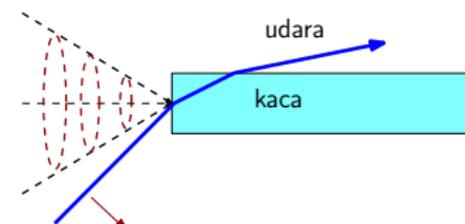
Pendahuluan



θ_a : sudut batas penerimaan
 $\sin \theta_a$: Numerical Aperture



cahaya datang dalam zona cone of acceptance
akan terbimbing dalam kaca



cahaya datang dari luar zona cone of acceptance
akan dibiaskan keluar dari kaca

Contoh tipikal dari θ_a adalah 64° untuk **indeks bias kaca** $n_2 = 1,5$
dan **indeks bias udara** $n_1 = 1$

Perkembangan serat optik

- Sejak jaman Telegraph (awal 1800-an) sampai 1950an, transmisi telekomunikasi kabel menggunakan **tembaga**, dianggap sebagai **mode utama** dalam transmisi informasi menggunakan kabel.
- Mode transmisi lain yaitu dengan **menggunakan cahaya** mulai terbuka sejak ditemukannya dua hal: **LASER** (sebagai sumber cahaya) dan **Serat Optik** sebagai media transmisinya (meskipun Alexander Graham Bell juga menemukan alat sederhana menggunakan cahaya untuk komunikasi yang sebut **photophone**, tahun 1880-an)
- Penemuan LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) diawali oleh **hipotesis Einstein bahwa** elektron dapat distimulasi sehingga ia dapat memancarkan cahaya dengan frekuensi tertentu.

Perkembangan serat optik

- menstimulasi elektron artinya adalah **elektron dirangsang** dengan cara memberikan medan listrik yang berosilasi dengan frekuensi tertentu.
- elektro yang tereksitasi ini kemudian akan menyerap energi dan naik dari level semula ke level baru yang lebih tinggi
- Ketika elektron ini melepaskan energi yang ia serap tadi, maka ia akan memancarkan (emisi) foton (cahaya) dengan frekuensi tertentu.
- Warna dari cahaya yang dipancarkan bergantung dengan energi yang dikeluarkan sesuai persamaan Max-Plank

$$E = h \cdot f$$

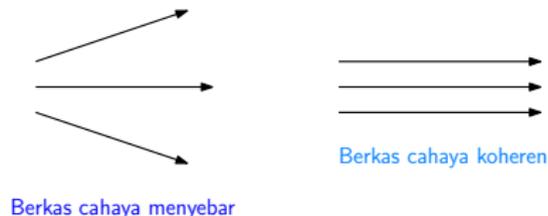
dengan f adalah frekuensi dan h adalah konstanta Max-Plank.

Perkembangan serat optik

- Foton yang dipancarkan kemudian diperkuat sehingga menghasilkan sinar yang disebut sinar **LASER**.
- Sebelum sinar LASER ditemukan, tahun 1951 **Charles Hard Townes** menemukan sinar MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation)
- Sinar LASER kemudian betul-betul lahir pada tahun 1960 oleh **Theodore Maiman** dengan demonstrasinya di **Hughes Lab**. Malibu
- Setelah **tidak kurang dari 40 tahun** setelah **Einstein** memberikan hipotesisnya (**1918**) bawah elektron dapat distimulasi sehingga dapat memancarkan foton, baru pada **1960** teknologi **sinar LASER** ditemukan
- Berbeda dengan sinar **lampu pijar** misalnya, sinar LASER bersifat **KOHEREN**.

Perkembangan serat optik

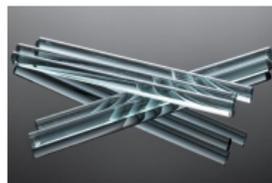
- 1 Koheren = ko + heren (co = bersama, heren = heredity = keturunan). Koheren = bersama-sama/serempak/mengumpul
- 2 Sinar LASER memiliki sifat mengumpul dalam arti bahwa berkas sinar LASER tidak menyebar.



- 3 Sifat koheren menyebabkan sinar LASER dapat menempuh jarak yang jauh.
- 4 Energinya tetap besar (tidak tersebar) setelah menempuh jarak yang jauh.
- 5 Tonton tentang prinsip kerja pembangkitan LASER di: <https://www.youtube.com/watch?v=MyObdBUGTRY>

Perkembangan serat optik

- 1 Sifat koheren tersebut menyebabkan Sinar LASER digunakan untuk berbagai keperluan: surgery (operasi medis), memotong, pointer, dan **komunikasi**.
- 2 Menggunakan LASER untuk keperluan telekomunikasi bisa saja dilakukan dengan menembakkan laser ke udara.
- 3 Problem menembakkan langsung ke udara adalah tentu saja adalah penghalang yang menghalangi perambatan LASER.
- 4 Berbarengan dengan perkembangan LASER, teknologi **serta optik** sebagai media transmisi LASER untuk telekomunikasi pun dikembangkan.
- 5 Serat optik **paling sederhana** adalah **kaca berbentuk silinder**

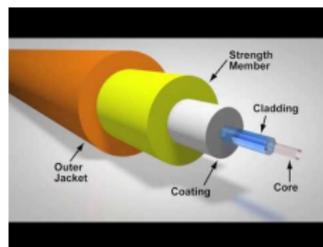


Perkembangan serat optik

- 1 Tentu saja diameter silinder kaca harus dibuat cukup kecil agar tidak memakan tempat terlalu banyak.
- 2 Oleh karena kaca menjadi **pembimbing** bagi cahaya yang merambat didalamnya, maka ketika ketika cahaya **membentur dinding** (karena sudut rambat) maka dinding kaca harus dapat memantulkan kembali ke dalam serat optik.
- 3 Untuk meningkatkan kinerja kaca dalam membimbing cahaya, maka konstruksi silinder kaca sederhana diperbaiki dengan menambahkan lapisan **cladding**.
- 4 Cladding secara harfiah berarti pembungkus.
- 5 Cladding adalah juga optik yang memiliki indeks bias yang lebih kecil dari kaca atau inti dari serat optik.
- 6 Misal indeks bias dari **serat optik 1,5** indeks bias dari cladding **1,3-1,4**

Perkembangan serat optik

- 1 Contoh struktur serat optik:



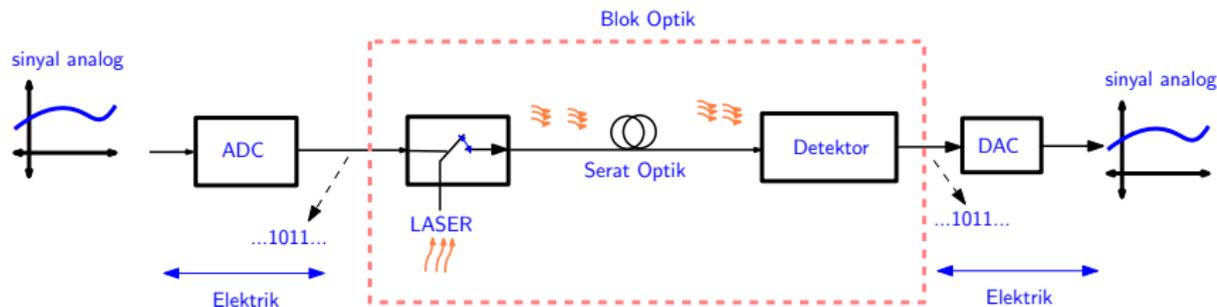
- 2 Struktur serat optik yang dibungkus oleh cladding menyebabkan cahaya lebih terbimbing di dalam serat optik
- 3 Struktur serat optik yang dibungkus dengan cladding diusulkan oleh **Bram Van Heel** (tahun **1953**)
- 4 Cladding ini disempurnakan oleh **Lawrence Curtiss** tahun **1956** dengan bahan kaca, jadi inti kaca dan cladding-nya juga kaca (indeks bias **cladding** < indeks bias **inti**)

Perkembangan serat optik

- 1 Beberapa penemuan lainnya yang semakin menguatkan posisi serat optik dalam mode transmisi telekomunikasi dewasa ini adalah penemuan **penguat optik** dengan EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier)
- 2 Sinyal Soliton yaitu bentuk sinyal yang tahan terhadap masalah dispersi sehingga bisa mencapai jarak sangat jauh.

Sistem Komunikasi Serat Optik (SKSO)

Gambar dasar SKSO:

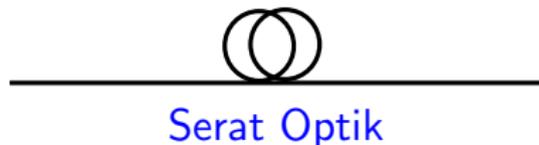


Sistem Komunikasi Serat Optik (SKSO)

- ➊ Sinyal informasi paling awal adalah sinyal analog (misal suara, gambar, video)
- ➋ Sinyal tersebut digitalkan dengan proses ADC
- ➌ Sinyal digital tersebut memodulasi pemancar LASER
- ➍ Modulasi paling sederhana adalah dengan OOK (On-Off-Keying) yang direalisasikan dengan menembakkan sinar LASER intensitas lemah dan intensitas kuat.
- ➎ Pada saat bit 1 yang datang, sinar LASER intensitas kuat ditembakkan dan saat bit 0, sinar LASER intensitas rendah yang ditembakkan.
- ➏ Serat OPTIK membimbing sinar sampai ke penerima
- ➐ Penerima melakukan demodulasi dengan photo-detector yang berfungsi mendeteksi tinggi rendahnya intensitas sinar LASER yang datang.

Sistem Komunikasi Serat Optik (SKSO)

- 1 Modulasi OOK pada optik adalah salah satu jenis modulasi yang ada. Terdapat beberapa modulasi lain yang lebih **advanced**.
- 2 Demodulasi pada optik dilakukan biasanya dengan **photo-detector**. Photo-detector berfungsi untuk memeriksa ada atau tidak adanya **energi foton** yang sampai di ujung serat optik.
- 3 Serat optik dilambangkan dengan garis dan lingkaran di atasnya:



Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem komunikasi serat optik terdiri dari **5 bagian** yaitu:

- ➊ **Sumber informasi** (elektrik), biasanya dalam bentuk data digital deretan 0 dan 1
- ➋ **Sumber cahaya** yang akan ditumpangi oleh informasi
- ➌ **Modulator** Optik (menumpangkan data digital ke cahaya)
- ➍ **Media Transmisi** yaitu serat optik
- ➎ **Demodulator** atau photo-detector yang berfungsi mengubah kembali

Poin pertama yaitu **sumber informasi** sudah cukup jelas sebagaimana telah dibahas di **Slide 8** tentang digitalisasi data (ADC)

Sumber Cahaya

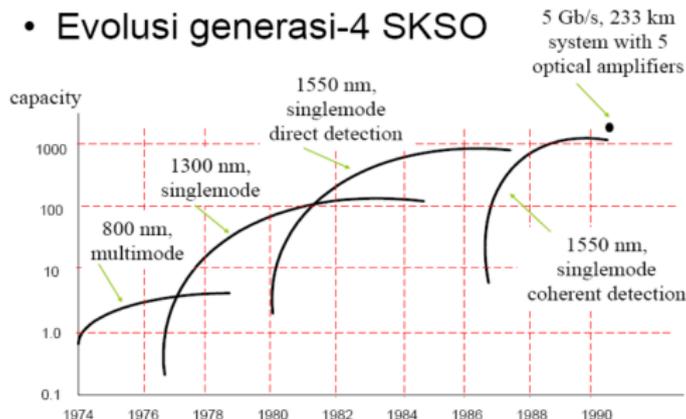
- 1 Sumber cahaya utama serat optik adalah LASER dan LED
- 2 **LED** (Light Emitting Diode) semakin populer karena (**murah** dan **daya rendah**)
- 3 Terdapat 4 warna utama LED : **Red, Green, Blue** dan **White**.
- 4 **Warna dari LED** ditentukan oleh dopping di dalam semikonduktor pembuat Dioda LED tersebut. (Contoh: LED biru terjadi karena semikonduktornya dicampur/didoping **Magnesium**)
- 5 LED merah memiliki **frekuensi** paling rendah, diikuti oleh **green** dan **blue**. **Atau:** LED merah memiliki panjang gelombang paling besar. **Hijau lebih** pendek dan biru **paling**

pendek.



Sumber Cahaya

- 1 Pada tahun 1970-an, LASER dengan panjang gelombang **800 nm** (nanometer) **multimode** adalah paling umum digunakan
- 2 Pada tahun 2000-an, LASER dengan panjang gelombang **1550 nm single mode** adalah yang paling umum digunakan
- 3 Baik gelombang di 800 nm maupun 1550 termasuk ke dalam spektrum INFRAMERAH. (4 kali evolusi selama 1970-2000).



Modulasi (Penumpangan informasi elektrik ke optik)

- 1 Modulasi ini dimaksudkan untuk menumpangkan informasi elektrik (digital) ke sinyal optik (LASER)
- 2 Sinyal carrier dalam hal ini adalah sinar LASER
- 3 Teknik modulasi yang paling umum adalah On-Off Keying sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya.
- 4 Teknik modulasi OOK ini disebut teknik **modulasi langsung**
- 5 Kekurangan dari modulasi langsung ini, adalah jangkauan sinyal yang tidak terlalu jauh akibat adanya **efek chirping** pada bahan akibat proses OOK tersebut
- 6 Untuk mengatasi permasalahan ini, dapat digunakan **modulasi tidak langsung** atau **modulasi eksternal**.
- 7 Teknik Modulasi dan Demodulasi Optik dibahas lebih lanjut pada MK SKSO

Media transmisi Serat Optik

- 1 Secara struktur, serat optik tersusun atas : Inti, Cladding, dan Coating (pembungkus luar)
- 2 Secara bahan, serat optik dibuat dari bahan Kaca atau Plastik.
- 3 Serat optik bahan kaca memiliki kemampuan transmisi lebih baik dibandingkan dengan plastik, namun lebih rentang untuk dibengkokkan. Sementara serat optik dari plastik lebih tahan terhadap pembelokan.
- 4 Serat optik modern didesain untuk bekerja pada panjang gelombang **1550 nanometer** atau gelombang inframerah.
- 5 **Dua permasalahan** dalam serat optik: **redaman** dan **dispersi**

Media transmisi Serat Optik

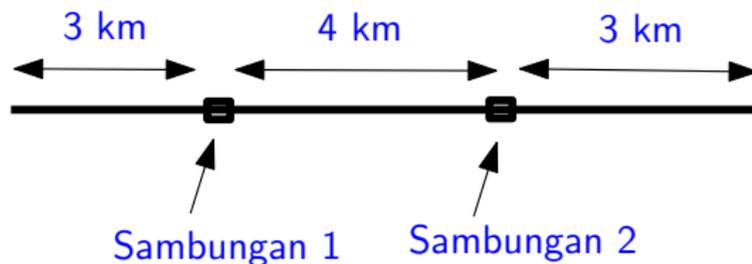
Redaman:

- 1 Redaman adalah penurunan daya serat optik setelah menempuh jarak tertentu.
- 2 Redaman terjadi karena sebagian **energi cahaya keluar atau hilang** dari serat optik (misalnya karena adanya bengkokan, atau ketidaksempurnaan material dan pabrikasi)
- 3 Redaman dinotasikan dinyatakan dalam **dB per km**.
- 4 Tipikal redaman serat optik adalah **0,2** sampai **0,3** dB/km
- 5 Redaman dapat terjadi juga terjadi karena adanya sambungan (**splicing**)
- 6 Semakin banyak sambungan, semakin banyak pula redaman.
- 7 Tipikal redaman sambungan adalah **0,1 dB** per **sambungan** atau **per splicing**

Media transmisi Serat Optik

Redaman:

- ① **Contoh Soal** : Coba hitung **redaman total** (dalam dB) dari kabel serat optik dengan panjang **10 km** dengan 2 sambungan di antaranya (Lihat gambar!)



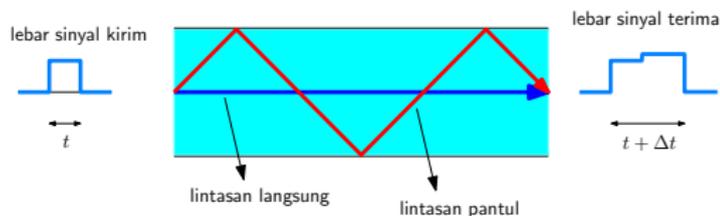
Serat Optik

Asumsi: Redaman serat optik adalah **0,2 dB/km** dan redaman per **splicer/sambungan** adalah **0,1 dB**. (Gunakan konsep dB yang telah dipelajari sebelum UTS)

Media transmisi Serat Optik

Dispersi:

- 1 Dispersi adalah perbedaan waktu yang terjadi antara cahaya yang merambat lurus dalam serat optik dengan cahaya yang dipantulkan (Lihat gambar!)



- 2 Besar dispersi akan tergantung dari sudut pantul dan panjang serat optik.
- 3 Dampak dari dispersi adalah "memanjangnya" sinyal terima di ujung serat optik (karena saling bertumpang tindih antara sinyal langsung dan sinyal pantulan).
- 4 memanjangnya sinyal terima ini mengacaukan deteksi di penerima.

Media transmisi Serat Optik

Mengatasi **Redaman** dan **Dispersi**

- 1 Upaya untuk mengurangi redaman adalah mengurangi jumlah sambungan dan menggunakan **penguat optik**
- 2 **Penguat optik** yang populer saat ini adalah **EDFA**.
- 3 Upaya untuk mengurangi dispersi adalah dengan menggunakan transmisi **single mode** (hanya boleh satu frekuensi sinyal yang merambat dalam optik)
- 4 **Teknologi transmisi serat optik saat ini** adalah menggunakan transmisi sinyal **single mode** dengan panjang gelombang **1550 nanometer**. Sejauh ini, konfigurasi inilah yang dianggap terbaik untuk transmisi.

Detektor Optik

- 1 Detektor optik biasanya juga berfungsi sebagai demodulator optik
- 2 Masukan dari detektor optik adalah cahaya (optik)
- 3 Keluarannya adalah amplitudo tegangan (elektrik)
- 4 Detektor optik adalah bahan yang sensitif terhadap cahaya. Ia mengubah cahaya yang datang menjadi tegangan listrik.
- 5 Detektor optik yang cukup populer adalah **photo-diode**.
Contoh gambar **photo-diode**:



Peralatan pemeliharaan dan perbaikan OPTIK

- 1 Untuk memonitor kerja dari rangkaian optik (Modulator, Serat Optik, Demodulator), beberapa alat umum pada bidang optik sangat diperlukan.
- 2 Peralatan ini antara lain adalah: Alat penyambut kabel optik atau **Splicer**, OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), dan Power Meter
- 3 Splicer digunakan untuk menyambung kabel optik yang putus (hanya saja, setiap sambungan akan menambahkan redaman)
- 4 OTDR digunakan untuk mengukur redaman, pantulan dan jarak pada suatu titik atau patahan di serat optik (Alat ini sangat penting untuk memonitor kinerja SKSO)
- 5 Power meter berguna untuk menghitung total loss (redaman dari ujung pemancar ke ujung penerima)
- 6 Peralatan-peralatan ini akan dibahas lebih detil pada MK SKSO beserta praktiknya

Keuntungan menggunakan serat optik

- 1 Keuntungan utama dari serat optik adalah **Bandwidth** transmisi yang sangat besar
- 2 Bandwidth transmisi ini dapat mencapai **tera-bit-per-second** (jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kabel tembaga, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan wireless)
- 3 **Satu kabel** serat optik dapat membawa beban trafik untuk user **1 kota**.
- 4 Meskipun teknologi storage saat ini bersifat cloud (awan) namun sesungguhnya transmisi ultra cepat berasal dari kabel serat optik yang banyak diinstal **di bawah laut**.
- 5 Dengan sifat bandwidth yang besar, **serat optik** menjadi salah satu tulang punggung (**backbone**) dari transmisi telekomunikasi saat ini.

Penutup: Rekapitulasi Materi

Pada slide ini telah dibahas tentang:

- 1 Perkembangan serat optik baik dari aspek sinar laser maupun serat optiknya
- 2 Komponen pada transmisi serat optik yaitu sinyal informasi, sinar LASER, modulator optik, media transmisi, dan demodulator optik

Latihan

- 1 Apa perbedaan sinar LASER dengan sinar biasa dari lampu pijar misalnya?
- 2 Bagaimana membuat sinar LASER tetap berada dalam kaca atau tidak keluar dari kaca? Apa yang diatur?
- 3 Apa perlunya ditambahkan Cladding pada serat optik?
- 4 Mengapa single mode lebih banyak digunakan pada transmisi serat optik dibandingkan dengan multimode?
- 5 Apa itu redaman dan dispersi pada serat optik?
- 6 Bagaimana mengurangi redaman dan dispersi tersebut?
- 7 Apa **lima komponen** pada SKSO?
- 8 Apa maksud bahwa SKSO menjadi salah satu backbone pada telekomunikasi?
- 9 Serat optik memiliki panjang 13 KM dengan 3 splicer di dalamnya. Jika redaman adalah 0,3 dB per km, dan 0,2 dB per splicer, berapa redaman total serat optik?